

Internet des Objets Normes, Ecosystème et Applications

Dr. Ing. Mohamed Ould-Elhassen Aoueileyine
Faculté des sciences de Bizerte
Département Informatique



Plan

- **Introduction à l'Internet des Objets**
- **Architecture IoT**
- **Réseaux et détections de proximité**
- **Le réseau LPWAN**
- **Le prototypage**
- **Exploitation logicielle**
 - Les plateformes de communication logicielle (Technicolor Qeo, Google Weave...).
 - Les APIs de type REST et outils de développement.
 - Les solutions d'injection de données dans une base NoSQL BigData.

Offres IoT

Systems Engineer, Early Career

Viasat 3.7 ★

Remote in Tempe, AZ 85284

 \$72,500 a year

- Participate in complex systems analysis and design: Understanding, defining, and supporting the complex systems that brings the internet to life across...

Posted 14 days ago · More...

Sr Engineer - IoT (Full-Time Remote or Hybrid)

TARGET 3.6 ★

Remote in Brooklyn Park, MN 55445

 Estimated \$122K - \$154K a year 

 Full-time

- You have the skills to design and implement the architecture on your own, but choose to influence your fellow engineers by proposing software designs, providing...

Posted 30+ days ago · More...

Test Engineer, IOT

NOKIA  5,129 reviews

Dallas, TX

You must create an Indeed account before continuing to the company website to apply

[Apply on company site](#)



We are committed to a culture of inclusion built upon our core value of respect.

Join us and be part of a company where you will feel included and empowered to succeed.

Hiring Insights

Job activity

- Posted 30+ days ago

Nokia

30+ days ago

 Report job

Offres IoT

new

IOT Test engineer

LT Technology Services 4.0 ★

Minnesota

⌚ Estimated \$83.2K - \$105K a year ?

- Shall execute the system test cases, simulating the various system conditions using the HW-SW Test-jigs.
- Shall be familiar with DC- Power Supplies, Multimeters,...

Posted 7 days ago · More...



Early Career Networking Software Engineer



Hewlett Packard Enterprise 3.8 ★

Roseville, CA 95747

⌚ Estimated \$95.5K - \$121K a year ?

💼 Full-time

- Participates as a member of project team of other software systems **engineers** and internal and outsourced development partners to develop reliable, cost...

Posted 21 days ago · More...

[View all 2 available locations →](#)

IOT Test engineer

LT Technology Services ★★★★☆ 3,951 reviews

Minnesota

You must create an Indeed account before continuing to the company website to apply

[Apply on company site](#)



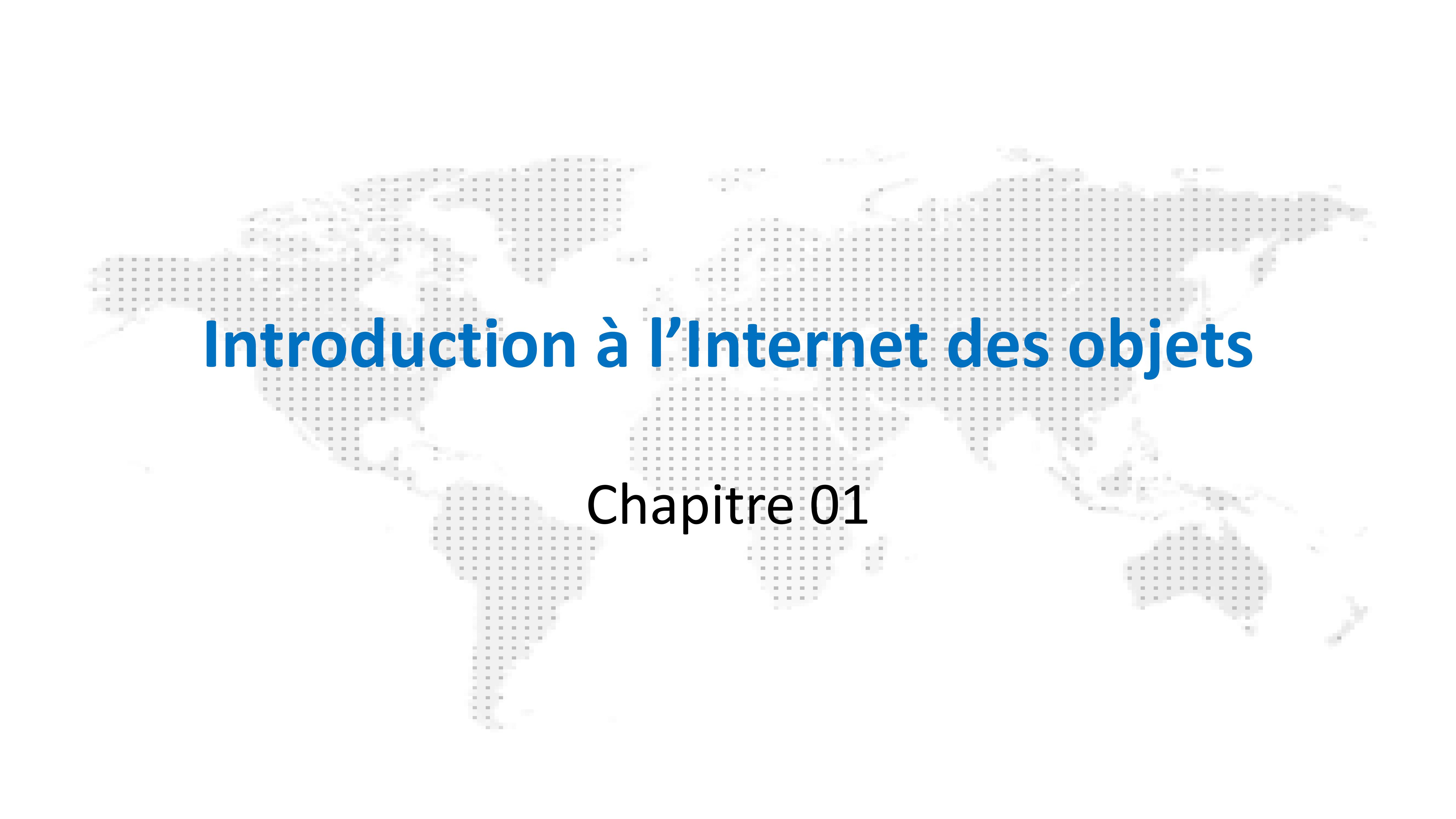
Application.

- Shall execute the system test cases, simulating the various system conditions using the HW-SW Test-jigs.
- Shall be familiar with DC- Power Supplies, Multimeters, Oscilloscopes, setting sensors, WiFi, and cellular modem devices.
- Shall be familiar with using the IOT reference boards and electronic modules.
- Experience working with Azure IOT services and Cloud Application testing.
- Shall be familiar with MQTT protocol and JSON files.
- Experience working with Embedded Linux and deploying embedded applications and scripts.
- Experience working with Embedded Linux and deploying embedded applications and scripts.
- Minimum 4 years of experience working on Embedded/IOT projects.
- Qualification: Bachelor in Engineering
- Location: Golden Valey, MN

Quiz :

Internet of Things est :

- A. Une technologie qui permet aux objets de se connecter et de communiquer les uns avec les autres.
- B. Un service hébergé en Cloud, qui permet aux objets d'interagir les uns avec les autres.
- C. Un réseau géant d'objets connectés, incluant des personnes et des animaux.
- D. Un environnement qui facilite la connexion de tout et de n'importe quoi sur la planète.
- E. Une opportunité commerciale qui tire profit de la connexion d'objets physiques à un monde numérique.



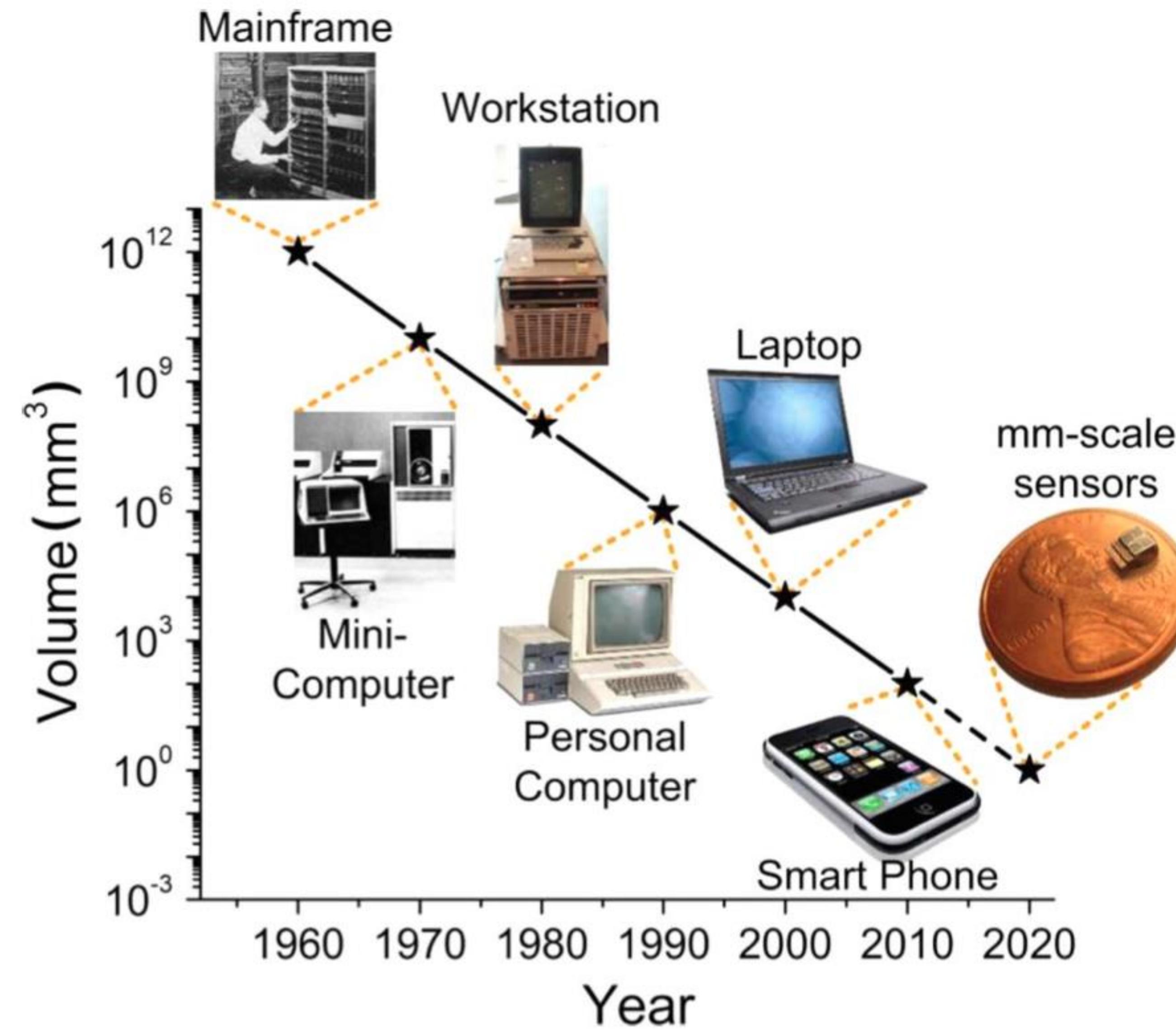
Introduction à l'Internet des objets

Chapitre 01

Plan

- **Introduction à l'Internet des Objets**
 - Concepts de base
 - Problématiques
- **Architecture IoT**
 - Architecture générale
 - Les systèmes d'exploitation adaptés à l'IoT
 - Sécurité et confidentialité des données
- **Réseaux et détections de proximité**
 - Technologies disponibles : wifi, Bluetooth, NFC, RFID...
 - Echanges avec Bluetooth et Wifi Direct.
 - Fonctionnement des systèmes RFID et NFC. Les QR codes.
 - Les possibilités offertes par les Smartphones.

Motivation : Miniaturisation

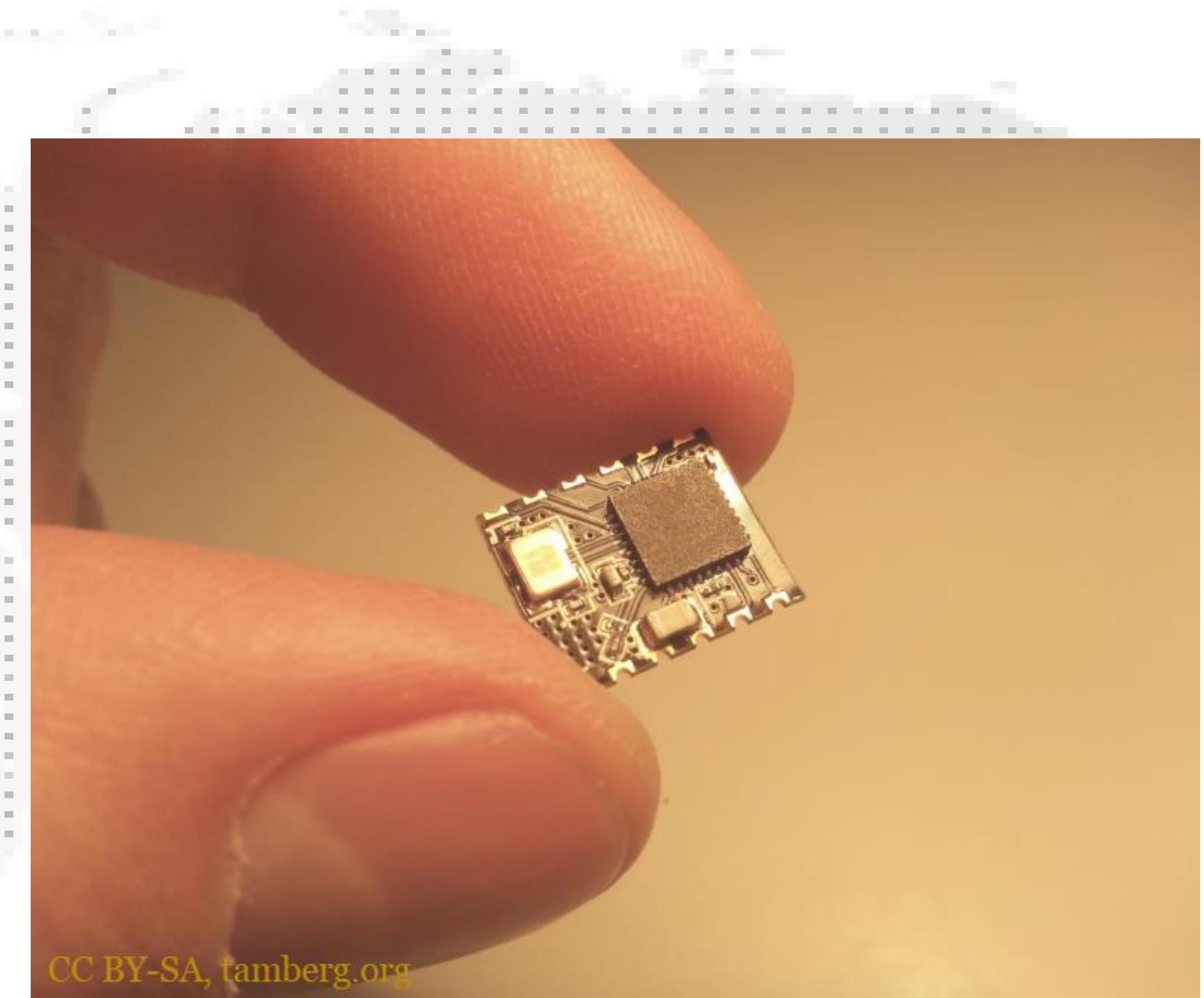
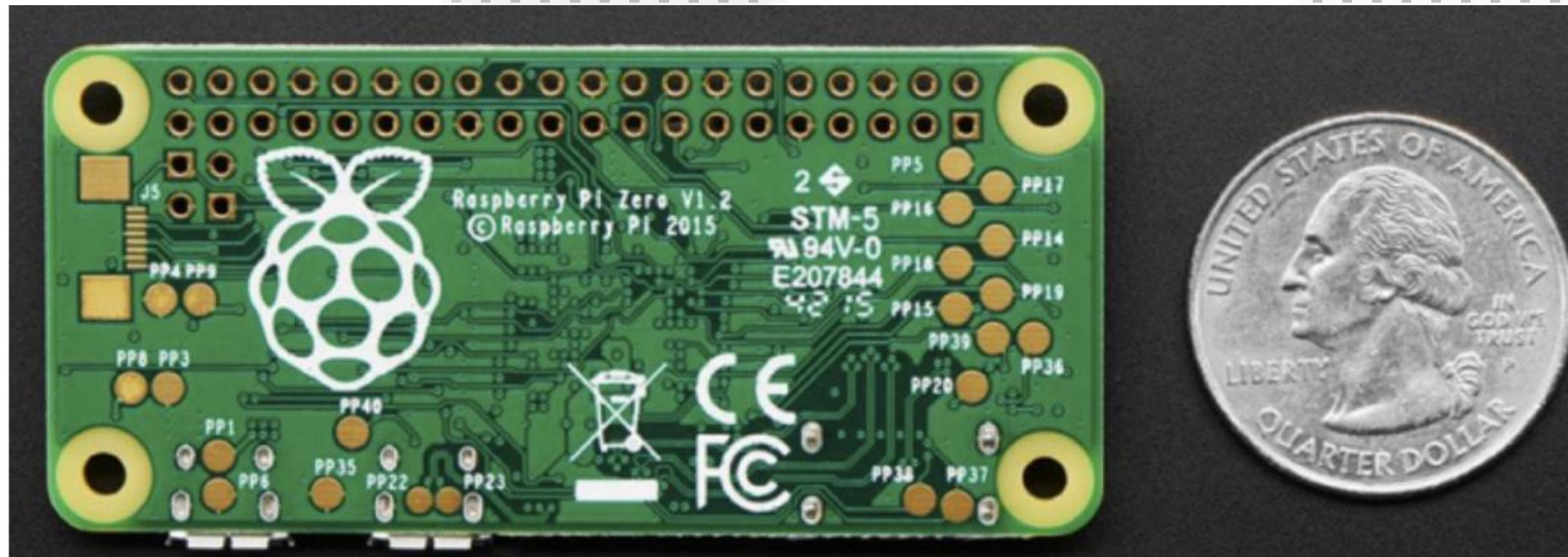


