

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

**Etude et application de l'internet des objets (télémédecine
comme application)**

Présenté par :

Moussaoui Nor El houda

Bendjema Roufaïda

Sous la direction de :

Dr . Ikni Samir

Juillet 2019

Remerciement

En premier lieu nous remercions **DIEU** tout puissant de nous avoir donné la patience, la santé et la volonté pour achever ce modeste travail.

Et Nos remerciements vont tout particulièrement à nos parents, pour leur soutien et leur patience.

Nous aimerons adresser plus qu'un merci pour notre encadreur monsieur **SAMIR IKNI**. Qui a su partager son savoir faire, ses connaissances et son temps pour nous porter aide pendant et hors de ses heures de travail.

L'élaboration de ce travail de longue haleine a été rendue possible également par le soutien de monsieur **TABA MOHAMED TAHAR** avec ses compétences techniques et qui a été à la fois compréhensible et serviable.

Nous remerciant aussi monsieur **Boumehez Farouk** pour son aide et ces conseils.

Nous remercions chacun des membres du jury d'avoir consacré une partie de leur temps à la lecture de ce mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Nos remerciements s'étendent à tous nos enseignants et les membres du département Électronique et Télécommunications de l'université **8 Mai 1945** Guelma.

Nous souhaitons adresser nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce travail, et à toute la promotion de master télécommunication.

Dédicace

Pour m'avoir permis d'accéder au savoir et d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, je voudrais remercier **DIEU** le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, la patience et la persévérance pour accomplir ce Modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à **ma mère**.

A mon cher père pour l'éducation qu'il m'a prodigué; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consenti à mon égard, pour m'inculper le sens du devoir depuis mon enfance.

A la mémoire de mes grand(e)s parent(e)s.

A mes frères et sœurs : **Warda, Imane, Mostafa, Mohamed, Yasser** et **Meriem Riheb**.

A toute la famille **Moussaoui**.

A mon binôme, **Roufaïda** pour la patience dont il fait preuve envers moi.

A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé des moments de joie et de bonheur, à tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.

A tous les honorables enseignants qui ont contribué à ma formation.

Enfin, toute personne m'ayant aidé de près ou de loin dans ce travail laborieux et de longue haleine, trouve ici l'expression de mes vives reconnaissances et remerciement.

A tous ceux qui m'aiment **Nor El Houda**.

Nor El Houda

Dédicaces

À mes très chers parents

je devais ce que je suis aujourd'hui, grâce à
votre amour, votre patience et vos innombrables sacrifices.

Que ce modeste travail, soit pour vous une petite
compensation

et reconnaissance pour tout ce que vous avez fait.

Que Dieu, vous préserve et vous procure santé et longue vie
afin

que je puisse à mon tour vous combler.

À mon très cher frère « Mehdi » et m'adorable sœur « Lina »

Aucune dédicace ne pourrait exprimer assez profondément ce
que je ressente envers vous.

Je vous dis tout simplement, un grand merci, je vous
aime.

À mes très chères amies « Dounya, Somia »

En témoignage de l'amitié sincère qui nous lie et les bons
moments passés ensemble.

À mon binôme « Nor El Houda »

J'étais très heureuse de travailler avec toi.

Je vous dédie ce travail et je vous souhaite un avenir radieux
et plein de réussites.

Roufaida Bendjema

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Table des matières	
Introduction générale	1
Problématique	3
Chapitre 1	
Concepts fondamentaux sur l'internet des objets	
1.1.Introduction	5
1.2.Définition	5
1.3.Historique.....	7
1.4.Principe de fonctionnement	8
1.5. Standardisation de l'internet des objets	8
1.6. Normes et standards utilisées dans l'IdO	9
1.6.1. WiFi	9
1.6.2. Bluetooth.....	9
1.6.3. Zigbee.....	9
1.6.4. 5G.....	10
1.7. Exigences techniques 5G - Internet des objets	11
1.8. Architecture de l'Internet des Objets	11
1.8.1. Couche perception	12
1.8.2. Couche réseau	12

