

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR

**UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE****INTRODUCTION À L'IOT**

LICENCE 3 INGÉNIERIE INFORMATIQUE

L2I

2022 – 2023

Pr Ousmane DIALLO
Dept. Informatique, UFR ST
odiallo@univ-zig.sn

PRÉSENTATION DU COURS

- ❑ Ce cours d'initiation à l'Internet des Objets (IoT) est conçu pour tous ceux qui souhaitent découvrir l'IoT et son impact sur notre quotidien et éventuellement pour tous ceux qui veulent s'initier dans la pratique du domaine.
- ❑ Il propose une présentation générale de l'IoT et de la manière dont il assure la numérisation des tâches quotidiennes. En deuxième partie il propose des notions sur la programmation, le prototypage, etc.
- ❑ À l'issue de ce cours d'initiation, vous serez capables d'effectuer les tâches suivantes :
 - Expliquer ce que signifie « transformation numérique » et son impact.
 - Expliquer la manière dont les données apportent une valeur ajoutée aux entreprises numériques et à la société.
 - Découvrir les opportunités offertes par la transformation numérique.
 - Expliquer la notion d'Internet des Objets et ses opportunités
 - Expliquer les notions d'informatique physique, programmation, de prototypage
 - Appliquer une programmation de base pour prendre en charge un appareil IoT.
 - Apprendre à faire des prototypes réels avec Arduino et/ Raspberry Pi.

2

PRÉSENTATION DU COURS

Méthodologie de l'atelier

- ❑ L'*Arduino/Raspberry* est un excellent outil pour le ***learning by doing*** et le ***project based learning*** dans le domaine de l'***Internet des Objets*** ou ***Internet of Things (IoT)*** en anglais.
- ❑ Une approche par la théorie, même si elle reste possible, serait contre-productive.
- ❑ Les projets de ce cours suivent une approche pédagogique de l'***apprentissage par la pratique***. On commence par expérimenter et découvrir, et ensuite vient la théorie pour affirmer et expliciter les découvertes.

3

PLAN

- 
- ❑ LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE
 - Évolution
 - Impact sur les entreprises et la société
 - ❑ INTERNET DES OBJETS (IoT, en anglais)
 - Définition
 - Architecture à trois couches
 - Appareils IoT vs. ordinateur
 - Bénéfices liés à la connexion d'appareils dans l'IoT
 - Interaction des appareils IoT via le réseau ?
 - Appareils de l'IoT vs. Systèmes embarqués
 - Architecture d'un système embarqué
 - Le microcontrôleur et ses composants
 - ❑ PROGRAMMATION DE BASE POUR LES APPAREILS IOT
 - L'informatique physique
 - Algorithmes, Organigrammes, applications et langages informatiques
 - Le prototypage
 - ❑ PRISE EN MAIN DE RASPBERRY et /ARDUINO
 - TP ...

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Évolution de la transformation numérique (1/3)

Qui d'entre nous peut réellement se passer de son smartphone pendant une journée ?

- Aujourd'hui, il y a plus d'appareils intelligents que de personnes.
- De plus en plus de personnes possèdent et utilisent trois, quatre appareils intelligents, voire plus et sont connectées à Internet, généralement, 24 /24.

- ✓ *Population mondiale estimée à 7,4 milliards*
- ✓ *Nbre d'appareils connectés à internet en 2020 estimé à 50 milliards*
- ✓ *Nbre moyen d'appareils connectés par consommateur en 2020 est estimé à 6,58*
- ✓ *44% d'enfants de moins d'1 an utilisent des équipements intelligents*
- ✓ *Nbre de pacemakers utilisés en 2023 est 1,4 million*
- ✓ *20 milliards Euros dépensés dans l'IA par l'UE jusqu'à 2020*

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Évolution de la transformation numérique (2/3)

Comment est-il possible de connecter autant d'appareils ?

- Les réseaux numériques modernes rendent tout cela possible.
- Le monde est couvert par les réseaux qui permettent aux appareils numériques de s'interconnecter et de transmettre des données.



- Grâce à ces réseaux, les terminaux mobiles, les capteurs électroniques, les instruments de mesure électroniques, les dispositifs médicaux et les indicateurs peuvent tous se connecter.
- > Fonction de surveillance, communiquent, évaluent les données et dans certains cas s'adaptent automatiquement aux informations collectées et transmises.

6

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Évolution de la transformation numérique (3/3)

- ❑ Nous vivons actuellement une transformation numérique, telle que la société a adopté ces appareils numériques, que les réseaux numériques continuent de gagner du terrain dans le monde entier et que les bénéfices économiques de la numérisation se multiplient.

✓ *La transformation numérique consiste à appliquer la technologie numérique pour créer les bases de l'innovation dans les entreprises et le secteur de l'industrie. Cette innovation numérique s'applique désormais à tous les aspects de la société humaine.*

7

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

- 
- 
- 
- ❑ La technologie numérique a permis aux entreprises de révolutionner la façon dont elles interagissent avec la société.
 - Entreprises fournissent désormais la totalité ou une partie de leurs services en ligne
- ❑ Les utilisateurs sont plus à l'aise avec la technologie numérique et tirent parti des avantages des appareils intelligents tout au long de leurs journées bien chargées.
 - Possibilité de faire des courses en ligne, livraison de repas, réservation de voyage, commander des vêtements, du matériel informatique, rester en contact avec les amis et la famille.



8

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

□ Les **capteurs sont omniprésents** et **génèrent d'énormes quantités de données**:

Les **maisons intelligentes** peuvent être équipées de **capteurs de mouvements**, de **capteurs d'eau**, de **capteurs de lumière**, de **capteurs de sonnette** d'entrée et de **capteurs de températures**.