Source : <https://computerhistory.org/blog/the-worlds-smallest-computer/>

Motivation : Miniaturisation

- Miniaturization des composants électroniques

RPi zero : 5\$



CC BY-SA, tamberg.org

Motivation : Connectivité

| Mobile network evolution | | | | |
|--------------------------|------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Year | Generation | Maximum data speed** | Data transfer per second** | Time to download full HD movie*** |
| 1979 | 1G | none (voice only) | n/a | n/a |
| 1991 | 2G | 14.4 Kbps | 1.8K | Over a month |
| 2000 | 2.5G | 53.6 Kbps | 6.7K | Over a week |
| 2001 | 3G | 384 Kbps | 48K | Over a day |
| 2010 | 4G | 100 Mbps | 12.5MB | 7 minutes |
| 2020 | 5G | 1 Gbps | 125MB | 40 seconds |

* 1 exabyte = 1 billion gigabytes

** Theoretically possible

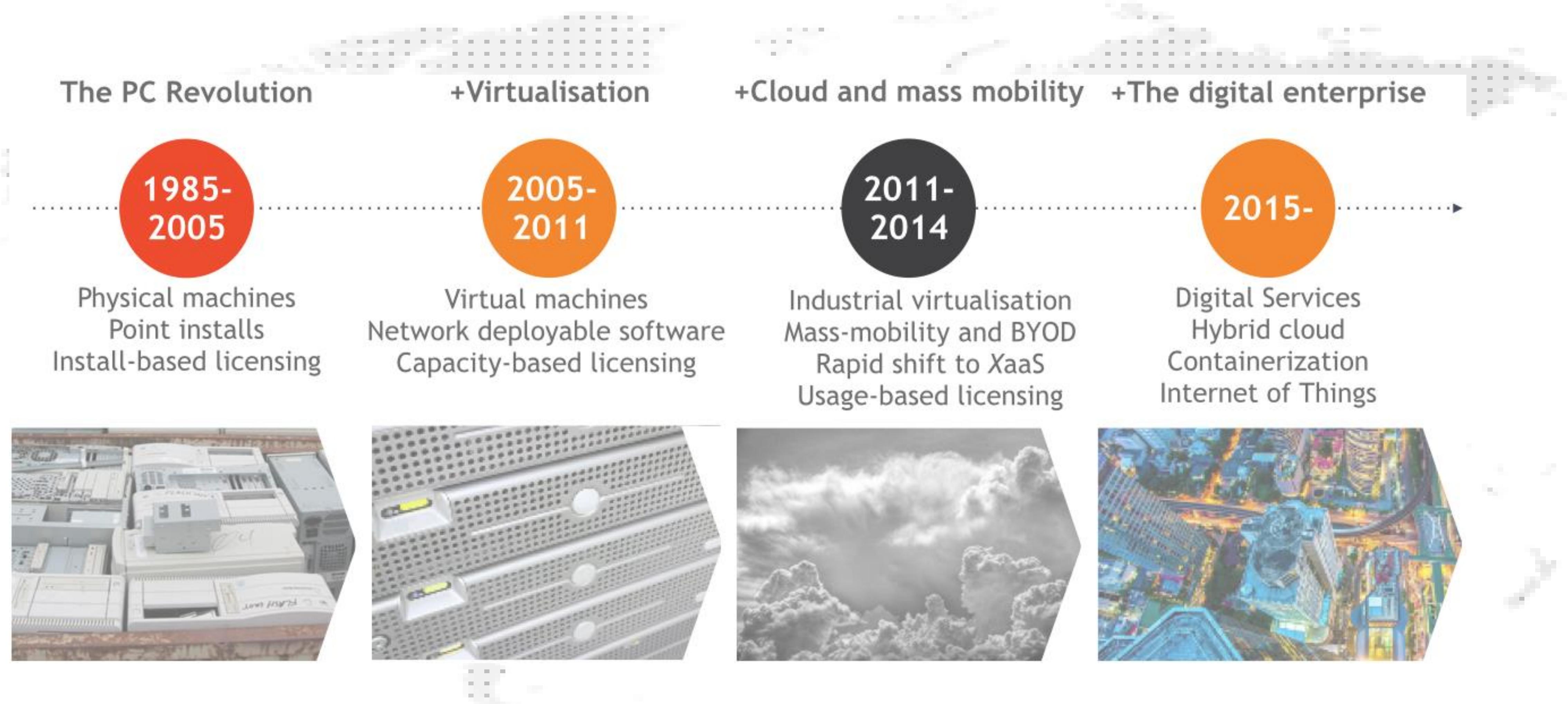
*** 5GB file size

With the first 5G-ready smartphones expected to be released in 2019, mobile phone operators are gearing up to test the new super-fast network

| Comparison | 4G | 5G | |
|--------------------|-----|----|-------------------------------------|
| Latency | 10 | 1 | millisecond(s) |
| Data traffic | 7.2 | 50 | exabytes/month* |
| Available spectrum | 3 | 30 | GHz |
| Connection density | 0.1 | 1 | million connections/km ² |

Source : [reddit.com](https://www.reddit.com)

Motivation : Traitement centralisé

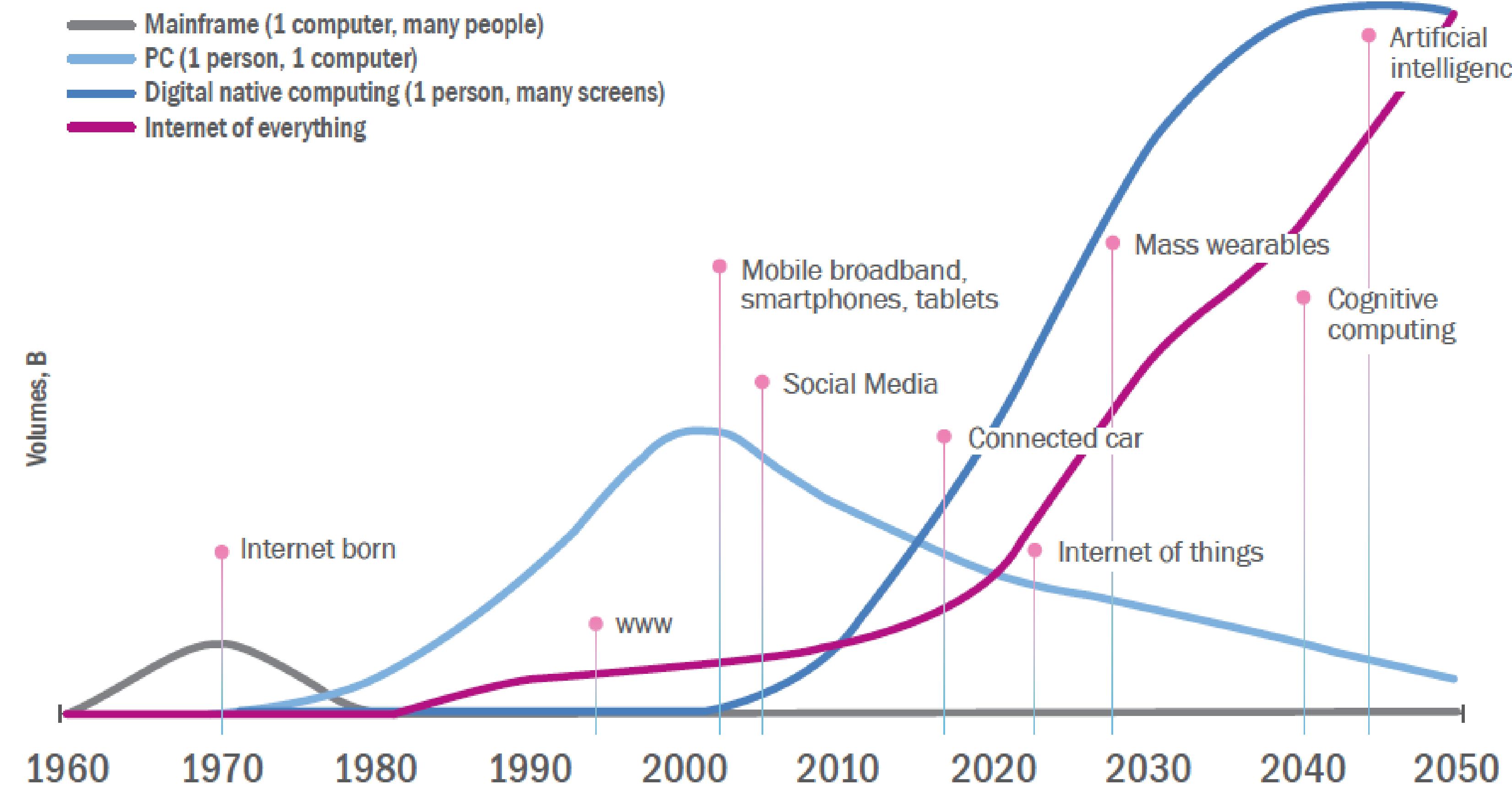


Resumé

- Connectivité omniprésente : diversité des solutions de connectivité sans fil, possibilité de connecter “tout”.
- Disponibilité et adoption généralisée de IP (Internet Protocol).
- Miniaturisation des composants électroniques.
- Progrès dans le domaine Cloud Computing : disponibilité des services qui permettent de bénéficier de capacités de calcul avec les objets physiques.
- Progrès dans le domaine Big Data : une multitude d’algorithmes sont disponibles pour collecter et analyser les données.

Future de la technologie

One to many to any: ICTs from happy few to the masses



Définition : Internet of Things

- **Internet** : est “un réseau mondial reliant des millions de périphériques matériels intégrés (ordinateurs, smartphones et tablettes) fournissant une grande variété d’informations et de moyens de communication, constitués de réseaux interconnectés utilisant des protocoles de communication normalisés”.
- **Objet (Thing)** : désigne tout **élément physique ou virtuel** (personnes, animaux et choses) qui peut être identifié de manière unique (son adresse **IP** par exemple) et qui peut **envoyer/recevoir** des données en se connectant à un réseau « Internet ». Exemple : bâtiments, véhicules, smartphone, animaux, caméra, etc.
- **Internet des objets (IdO)** : “(en anglais Internet of Things, ou IoT) est l’interconnexion entre Internet et des objets, des lieux et des environnements physiques.” Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet_des_objets

Internet of Things IoT

· **Définition 1 :** Le groupe de travail « Internet of Things Global Standards Initiative » (IoT-GSI), piloté par l'International Telecommunication Union (ITU), considère l'IoT comme :

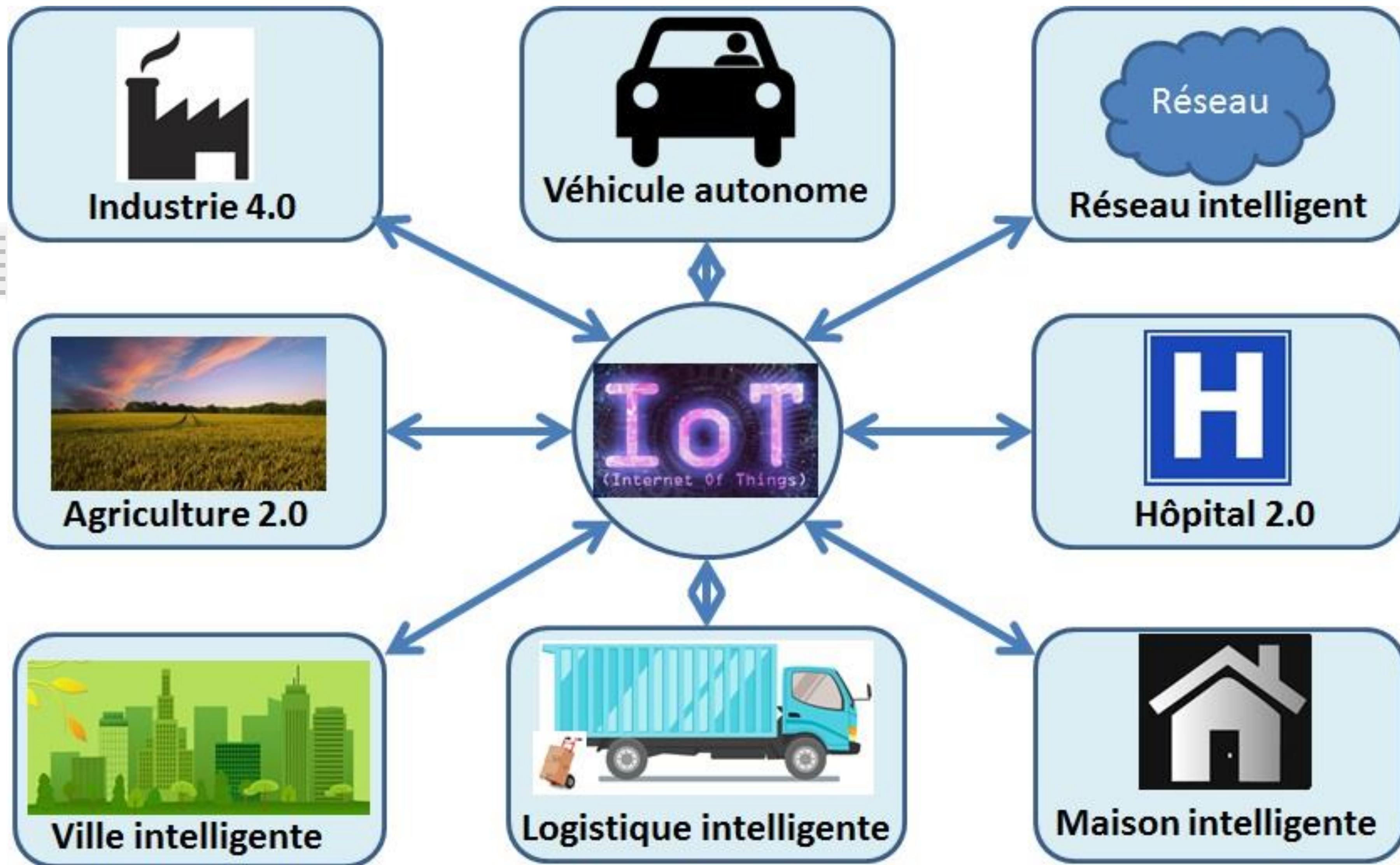
“ Infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets physiques ou virtuels grâce aux technologies de l'information et de la communication (TIC) interopérables existantes ou en évolution” -
Recommandation ITU-T Y.2060



Internet of Things IoT

- Définition 2 : L'IEEE définit l'IoT comme un « réseau d'éléments muni de capteurs qui sont connectés à Internet ».
- L'IoT-GSI définit également un objet connecté comme un équipement possédant les sept attributs suivants :
 - Capteurs
 - Connectivité à Internet
 - Processeurs
 - Efficacité énergétique
 - Coût optimisé
 - Fiabilité
 - Sécurité





Objet connecté

- . Selon l'ITU, un objet connecté est un équipement doté de capacités de communication obligatoires et de capacités optionnelles de détection, d'actionnement, de capture, de stockage et de traitement de données.

Device — ITU definition “A device is a piece of equipment with the mandatory capabilities of communication and optional capabilities of sensing, actuation, data capture, data storage and data processing. Some devices also execute operations based on information received from the information and communication networks.” — Recommendation ITU-T Y.2060

Objet connecté intelligent

- L'objet est non seulement connecté mais, en plus, il va être équipé de logiciels capables de produire de l'information construite, et non pas uniquement de la donnée élémentaire (de la raw data, en anglais).
- C'est une définition spécifique de l'intelligence qui renvoie à la notion d'intelligence artificielle. Il ne s'agit pas d'une intelligence au sens global, mais de la capacité de l'objet connecté à effectuer certaines tâches spécifiques, comme analyser ou traiter des données.

Objet connecté autonome

- possède toutes les caractéristiques de l'objet connecté et intelligent. Il peut de surcroît effectuer des tâches plus avancées, comme analyser son environnement. Sur la base de l'analyse de son environnement, l'objet prend lui-même un certain nombre de décisions et agit.
- C'est à partir de ce stade que l'objet devient autonome.

