



Les Technologies IoT

Pr. M'barek EL HALOUI

melhaloui@esi.ac.ma

14 Juin 2022, ESI, Rabat Maroc

Agenda

- Introduction
- Concepts de base
- Domaines d'application
- Architecture d'une solution IoT
- Opportunités d'utilisation : Musée 4.0

Introduction

- Il s'agit d'offrir de nouveaux services à valeur ajoutée à travers la technologie ;
- Un écosystème intégrant plusieurs technologies et domaines de compétences ;
- Un passage technologique de l'Internet des personnes à l'Internet des objets (IoT) ;
- Constitue la prochaine technologie révolutionnaire qui concevra l'Internet future ;
- Les SI sont invisiblement embarqués aux environnements qui nous entoure ;
- Un levier de transformation digitale qui joint le monde réel et virtuel ;
- Des opportunités ... mais également des défis...

Concepts de base : L'IoT

Origine :

- Le terme Internet des Objets (Internet of Things) a été inventé en premier par Kevin Ashton, Ingénieur britannique, en 1999, pour décrire un système où les objets physiques sont connectés à Internet.
- La vision d'un monde où la technologie s'intègre dans les objets de la vie quotidienne était présenté en 1989 par Mark Weiser. Professeur chercheur considéré le père de l'informatique ubiquitaire.

Définition :

- « **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 **interopérables** existantes ou en évolution ». *Union International des Télécommunications.*

Concepts de base

- **Objet Connecté** : Tout équipement capable d' échanger des données avec des entités physiques ou virtuelles dans le but de créer de la valeur pour l'utilisateur.
- **M2M** : Machine to Machine, échange d'informations entre deux ou plusieurs machines sans intervention humaines.
- l'Internet des Objets dans notre vie d'aujourd'hui :
 - L'IoT est omniprésent.
 - L'IoT améliore la qualité de vie des personnes.
 - L'IoT accroît également l'efficacité des entreprises.

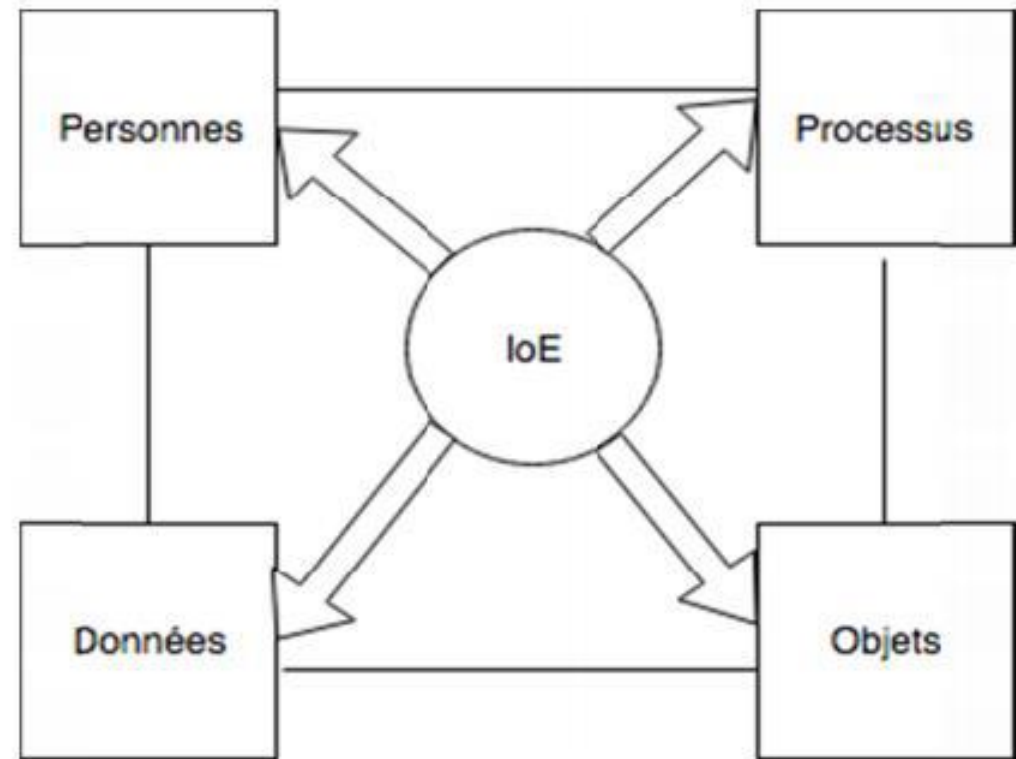
Concepts de base

- Le but principal est de pouvoir communiquer des données avec une entité physique ou virtuelle sans aucune intervention humaine.
- Il ne s'agit pas seulement de collecter l'information (détection) et d'interaction avec le monde physique (actions/ commandes/ contrôle) mais fournir des services pour traitement et analyse de l'information.
- Internet des objets : Réseau d'objets interconnectés...Pas nécessairement Internet

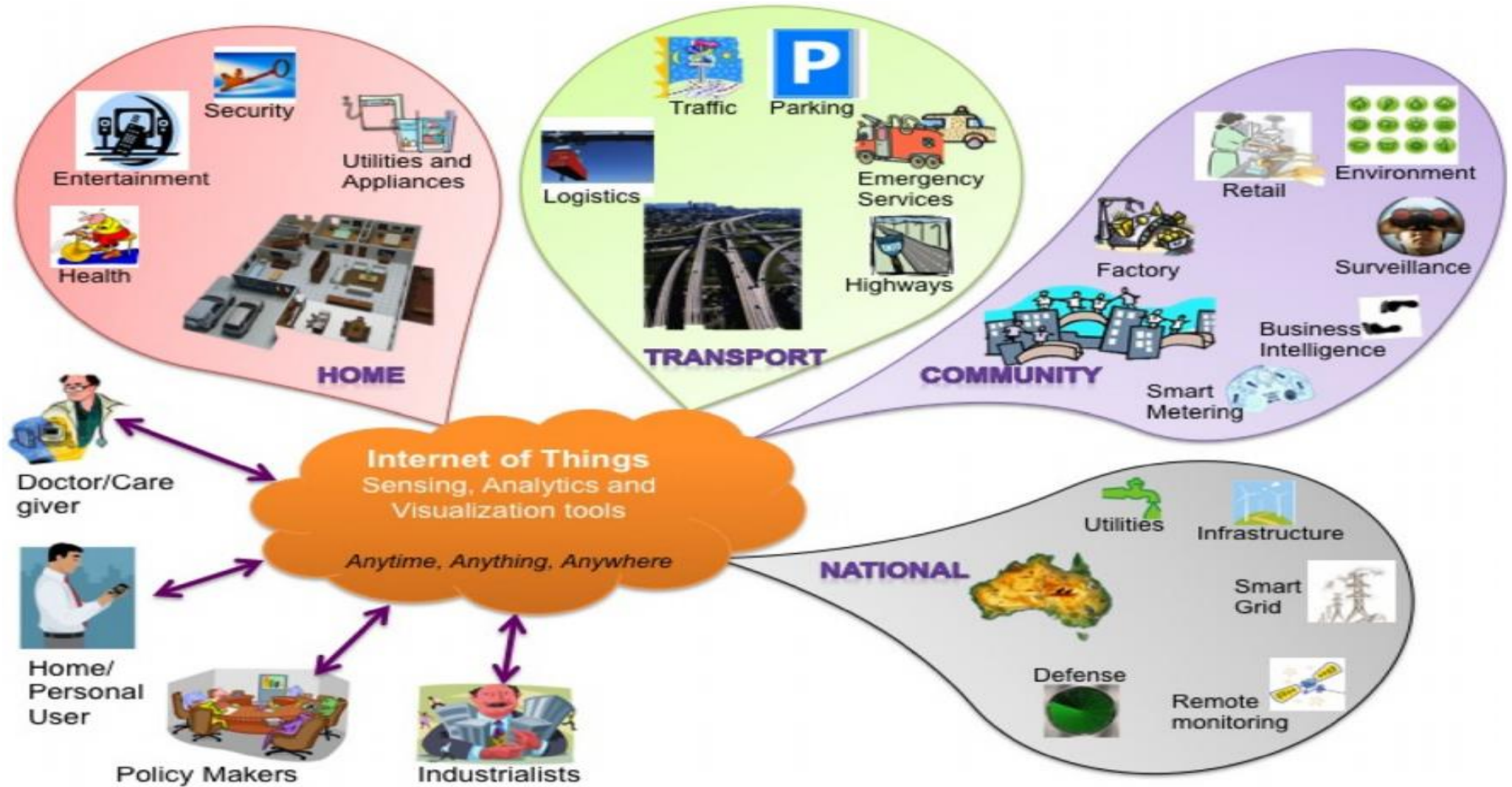
Concepts de base

IoE (Internet of Everything) :

- Concept Introduit par Cisco ;
- Vision qui met en relation les personnes, les objets, les processus et les données ;
- Des événements ... en réseau ...
génèrent des données ... et actions
prises par des personnes.



Domaines d'Application de l'IoT



Exemples d'Application de l'IoT

Wearables (objets que l'on porte sur soi):

- Montre ou bracelet connectés (Fitbit, ...) qui récupèrent vos données physiologique (rythme cardiaque, nombre de pas dans la journée, nombre d'heures de sommeil, etc.),
- Vêtements connectés libérant des médicaments,
- GoogleGlass,...



Source Image : <https://embeddedcomputing.com/application/consumer/smartphones-and-wearables/wearables-development-in-an-iot-world>

Exemples d'Application de l'IoT

Domotique :

- Caméra et alarme intelligentes
- Pilotage des consommations électriques (programmation de l'éclairage, prises intelligentes,...)
- Automatisation de l'activation ou extinction des équipements à distance,
- Electroménagers connectés(four, machine à laver,..)
- Commande vocale (*Amazon Alexa, Google, Home,....*)



Source Image : <https://www.vectorstock.com/21927053>

Exemples d'Application de l'IoT

Les smartphones

- Terminal intelligent pour les applications utilisateur ;
- Communiquer avec des bornes interactives (arrêt de bus, départ/arrivée de transports en temps réel, ...)
- Contenir nos informations d'identification ou pièces d'identité électronique et sans contact
- Accès aux cameras de surveillance,...