Nous pouvons trouver des capteurs dans les *feux de circulation*, les *camions de transport*, les *parkings couverts*, les *caméras de sécurité*, les *trains* et les *avions*.



- Tous ces capteurs et tous ces instruments de mesure collectent et transmettent leurs données.
- Les données peuvent être stockées et analysées à une date ultérieure ou immédiatement afin d'apporter les modifications requises aux ordinateurs, aux terminaux mobiles ou à des processus en tout genre.

10

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

□ **Comment les données stockées et analysées sont-elles utilisées ?**

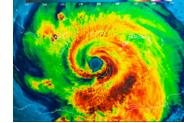
Les entreprises déterminent les **habitudes achats**, anticipent les nouvelles **tendances** et rationalisent la production.



Les villes **contrôlent le trafic**, surveillent les parkings, mobilisent la **police** ou les **pompiers** plus rapidement, et contrôlent la **gestion des déchets**.



Les administrations **surveillent l'environnement**, anticipent les **tendances démographiques**, prévoient les taux de criminalité et **planifient les services sociaux**.



11

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

Comment les objets du monde sont connectés?

Le réseau comme base

- 30 milliards d'objets fournissent des trillions de giga-octets de données.
- *Comment ces objets peuvent-ils fonctionner ensemble pour améliorer notre processus de prise de décision et nos vies privées et professionnelles ?*
- L'interconnexion de ces objets s'effectue par le biais des réseaux que nous utilisons quotidiennement.
- *Ces réseaux constituent, donc, la base d'Internet et du monde numérique.*
- Les méthodes que nous utilisons pour communiquer évoluent constamment: limités autrefois par les câbles et les prises, *les innovations technologiques numériques et sans fil ont largement révolutionné le monde des communications.*

18

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

Comment les objets du monde sont connectés?

Les types de réseau

- Il existe de nombreux types de réseaux caractérisés par leur *taille géographique*, par le nombre d'appareils ou de réseaux qui s'y connectent et par le fait qu'ils prennent en charge ou non des terminaux mobiles.

Réseau personnel (PAN)

petite taille où les appareils sans fil connectés sont proches d'une personne.

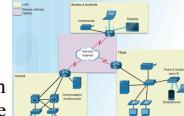
Ex: Connexion de votre smartphone à votre voiture via Bluetooth



Réseau local (LAN)

zone géographique de petite envergure ou locale.

Ex: réseau une maison, une PME ou un département dans une grande entreprise



Réseaux étendus (WAN)

ensemble de LAN qui assurent une connectivité inter-LAN et Internet pour les entreprises et les administrations.



19

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

Comment les objets du monde sont connectés?

Les types de réseau

Réseaux sans fil

- Ce sont des réseaux informatiques qui utilisent des ondes électromagnétiques à la place des câbles pour transporter des signaux sur les diverses parties du réseau.
- Les réseaux sans fil peuvent être des PAN, des LAN ou des WAN, selon leur envergure.

Réseau sans fil

Type	Portée	Standards
Réseau personnel (PAN)	Dans le rayon proche d'une personne	Bluetooth, ZigBee, NFC
Réseau local (LAN)	Au sein d'un bâtiment ou d'un campus	IEEE 802.11 (WiFi)
Réseau métropolitain (MAN)	Dans une ville	IEEE 802.15 (WiMAX)
Réseau étendu(WAN)	International	Réseau cellulaire [GSM(2G) : 9,05 Kbps, GPRS(2.5G) : 171,2 Kbps, EGPRS(2.75) : 383 Kbps, UMTS(3G) : 1.9 Mbps, HSDPA (3G+) : 14.4Mbps, LTE-Advanced (4G) : 1Gbps / 100Mbps, LoRaWAN : 0.3-50Kbps]

23

INTERNET DES OBJETS

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

Comment les objets du monde sont connectés?

Les types de réseau

Le cloud

- Le cloud n'est pas vraiment un type de réseau, mais plutôt un ensemble de data centers ou des groupes de serveurs connectés qui permettent de stocker et d'analyser des données, d'accéder à des applications en ligne et de fournir des services de sauvegarde à des fins personnelles et professionnelles.
- Plusieurs entreprises proposent des services cloud.



Data centers et serveurs dans le cloud

24

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Impact sur les entreprises et la société

INTERNET DES OBJETS

Les types de réseau

Réseau de périphérie

- Il s'agit de la « périphérie » physique d'un réseau d'entreprise.

Ville intelligente

Les données capteur sont capturées localement

Les données sont prétraitées à la périphérie du réseau de ville

Fog computing

- Vu le nombre croissant de capteurs utilisés par l'IoT, il est souvent nécessaire de stocker en toute sécurité les données du capteur à proximité de l'endroit où elles seront analysées.
- Ces données analysées servent alors à mettre à jour ou modifier rapidement les processus d'une entreprise.