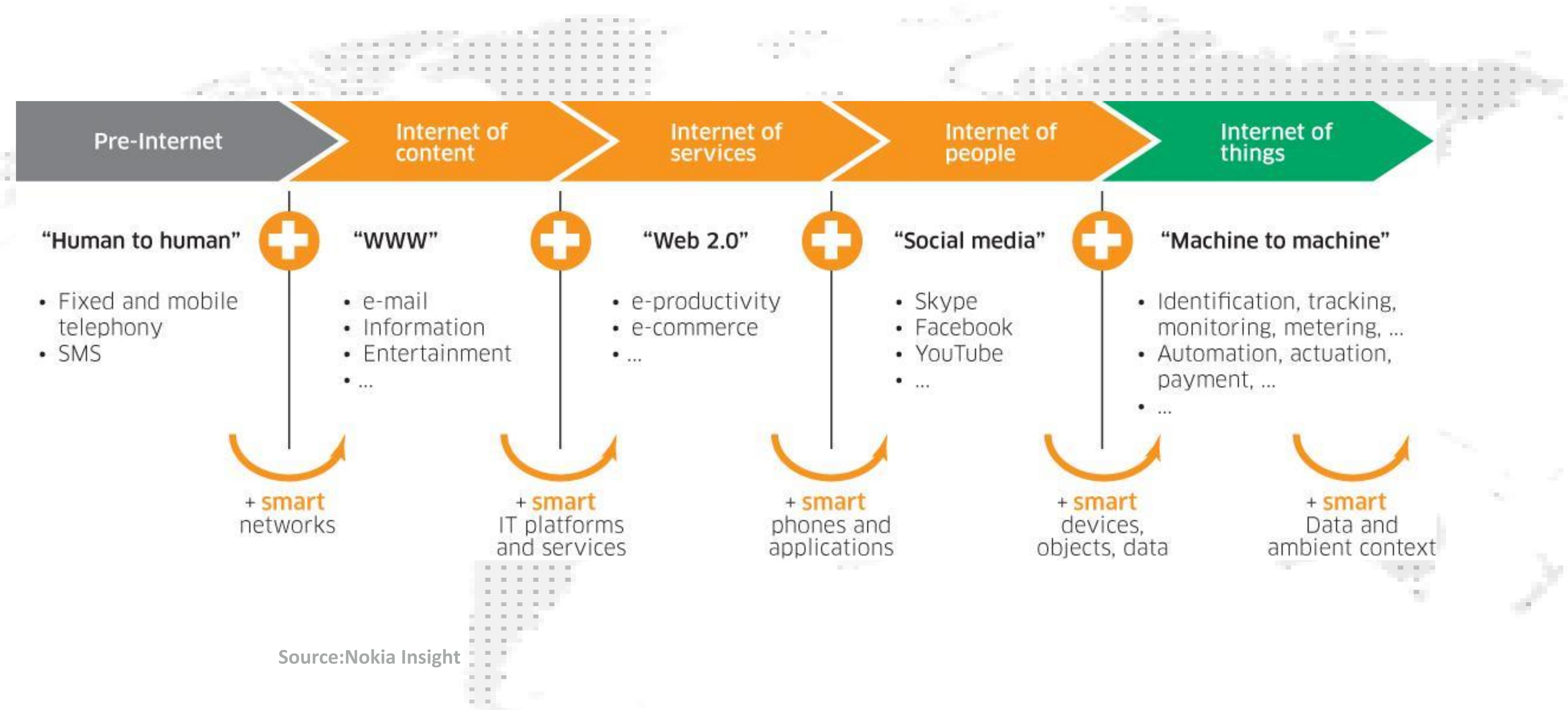
- **l'objet connecté**, c'est-à-dire à qui on peut envoyer un certain nombre d'éléments ou d'informations, mais qui est relativement passif ;
- **l'objet connecté et intelligent**, capable d'analyser des données et de fournir de l'information construite ;
- **l'objet autonome**. stade ultime de l'IoT, objet qui est intelligent et qui peut prendre des décisions et agir de façon adaptée selon la situation.



Caractéristiques d'un objet connecté

- **Identité unique** : chaque objet connecté possède une identité unique.
- **Dynamique & Auto-adaptatif** : les objets connectés peuvent avoir la capacité de s'adapter aux changements de contexte et prendre des décisions basées sur les conditions de fonctionnement. Exemple : changement automatique de résolution de caméra de surveillance lors de détection de mouvement.
- **Auto-configuration** : les objets connectés peuvent avoir des capacités d'auto-configuration pour permettre à un nombre large d'objets de fonctionner ensemble afin de fournir un service. Ces objets ont la capacité d'établissement de réseau, de mise à jour software, etc.
- **Interopérabilité** : les objets connectés sont des objets hétérogènes basés sur des plateformes matérielles différentes et peuvent supporter un nombre de protocoles de communication et communiquer ensemble et avec l'infrastructure.

Un peu d'Histoire



Un peu d'Histoire

History of IoT (not new!)

"Machine to Machine" (M2M)
(~1970s +)



Internet of Things Beginnings



Carnegie Mellon Internet
Coke Machine (1982, 1990)



Trojan Room Coffee
Pot
(first webcam)
(1991)



Internet Toaster
(1990)



Un peu d'Histoire

Kevin Ashton

- Le premier qui a utilisé le terme “ Internet of Things” en 1999 pour décrire les micro-puces d’identification par radiofréquence (RFID).
- Selon le groupe Cisco Internet Business Solutions (IBSG), l’Internet des objets est né entre 2008 et 2009, au moment où plus de «chose ou d’objets» étaient connectés à Internet que de personnes.



IoT et Internet of Everything IoE

Networked Connection of People, Process, Data, and **Things**

People

Connecting People in More Relevant, Valuable Ways



Process

Delivering the Right Information to the Right Person (or Machine) at the Right Time



Data

Leveraging Data into More Useful Information for Decision Making



Things

Physical Devices and Objects Connected to the Internet and to Each Other for Intelligent Decision Making



Source : The Internet of Everything | Plutomen Technologies

M2M Versus IoT Versus IoE

M2M

- Un périphérique qui capture un événement et le transmet sur le réseau à une application. L'application traduit l'événement en informations significatives.

IoT

- Un réseau d'éléments identifiables de manière unique qui communiquent sans interaction humaine à l'aide de la connectivité IP.

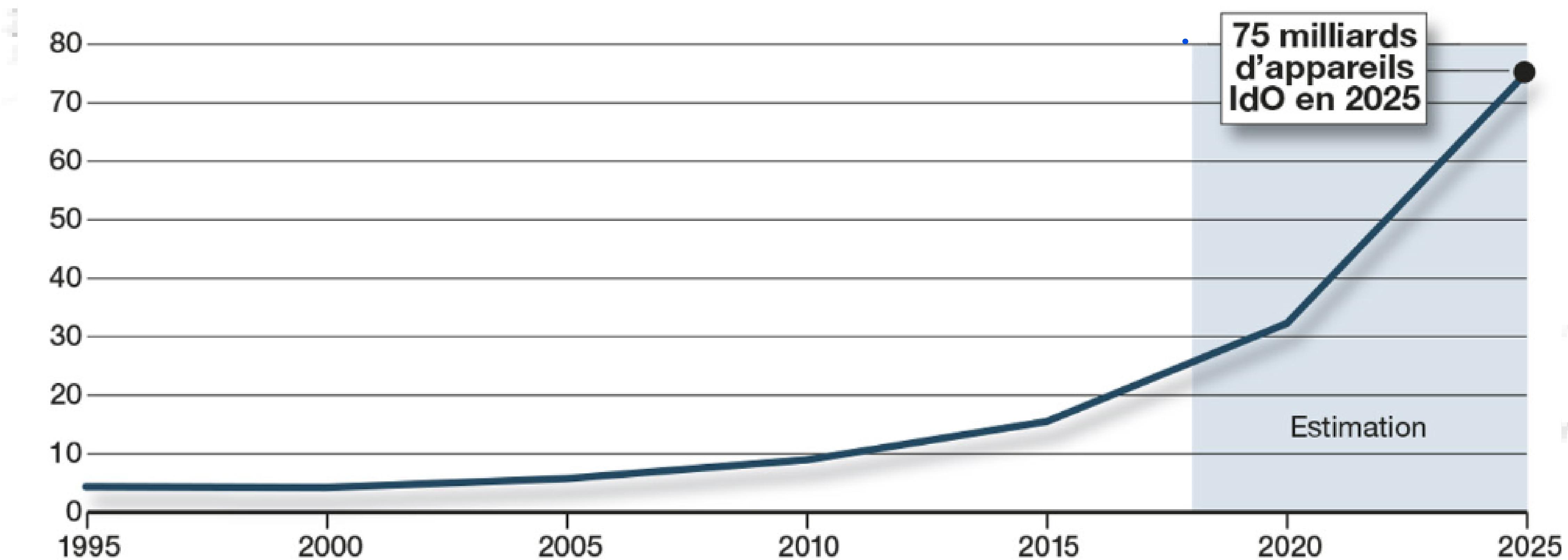
IoE

- Rassemble non seulement l'Internet des Objets mais également les processus, les données et les personnes (via smartphones et réseaux sociaux).

Internet of Things : Prédictions

Croissance exponentielle des appareils connectés

Le monde comptera 75 milliards d'appareils connectés d'ici 2025.



Internet of Things : Effets de l'IoT

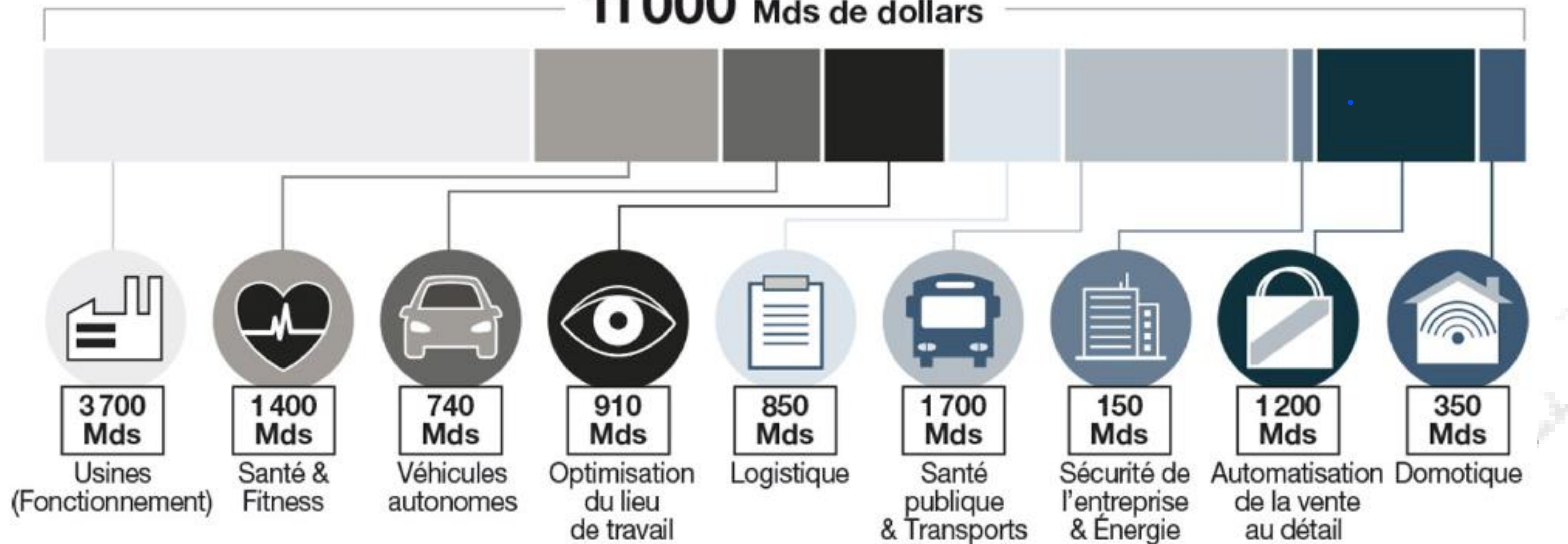
| | |
|-----------|---|
| Personnes | <p>Un plus grand nombre des objets peuvent être surveillées et contrôlées, de sorte que les personnes deviennent plus efficaces.</p> |
| Processus | <p>Plus d'utilisateurs et de machines peuvent collaborer en temps réel, ce qui permet d'accomplir des tâches plus complexes en moins de temps.</p> |
| Données | <p>Recueillir les données plus fréquemment et de manière plus fiable, ce qui permet une analyse et une prise de décision plus précises.</p> <ul style="list-style-type: none">• |
| Objets | <p>«Les objets» deviennent plus contrôlables, donc, les appareils mobiles et les «objets» ont plus de valeur.</p> |

Internet of Things : Impact Economique

Valeur créée par l'IIdO par secteur d'activité en 2025

L'IIdO devrait créer jusqu'à 11 000 milliards de dollars de valeur commerciale en 2025.

11 000 Mds de dollars



Internet of Things : Big Data et IoT Data

| Données Traditionnelles | Big Data | IoT Data |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">Personne, transactions, ObjetsStructuréesCents, mille de flux de données par jourVariablesClients, transactions, informations produits, données business | <ul style="list-style-type: none">Actions, observations, évènementMulti-structuréesMillion, milliard de flux de données par jourCloud connectedApp log, Web log, clickstream, event log, données mobile | <ul style="list-style-type: none">Actions, observations, évènement, interactionsMulti-structuréesMilliard de flux de données par jourAccès à distance et mobilitéLog des capteurs, mobile data, event log, operational data |

Internet of Things : Scenario d'un monde IoT

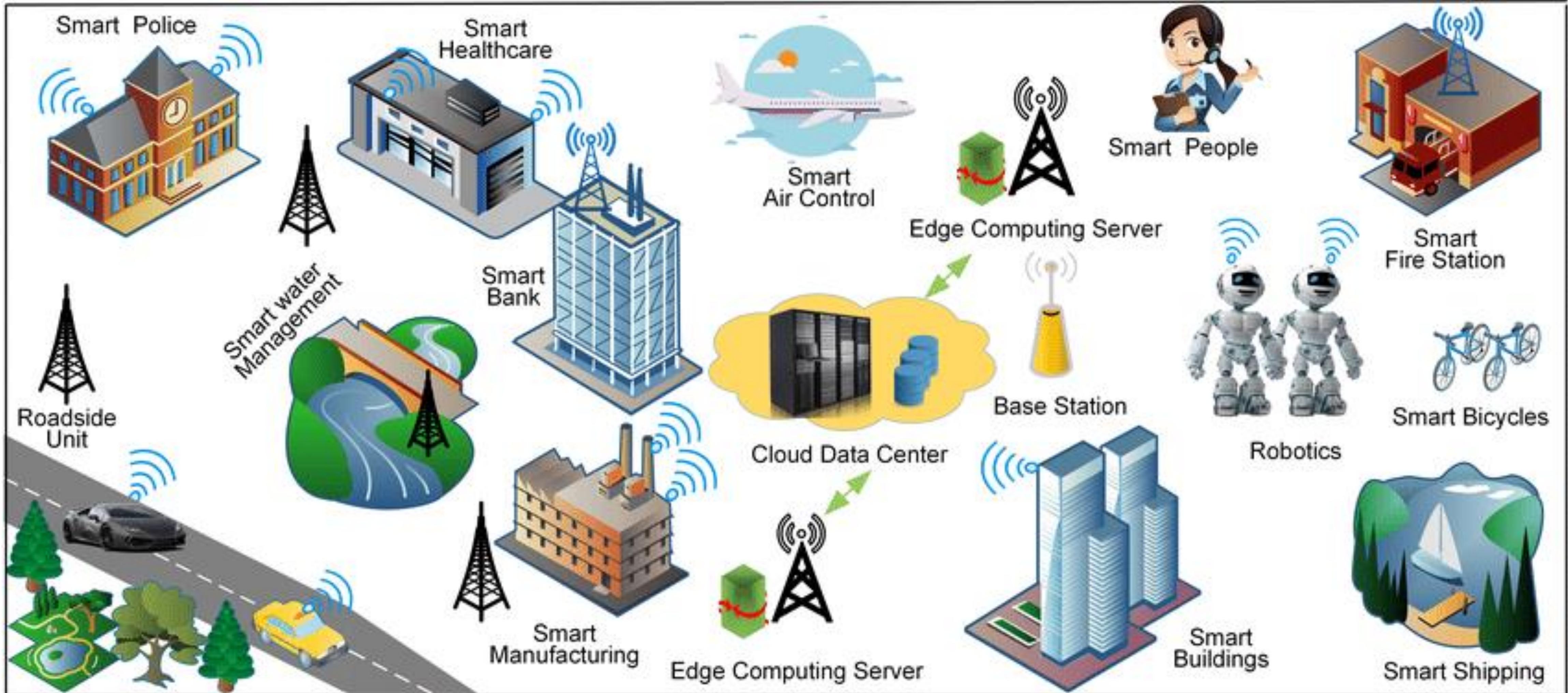
- Supposons que votre journée commence comme suit :

| | |
|------|---|
| 6:30 | Alarme |
| 7:30 | Quitter pour le bureau (1h 15mn trajet) |
| 8:45 | Arrivée au travail |
| 9:00 | Commencer le travail |

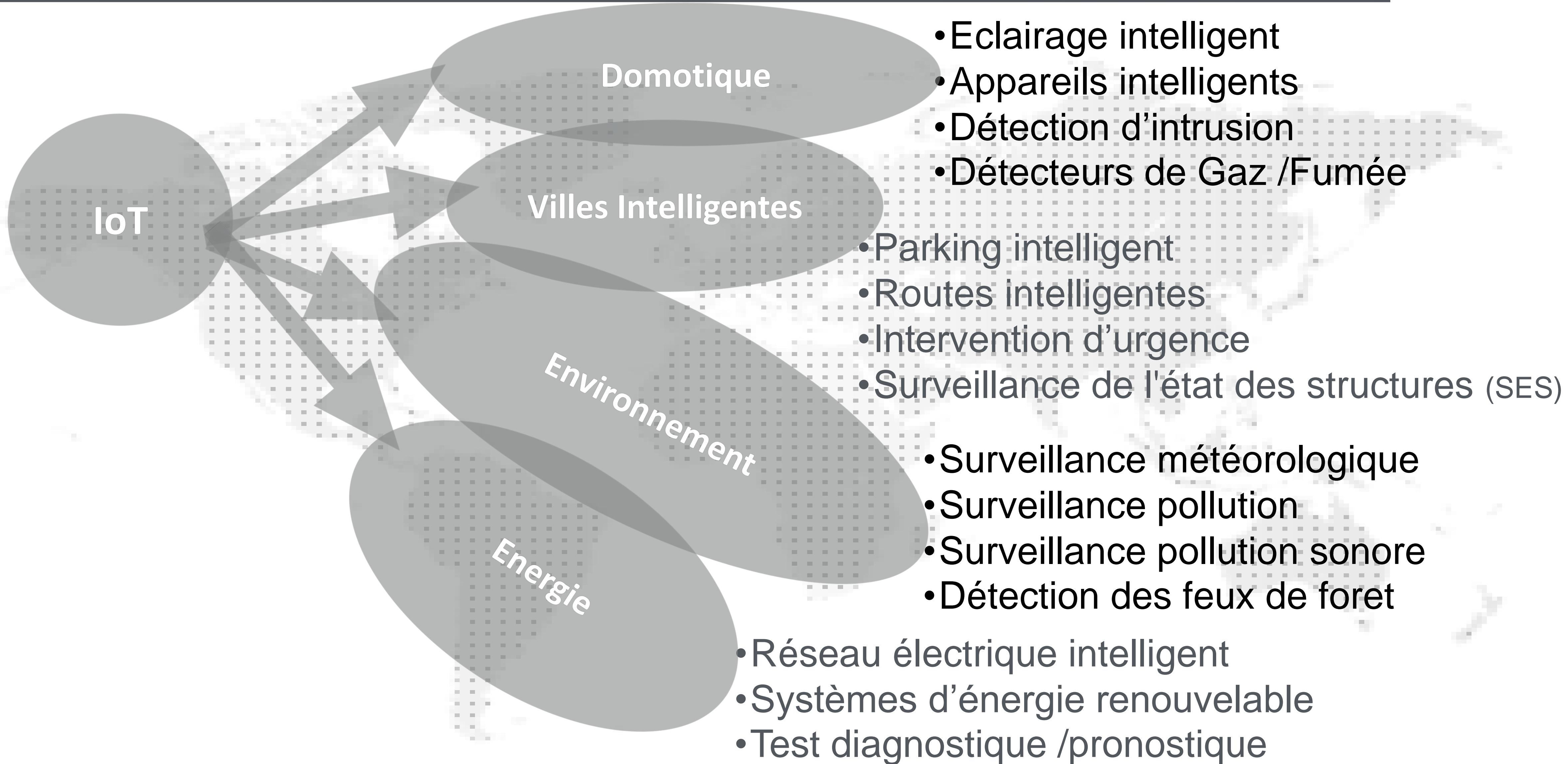
Internet of Things : Scenario d'un monde IoT

| Monde non IoT | | Monde avec IoT | |
|---------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| | - | 5:30 | Alarme |
| 6:30 | Alarme | 6:30 | Quitter pour le bureau |
| 7:30 | Quitter pour le bureau | | (1h 15mn trajet) + retard 1h |
| | (1h 15mn trajet) + retard 1h | 8:45 | Arrivée au travail |
| 9h45 | Arrivée au travail | 9:00 | Commencer le travail |
| 10h00 | Commencer le travail | | |