Table des matières

1.8.3. Couche traitement	12
1.8.4. Couche application	12
1.8.5. Couche business	12
1.9. Technologies fondatrices de l'IoT	13
1.9.1 .RFID	13
1.9.1. 1. La RFID passive.....	13
1.9.1.2. La RFID active.....	13
1.9.2. Les réseaux de capteurs sans fil	14
1.10. Protocoles de fonctionnement de L'IOT.....	15
1.10.1. CoAP (Constrained Application Protocol).....	16
1.10.2. MQTT(Message Queue Telemetry Transport).....	16
1.10.3. XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol)	17
1.10.4. AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)	17
1.11. Domaines d'utilisation.....	18
1.11.1. L'internet des objets dans le domaine de la santé	18
1.11.2. L'internet des objets dans le domaine d'éducation	19
1.11.3. L'internet des objets dans le domaine de l'industrie	20
1.12. Exigences relatives à la mise en œuvre De l'IOT.....	21
1.12.1. Évolutivité.....	21
1.12.2. Interopérabilité.....	21
1.12.3. Sécurité.....	22
1.12.4. Contrôle et gestion des ressources.....	22
1.12.5. Efficacité énergétique.....	22
1.12.6. Qualité de service (QoS).....	22
1.13. Conclusion.....	22
Chapitre 2	
Objets connectés	
2.1. Introduction	25
2.2. Définition d'un objet	26

Table des matières

2.3. Définition d'un objet connecté	27
2.4. Classification des objets.....	29
2.5. Cycle de vie d'un objet connecté dans l'IoT	30
2.6. Les Types de relation entre objets.....	31
2.6.1. Relation de Co-localisation.....	31
2.6.2. Relation de Co-travail.....	31
2.6.3. Relation de Parenté.....	31
2.6.4. Relation de Propriété.....	31
2.6.5. Relation Sociale	32
2.7. Caractéristiques fondamentales de l'Internet des Objets	32
2.7.1. Sensibilité à son environnement	32
2.7.2. L'interconnectivité.....	32
2.7.3 Les changements dynamiques.....	32
2.7.4. Représentation virtuelle (shadowing).....	33
2.7.5. Autonomie.....	33
2.7.6. La flexibilité.....	33
2.8. Infrastructure de communication	33
2.9. La sécurité du réseau	34
2.10. L'identification des objets connectés	34
2.11. Le déploiement du protocole IPv6.....	36
2.12. La consommation énergétique	38
2.12.1. Usages.....	39
2.12.2. Technologies.....	39
2.13. Confidentialité des utilisateurs.....	40
2.14. L'authentification.....	40
2.14.1. Solutions.....	41
2.15. La différence entre le M2M et l'IoT.....	41
2.16. Conclusion.....	43
Chapitre 3	
La télémédecine	
3.1. Introduction.....	45
3.2. La m-Santé aujourd'hui et demain	46

Table des matières

3.2.1. Définitions.....	46
3.3. Les définitions de la télémédecine	48
3.3.1. Télémédecine clinique et télémédecine informative	49
3.4. Les outils techniques de la télémédecine	49
3.4.1. Le téléphone	49
3.4.2. La messagerie sécurisée	50
3.4.3. Le système d'information du professionnel de santé	50
3.4.4. Les objets connectés de santé	50
3.4.5. La station de télémédecine	50
3.4.6. Exercice quotidien	50
3.5. Les cinq actes de la télémédecine	50
3.5.1. La téléconsultation.....	51
3.5.2. La télé-expertise.....	51
3.5.3. La télésurveillance médicale.....	51
3.5.4. La télé-assistance médicale.....	51
3.5.5. La réponse médicale apportée dans le cadre de la régulation médicale	51
3.6. Avantages de la télémédecine	53
3.7. Les principaux objets connectés	54
3.7.1. Les auto-tensiomètres	54
3.7.2. Le glucomètre	54
3.7.3. L'oxymètre de pouls	55
3.7.4. Le pilulier	55
3.7.5. L'échographe.....	56
3.7.6. L'ECG de poche	56
3.8. L'écosystème de la e-santé IOT	57
3.8.1. IoTeHealth Device Layer.....	57
a. Capteur physique.....	58
b. Capteur virtuel.....	58
3.8.2. IoTeHealthFog Layer.....	58
a. Connectivité.....	59
b. Échange de données bidirectionnel.....	60
c. Intégration flexible.....	60