Les données analysées sont utilisées dans le réseau urbain pour modifier le rythme des feux de circulation et éviter les embouteillages

INTERNET DES OBJETS

Historique (1/3)

INTERNET DES OBJETS

- **Kevin Ashton** : entrepreneur britannique qui a inventé le terme « Internet of Things (IoT) » en 1999 pour référence à un réseau mondial d'objets connectés via les micropuces d'identification par radiofréquence (RFID).
- Selon le groupe Cisco Internet Business Solutions (IBSG), l'IoT est né entre 2008 et 2009, au moment où plus de « choses ou d'objets » étaient connectés à Internet que de personnes

Kevin Ashton
Trailblazer & Father of
The Internet of Things

INTERNET DES OBJETS

Historique (2/3)

- Durant 2008, le nombre d'**objets** connectés à internet a dépassé le nombre de **personnes** sur terre

31

Année	Nombre d'objets (approx.)
2003	1 milliard
2010	10 milliards
2015	20 milliards
2020	50 milliards

INTERNET DES OBJETS

Historique (3/3)

- La première application IoT est née à l'université de Cambridge en 1991.
- Il s'agissait d'une caméra pointée sur une cafetière et connectée au réseau local de l'université.

32

Résultat: Chaque informaticien pouvait connaître la disponibilité de café depuis son écran.

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Qu'est-ce que l'Internet des objets ? (1/2)

L'Internet des objets = Internet of Things (IoT) est considéré comme une infrastructure de réseau dynamique et globale, dans laquelle les objets physiques et virtuelles, les sous-systèmes, les appareils, les véhicules, les bâtiments et d'autres éléments intelligent qui sont intégrés à l'électronique, aux logiciels, aux capteurs et à la connectivité réseau pour permettre à ces objets d'être identifiables, autonomes et auto-configurables, et de collecter et d'échanger des données.

Internet + smart objet = IOT

- Ces capteurs et ces appareils connectés collectent et partagent des données qui seront utilisées et analysées par plusieurs organismes, dont:
 - ✓ Des entreprises, Villes, des gouvernements, des hôpitaux et des particuliers.



33

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Qu'est-ce que l'Internet des objets ? (2/2)

Internet des Objets = Smart objet + Internet
 =
 Smart objet { des objets du monde réel (un réfrigérateur, un vêtement, une montre, une poubelle,...)
 +
 de "l'intelligence". Un organe de calcul = un "minuscule" ordinateur pouvant exécuter un "logiciel" = un microcontrôleur
 +
 une connexion réseau vers l'internet



34

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Une chose/appareil (device) "intelligente"

- ❑ Une poubelle est destinée à recueillir les déchets, pour éviter leur entassement et des dégâts environnementaux.
- ❖ Ajoutons des fonctionnalités à l'objet, par exemple:
- ❑ Une poubelle intelligente:
 - ❑ indiquer si le couvercle est entre-ouvert via un bip sonore
 - ❑ indiquer le niveau de remplissage des déchets à l'intérieur de la poubelle
 - ❑ Indiquer le poids des déchets à l'intérieur de la poubelle
 - ❑ Indiquer des informations (température, humidité, etc.) dans la poubelle
 - ❑ Indiquer sa position pour améliorer le suivi et la collecte, etc.
- ❑ Confer à notre travail de recherche "A Smart Waste Management Solution Geared towards Citizens", *Sensors (MDPI)* 2020, 20, 2380; doi:10.3390/s20082380, April 2020
- ❑ **NB: Jusque là il n'y a pas encore de réseau et d'internet ici.**



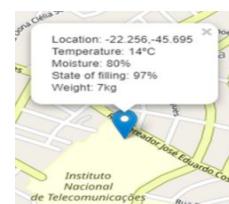
35

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

La gestion d'une poubelle via l'IoT

- ❑ Collecter en temps réel les données telles que le niveau de remplissage, le poids, le degré de pourriture sur les déchets dans la poubelle intelligente, puis les transmettre à une plateforme en ligne.
- ❑ Identifier le positionnement exact de la poubelle et tracer le meilleur itinéraire pour la collecte.
- ❑ **Ces tâches nécessitent alors une connexion à internet.**
- ❑ Ainsi, l'objet fait son travail (contenir les déchets, collecter les données) avec des fonctionnalités (de calcul) supplémentaires pouvant être transmises vers l'internet et pouvant recevoir des informations du réseau.



36

INTERNET DES OBJETS

Appareils IoT vs. ordinateur

- Un élément d'internet des objets ressemble à une "*chose*" pas à un ordinateur (portable, PC, serveur ou autre)
- De plus, un appareil IoT (IoT device) a une fonction principale qui n'est pas une fonctionnalité d'ordinateur
- Un appareil *destiné à une fonctionnalité* la fait très bien, par exemple une caméra filme très bien une scène, un capteur capte un phénomène physique du monde réel et le restitue sous forme de signal très bien, etc.
- Mais n'est destiné qu'à une certaine fonctionnalité
- Alors qu'un ordinateur peut *réaliser beaucoup de fonctionnalités*, généralement moins bien qu'un appareil dédié

37

INTERNET DES OBJETS

IoT peut être partout ?

- Un **environnement pervasif** (ou **environnement ubiquitaire**) correspond à un environnement où les objets communicants se reconnaissent et se localisent automatiquement entre eux. Les objets interagissent entre eux de manière autonome.
- Autrement dit, l'on peut être connecté partout et tout le temps.
- L'IoT peut être pervasif
 - ✓ L'IoT peut être mis dans une télévision, des jeux, contrôler l'électroménager, déceler une présence par des capteurs (=> allumer une pièce suivant la luminosité, etc.), détecter des entrées par tag RFID
 - ✓ L'IoT peut être utile pour la santé des gens : pacemakers, pompe à insuline, etc.
 - ✓ L'IoT pour la surveillance du trafic routier

38

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Un exemple d'IoT pervasif : Une "smart home"

- ❑ Concevoir une maison intelligente où tout est contrôler automatiquement:
 - ✓ Arroser la pelouse,
 - ✓ Allumer/éteindre les lumières,
 - ✓ Régler les thermostats, fermer fenêtres et rideaux
 - ✓ Contrôler l'accès à la maison partout où on est
 - ✓ Réguler la température, la ventilation, la climatisation