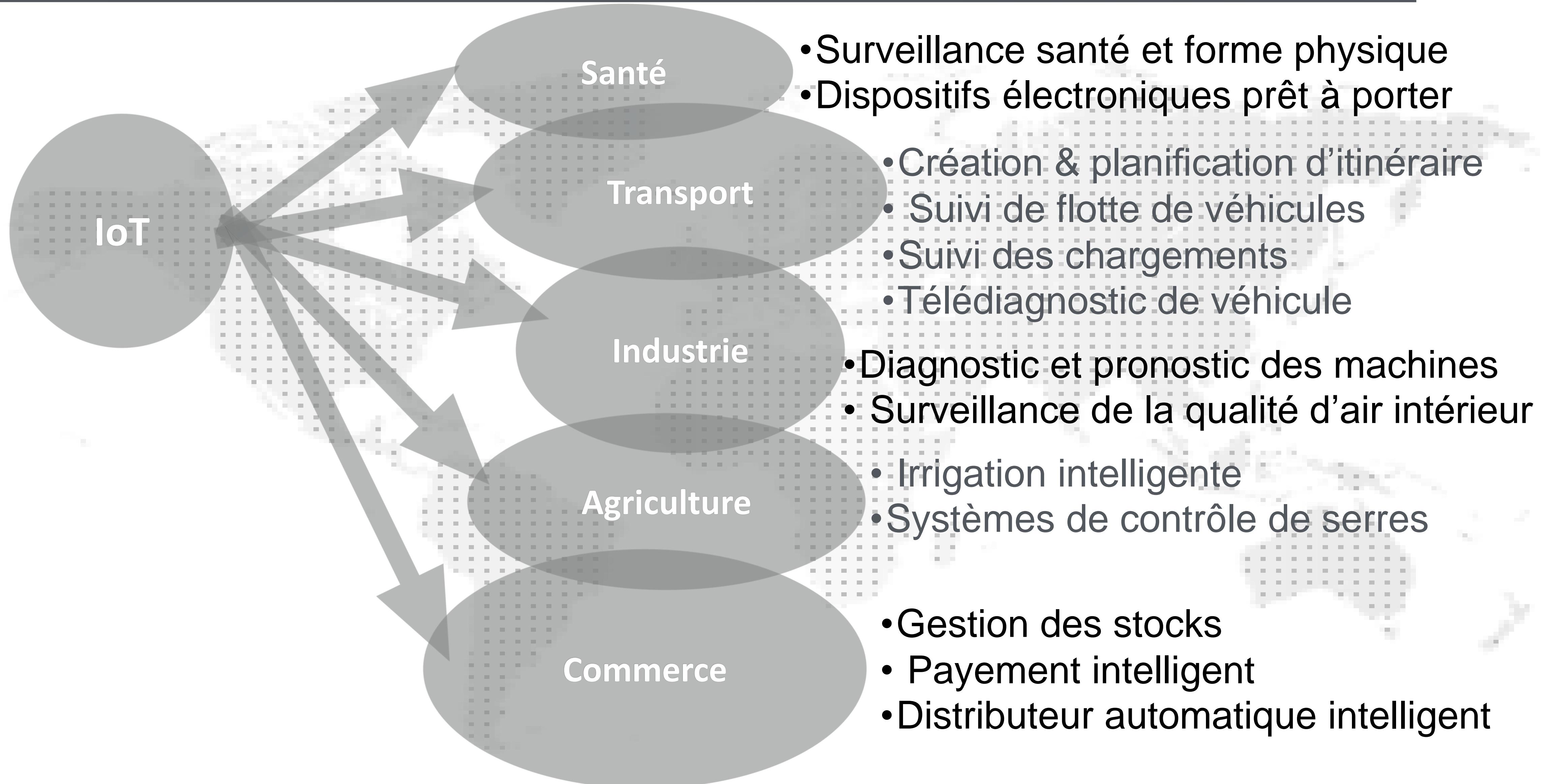
Internet of Things : Domaines d'applications



Internet of Things : Domaines d'applications



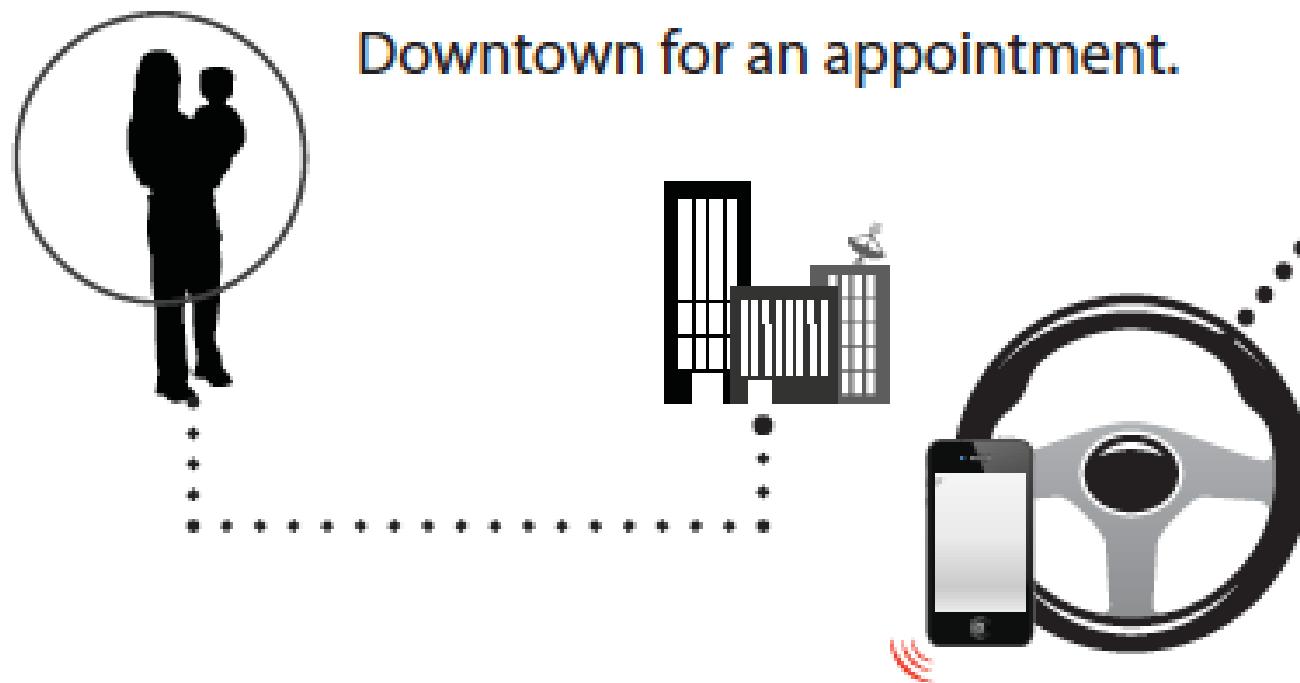
Internet of Things : Domaines d'applications



Exemples d'applications IoT

TRANSPORTATION + SMART CITIES

Sofia and her son Luis are on their way Downtown for an appointment.



Wireless sensors embedded in the parking lot help direct the car to an open spot in the city while also initiating the parking fee.

Using the car's parking details the vehicle schedules a mobile mechanic to change the oil while the two are away for the afternoon.



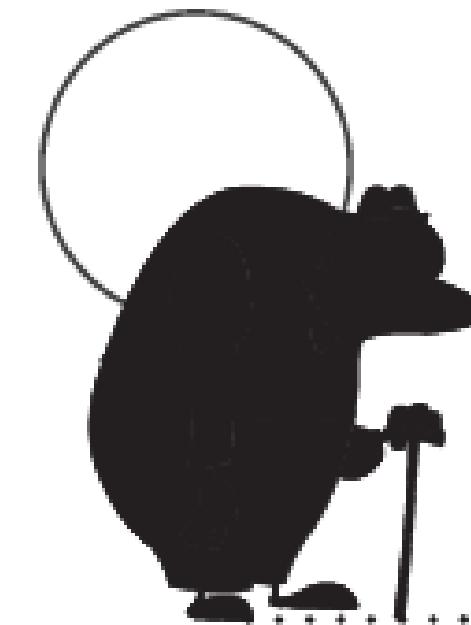
In Downtown San Francisco 20-30% of all traffic congestion is caused by people hunting for a parking spot.

- San Francisco Municipal Transportation Agency (SFMTA)

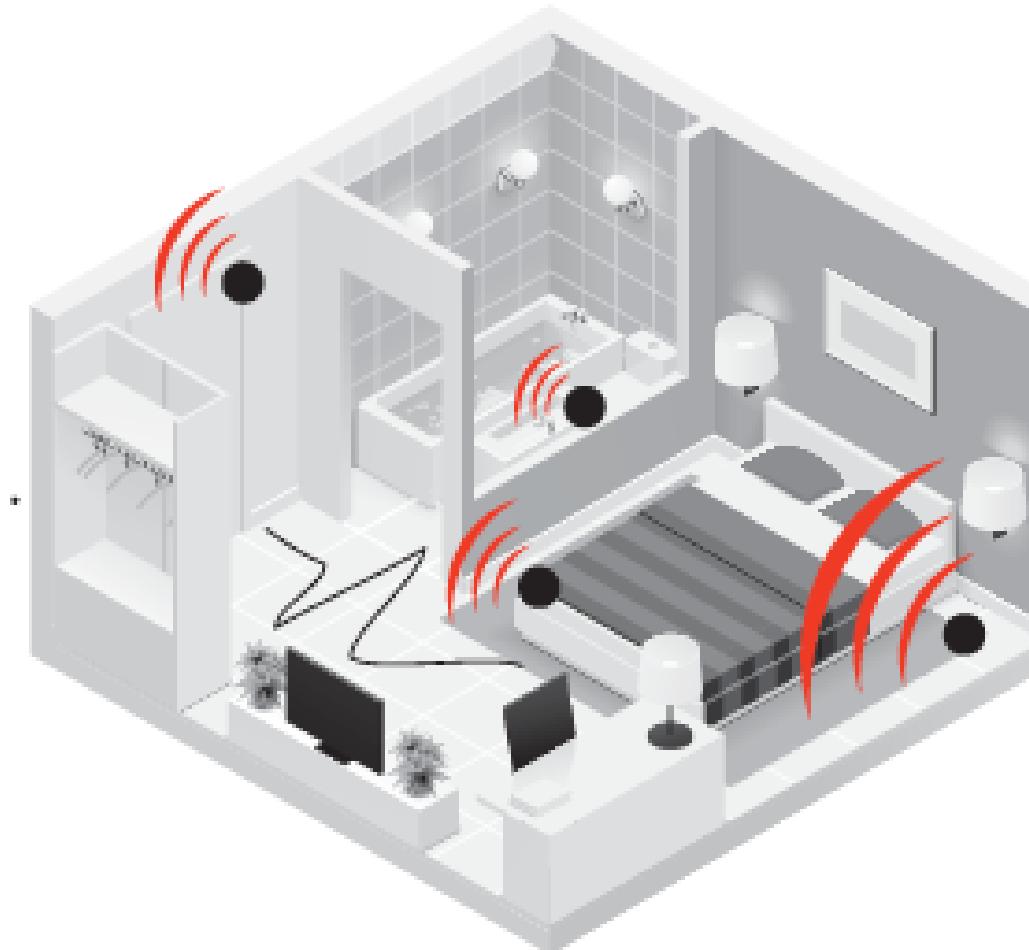
Source: <https://www.postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic/>

Exemples d'applications IoT

HEALTHCARE + SMART HOME



Aging uncle Earl is still living isolated at his home and you are concerned about his safety.



Wireless sensors throughout his house help measure healthy activity levels, sleeping patterns and medication schedules.

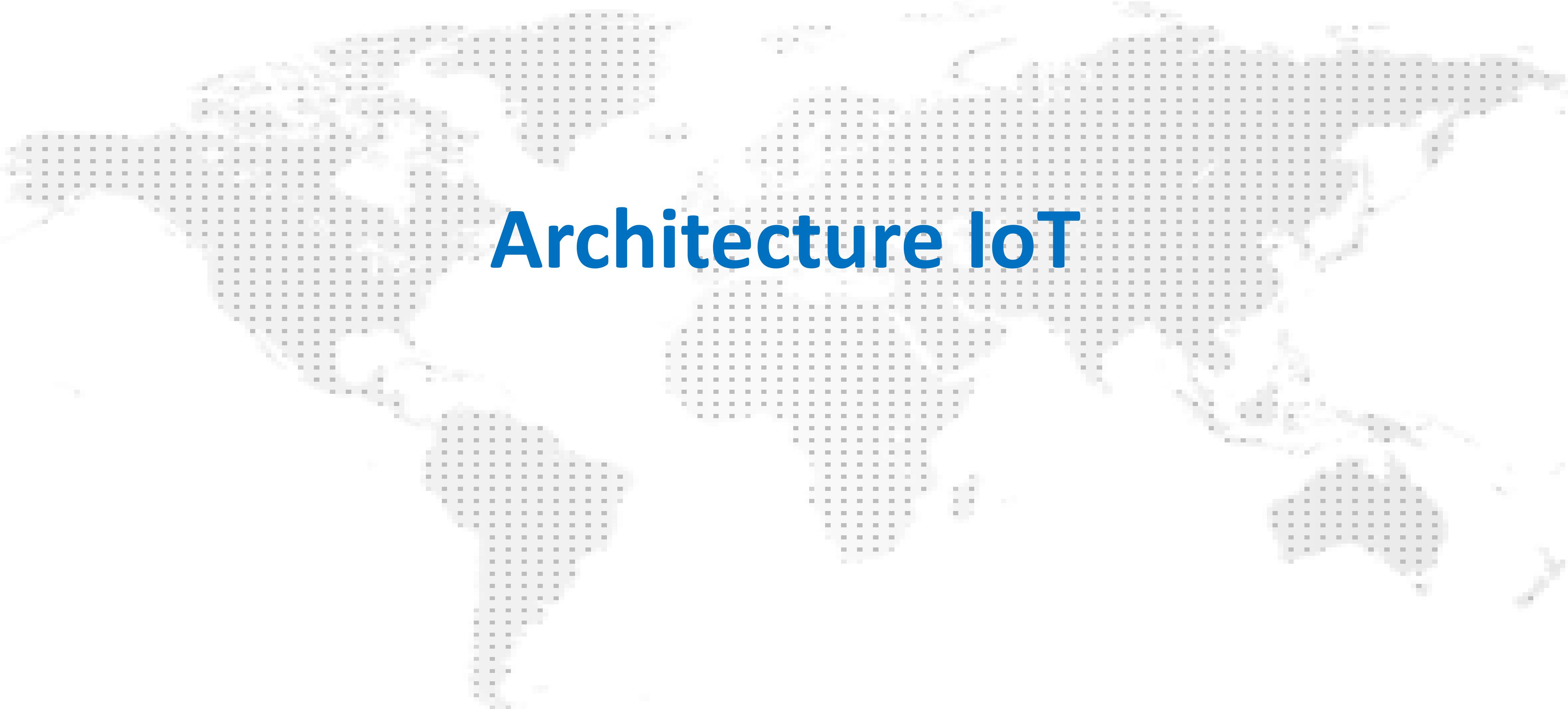


Alerts are automatically sent to health care services and authorized family members if any abnormal activity is detected.

40 million adults age 65 and over will be living alone in the U.S, Canada and Europe.