Exemples d'Application de l'IoT

Logistique :

- Suivi des livraisons (Smart Tracking), géolocalisation et signature vocale de réception, TrackID en RFID.
- Les avions embarquent déjà de nombreux objets connectés qui récupèrent des montagnes de données analysées après chaque vol.

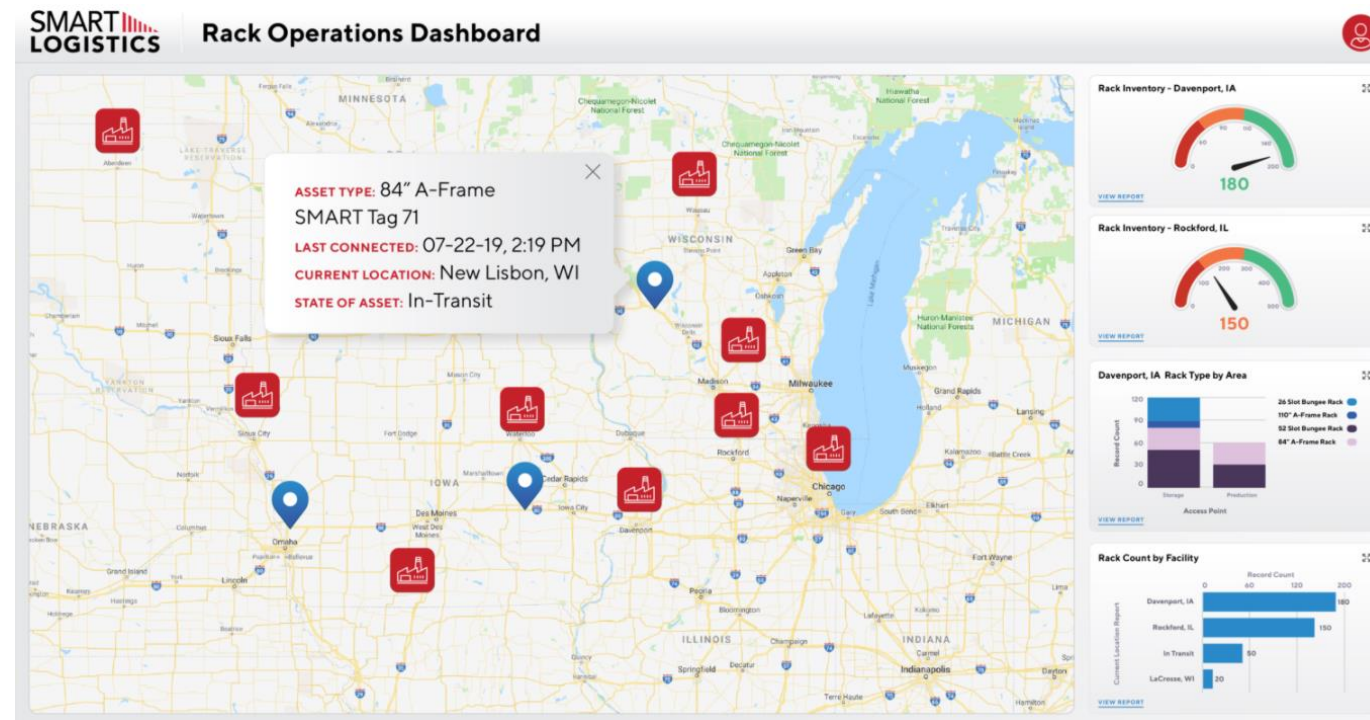


Image source : <http://smartlogisticsinc.usmblogs.net/smart-asset-monitoring/>

Exemples d'Application de l'IoT

Smart Agriculture :

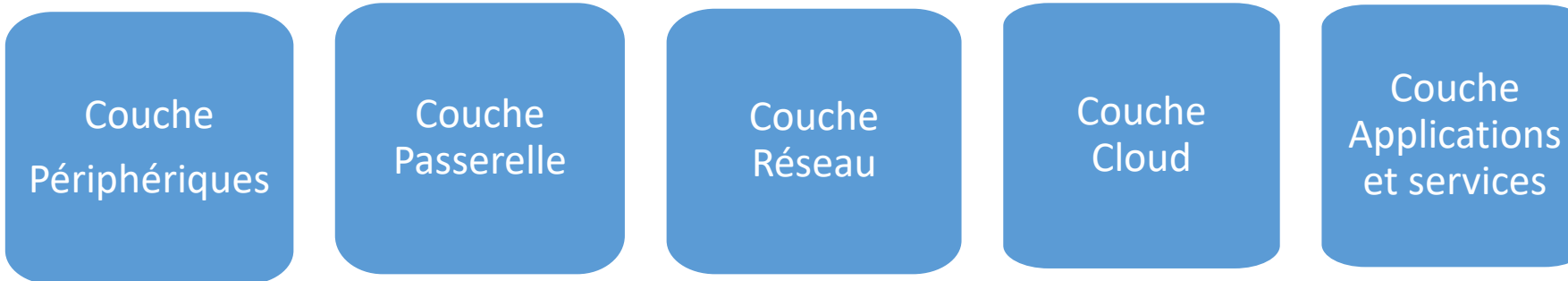
- Agriculture de précision (Smart Irrigation, Humidité, ..)
- Automatisation des serres (Surveillance, automatisation des processus)
- Smart Farming (Surveillance de bétail, colliers intelligents,)



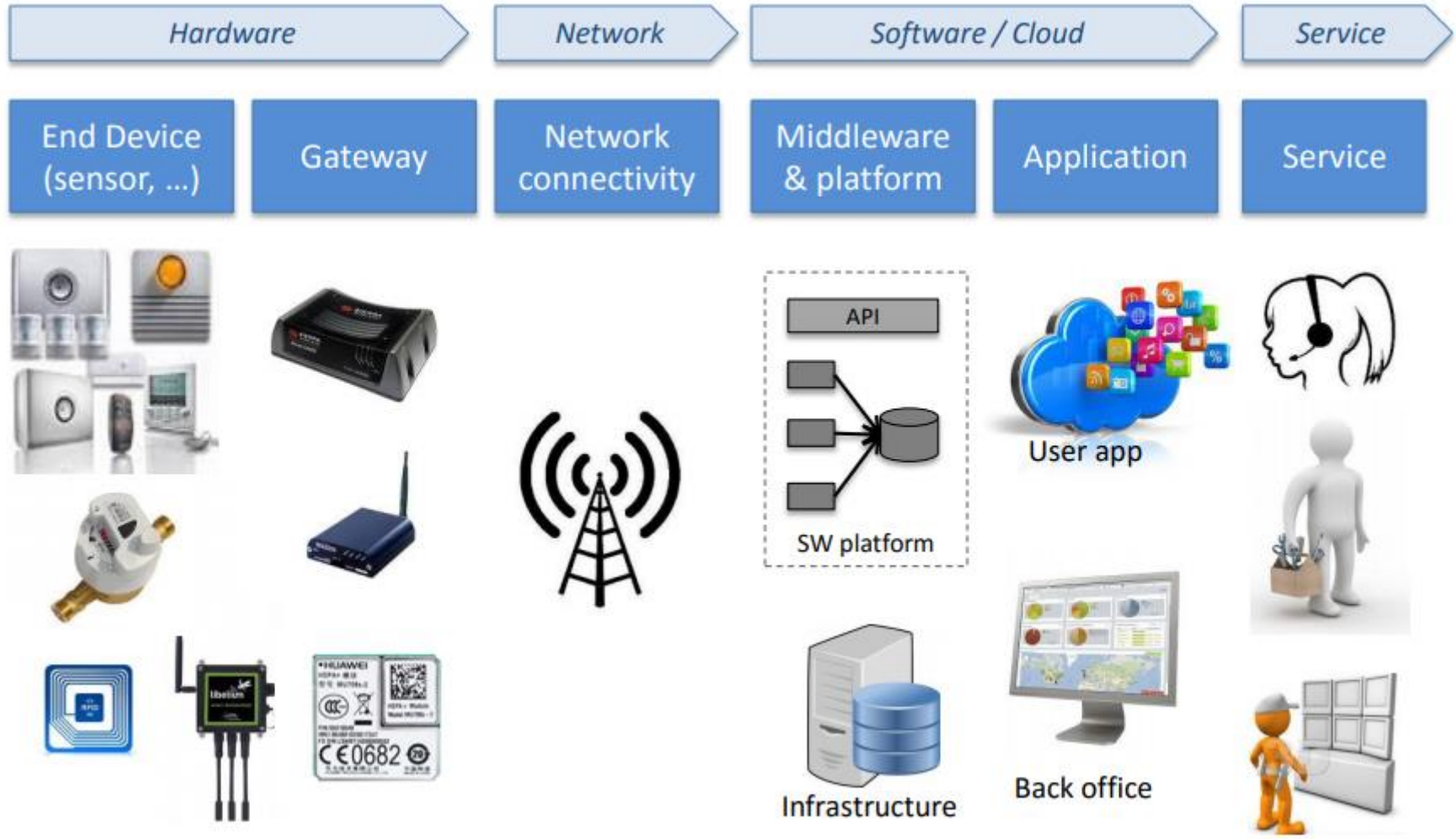
Source image : <https://www.cscience.ca/2022/05/24/le-smart-farming-la-nouvelle-tendance-en-gestion-agricole/>

Architecture d'une solution l'IoT

- Plusieurs architectures sont proposées pour l'interopérabilité et la communication des différents composants d'une infrastructure IoT ;
- Il n'y a pas encore une architecture de référence standardisée. Mais des efforts sont en cours (IEEE , Internet Architecture Board (IAB),...) ;
- Les principaux blocs composants un écosystème IoT :



Exemple d'Architecture IoT

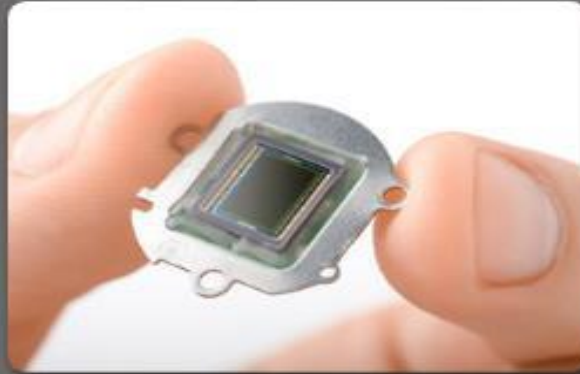


Les capteurs

- Un capteur est un appareil qui mesure une propriété physique en détectant des informations particulières dans le monde physique. Il peut s'agir de lumière, d'humidité, de mouvement, de pression, de température ou de toute autre condition environnementale ;
- Les capteurs envoient des données à un contrôleur. Ce contrôleur peut réagir à ces données immédiatement et modifier les paramètres des actionneurs ;
- Exemple : Un capteur de température peut traduire la température détectée en signal électrique qui peut être converti en valeur numérique.