39

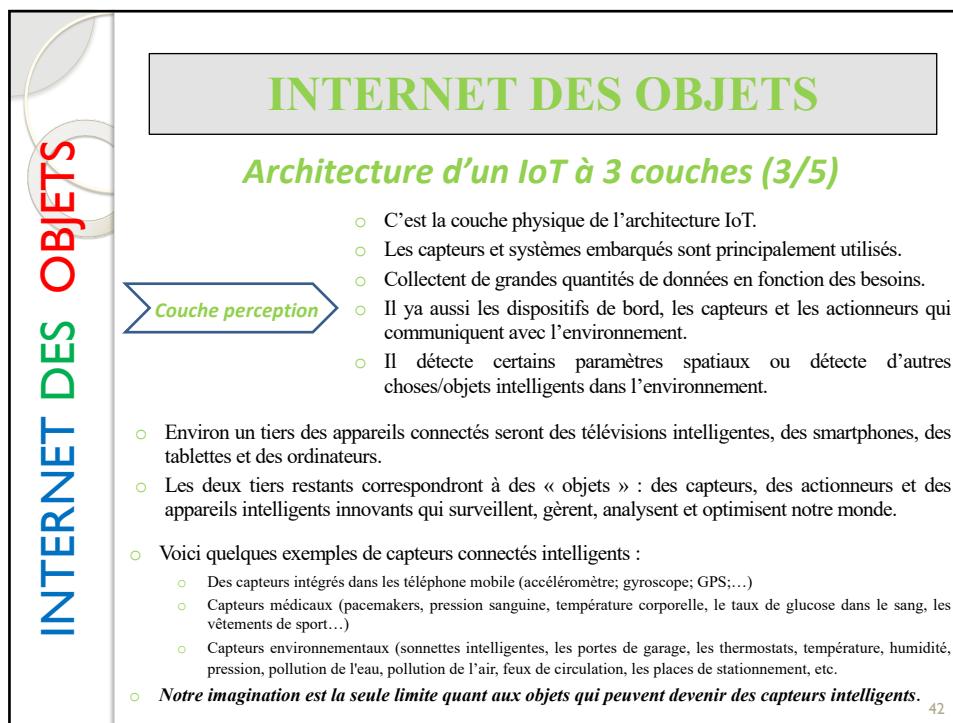
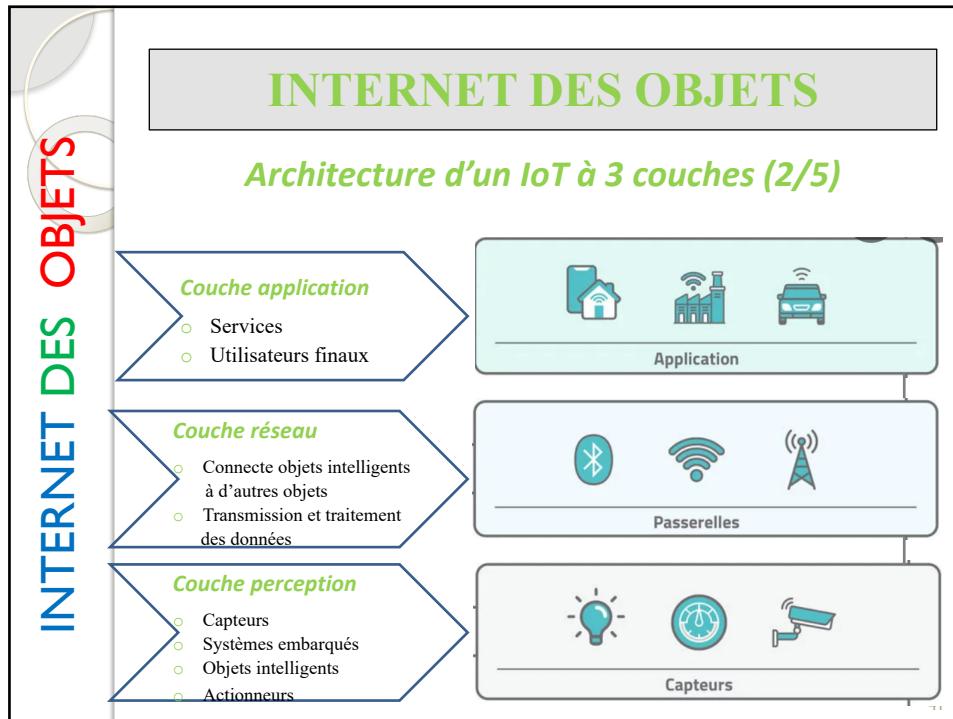
INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Architecture d'un IoT à 3 couches (1/5)

- ❑ L'**architecture** IoT est un cadre qui spécifie les éléments physiques, l'agencement et la configuration techniques du réseau, les procédures d'exploitation et les formats de données à utiliser.
- ❑ L'architecture IoT peut différer considérablement en fonction de l'exécution
- ❑ Une **architecture à 3 couches** est la structure commune et généralement connue.
- ❑ Elle a été utilisée pour la 1ère fois dans les phases initiales de l'étude IoT.
- ❑ Il indique trois niveaux :
 - ✓ *Couche perception/intersection,*
 - ✓ *Couche réseau,*
 - ✓ *Couche application.*

40



INTERNET DES OBJETS

Architecture d'un IoT à 3 couches (4/5)

Couche réseau

- Les données obtenues par ces appareils doivent être diffusées et stockées: *C'est la responsabilité de la couche réseau !!!*
- Connecte les objets intelligents à d'autres objets.
- Il est également en charge du transfert des données.
- La couche réseau est chargée de relier les objets intelligents, les périphériques réseau et les serveurs.
- Il est également utilisé pour distribuer et analyser les données des capteurs.