- U.S. Department of Health and Human Services: Administration for Community Living (ACL)

Source: <https://www.postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic/>



Architecture IoT

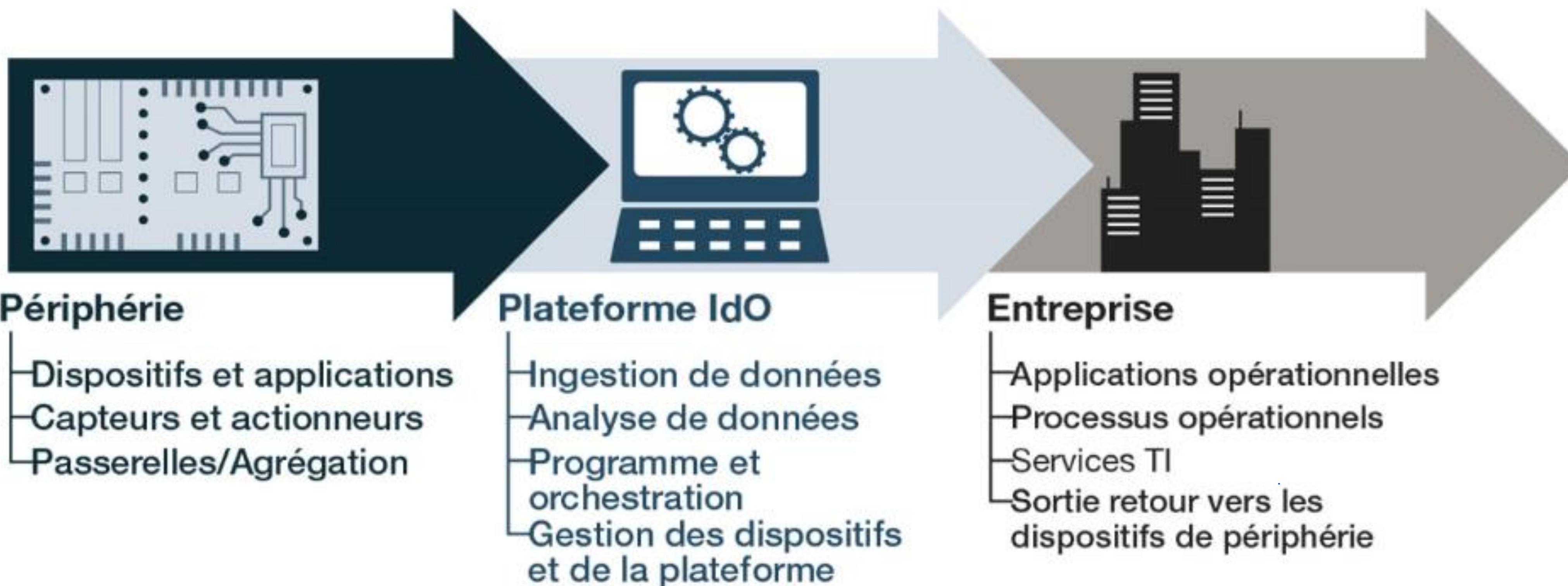
Plan

- **Architecture IoT**
 - Architecture générale
 - Les systèmes d'exploitation adaptés à l'IoT
 - Sécurité et confidentialité des données

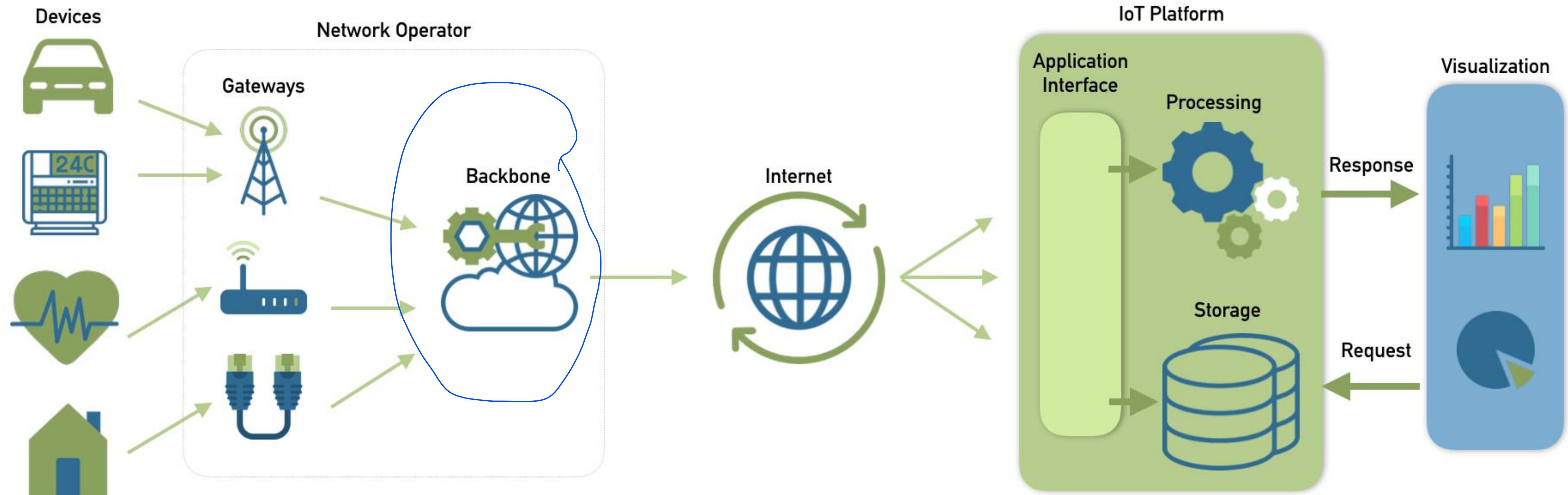
Ecosystème IoT

La technologie IdO : connecter la périphérie à l'entreprise

Pour tirer parti de l'Internet des objets, il faut une nouvelle solution technologique qui fasse le lien entre les appareils de la périphérie, une plateforme IdO et l'entreprise.



Ecosystème IoT



Source: <https://blog.engineering.publicissapient.fr/2018/04/16/internet-des-objets-quels-protocoles-applicatifs-utiliser-1-2/>

Technologies clés génériques

L'IoT fonctionne avec le support de plusieurs technologies tels que les réseaux de capteurs sans fil, le Cloud Computing, les analyses Big Data, les protocoles de communication, les services web, etc.

1. Les réseaux de capteurs sans fil RCSF (Wireless Sensor Network, WSN)

Un RCSF se compose d'un nombre de Noeuds-Capteurs qui ont des fonctionnalités de capturer et traiter/transmettre les données.

2. Cloud Computing

Le cloud fournit un espace de stockage de données IoT et offre des services de visualisation, analyse et archivage des données.

3. Big Data

Big Data offre des outils d'analyse avancées pour les données massives collectées par les objets IoT selon leurs caractéristiques : volume, vitesse, variabilité (forme de données : texte, audio, video, image).

Technologies clés génériques

4. Les protocoles de communication

Les protocoles de communication sont indispensables pour assurer la connectivité entre objets et applications. Les protocoles de communication définissent le format des données, taille paquets, adressage, routage, etc.

5. Les systèmes embarqués

Les objets connectés sont formés essentiellement des cartes à microcontrôleur intégrant un microprocesseur, une mémoire et des ports d'E/S pour la connexion des capteurs.

Challenges IoT

- **Disponibilité et fiabilité** : la méthode de collecte et de transmission des informations influence fortement la qualité des données fournies.
- **Interopérabilité** : l'hétérogénéité et la diversité des environnements logiciels et matériels des objets.
- **Sécurité et confidentialité** : nécessité de sécuriser et cloisonner les données échangées.
- **Evolutivité et passage à l'échelle (Scalabilité)** : trouver des solutions flexibles pour le passage à l'échelle dans un scénario d'objets dispersés et nombreux.

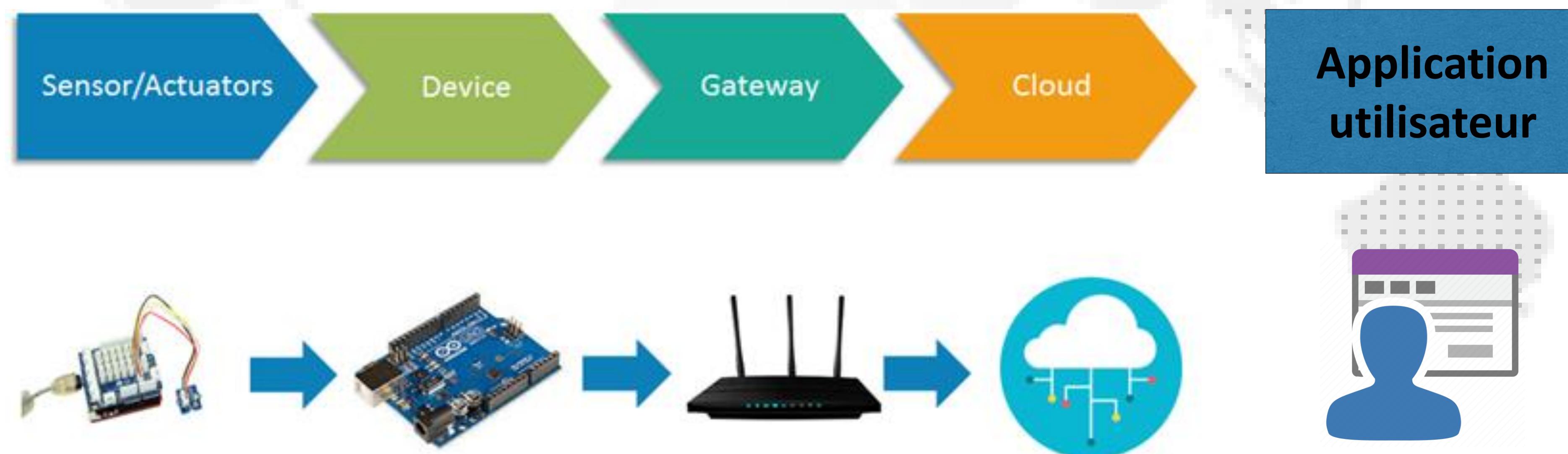
Architectures IoT

L'infrastructure d'une solution connectée peut être perçue comme l'ensemble de ressources nécessaires au fonctionnement du service associé à l'objet connecté. Elle comprend en général :

- Objet connecté (Embarqué, software),
- Interface de communication courte ou longue distance (PAN, LAN, WAN),
- Passerelle de communication,
- Service d'appui (Cloud, BigData ...),
- Application dédiée pour l'utilisateur (dashboard, App. Mobile, Web ...).

Architectures IoT

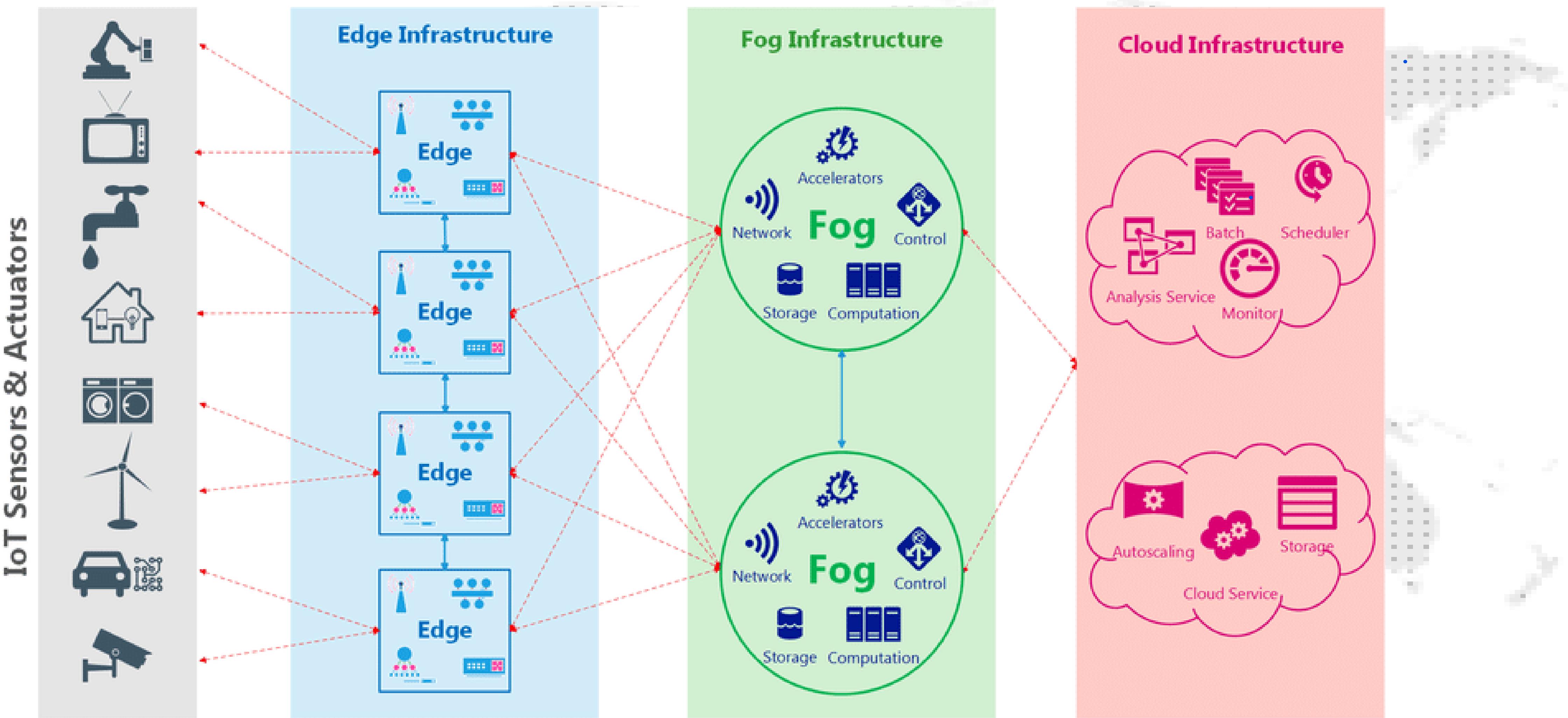
- L'architecture d'une solution IoT varie d'un système à l'autre en se basant sur le type de la solution à mettre en place.
- Généralement, une solution IoT est formée des composants suivants :
 - Capteurs, Actionneurs / Objet (**Module-capteur**)
 - Gateway (Passerelle)
 - Cloud (Informatique en nuage)



Source : javapoint.com

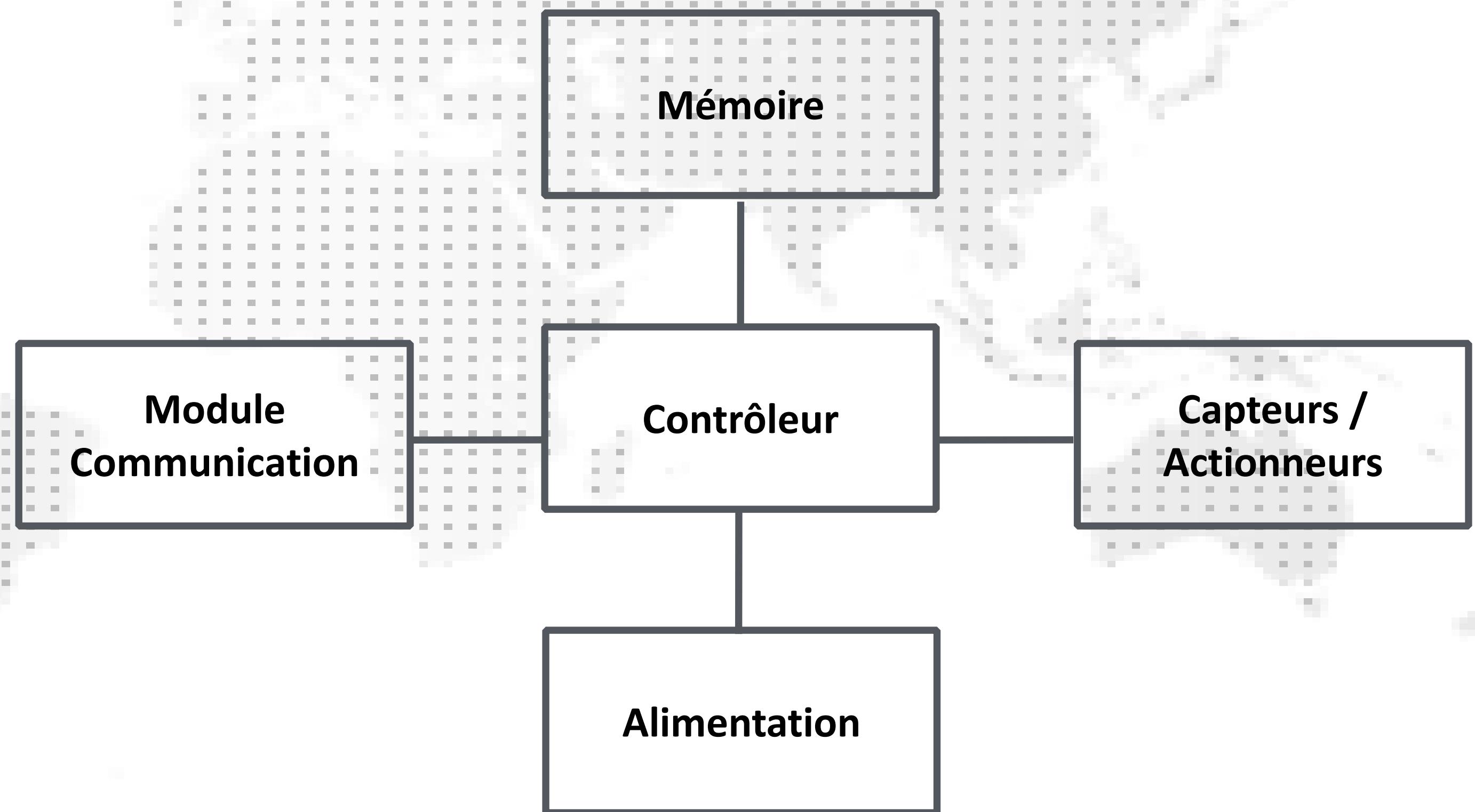
Architectures IoT

- L'architecture d'une solution IoT comprend quatre niveaux (Stages).