Les capteurs

Divers types de capteurs



Les capteurs



The image displays five distinct sensor application scenarios, each marked with a yellow plus sign in a white circle:

- Pétrole, gaz, industrie minière**: A photograph of a large, curved tunnel with a railway track, representing sensors used in mining and energy extraction.
- Villes**: A night-time photograph of a city skyline with lights, representing sensors for urban monitoring and smart city infrastructure.
- Transports**: A photograph of a white bus in motion on a road, representing sensors for traffic management and public transport systems.
- Services publics**: A close-up photograph of a water meter with a digital display showing '06056', representing sensors for utility services.
- Agriculture**: A photograph of a weather station tower with a windmill and a clock, representing sensors for agricultural monitoring and weather forecasting.

Les contrôleurs

- Les contrôleurs sont chargés de **collecter les données des capteurs** et de **fournir la connectivité** réseau ou Internet.
- Ils peuvent être à même de prendre des **décisions immédiates** ou ils peuvent **envoyer les données à un ordinateur** plus puissant en vue d'une analyse. Cet ordinateur peut se trouver dans le même réseau local que le contrôleur ou n'être accessible que par l'intermédiaire d'une connexion Internet.
- Le microcontrôleur **Arduino** et le **Raspberry Pi (RaPi)**, sont tous deux des types de contrôleurs. Ils peuvent fonctionner sans Internet et sont utilisés par les **amateurs** et les **professionnels**.

Carte Arduino

- Carte de prototypage dont le schéma est open source
- Contient un Microcontrôleur (~Processeur) de 16 Mhz
- Dimensions : Environ 68,6 mm x 53,3
- Programmation : IDE Arduino
- Alimentation : 7 – 12 V
- Consommation : 0,5 W
- Extensions : Arduino Shields



Carte RaspBerry Pi

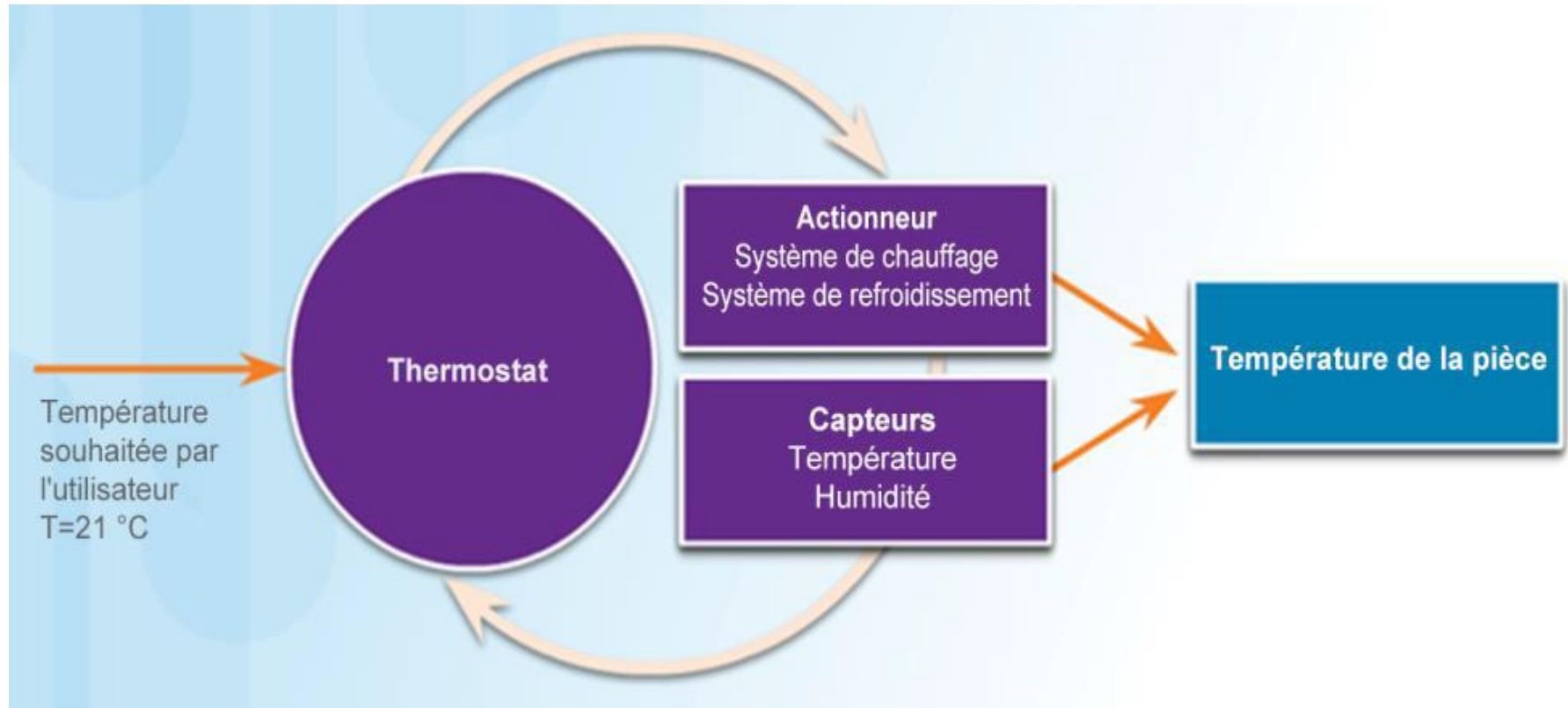
- Nano ordinateur conçu par l'université de Cambridge
- Contient un Microcontrôleur (~Processeur) de 700 Mhz
- Dimensions : Environ 85,60 mm x 53,98
- Programmation : Scratch, Squeak
- Alimentation : 5V
- Consommation : 3,5 W
- Ports E/S : USB, HDMI, Audio/Video, GPIO
- Connectivité : 10/100 Ethernet, Bluetooth, WiFi



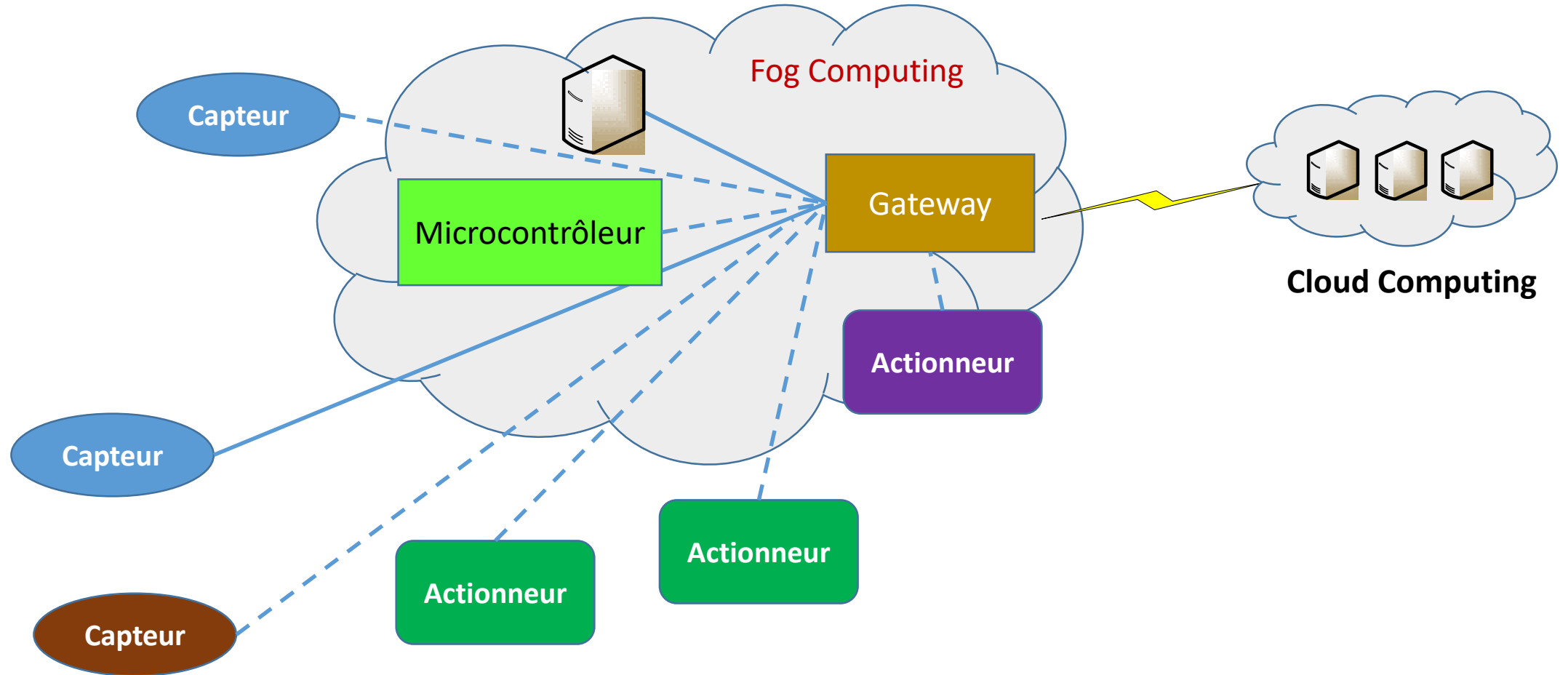
Les actionneurs

- Un actionneur est un simple moteur qui peut être utilisé pour déplacer ou commander un mécanisme ou un système, sur la base d'un ensemble spécifique d'instructions ;
- Quelle que soit la façon dont l'actionneur provoque le mouvement à effectuer, sa fonction de base est de recevoir un signal du contrôleur, puis d'effectuer une action définie en fonction de ce signal