43

INTERNET DES OBJETS

Architecture d'un IoT à 3 couches (5/5)

Couche application

- L'utilisateur communique avec cette couche applicative.
- Il est chargé de fournir au client des ressources logicielles.
- **Par exemple :** dans une application domotique, où les utilisateurs appuient sur un bouton de l'application pour allumer la clim.
- La couche application est chargée de fournir au client des ressources spécifiques à l'application.
- Il spécifie différentes utilisations de l'IoT, telles que les maisons intelligentes, les villes intelligentes et la santé intelligente.

44

INTERNET DES OBJETS

TP4 : Imaginer un nouveau capteur intelligent

- De nombreux appareils sont équipés de capteurs qui affectent le fonctionnement des processus ou génèrent des données pour aider les administrations et les entreprises.
- Faites preuve d'imagination : déterminez quels appareils seraient plus utiles s'ils contenaient des capteurs intelligents.

45

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (1/7)

- Ces capteurs et ces appareils connectés collectent et partagent des données qui seront utilisées et analysées par plusieurs organismes de secteurs divers, dont:
 - ✓ Des entreprises, Villes, des gouvernements, des hôpitaux et des particuliers.

Secteur industriel

□ Industrial Internet of Things (IIoT)

- Economise de l'argent, améliore l'efficacité
- Améliore la productivité des procédés et des opérations
- Réduction des temps d'indisponibilités en prévoyant des exigences de maintenance
- Améliorant la planification des employés du service mobile
- Simplification de l'accès à l'information



46

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (2/7)

Villes intelligentes (Smart city)

- Contrôle intelligent de la circulation en fonction de l'heure ou des événements
- Gestion intelligente des déchets et le recyclage,
- Parking intelligent
- Evaluer les besoins futurs en matière de transport
- Surveiller les questions environnementales,
- Contrôle intelligent de la production d'électricité



47

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (3/7)

Villes intelligentes (Smart city)

- Maison intelligente



48

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (4/7)

Villes intelligentes (Smart city)

- Efficient Waste Management: Scénario

Visualiser :

- taux de remplissage,
- taux d'humidité des déchets pour priorisation
- géolocalisation des poubelles sur carte

> Optimiser la collecte

Poubelles équipées de:

- capteur de ultrason
- capteur de température et d'humidité
- capteur de poids
- capteur de géolocalisation
- système d'ouverture automatique du couvercle

49

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (5/7)

Santé et bien-être (IoMT)

- Amélioration de la qualité de vie et le bien-être
- Surveillance intelligente des patients
- Récolte de meilleures prestations de conditionnement physique et de santé

50

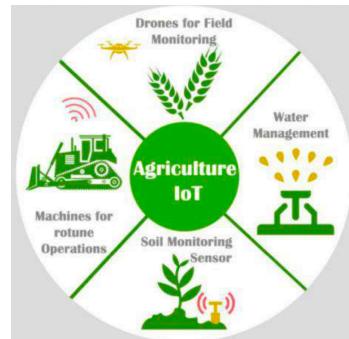
INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (6/7)

Agriculture et Elevage (Smart agriculture)

- Surveiller efficacement en temps réel des champs et cultures,
- Augmentation de la productivité
- Optimisation des activités des agriculteurs



51

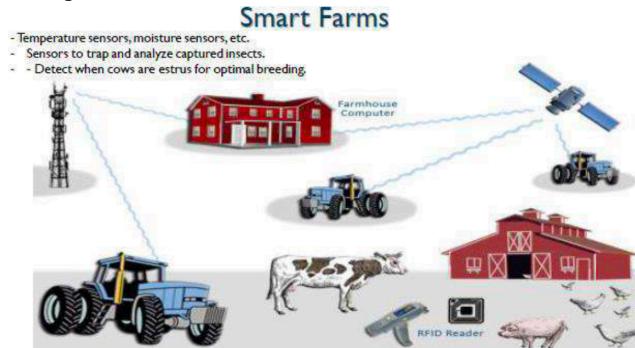
INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Quels sont les bénéfices liés à la connexion de ces appareils dans l'IoT ? (7/7)

Agriculture et Elevage (Smart farm)

- Surveiller efficacement en TR des champs et cultures pour plus de productivité,
- Traçabilité intelligente du bétail
- Suivi en temps réel de l'état de santé des bêtes



52

INTERNET DES OBJETS

Enjeu majeur de l'IoT : comment faire interagir le monde « numérique » et le monde « physique » ?

- Pour cela, il convient de mettre en œuvre des moyens permettant à **une grandeur physique de renseigner un système informatique**
- et, inversement, des moyens permettant à un **système informatique d'agir sur le monde physique (c'est-à-dire : changer son état)**.

```

graph LR
    A[Grandeur physique à mesurer  
(Ex : Température, Humidité)] -- "Capteur et conditionneur" --> B[Système informatique]
    B -- Transmission --> C[Système informatique]
    C -- Transmission --> D[Action physique sur la poubelle  
(Ex : bip sonore, fermer le couvercle, etc.)]
    
```

53

INTERNET DES OBJETS

Interaction entre le monde « numérique » et le monde « physique »

Monde « numérique » ?