Table des matières

d. Traduction de protocole.....	60
e. Agrégation, filtrage, formatage et encodage/décodage des données.....	61
f. Base de données à court terme.....	61
g. Sécurité et protection des données.....	61
h. Évaluation et notification.....	61
i. Traitement local.....	61
3.8.3. Iot e-health cloud layer.....	62
a. Connectivité.....	62
b. Gestion des utilisateurs, des appareils et des données	62
c. Service d'application eHealth.....	63
3.9. Conclusion.....	64
Chapitre 4	
Implémentation et Réalisation pratique	
4.1. Introduction	66
4.2. Matériels et logiciels utilisés	66
4.2.1. Logiciel Arduino	67
4.2.2. Présentation de la plateforme ThingSpeak	69
4.2.3. Le capteur de température LM35	73
4.2.4. Le module Wifi ESP32.....	74
4.2.5. Le capteur max 30102.....	77
4.3. Partie pratique du travail.....	77
4.3.1. Température.....	77
a. Définition	75
b. Schéma électrique du montage sur Fritzing	77
c. Utilisation d'un ESP32 avec l'Arduino IDE	78
1. Configuration de l'IDE Arduino pour l'ESP32	78
2. Téléverser un programme	82
d. Brochage	83
4.3.2. La fréquence cardiaque et l'oxymétrie de pouls	84
4.4. Résultat obtenu	85
4.5. Conclusion	87

Table des matières

Conclusion générale	89
Bibliographiques	91
Annexe	97
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

Internet a évolué de telles manières que nous n'aurions jamais pu imaginer. Au tout début, les progrès ont eu lieu lentement. Aujourd'hui, l'innovation et la communication se produisent à un rythme effréné. La vie moderne est bouleversée par les technologies de l'information et de la communication TIC, particulièrement le réseau internet et les services qu'il propose: réseau sociaux, E-commerce, E-Learning...

L'humain dans sa poursuite continue pour l'amélioration de sa condition de vie essaie d'automatiser un maximum de tâches de tous les jours, et cela pour mieux appréhender son environnement en y introduisant des mécanismes qui vont permettre d'obtenir des informations y a différentes, et vont éventuellement réagir automatiquement à ses changements au profit de l'utilisateur. Cela passe par rendre les objets de tous les jours réactifs et capables d'obtenir des informations de l'environnement, et de communiquer avec d'autres objets, et c'est de ce besoin qu'est né l'Internet des objets (IdO).

Dans ce contexte, il y-a lieu de citer l'avènement des IoT (Internet des objets). Cette nouvelle technologie est basée sur l'association d'équipements embarqués et logiciels intelligents connectés sur internet offrant une multitude d'applications et de services allant du transport et la supervision jusqu'au bien être des individus.

Les IoT sont en pleines croissance bénéficiant de la création du Cloud Computing et de son autonomie.

L'Internet des objets (IoT), comprenant des objets de tous les jours tels que les lumières, les caméras, les capteurs de mouvement, les interrupteurs et Appareils.

Il est annoncé pour apporter la prochaine vague de propagation d'Internet. Les foyers, les entreprises, les campus et les villes sont attendus être équipé de milliers de périphériques IoT "intelligents" qui peuvent interagir de manière autonome et être à distance surveillé / contrôlé.

Dans notre étude on va s'intéresser à cette nouvelle tendance des objets interconnectés utilisés dans le but d'améliorer la vie quotidienne des individus.

L'objectif de notre projet est la réalisation d'une maquette qui a une partie électronique qui consiste à la réalisation d'un projet qui contrôle la température d'un patient et une partie logiciel qui consiste à installer, configurer et tracer les graphes de la température à l'aide d'une plateforme Iot appelé « **Thing Speak** ».