Les actionneurs

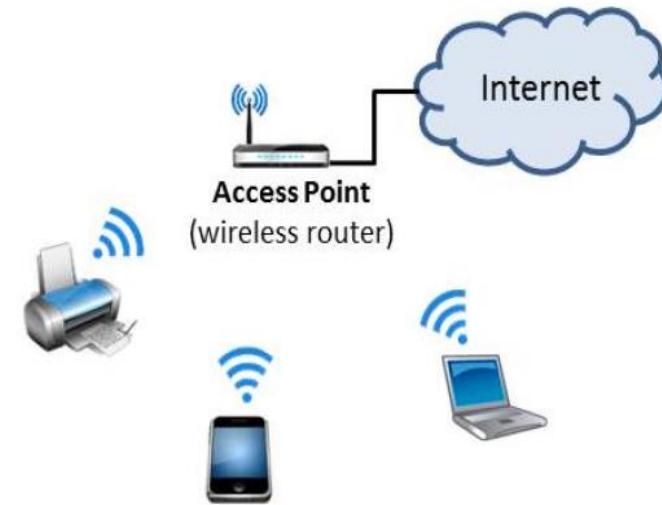


Ecosystème IoT : Fog Computing



Ecosystème IoT : Gateway

- Un point d'accès qui assure la communication entre les dispositifs physiques (objets IoT) et le reste du réseau (Infrastructure Cloud) ;
- Passerelle (Physique ou Logicielle) intermédiaire qui sert à faire transiter les données au nœud (Local ou distant) chargés du stockage et de l'analyse ;
- Assure l'interopérabilité du système : Peut supporter différents protocoles de communication (Wifi, Bluetooth, Zigbee, Ethernet, TCP/IP, 3G ou 4G, ...)
- Constitue une première couche de sécurité réseau ;
- Peut être utilisée pour la gestion à distance et la mise à jour du firmware des objets IoT ;
- Caractérisé par sa robustesse physique, sa célérité de traitement, son évolutivité, son coût relativement faible,....



Ecosystème IoT : Gateway

Exemples de solutions Hard



Advantech IoT Gateway



HP GL10



Dell Edge 5000



Cisco IC3000



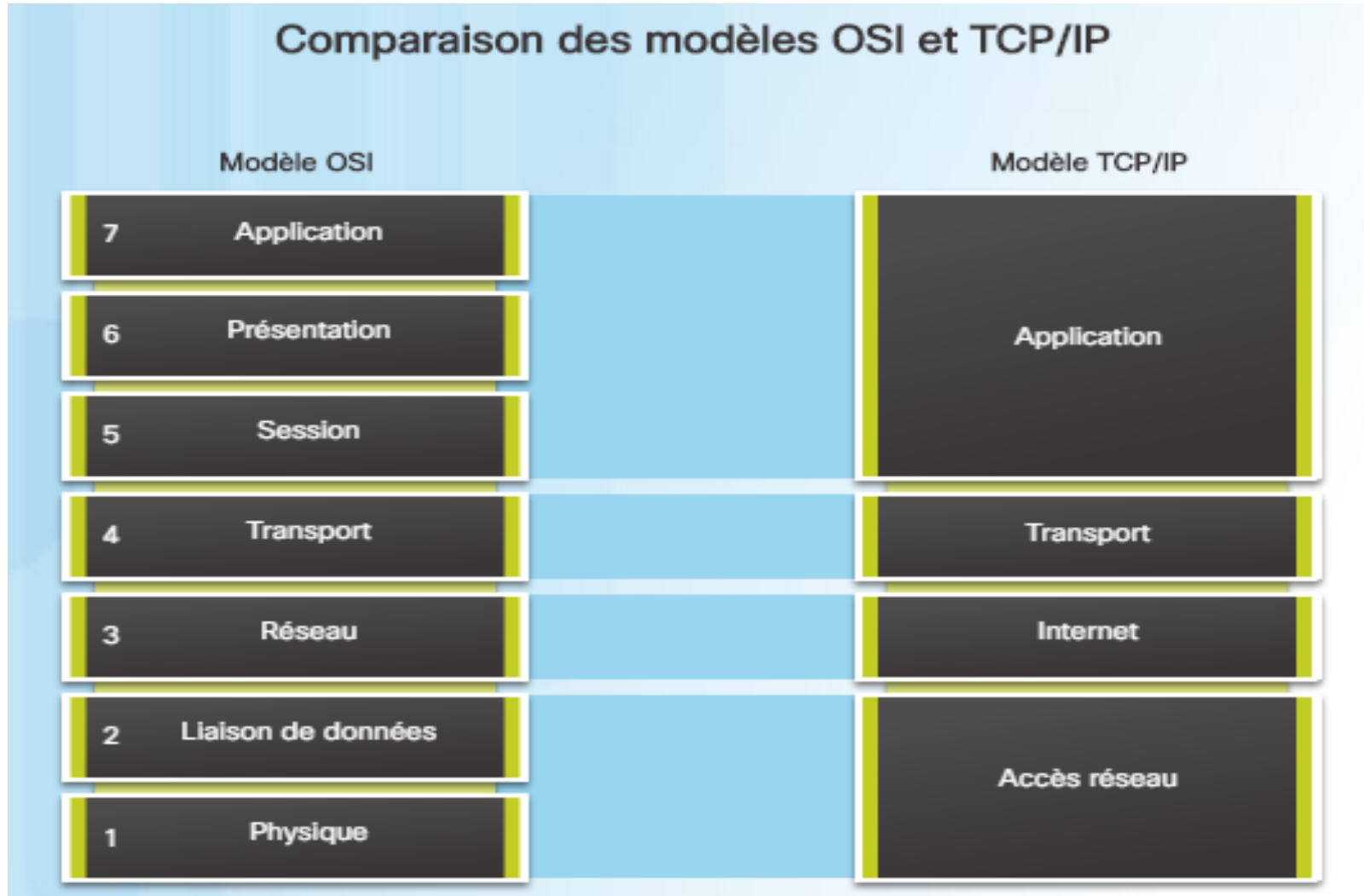
Huawei Edge AR502H

Ecosystème IoT : Gateway

Exemples de solutions Soft



Communication Réseau



Communication Réseau : Normalisation

IoT World Forum Reference Model

Levels

- 7 **Collaboration & Processes**
(Involving People & Business Processes)
- 6 **Application**
(Reporting, Analytics, Control)
- 5 **Data Abstraction**
(Aggregation & Access)
- 4 **Data Accumulation**
(Storage)
- 3 **Edge Computing**
(Data Element Analysis & Transformation)
- 2 **Connectivity**
(Communication & Processing Units)
- 1 **Physical Devices & Controllers**
(The "Things" in IoT)

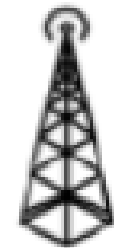


Modèle de référence de l'IoT World Forum

Niveau		Description
7	Collaboration et processus (implication des processus métier et des personnes)	Regroupe plusieurs applications et inclut la communication et la collaboration nécessaires entre les personnes et les processus métier.
6	Application (rapports, analyses et contrôles)	Interprétation des informations en fonction des données des appareils et des besoins de l'entreprise.
5	Abstraction des données (agrégation et accès)	Axée sur le rendu des données et leur stockage afin de mettre en œuvre le développement d'applications.
4	Accumulation des données (stockage)	Les données en mouvement sont converties en données au repos. Les données sont aussi transformées pour pouvoir être utilisées par les niveaux supérieurs.
3	Edge (fog) computing (analyse et transformation des éléments de données)	Convertit les données en informations adaptées au stockage et au traitement de niveau supérieur.
2	Connectivité (communication et unités de traitement)	Chargé de la transmission fiable et en temps voulu des données entre les appareils et le réseau, à travers les réseaux, et entre le réseau et le traitement des données du niveau 3.
1	Équipements physiques et contrôleurs (les « objets » de l'IoT)	Inclut un large éventail de terminaux qui envoient et reçoivent des informations.

Types et couverture des réseaux

- **LAN** : Local Area Network (**WLAN** pour Wireless LAN)
 - Petite zone géographique (Site d'entreprise, bureau, maison, usine,...)
 - Environ quelques dizaines de mètres, centaines de mètres
 - Ex : 802.3, IEEE 802.11
- **PAN** : Personal Area Network (**WPAN** pour Wireless PAN)
 - Environ quelques mètres autour de l'utilisateur
 - Ex : Bluetooth.
- **WAN** : Wide Area Network
 - Vaste zone géographique ou interconnexion de LANs
 - Environ quelques centaines / milliers de km
 - Ex : WAN d'entreprise, GSM, GPRS, UMTS, LTE, Satellites



Technologies réseau IoT

- **NFC/RFID** (Radio Frequency Identification) : Réseau de proximité, utilisé pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des radio-étiquettes (Tags). Ces Tags RFID sont collés ou incorporés dans des produits. par exemple, Ils sont utilisés pour suivre la traçabilité des produits dans un magasin ou comme système antivol à la caisse.
- **WPAN** (Wireless Personal Area Networks) : Réseau personnel de petite taille où les appareils sans fil connectés sont proches d'une personne (Exemple Smartphone – Voiture). Exemples : **Bluetooth, ZigBee**. ZigBee est un Protocole de communication destiné au communication à courte distance (Allan **jusqu'à 10 m**) et à faible consommation (Optimisé par rapport au Bluetooth).
- **WLAN** (Wireless Local Area Network) : Réseau informatique qui permet une connexion sans fil (ondes Radio) avec des débits importants. Il est régi par les normes IEEE 802.11. Par exemple **WiFi (environ 30m à l'intérieur)** .
- **LPWAN** (Low Power Wide Area Network) : des réseaux étendus à faible puissance pour connecter des appareils à faible puissance et à faible bande passante dans une vaste zone géographique. Par exemple **LoRA, Sigfox (des Km)**
- **Cellulaire** : GSM, GPRS, UMTS, 4G/LTE, 5G (**des centaines de Km**).