- On désignera par « **monde numérique** » tous les **systèmes** manipulant des données numériques ainsi que les **réseaux** permettant l'échange des données (calculateurs, microcontrôleurs, serveurs informatiques, bases de données, réseaux informatiques, protocoles de communication filaires ou sans fil, etc.).

Monde « physique » ?

- On désignera par « **monde physique** » tous les **systèmes vivants ou artificiels** que nous côtoyons et qui interagissent entre eux par divers effets physiques (être humains, animaux, végétaux, véhicules, objets du quotidien, outils, machines diverses, outils de production, etc.).
- Ces systèmes interagissent entre eux au moyens de grandeurs physiques (forces, déplacements, variation de température ou de pression, voix, son, lumière, etc.)

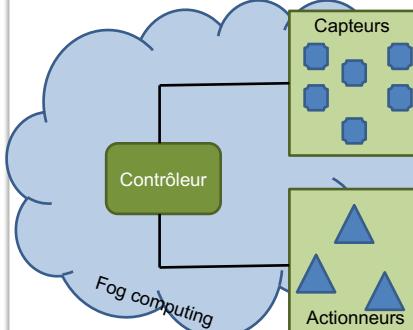
Attention ! Certains objets du « monde numérique » sont bien « physiques » mais ils manipulent essentiellement des données (un ordinateur par exemple) et on s'intéresse généralement à leur aptitude à traiter des données.

54

INTERNET DES OBJETS

Comment les appareils IoT se connectent-ils au réseau pour interagir ? (1/3)

- De manière générale, l'IoT met en œuvre deux types d'éléments pour interagir avec le monde physique : des **capteurs** et des **actionneurs**.
- ❖ Les **capteurs** permettent de recueillir des informations depuis le monde physique et de les transmettre *via un réseau* vers le système informatique.
- Vous aurez donc besoin d'une connexion Ethernet filaire ou d'une connexion sans fil à un **contrôleur**



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.

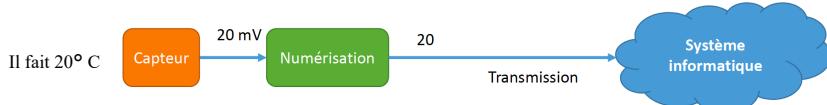
Cet ordinateur peut se trouver dans le même réseau local que le contrôleur ou n'être accessible que par l'intermédiaire d'une connexion Internet.

55

INTERNET DES OBJETS

Comment les appareils IoT se connectent-ils au réseau pour interagir ? (2/ 3)

- Les **capteurs** permettent de *traduire une grandeur physique en un signal électrique*. Ce dernier est ensuite *numérisé* pour être *transmis* au système informatique.
- **Par exemple :** un capteur de température permet de traduire l'amplitude de la température en une tension électrique. Cette dernière est numérisée puis transmise.



Quelques grandeurs communément mesurées :

- Systèmes à deux états (0, 1), (fermé, ouvert) (éteint, allumé), etc.
- Comptage d'impulsions (tachymètre), cardio-fréquencemètre,
- Température
- Pression, Luminosité, Position, vitesse, etc.

56

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Comment les appareils IoT se connectent-ils au réseau pour interagir ? (3/3)

- ❖ Les **actionneurs**, souvent placés dans la *partie opérative*, permettent au système informatique d'*agir sur le monde physique* en *modifiant son état*.
- Ils reçoivent une *entrée électrique* et la transforment en *action physique*(déplacement, dégagement de chaleur, émission de lumière ...).



Par exemple, si un capteur détecte une chaleur excessive dans une salle, il envoie la température mesurée au microcontrôleur.

Le microcontrôleur peut envoyer les données à un actionneur qui activerait, à son tour, le système de climatisation.

L'afficheur 7 segments permet, à partir d'une tension électrique, d'afficher un numéro compris entre 0 et 9.

Les voyants permettent, à partir d'un courant électrique, de produire un signal lumineux.

57

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Appareils de l'IoT vs. Systèmes embarqués

- Embedded system traduit en français comme *système embarqué* a de meilleures traductions telles que: *système incorporé, intégré, enfoui*

Un système embarqué est défini comme un système **électronique et informatique autonome**, souvent **temps réel**, spécialisé dans une ou plusieurs tâches précises.

Le terme désigne aussi bien le **matériel informatique que le logiciel** utilisé. Ses **ressources sont généralement limitées** spatialement (encombrement réduit) et énergétiquement (consommation restreinte). (Wiki)

Exemple : panneau d'affichage urbain, pompe à essence, une télévision en plus d'une caméra digitale

- Les IoT devices sont des embedded systems
- La grande différence est que les IoT devices doivent avoir une connexion au réseau (à l'internet ?)

60

INTERNET DES OBJETS

Architecture d'un système embarqué (1/2)

The diagram illustrates the architecture of an embedded system. It consists of several interconnected components:

- Capteurs** (Sensors) receive data from the external environment.
- Microcontrôleur** (Microcontroller) manages the system. It receives data from the sensors via an **ADC** (Analog-to-Digital Converter) and sends commands to the **DAC** (Digital-to-Analog Converter).
- ASIC/FPGA**, **Horloge** (Clock), and **Mémoires** (Memory) are also part of the microcontroller's internal structure.
- Ports (entrées sorties)** (Input/Output ports) connect the microcontroller to the external world.
- Actuateurs** (Actuators) receive signals from the DAC and send information back to the external environment.
- IHM** (Human-Machine Interface) provides a graphical user interface.
- Alimentation auxiliaire** (Auxiliary power supply) provides power to the system.