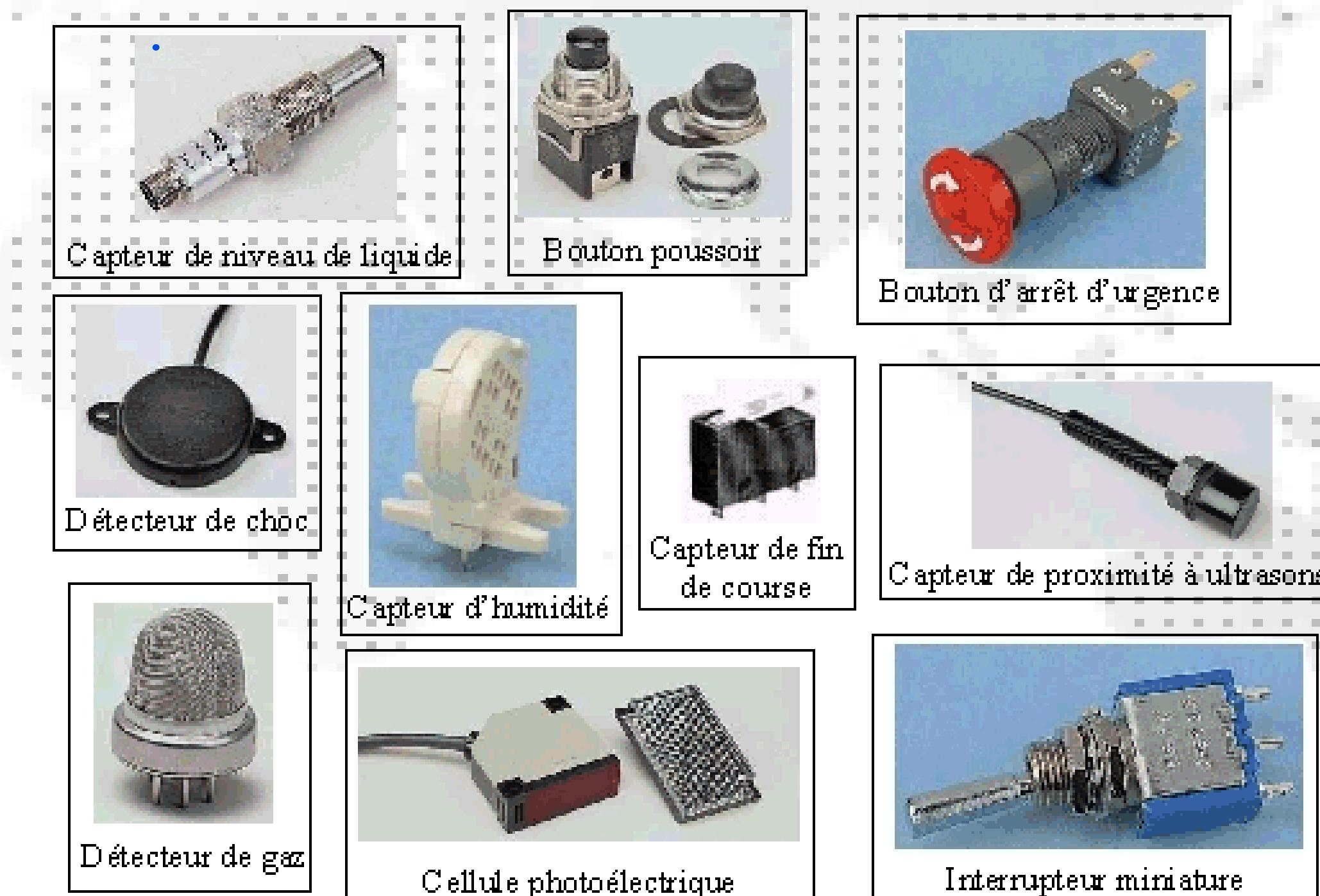
Niveau 1 : Noeud-Capteur

- Unité de détection : Capteurs / Actionneurs
- Unité de traitement : Contrôleur
- Unité de communication : Module RF
- Alimentation



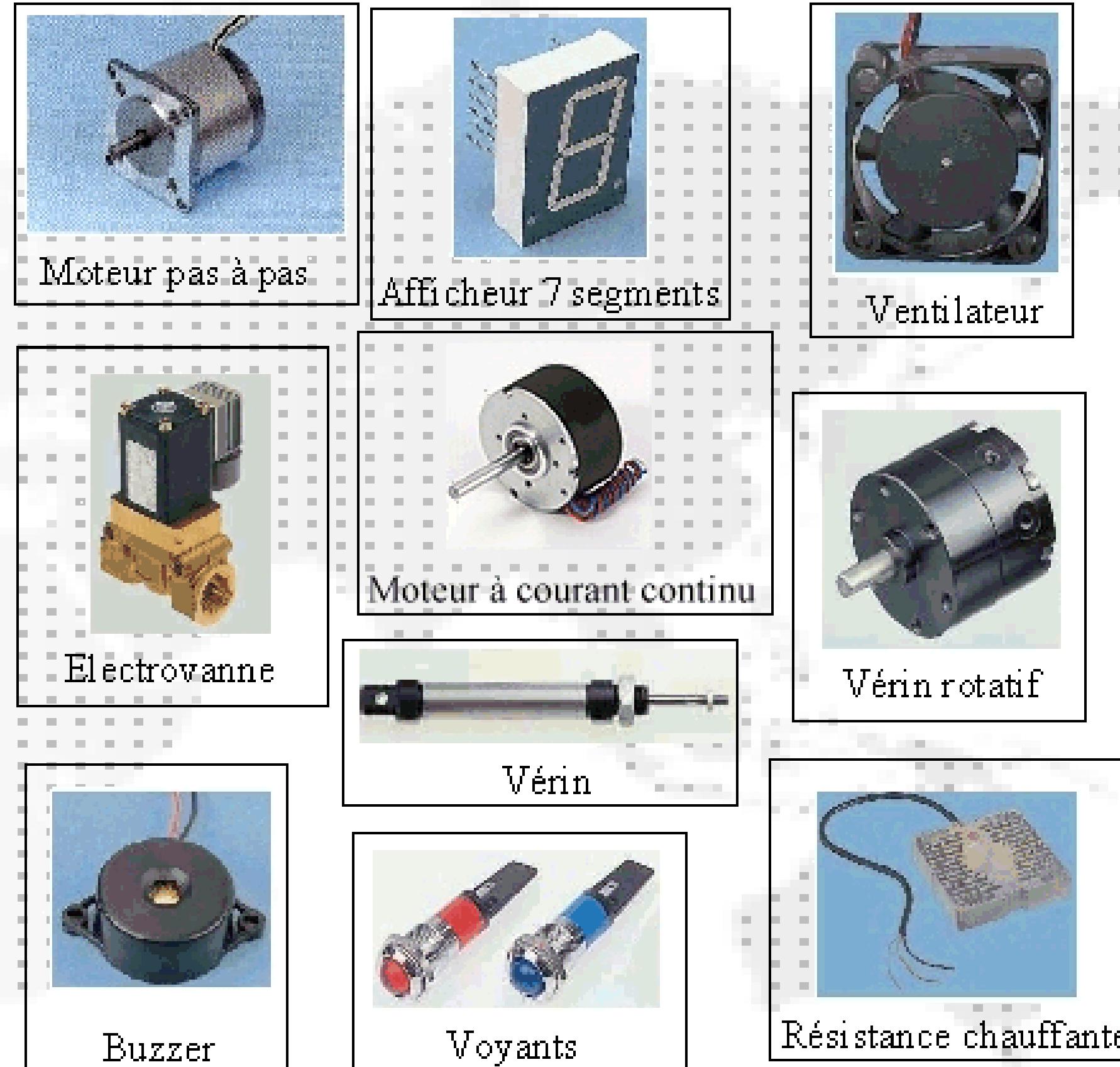
Niveau 1 : Noeud-Capteur

- **Capteur** : 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 signaux produits par un capteur sont traités par un micro-contrôleur pour l'interprétation, l'analyse et la prise de décision.
- Exemple : Microphones qui convertissent les ondes sonores (acoustiques) en signaux électriques.



Niveau 1 : Noeud-Capteur

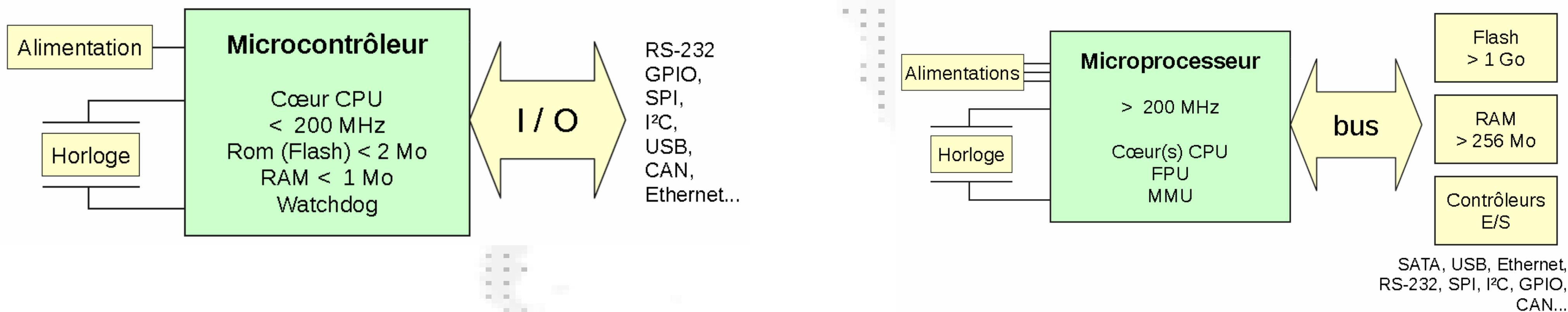
- Actionneur : une technologie complémentaire aux capteurs, convertit l'énergie électrique en mouvement ou énergie mécanique.
- Les Actionneurs permettent de transformer l'énergie reçue en un phénomène physique (déplacement, dégagement de chaleur, émission de lumière ...).
- Exemple : Haut-parleurs qui convertissent les signaux électriques correspondants en sons ondes (acoustiques).!



Niveau 1 : Noeud-Capteur

• Les microcontrôleurs

- Un microcontrôleur (μ c, MCU en anglais) est un circuit intégré et compact qui comprend un processeur, une mémoire et des périphériques d'entrée et de sortie sur une seule puce.
- Un MCU est conçu pour traiter les données brutes capturées par les capteurs et extraire des informations utiles.



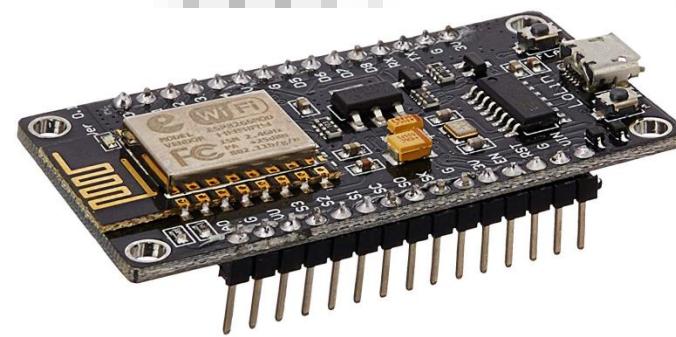
Niveau 1 : Noeud-Capteur

- Exemples de cartes à microcontrôleurs (Noeud Capteur IoT, objets)



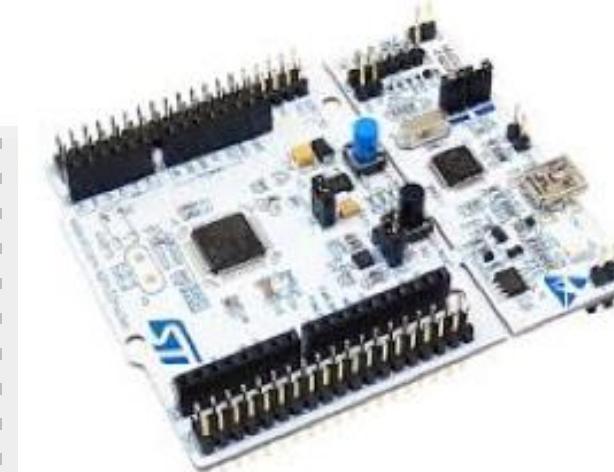
Arduino

- Basé sur un µc Atmega (Single core, 16MHz)
- Connexion simple
- Programmation facile
- Bon choix pour les capteurs



NodeMCU

- Basé sur le µc ESP8266 (Single core, 80MHz)
- Programmation facile
- Intègre WiFi



STM32

- Basé sur un µc ARM 32 bits (24-400MHz)
- Bon choix pour les capteurs
- Bon choix pour le traitement local



Pycom Lopy4

- Basé sur le µc ESP32(Dual core, 160-180MHZ)
- Programmation facile
- Connectivité : WiFi, Bluetooth, Sigfox, LoRa

Niveau 2 : Passerelle Internet, Gateway

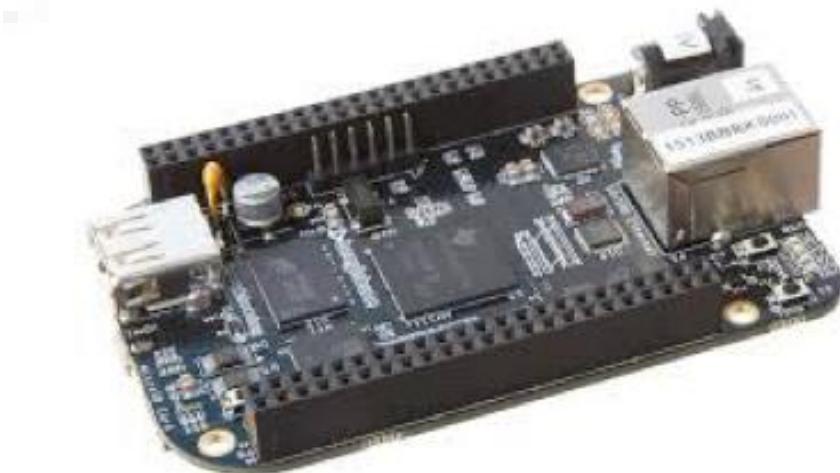
- Une passerelle (gateway) est une combinaison de composants matériels et logiciels utilisés pour connecter un réseau à un autre.
- Les gateways permettent de relier les capteurs ou les nœuds de capteurs avec le monde extérieur.
- Les gateways sont donc utilisées pour la communication de données en collectant 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.
- Exemples de Gateways