Technologies réseau : Cellulaire

Mobile Wireless Networks - Evolution



Technologies réseau : LPWAN

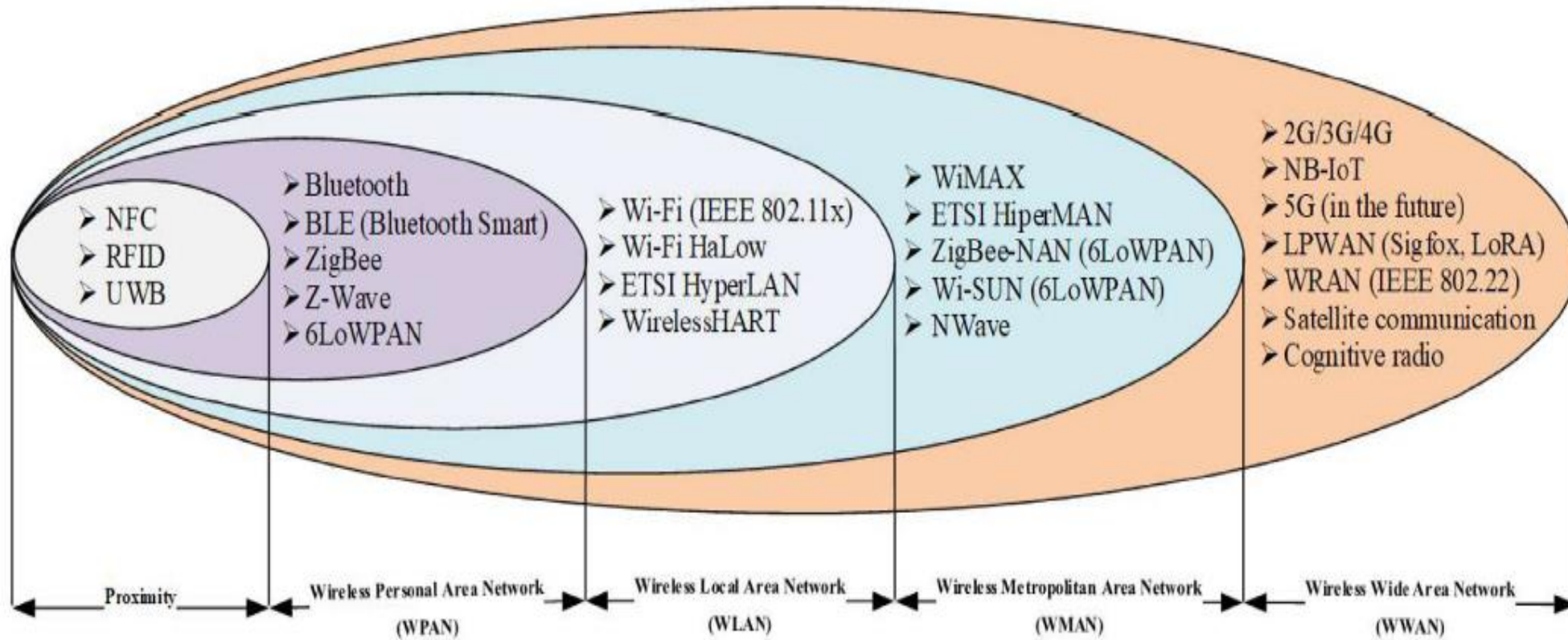
- LPWAN (Lower-Power Wide Area Network) : Les réseaux étendus de faible puissance sont un type de réseau de télécommunication conçu pour permettre des communications longue portée à faible débit pour des dispositifs tels que des capteurs alimentés par batterie. Deux types de LPWAN sont les plus répandus :
 - **LoRa** : Long Range Radio ou LoRa WAN désigne couche physique radiofréquence orientée très basse consommation.
 - **SigFox** : Une société française fondée en 2009 et devenu un opérateur Telecom et IoT.
- Utilisation des bandes de fréquences **sans licence** à périmètre réduit appelées ISM (Industriel, scientifique et médical) réservés à des applications industrielles, scientifiques, médicales, Domestiques,....
- Les bandes 2.4 GHz et 5 GHz sont les bandes ISM les plus utilisées au niveau mondial.



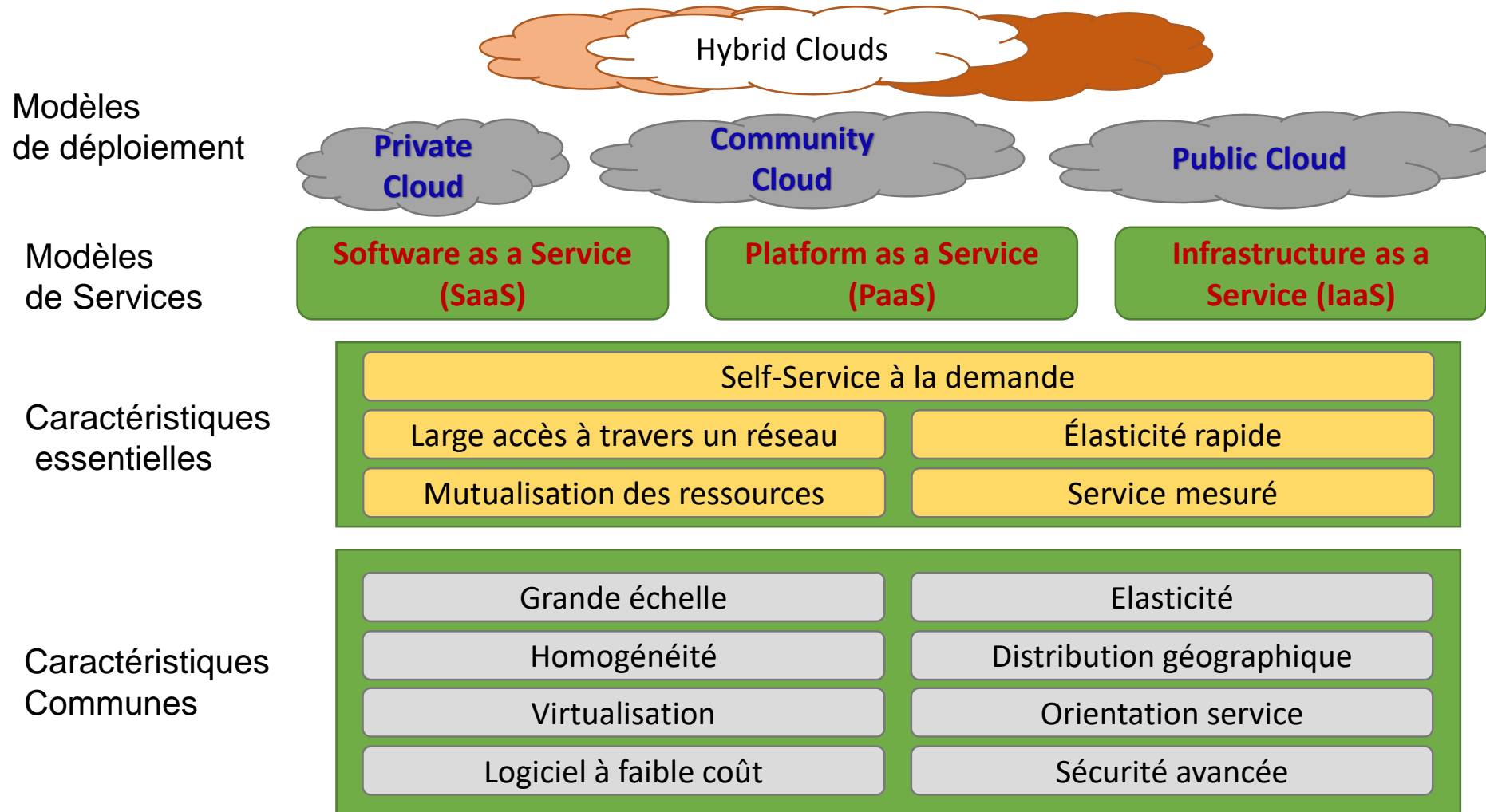
Technologies réseau : 6LOWPAN

- 6LOWPAN (IPv6 Low power Wireless Personal Area Networks) : IP pour les objets intelligents.
- Un protocole Open (non propriétaire) qui vise l'interopérabilité et l'intégration des réseaux de capteurs sans fils et les réseaux IP.
- Adaptation des paquets IPv6 aux spécifications de la norme IEEE 802.15.4 (Protocole des réseaux de basse consommation). Principalement, à travers des mécanismes de fragmentation et de compression.
- Un groupe de travail de même nom « 6LoWPAN » de l'IETF est chargé de développer les normes et spécifications de ce protocole.
- Utilisation et adoption dans plusieurs domaines IoT : Smart Home, Industrie, Agriculture, Transport,....
- Des travaux sur l'optimisation et la sécurité du protocole 6LoWPAN sont toujours en cours.