Exemples de capteur:

- température (temperature): A three-pin sensor component.
- luminosité = photo résistance (light intensity = photoresistor): A component with a light-sensitive element and a resistor.
- son (sound): A small blue electronic module.
- microphone: A standard dynamic microphone.

61

INTERNET DES OBJETS

Architecture d'un système embarqué (2/2)

This slide shows the same embedded system architecture as the previous one, but with a different focus on output components:

- Capteurs** (Sensors) receive data from the external environment.
- Microcontrôleur** (Microcontroller) manages the system. It receives data from the sensors via an **ADC** (Analog-to-Digital Converter) and sends commands to the **DAC** (Digital-to-Analog Converter).
- ASIC/FPGA**, **Horloge** (Clock), and **Mémoires** (Memory) are also part of the microcontroller's internal structure.
- Ports (entrées sorties)** (Input/Output ports) connect the microcontroller to the external world.
- Actuateurs** (Actuators) receive signals from the DAC and send information back to the external environment.
- IHM** (Human-Machine Interface) provides a graphical user interface.
- Alimentation auxiliaire** (Auxiliary power supply) provides power to the system.

Exemples d'actuateur:

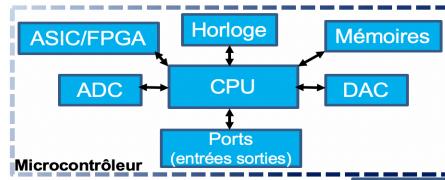
- buzzer: A small cylindrical component.
- led: A red light-emitting diode.
- petit écran LED: A small LCD screen displaying "Hello".
- ventilateur: A black fan.
- haut parleur: A pair of speakers.

62

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Un microcontrôleur (1/3)



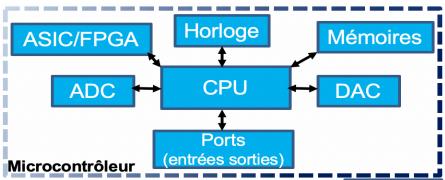
- ❑ **Microcontrôleur** (μ c, uc, ou encore MCU en anglais) avec 2 sens
- ❑ Parfois = le microprocesseur seul
- ❑ Souvent = une carte ~ petit ordinateur = est un circuit intégré programmable et compact, conçu pour régir une opération spécifique et dans un système intégré.
- ❑ Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus **haut degré d'intégration**,
- ❑ Une **très faible consommation électrique**, petite taille (7,4 cm x 5,3 cm pour Arduino), très bon marché (~ quelques dizaines d'euros),
- ❑ Une **vitesse de fonctionnement** nettement plus faible qu'un PC

63

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Un microcontrôleur (2/3)



- ❑ Les **Microcontrôleur** (μ c, uc, ou encore MCU en anglais) sont fréquemment **utilisés dans les systèmes embarqués**, comme :
 - les contrôleurs des moteurs automobiles,
 - Les télécommandes,
 - les appareils de bureau,
 - l'électroménager,
 - les jouets,
 - la téléphonie mobile, etc.

64

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Un microcontrôleur (3/3)

- Le microcontrôleur est le composant principal (cœur) d'une carte Arduino ou d'une carte Raspberry pi

65

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Composants d'un microcontrôleur (1/4)

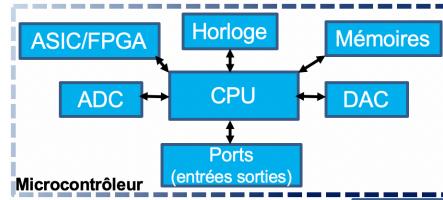
- Un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte et mémoire vive), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties
- Un **processeur** (CPU)
- Un **bus** (chemin) de transfert d'informations données
- Une **mémoire vive** (RAM) pour stocker les données et variables ;
- Une **ROM** sous différentes technologies comme de EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory), EEPROM (Electrically-erasable programmable read-only memory), mémoire flash (la plus récente)

66

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Composants d'un microcontrôleur (2/4)



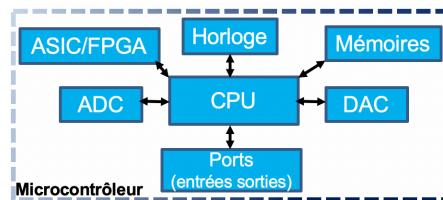
- ❑ **FPGA** = Field Programmable Gate Array ou **ASIC** (Application Specific Integrated Circuit)
- ❑ **FPGA** = circuit logique programmable **PLD** (Programmable Logical Device)
- ❑ = un circuit intégré logique qui peut être reprogrammé après sa fabrication
- ❑ ~ PROM pouvant chargé de nombreuses applications connues
- ❑ en fait reconfigurable plutôt que reprogrammable
- ❑ Le circuit FPGA joue le rôle de coprocesseur afin de proposer des accélérations matérielles au processeur.

67

INTERNET DES OBJETS

INTERNET DES OBJETS

Composants d'un microcontrôleur (3/4)

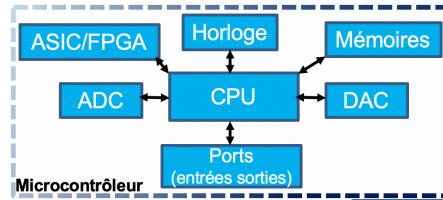


- ❑ Une **horloge** (en Mhz) pour cadencer (synchronisation) l'exécution d'instructions
- ❑ **ADC (Analog to Digital Converter)** = Convertisseur analogique-numérique(CAN)
- ❑ C'est un appareil qui peut prendre un signal analogique, tel qu'un courant électrique, et numériser dans un binaire format que l'ordinateur peut comprendre.
- ❑ **DAC (Digital to Analog Converter)** = Convertisseur numérique analogique(CNA)
- ❑ Par exemple, un appareil qui s'intercale entre une source numérique (votre lecteur, téléphone ou sortie audio d'ordinateur) et l'amplificateur, pour effectuer la transformation en analogique afin de produire le son audible.