Raspberry Pi



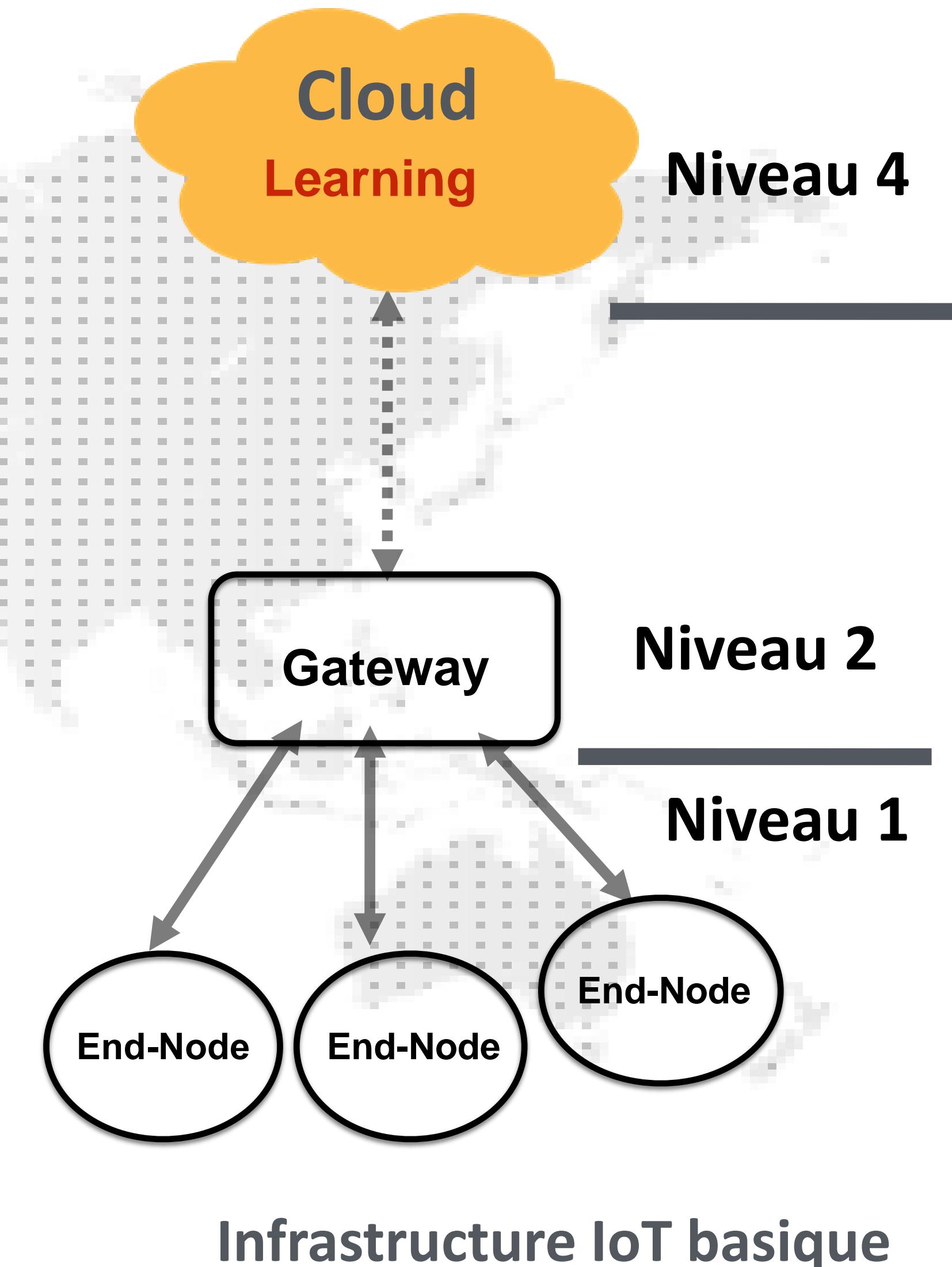
Intel Galileo



Beaglebone Black

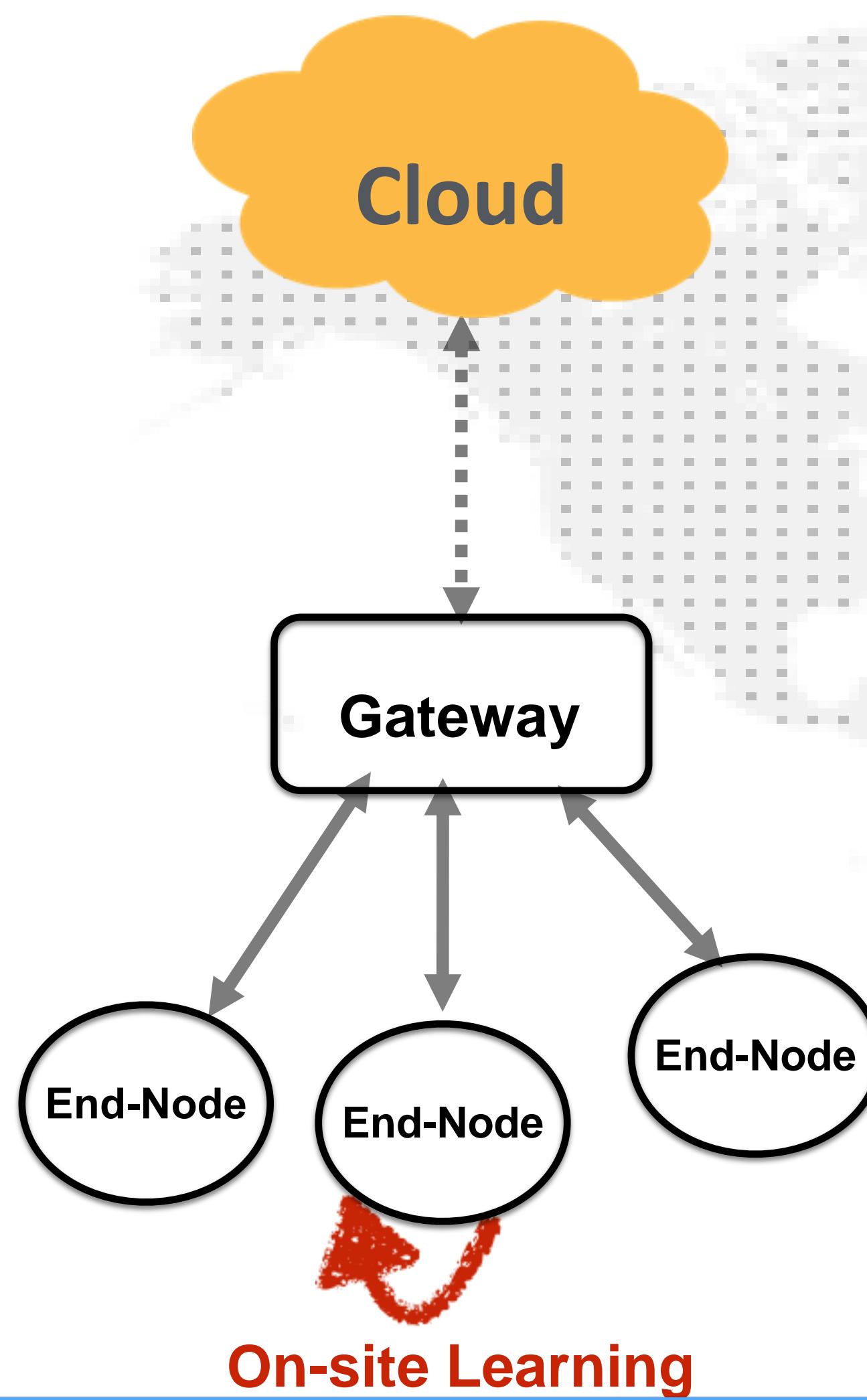
Niveau 3 : Edge Computing

- Le niveau 3 est un choix technologique (optionnel) qui permet d'alléger la charge du travail vers le Cloud et de faire des traitements locaux “on the Edge”.
- Trois solutions techniques sont possibles pour l’implémentation du 3ème niveau :
- **Fog Computing** : permet un calcul décentralisé en traitant les données IoT au niveau des noeuds locaux “Fog” avant de relayer l’information vers le cloud.
- **Edge Computing** : le traitement des données IoT se fait à l’extrémité du réseau (Gateways ou des noeuds intermédiaires entre objets et gateways).
- **Mist Computing** : le traitement des données se fait localement dans le noeud capteur.

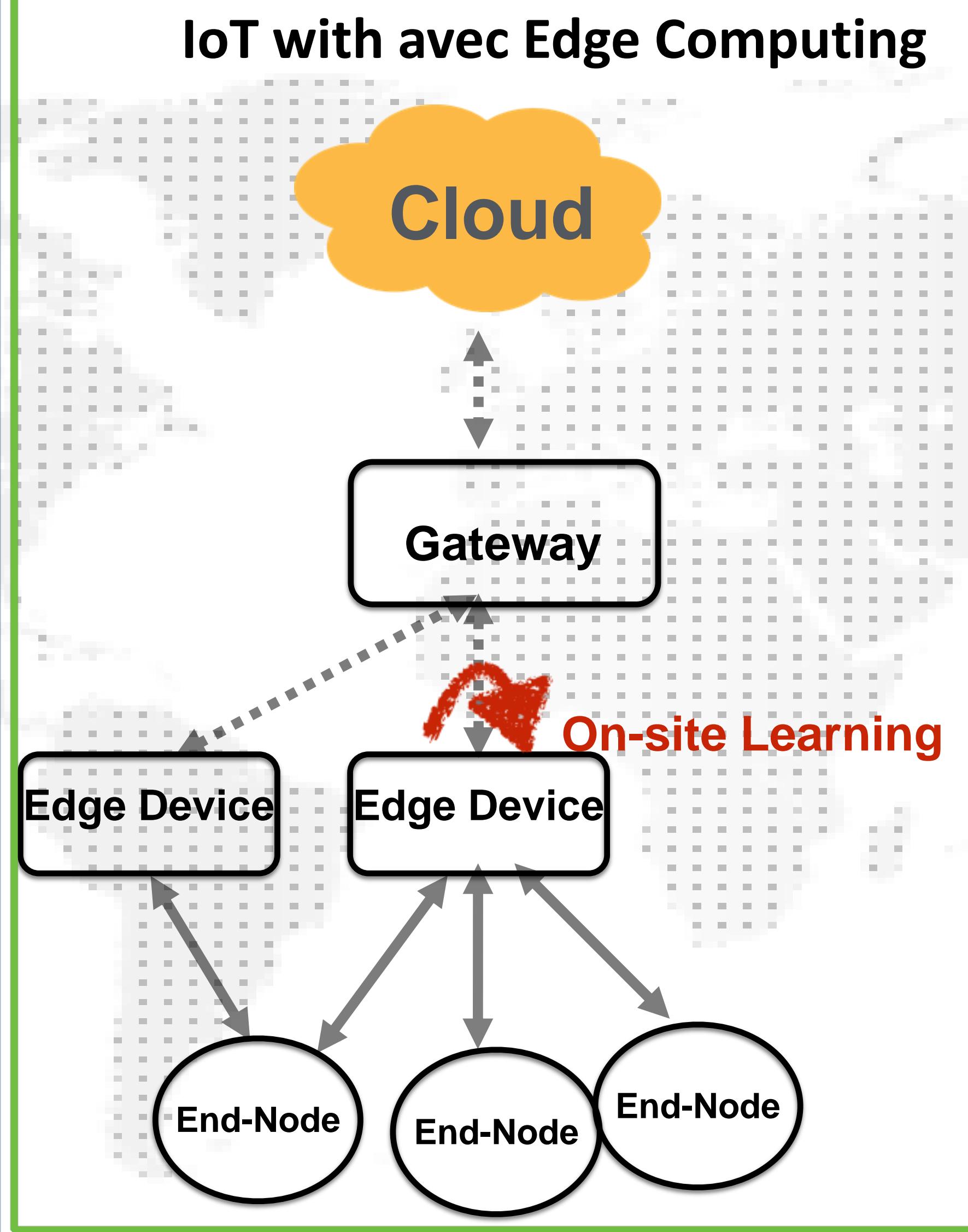


Architecture IoT : Cloud Versus Fog Versus Edge

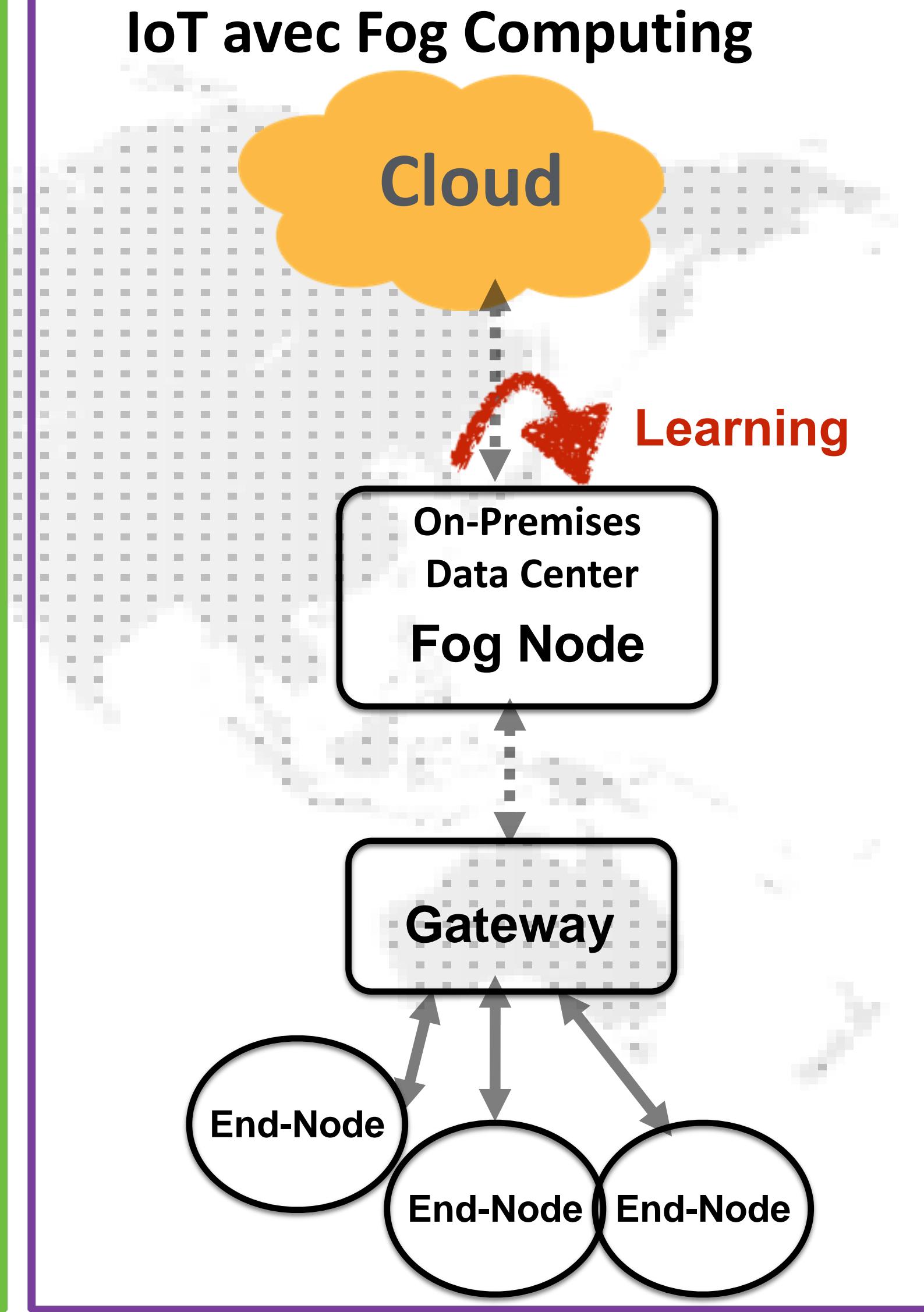
IoT avec Mist Computing



IoT with Edge Computing



IoT avec Fog Computing



Niveau 3 : Edge Computing

Avantages de l'architecture Edge

- Le déploiement d'une architecture distribuée repose sur l'idée d'intégration de l'intelligence près des nœuds capteurs, on the "Edge", ce qui diminue par conséquence la dépendance au cloud computing.
- L'idée est de rapprocher le plus possible le traitement des données et la prise de décisions des nœuds capteurs et réduire ainsi les temps de latence résultant de l'envoi des données au cloud.
- Le traitement "Edge" des paquets de données brutes permet de renforcer la sécurité localement avant de les relayer au cloud.

Niveau 4 : Plateforme Cloud

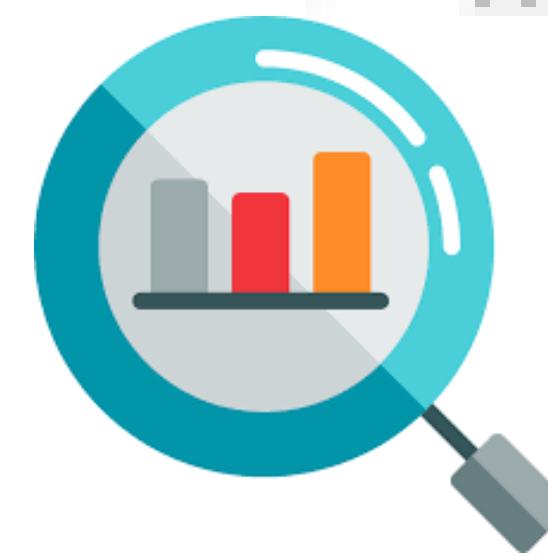
- Les plateformes Cloud regroupent des ressources informatiques de capacités importantes et offrent des services de visualisation, de stockage et d'analyse des données IoT.



Stockage



Visualisation



Analyse

Top 10 IoT Cloud Platforms



Microsoft
Azure



Google Cloud Platform



amazon
web services™

ORACLE®



ThingWorx®
A PTC Business



Systèmes d'exploitation IoT

L'IoT, un réseau d'OS

- L'IoT associe « little data » et « big data ». Les OS interviennent à plusieurs niveaux
 - Serveurs → UNIX/Linux, Windows ?
 - Terminaux (IHM déportée) → Android, iOS, Linux, Windows
 - Objets (souvent)
- La nécessité de l'OS dépend de la complexité de l'objet
- La fonction de communication (réseau) nécessite le plus souvent un OS et non du « bare metal »
- Le lien entre les OS est la standardisation des protocoles et des formats de données

Contraintes des OS pour « objets »

- **Principaux critères :**

- Empreinte mémoire
- Consommation
- Stabilité
- Coût ! (bientôt des milliards d'objets...)
- Prise en compte de protocoles dédiés (6LoWPAN, ...)
- Prise en compte du temps réel (?)

- **Mais également**

- Évolutivité
- Portabilité
- API standards (POSIX, Web) → maintenabilité

OS libre et IoT

- Un OS libre (adapté) respecte les contraintes IoT
- Le choix du logiciel libre favorise l'adoption d'OS comme « service » → focalisation sur la valeur ajoutée de l'objet
- Le logiciel libre évite le coût récurrent de la licence
- Développement d'OS dédiés proches des RTOS → exécutif temps réel = 1 noyau + 1 application multi- thread
- Certains objets complexes peuvent utiliser des OS comme Android ou GNU/Linux (si optimisés)

Quelques exemples d'OS

- **RTOS adaptés**
 - FreeRTOS
 - Lepton (couche POSIX sur un noyau)
 - eCOS
- **OS dédiés**
 - TinyOS
 - Contiki
 - RIOT
 - Zephyr (fondation Linux)
- **GPOS adaptés**
 - GNU/Linux
 - Android & Co

Contiki

- Système d'exploitation développé par le Swedish Institute of Computer Science (SICS, 2002)
 - Licence BSD
 - Ultra léger
 - Flexible
 - Plate-forme d'émulation et de simulation (Cooja)
- Couche réseau uIP et uIPv6 Optimisé pour la consommation Chargement dynamique de modules
- Bien adapté aux capteurs (quelques dizaines de Ko) → à partir des 8 bits (démo OWI sur 8051 datant de... 1980)
- Bonne documentation et nombreux exemples

RIOT

- Démarré en 2008 et maintenu par l'INRIA Actuellement en version 2015.12
- Licence GNU LGPL (et non GPL)
- Peut fonctionner avec 1,5 Ko de RAM ! Temps réel
- Multi-threading complet
- Support C/C++ « standard » très proche de la programmation POSIX classique
- Réseau 6LoWPAN CPU 8, 16 et 32 bits
- Présenté par ses concepteurs comme le « Linux de l'IoT »

Lepton

- Ajout d'un couche **POSIX** à un noyau temps réel libre ou propriétaire → portabilité !
- Licence **MPL** (entre **BSD** et **GPL...**)
- Cibles visées **16 ou 32 bits** → Micro-contrôleurs **Cortex M4/M3/M0/M0+, ARM9, MIPS...**
- **3 axes de développements:**
 - Ressources matérielles limitées/basse, consommation
 - Réutilisation
 - Environnement de développement / mise au point
- Disponible sur **eCos, Segger embOS, FreeRTOS, ...**
- Développé par (Odyssée) **QI0ÉE**

GNU/Linux

- Réservé aux objets complexes
- Fonctionnement sans MMU possible avec µCLinux
- 32 bits + empreinte mémoire de plusieurs Mo - Licence GPL (pour le noyau)
- Très bon support matériel (OS de référence)
- Pas d'optimisation de la consommation d'énergie
- Distributions classiques (Debian, Ubuntu, ...) mal adaptées à l'IoT
- Utilisable grâce à des « build systems » → Buildroot, OpenWrt, Yocto (voir la suite)