Autres Protocoles



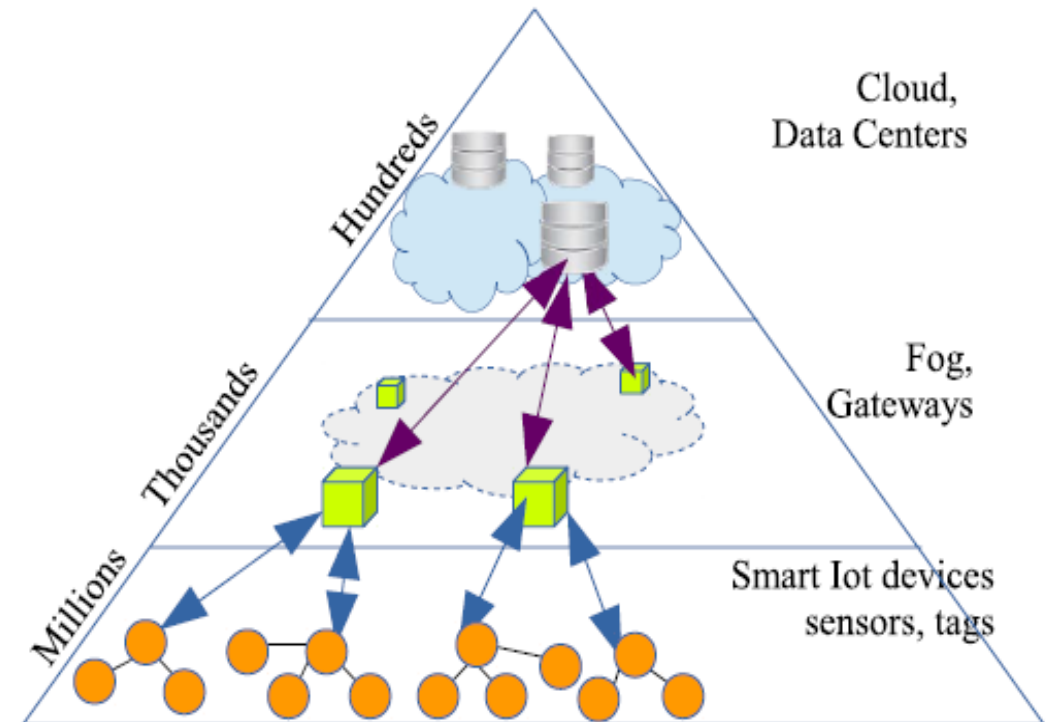
Notion de Cloud Computing



The NIST Cloud Definition Framework (NIST, 2011)

IoT et Infrastructures Cloud

- Les périphériques génèrent des quantités énormes de données (Exemple 10 Téraoctets en 30 min pour un moteur d'avion).
- Nécessité de stockage et de puissance de calcul pour enregistrement et traitement efficace des données collectés.
- Le Fog Computing, constitue un point d'accès et de prétraitement, intermédiaires entre les dispositifs physiques et les services du cloud.

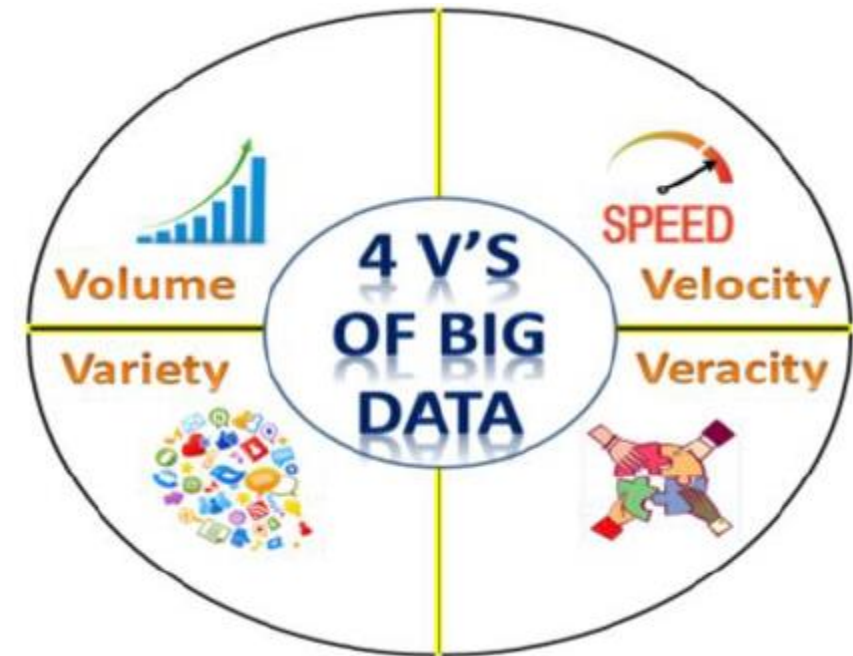


Exemples de plateformes Cloud IoT

- Amazon IoT (AWS)
- Arkessa
- Axeda
- Azure IoT (Microsoft)
- Bluemix IoT (IBM)
- Etherios
- GENI
- Google Cloud
- LittleBits
- NanoService
- Nimbits
- Ninja Blocks
- OnePlatform
- OpenIoT (EU)
- Real Time.io
- SensorCloud
- SmarThings
- TempoDB
- ThingWorx (PTC)
- Xively

IoT et Big Data

- Les 4 V du Big data :
 - **Volume** : Quantité de données générées à partir de différentes sources hétérogènes. Toutes les données ne sont pas nécessairement utiles. L'analyse et le nettoyage de ces données sont nécessaires.
 - **Variété** : Des données structurées et non structurées sont générées à partir de différentes sources tels que des capteurs ou dispositifs IoT.
 - **Vélocité** : Vitesse de traitement des données qui croissent de façon exponentielle.
 - **Véracité** : Après analyse, il faut fournir des informations précieuses à l'organisation afin qu'elle puisse prendre une meilleure prise de décision



IoT et Big Data

- La grande quantité de données collectées doit être envoyée rapidement sur un lieu de traitement. En cas de latence, ces données peuvent être perdues entièrement ou en partie (conséquences néfastes dans le domaine médical par exemple).
- Un prétraitement (Pre-processing) est généralement réalisé au niveau des capteurs ou du Fog Computing ce qui permet de réduire le volume de données à transmettre.
- Le Big Data permet un traitement automatique de données hétérogènes, réduire le risque d'erreurs et maintenir une aide à la décision précise.
- Des algorithmes de Machine Learning sont utilisés pour automatiser le traitement des données du Big Data.

IoT et Data visualisation

- L'énorme quantités de données collectés et générées par les appareils IoT doivent être représentées de manière visuelle pour une compréhension facile par l'utilisateur final ;
- La présentation graphique des données (Big Data) permet la compréhension, la communication facile et l'interprétation intuitive des résultats ;
- La visualisation des données est devenue un choix stratégique pour améliorer la prise de décision ;
- Des algorithmes et méthodes statistiques (Data Science, IA et BI) sont utilisés sur des données variées à grande échelle et de grande dimension ;
- L'IoT exige un fonctionnement en temps réel pour servir efficacement les utilisateurs.

Applications et Services IoT

- L' hétérogénéité des systèmes IoT requiert des interfaces de communication et d'accès à ces systèmes : les API ;
- API : Un ensemble de routines, de protocoles et d'outils pour la construction d'applications logicielles. Une interface qui spécifie comment les composants logiciels doivent s'interagir ;
- Une API permet l'interaction entre applications écrites avec différents langages de programmation à travers une architecture unifiée appelée REST (REpresentational State Transfer) ;
- Une API permet d'accélérer le développement des applications IoT ;
- Une API doit être flexible, évolutive et sécurisée. Divers objets connectés et différents contextes (Véhicules, Médical, Smart Grids, ...).