68

INTERNET DES OBJETS

Composants d'un microcontrôleur (4/4)



- des **contrôleurs de bus de communication** (UART, CAN, USB, Ethernet, etc.)
- ~ **IP** = Intellectual Property Core = circuit intégré (~processeur) dédié à une fonctionnalité

Exemple :

- Contrôleur réseau** : Ethernet, bus CAN (= Controller Area Network) dans les automobiles
- Un **UART** (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) est un émetteur-récepteur asynchrone universel.
- Le **bus USB**(Universal Serial Bus) permet de connecter des périphériques « à chaud »
- Audio** : CODEC (codage-décodage, code-decode en anglais) codant et décodant un flux audio. Idem pour vidéo

69

INTERNET DES OBJETS

Utilisation d'un microcontrôleur

- Il possède un microprocesseur (16 à 500 Mhz), connecté à d'autres composants (cf. entrées-sorties), reçoit des données, envoie des commandes
- Bref une petite UC, carte mère très peu chère
- Il peut être programmé (en langage C, C++, Python, etc.). Le programme est chargé en mémoire
- Le code est construit sur une machine de développement et téléchargé dans le microcontrôleur (sa **mémoire flash non volatile**) par câble USB
- Le code pourra être exécuté en amenant de l'électricité (pile ou par la machine de développement par le câble USB)



70

INTERNET DES OBJETS

Conversion analogique numérique



- ❑ Il s'agit de convertir du continu (ensemble R des nombres réels) en discret (ensemble N des nombres entiers naturels) (et réciproquement)
- ❑ Les courants sont discrets (0 ou 5 volts) => dans le microcontrôleur on a essentiellement des entiers
- ❑ Certaines données sont continues (luminosité, chaleur, son, etc.)
- ❑ Il va falloir faire des conversions analogique vers numérique (Analog to Digital Conversion = ADC) et des conversions numérique vers analogique (Digital to Analog Conversion = DAC)
- ❑ Souvent les conversions analogique vers numérique doivent être faites pour les entrées (luminosité, chaleur, son en valeur entière)
- ❑ Souvent les conversions numérique vers analogique doivent être faites pour les sorties (haut parleur, etc.)

71

INTERNET DES OBJETS

Des microcontrôleurs

- ❑ Il y a énormément de microcontrôleurs
- ❑ Pas seulement Arduino (Uno, Due, etc.) ou Raspberry Pi
- ❑ Voir, par exemple
 - Wiki: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microcontr%C3%B4leur>
 - https://physique-microcontroleurs.readthedocs.io/fr/latest/1_introduction/introduction.html
- ❑ Un microcontrôleur est constitué :
 - d'un CPU (central process unit) contenant des registres et une UAL (unité arithmétique et logique) qui effectue les calculs à l'aide de ces registres
 - et de la mémoire (externe au CPU)
- ❑ C'est dans l'UAL (et seulement dans l'UAL !) que sont effectuées les instructions
- ❑ Les registres sont rapides d'accès
- ❑ Les registres indiquent la taille du processor (registres de 32 bits => architecture 32 bits)

72

INTERNET DES OBJETS

La mémoire

- ❑ Il y'a plusieurs types de mémoire. Elles sont de taille nettement plus importantes que les *registres*
- ❑ **mémoire cache** (en taille limitée, plus chère que la RAM, mais plus rapide)
- ❑ **mémoire vive** = RAM (Random Access Memory) = "mémoire à accès aléatoire" = mémoire principale utilisée lors de l'exécution
- ❑ La RAM est volatile (le contenu est perdu dès que l'ordinateur cesse d'être alimenté en électricité) alors que la mémoire flash ne l'est pas
- ❑ => la **mémoire flash** possède les caractéristiques d'une mémoire vive (réinscriptible) mais dont les données ne disparaissent pas lors d'une mise hors tension.
- ❑ => **la mémoire flash va contenir le programme téléversé**
- ❑ Sa vitesse élevée, sa durée de vie et sa faible consommation (nulle au repos) la rendent très utile pour de nombreuses applications : appareils photo numériques, téléphones cellulaires, imprimantes, assistants personnels (PDA), ordinateurs portables ou dispositifs de lecture et d'enregistrement sonore comme les baladeurs numériques, clés USB

73

INTERNET DES OBJETS

Les pins

- ❑ Il s'agit d'une fiche, trou, épingle, broche
- ❑ Certaines sont des **pins d'entrée/sortie numériques** (= "digital" = discrètes) sont prévus pour délivrer ou recevoir un signal "tout ou rien", sous la forme d'une tension de **0 volt ou de 5 volts**. Celles marquées par un ~ sont modulables.
-
- ❑ D'autres sont des **pins d'entrées analogiques** (= "analog", continues) et sont destinées à recevoir un signal compris entre **0 et 5 volts**. Le convertisseur analogique/numérique fonctionne sur **10 bits**, soit avec **1024 niveaux** (entre 0 et 1023 bornes incluses).

74

INTERNET DES OBJETS

Visiter une maison intelligente



The screenshot shows a 3D simulation of a smart home network in Cisco Packet Tracer. The scene includes a house, a swimming pool, a car, and various IoT devices like a solar panel, battery, and smart meter. A central interface displays network connections and device status.

75