Android

- Basé sur un noyau Linux (initialement) modifié par Google
- Équipe plus d'un milliard de téléphones
- Existe déjà sur d'autres objets utilisant une IHM (montres, set-top box)
- Partiellement open source (AOSP), développement non communautaire + quelques pilotes propriétaires
- Empreinte mémoire importante, largement supérieure à celle de GNU/Linux (plusieurs centaines de Mo)
- Pas de build-system, produit une « ROM »
- Développement en Java (simple) + couches basses en C/C++
- Versions dérivées pour les objets (un peu) plus légers (Wear, Brillo)

Distribution Linux

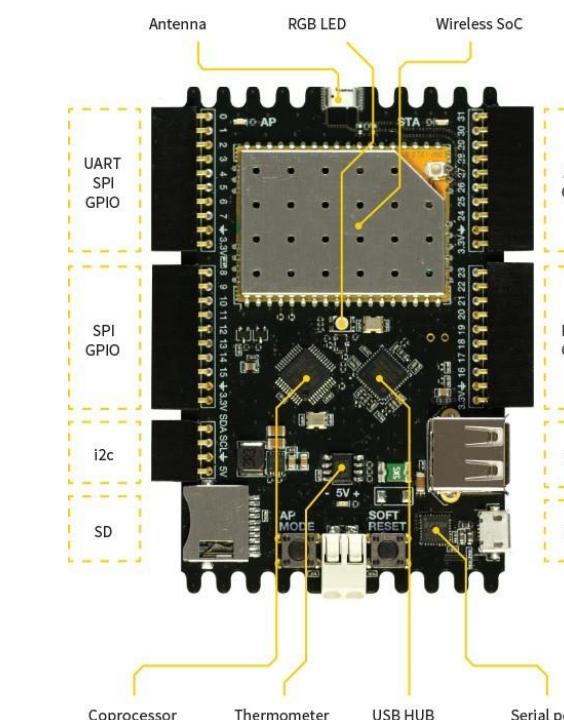
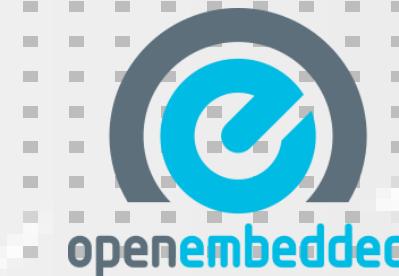
- **Ubuntu, Debian, Fedora, etc.**
- **Environnement bien connu des utilisateurs, simple à aborder, idéal pour débuter mais :**
 - Empreinte mémoire importante
 - Long à démarrer + consommation importante
 - Reste un environnement de développement avant tout
 - Faible traçabilité
 - Multi-plateforme souvent limité
- **Solution alternative → le « build system »**

Outils de « build system »

- **Outil de création de distribution**
- **Crée la distribution à partir des sources des composants en utilisant un « moteur »**
- **L'outil ne fournit pas les sources mais les règles de production et prend en compte les dépendances**
- **L'outil produit les différents éléments de la distribution**
 - Bootloader (si nécessaire)
 - Noyau Linux
 - Images du root-filesystem + applications
- **Meilleure solution au niveau empreinte mémoire, consommation, traçabilité, sécurité**

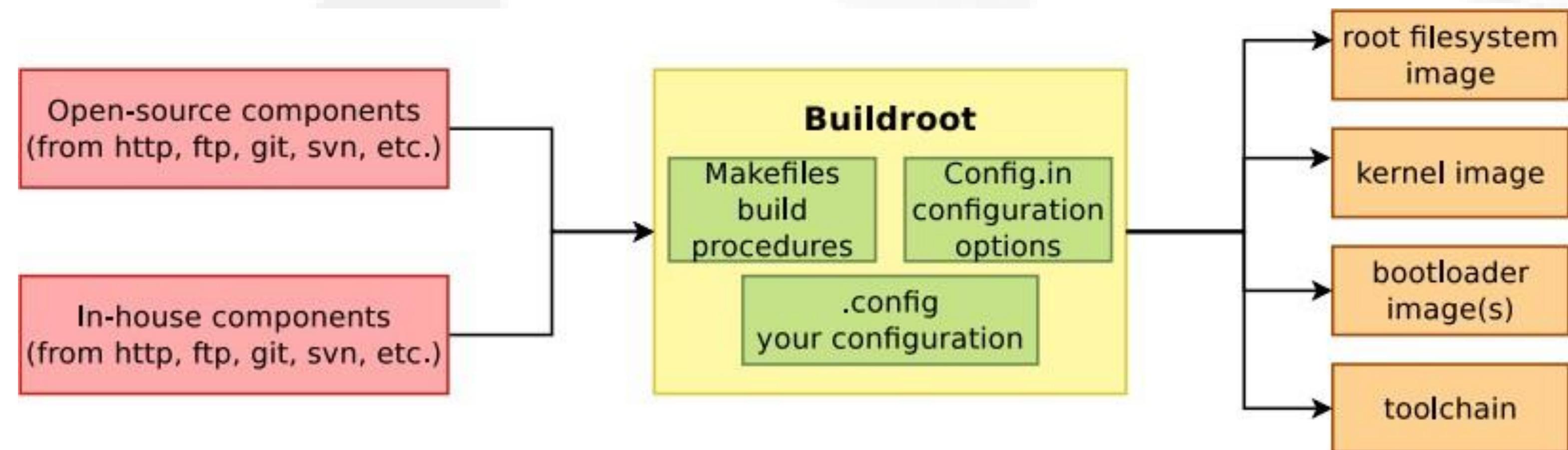
Les principaux outils disponibles

- **Yocto/OpenEmbedded**
 - Moteur écrit en Python
 - Très puissant mais lourd
 - Basé sur des fichiers de configuration
- **Buildroot**
 - Basé sur la commande « make »
 - Au départ un démonstrateur pour uClibc
 - Désormais un véritable outil, bien maintenu !
- **OpenWrt**
 - Dérivé de BR
 - Gère les paquets binaires
 - Utilisé sur WeIO



Buildroot

- Initialement un démonstrateur de uClibc (Micro-C-libC) Une version officielle tous les 3 mois depuis 2009.02
- Outil de configuration graphique identique à celui du noyau
- Léger, rapide, basé sur des fichiers Makefile
- Pas de système de paquets → « firmware Linux »

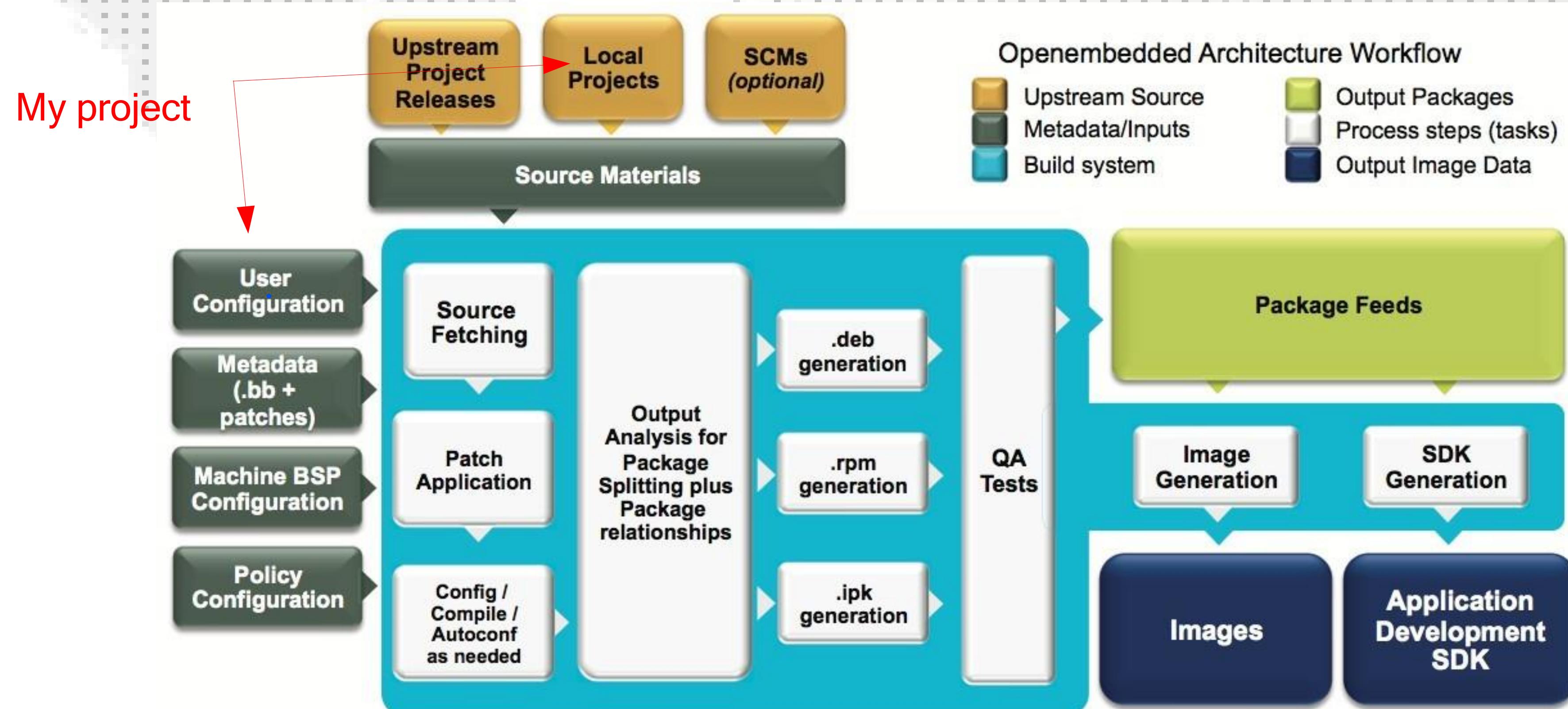


Yocto / OE

- Yocto est un projet « chapeau » démarré en 2010 Intègre de nombreux projets comme OE, BitBake,
- Poky, Eglibc, ADT, Hob, ...
- Plusieurs dizaines de membres dont Intel, Montavista, Freescale, Huawei, Mentor Graphics, Gumstix, ...
- L'architecte est Richard Purdie qui a rejoint la Linux Foundation en tant que « fellow » en décembre 2010
- Organisation similaire à celle de l'équipe du noyau Linux
- « meritocracy presided over by a benevolent dictator »
- Un véritable projet collaboratif promu par la fondation Linux
- De nombreux BSP industriels migrent vers Yocto !

Yocto / OE, suite

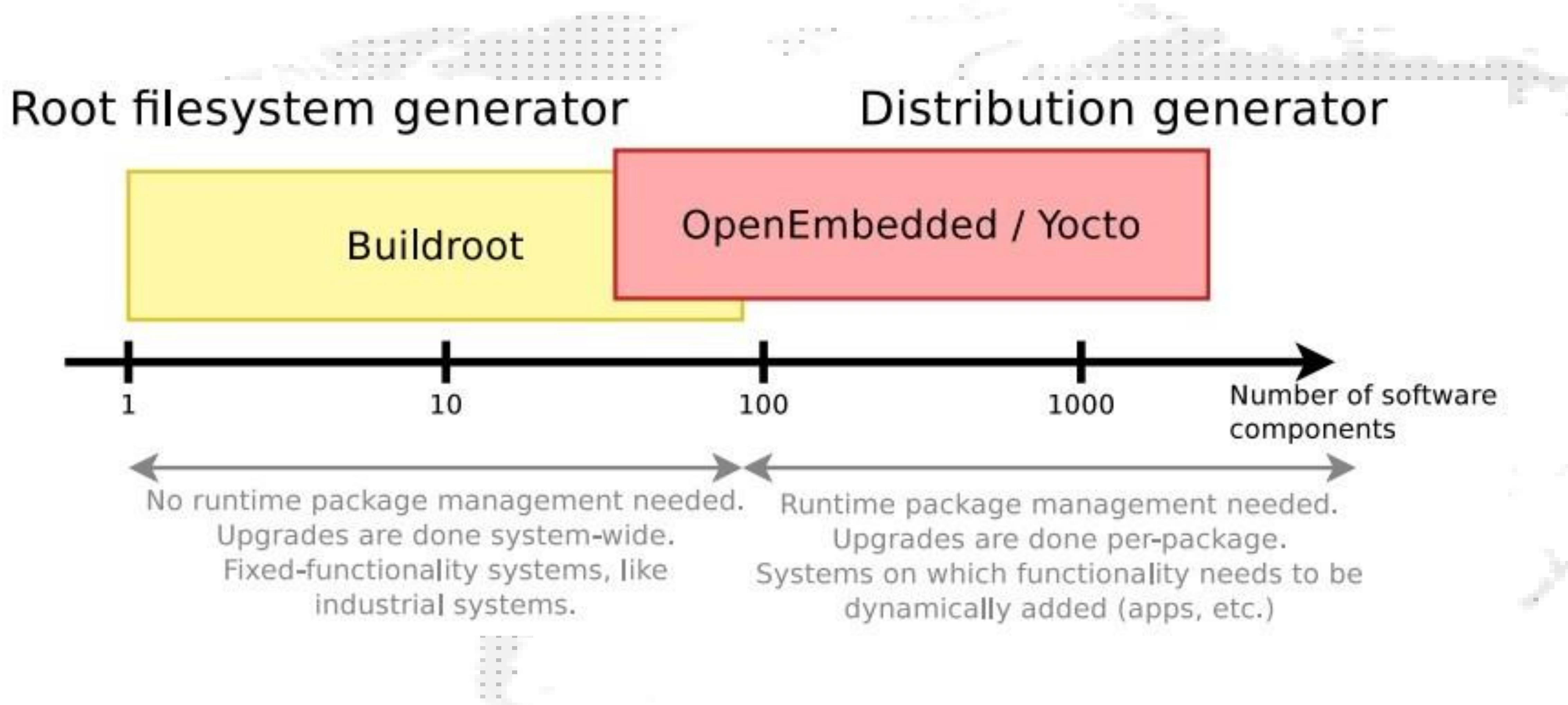
- Utilise des paquets RPM, DEB ou IPK
- Syntaxe complexe mais très bonne documentation
- Investissement initial important



Construire un projet

- Construction d'une image de projet sous Buildroot
 - `$ make my_project_defconfig`
 - `$ make`
- Idem sous Yocto
 - `$ source ./oe-init-build-env my_project`
 - `$ bitbake my-project-image`
- Dans les 2 cas on peut gérer proprement la configuration, donc assurer la traçabilité du projet
- On utilise Yocto si l'on veut une distribution complète et non un « firmware » sans gestion de paquets

Buildroot ou Yocto ?



Conclusions

- L'utilisation d'un OS libre est fortement conseillée !
- Le choix en OS dédié et OS adapté n'est pas toujours simple
- Les OS dédiés utilisent parfois des API et des outils non standards
- Le panel d'objets est important (de l'automobile au capteur...) il n'y a pas UNE solution universelle
- L'important est la compatibilité des protocoles et la liberté des composants et services essentiels

Abréviations

| ABREVIATION | DEFINITION | ABREVIATION | DEFINITION |
|-------------|---|-------------|--|
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project | LAN | Local Area Network |
| 6LoWPAN | IPv6 Low Power Wireless Personal Area Networks | LoRa | Long Range |
| ABP | Activation By Personalization | LoRaWAN | Long Range Wide Area Network |
| AMQP | Advanced Message Queuing Protocol | LPWAN | Low power wide area network |
| BLE | Bluetooth Low Energy | LTE | Long Term Evolution |
| BW | BandWidth | MQTT | Message Queuing Telemetry Transport |
| CHIRP | Compressed High Intensity Radar Pulse | M2M | Machine to Machine |
| CoAP | Constrained Application Protocol | MQTT | Message Queuing Telemetry Transport |
| CR | Coding Rate | NB-IoT | Narrow Band Internet of Things |
| CSS | Chirp Spread Spectrum | NFC | Near Field Communication |
| DR | Data Rate | OTAA | Over The Air Activation |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute | PAN | Personal Area Network |
| FCC | Federal Communications Commission | QoS | Quality of Service |
| GSM | Global System for Mobile communications | REST | Representational State Transfer |
| HTTP | HyperText Transfert Protocol | RFID | Radio Frequency Identification |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers | SF | Spreading Factor |
| IETF | Internet Engineering Task Force | ToA | Time over Air |
| IoE | Internet of Everythings | WAN | Wide Area Network |
| IoT | Internet of Things | WiFi | Wireless Fidelity |
| ISM | Industriel, Scientific and Medical | XMPP | Extensible Messaging and Presence Protocol |
| ITU | International Telecommunication Unit | | |

Références

1. Sylvain MONTAGNY . Cours LoRa /LoRaWAN. Février 2019.
2. Caractérisation de l'interface radio LoRa d'un réseau de communication LoRaWAN. Lycée Dorian-STS SN-EC.
3. LoRa /LoRaWAN Tutorial. mobilefish.com
4. Antonio Linan Colina, Alvaro Vives, Marco Zennaro, Antoine Bagula and Ermanno Pietrosemoli. Internet of Things in 5 days-v1.1 2016
5. Marco Zennaro. “Introduction to the Internet of Things”. Workshop on Rapid Prototyping of IoT for Science (smr3268) – January 2019.
6. Ermanno Pietrosemoli. “Wireless options for IoT”: Workshop on LPWAN Solutions for the Internet of Things. February 2020.
7. Pietro Manzoni. Intro to MQTT. Workshop on Rapid Prototyping of IoT for Science (smr3268) – January 2019.
8. Boussaid Nabil et Brahmi Rabah. “Privacy dans l’Internet des objets. Cas d’étude : la localisation”. Mémoire de Master Recherche. université de Bejaia (2017).
9. Sigfox. Présentation technique de Sigfox. Juillet 2017.