Protocoles applicatifs IoT

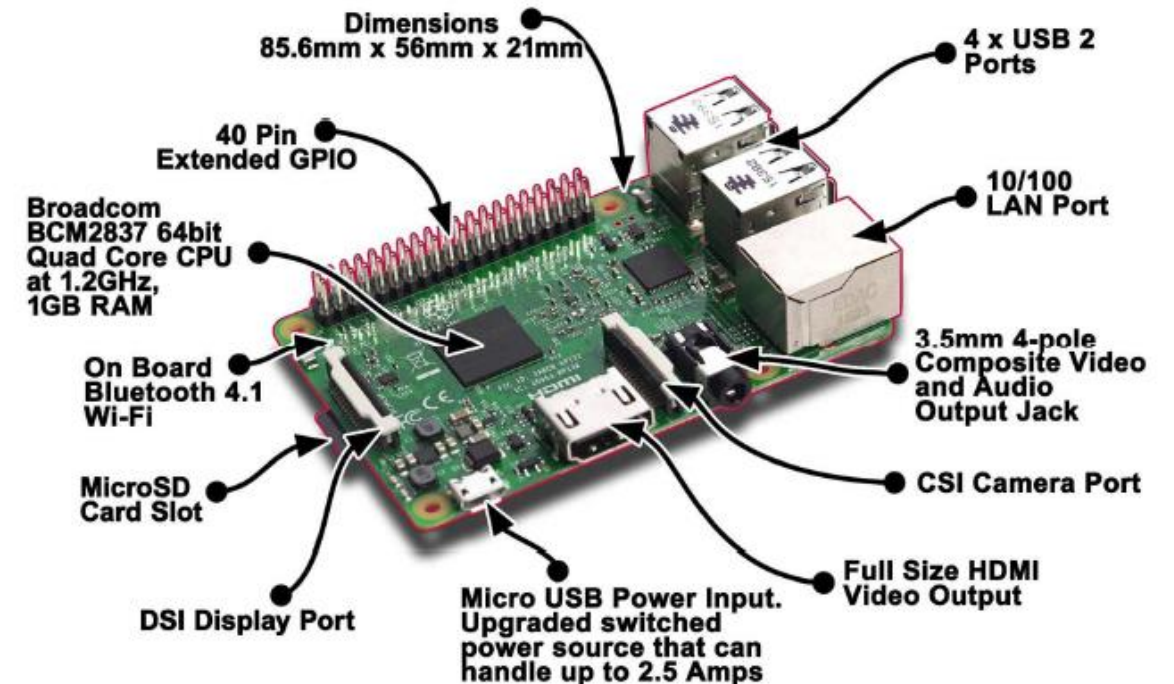
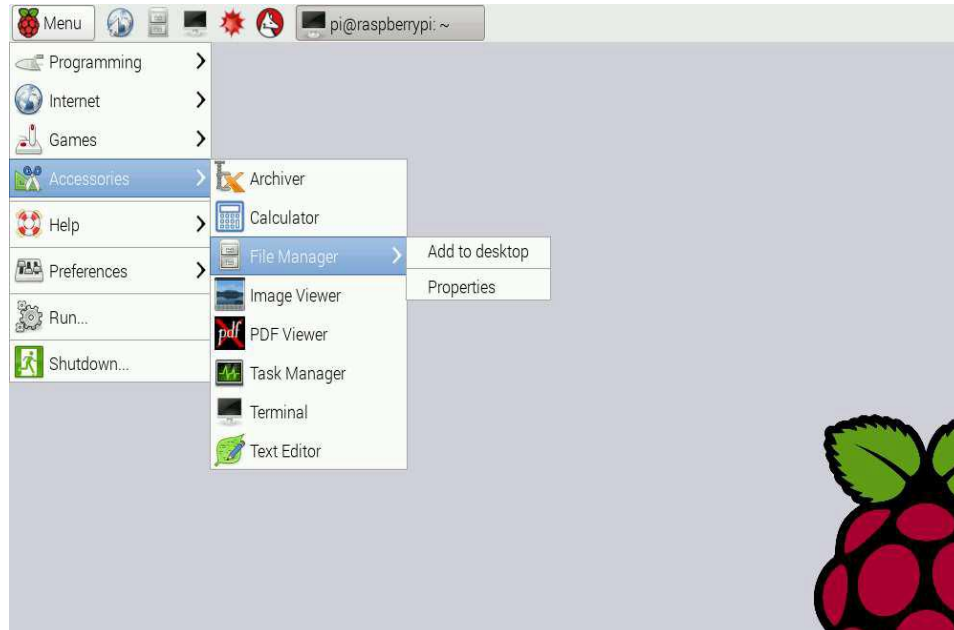
- **CoAP** (Constrained Application Protocol) :
 - Un protocole de transfert Web basé sur l'architecture REST en plus des fonctionnalités HTTP ;
 - CoAP est par défaut lié à UDP (et non à TCP) , ce qui le rend plus adapté aux applications IoT. Il utilise des messages de taille limitée ;
 - CoAP modifie certaines fonctionnalités HTTP pour répondre aux exigences de l'IoT telles que la faible consommation d'énergie et la non stabilité de liaison télécom ;
- **MQTT** (Message Queue Telemetry Transport) :
 - Un protocole de messagerie basé sur le protocole TCP et sur le principe publication/abonnement (orienté évènement et message) moyennant un broker ;
 - Convient aux connexions des sites distants et aux dispositifs à ressources limitées qui utilisent des liaisons peu fiables ou à faible bande passante ;
 - Considéré comme protocole de connexion et de communication optimal pour l'IoT et le M2M ;

Protocoles applicatifs IoT

- **XMPP** (Extensible Messaging and Presence Protocol) : Protocole de messagerie instantanée (IM) qui est utilisée pour le chat multi-parties, les appels vocaux, vidéo et la téléprésence. XMPP a été développé par la communauté open source Jabber. XMPP utilise un flux de strophes XML.
- **AMQP** (Advanced Message Queuing Protocol) : Un standard ouvert pour l'IoT, axé sur les environnements orientés message et se base sur TCP. AMQP supporte les communications point à point ou par Publication/Abonnement.
- **DDS** (Data Distribution Service): un protocole de publication-abonnement pour les communications M2M en temps réel qui a été développé par Object Management Group (OMG). DDS utilise la multidiffusion sans broker pour apporter une meilleure QoS et une fiabilité élevée.


Exemple : Raspberry pi 3

- Système d'exploitation faire tourner des applications
- Interface graphique qui facilite l'utilisation
- Exemple : **Raspbian** (qui a devenu), basée sur la distribution Linux Debian



Exemple : Raspberry pi 3

Ports GPIO (General Purpose Input/Output)



Alternate Function					Alternate Function
	3.3V PWR	1		2	5V PWR
I2C1 SDA	GPIO 2	3		4	5V PWR
I2C1 SCL	GPIO 3	5		6	GND
	GPIO 4	7		8	UART0 TX
	GND	9		10	UART0 RX
	GPIO 17	11		12	GPIO 18
	GPIO 27	13		14	GND
	GPIO 22	15		16	GPIO 23
	3.3V PWR	17		18	GPIO 24
SPI0 MOSI	GPIO 10	19		20	GND
SPI0 MISO	GPIO 9	21		22	GPIO 25
SPI0 SCLK	GPIO 11	23		24	GPIO 8
	GND	25		26	GPIO 7
	Reserved	27		28	Reserved
	GPIO 5	29		30	GND
	GPIO 6	31		32	GPIO 12
	GPIO 13	33		34	GND
SPI1 MISO	GPIO 19	35		36	GPIO 16
	GPIO 26	37		38	GPIO 20
	GND	39		40	GPIO 21
					SPI0 CS0
					SPI0 CS1
					SPI1 CS0
					SPI1 MOSI
					SPI1 SCLK

Exemple d'API Python

- **Package = gpio**
- **Function:** `pinMode(slot, mode)`
- **Description:** Configure la broche spécifiée pour qu'elle se comporte soit en entrée, soit en sortie (INPUT or OUTPUT).
- **Syntaxe :**
 - `pinMode(broche, mode)`
- **Example**
 - `pinMode(1, OUT)`
 - `pinMode(2, IN)`

Challenges de confidentialité et de Sécurité IoT

- Les appareils IoT sont généralement sans fil et peuvent être situés dans des lieux publics ;
- Les communications sans fil sur Internet sont aujourd'hui généralement plus sécurisées grâce au cryptage ;
- les algorithmes doivent être rendus plus efficaces et moins consommateurs d'énergie, et des schémas de distribution de clés efficaces sont nécessaires ;
- L'IoT créera de nouveaux défis juridiques qui nécessitera des structures veille à responsabilisation des parties prenantes et à l'application de la loi y affèrent.

Challenges de confidentialité et de Sécurité IoT

- La vie privée devient menacée avec la traçabilité des objets IoT ;
- Sécuriser les données (propriété) pour rassurer l'utilisateur final. Les données collectées ne doivent pas être partagées sans son consentement ;
- Les politiques de confidentialité peuvent être une approche pour garantir la confidentialité de l'information ;
- Les objets intelligents et les appareils de lecture dans l'IoT peuvent chacun être équipés de politiques de confidentialité.

Technologies IoT : Opportunités

Opportunités d'utilisation : *Musée 4.0*



Opportunités d'application : Musée 4.0

- L'adoption de l'IoT associée à l'AR/VR dans le domaine du tourisme et particulièrement les musées offrira de nouveaux services à valeur ajoutée ;
- Les visiteurs peuvent obtenir des informations sur le musée, les visites possibles selon leurs centres d'intérêt et en fonction de l'heure et durée ;
- Naviguer et de voir les expositions à l'aide de leurs propres appareils mobiles ;
- Accéder à du contenu interactif pour différentes natures d'activités STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Math)

Exemple : Musée 4.0

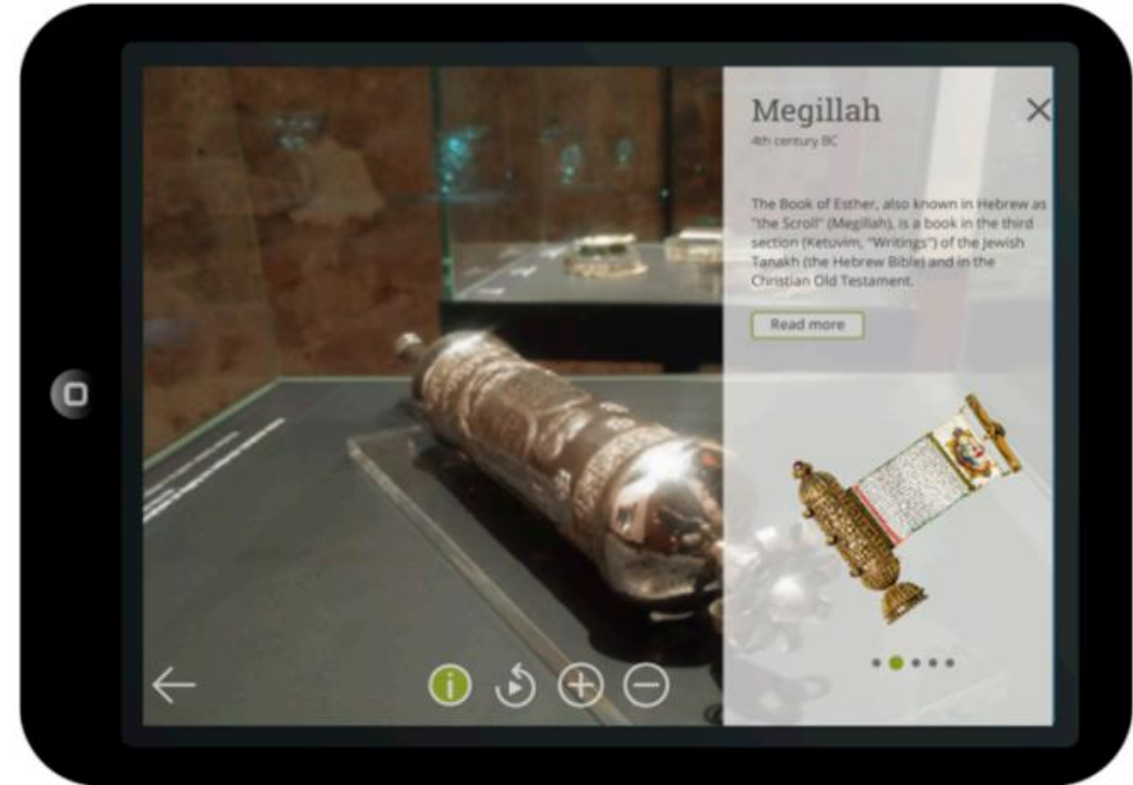
Projet e-Tracer AR

- Une application de réalité augmentée pour musée 4.0 au musée du patrimoine à Ioannina, Grèce
- **A Gamified Augmented Reality Application for Digital Heritage and Tourism**
- **Auteurs : Ioannis Paliokas et al 2020**
- **Doi : <https://doi.org/10.3390/app10217868>**

Exemple : Musée 4.0

Projet e-Tracer AR

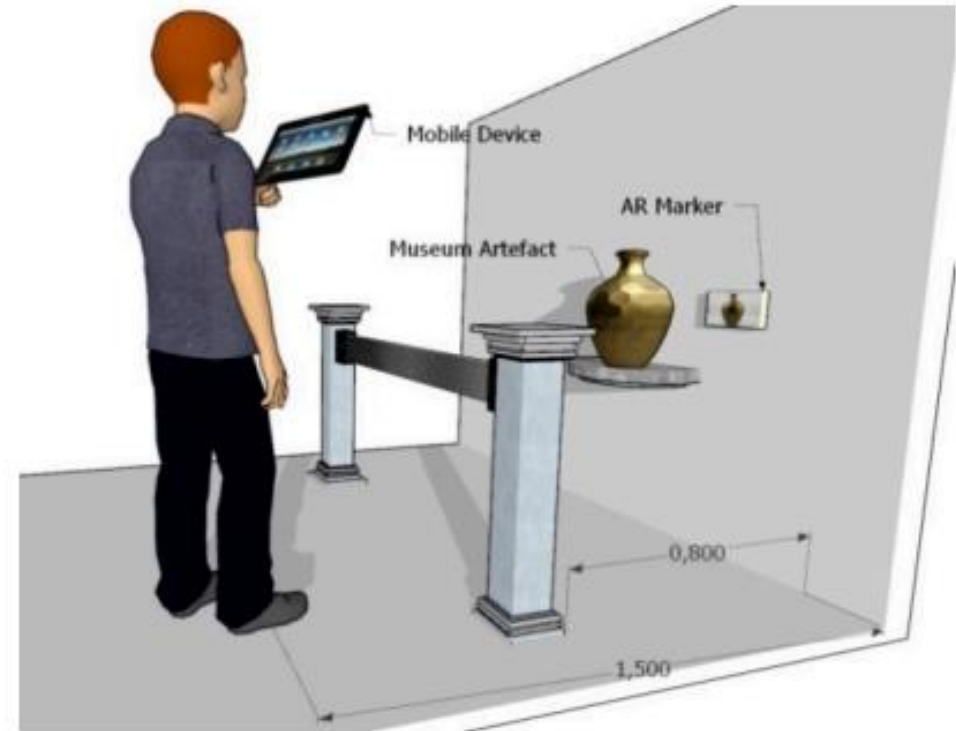
- La fonctionnalité AR permet de **détecter un artefact dans la musée** à travers la **caméra du mobile**.
- Le **mécanisme de détection d'objets** à base de marqueurs **déclenche la projection d'informations** supplémentaires (description courte) liées à cet objet, ou il permet une **projection virtuelle d'objets 3D animés** lorsqu'ils sont disponibles ;
- Il existe un système de support **multilingue** (Anglais, Grec) permettant d'afficher les informations et le contenu éducatif aux visiteurs.



Exemple : Musée 4.0

Projet e-Tracer AR

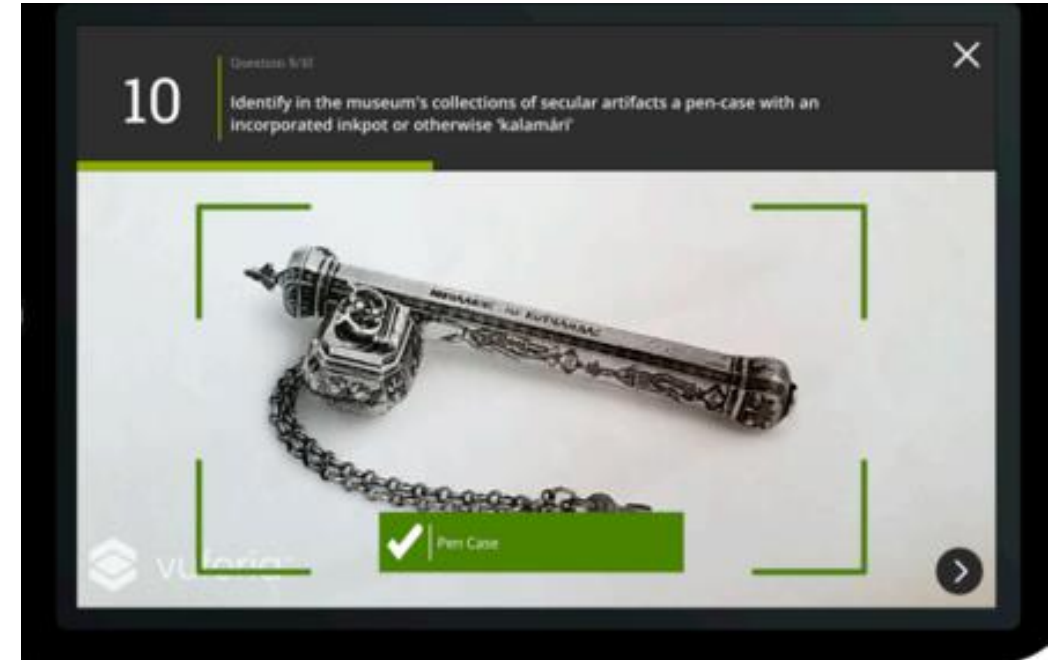
- Les expositions sont pour la plupart statiques ;
- Dans un cadre de la réalité augmentée, **la projection d'objets devrait être effectuée dans des positions standard** dans les paramètres physiques du musée et compte tenu de la distance du visiteur à l'objet ;
- La solution de l'équipe a été techniquement testée pour travailler à une distance allant jusqu'à **1,5 m** de l'artefact.



Exemple : Musée 4.0

Projet e-Tracer AR

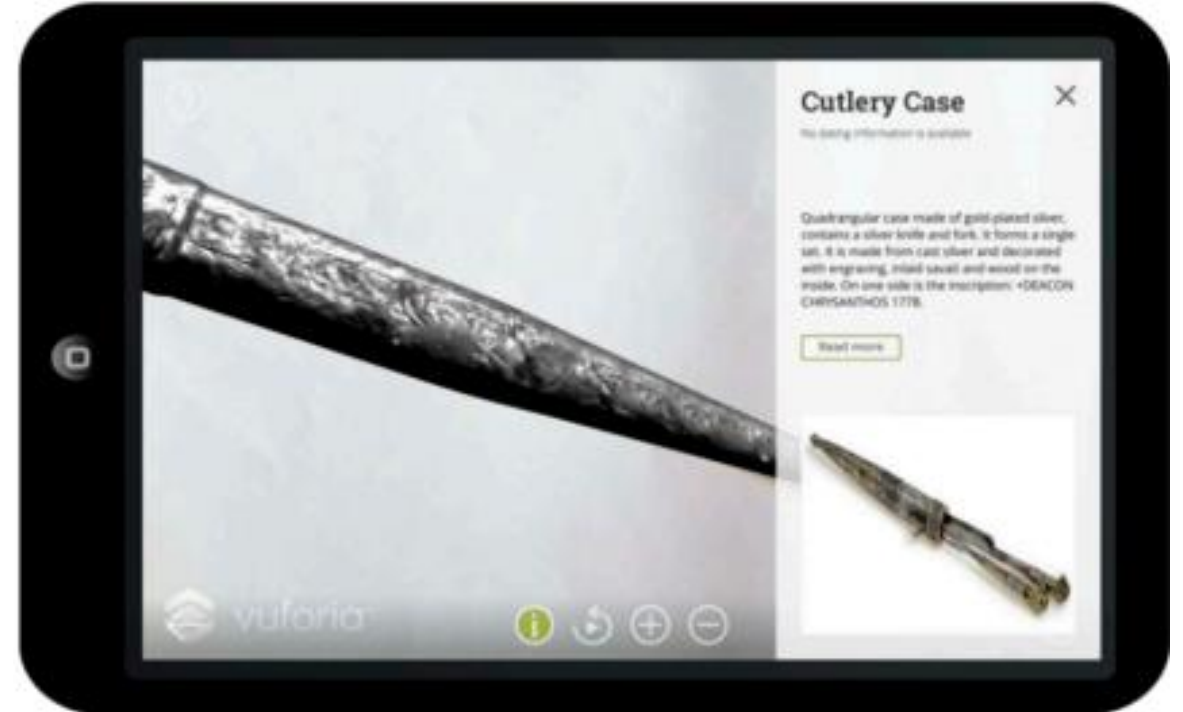
- Après **avoir visité les expositions du musée**, les visiteurs du musée sont invités à **participer à un quiz** sur les **nouvelles connaissances** acquises lors de la visite du musée.
- Ce qui est nouveau, ce sont les questions AR qui, au lieu de demander aux utilisateurs de sélectionner l'une des options disponibles, ils **demandent aux gens de revisiter les collections du musée, de rechercher des artefacts avec des caractéristiques spécifiques**, et les scanner avec l'appareil photo de leur tablette.
- L'application AR reconnaîtra l'objet présenté comme un choix correct et récompensera l'utilisateur avec des **récompenses symboliques**.



Exemple : Musée 4.0

Projet e-Tracer AR

- Le traitement principal de détection d'objets est effectué sur l'appareil mobile de l'utilisateur, tandis que les **modèles 3D sont automatiquement téléchargés à partir des services cloud** du système e-Tracer et deviennent disponibles à la demande de l'utilisateur pour lui permettre d'examiner les côtés cachés ou les détails de l'artefact.



Exemple 2 : Musée 4.0



<https://youtu.be/yiwG4BND5PQ>

Merci pour
votre attention



Les Technologies IoT

Pr. M'barek EL HALOUI

melhaloui@esi.ac.ma

14 Juin 2022, ESI, Rabat Maroc