Introduction générale

Ce travail se repartit en quatre chapitres que nous détaillerons par suite :

Chapitre 1 : est consacré à définir l'internet des objets, citer ses fonctionnalités, ses architectures et ses différents domaines d'applications, expliquer ses acteurs, mentionner ses défis.

Chapitre 2 : est voué à détailler la notion des objets connectés, leurs classifications, leur architecture suite l'accent sur les obstacles qui limite la progression de l'iot et enfin la différence entre la M2M et l'IOT.

Chapitre 3 : a pour but de focaliser le domaine de la télémédecine et ses catégories comme une de plusieurs domaines dans l'internet des objets.

Chapitre 4 : est dédié à la réalisation d'un système dans le domaine de la télémédecine qui contrôle les indicateurs vitaux d'un patient à distance à l'aide des hardwares et softwares. Et enfin on termine par une conclusion générale clôturera notre mémoire et revient sur les résultats obtenus.

Une référence bibliographique sera rajoutée à la fin de ce mémoire pour bien servir le lecteur.

Problématique

Le secteur de la santé recherche de nouvelles façons d'améliorer son efficacité, notamment en raison du vieillissement rapide de la population, de l'explosion des maladies chroniques dues à ce vieillissement et du nombre insuffisant de professionnels de santé au niveau mondial. Ces facteurs, parmi d'autres, entraînent une augmentation des coûts et du stress des professionnels, dans des systèmes de santé qui montrent déjà leurs limites dans le monde entier. Les solutions de télémédecine simplifient de nombreuses situations.

Elles permettent de diagnostiquer et traiter les patients à distance et réduisent ainsi considérablement les déplacements, les coûts et le temps liés à chaque acte.

Ces solutions, comme les applications de nombreux autres secteurs, bénéficient de l'essor de l'Internet of Things (IoT), qui permet de connecter de nombreux objets à Internet. « Avec la surveillance à distance, l'IoT pourrait jouer un rôle immense dans l'amélioration de la santé des patients souffrant de maladies chroniques et s'attaquer ainsi à l'une des principales causes de l'augmentation des coûts de la santé ».

Les solutions de télémédecine basées sur les technologies de l'IoT permettent aux professionnels de santé de communiquer de manière sécurisée avec leurs patients via Internet.

L'internet des objets touche tous les secteurs d'activité. En premier lieu, les technologies de l'internet des objets sont utilisées dans l'industrie pour faciliter la maintenance des équipements, pour améliorer la chaîne logistique, pour surveiller la consommation et la production d'électricité, etc. En agriculture, les machines agricoles connectées permettent de rationaliser l'usage d'intrants et de cartographier des parcelles. En ce qui concerne les professionnels de la santé, ceux-ci vont de plus en plus recourir aux objets connectés pour améliorer la prise en charge des patients (localisation des patients dans un hôpital, lit d'hôpital « intelligent » qui suit en temps réel les données vitales des patients, etc.). L'espace public profite, lui aussi, de l'internet des objets : certaines métropoles sont déjà équipées de réseaux de capteurs permettant de mesurer la qualité de l'air.

A travers ce mémoire, nous sommes focalisés sur le problème de relier l'internet des objets au domaine de la télémédecine.

Chapitre 01
Concepts fondamentaux
sur l'internet des objets

1.1.Introduction :

Une des inventions les plus significatives du monde moderne, l'internet, est une réalité qui est disponible pour l'utilisation publique depuis 25 ans. Un de ses aspects les plus importants est ses nombreuses perspectives d'utilisations. En effet, de nouvelles applications et technologies dépendantes de l'internet se développent tous les jours. A ses débuts, internet était principalement un protocole utilisé pour transmettre des messages d'un point à l'autre au moyen d'ordinateurs. Aujourd'hui, on est passé d'un internet connectant les gens et les ordinateurs vers un internet connectant les « choses » et les « objets ». Ce phénomène est appelé « Internet des objets », pour lequel nous utiliserons dans la suite de ce mémoire son abréviation française : IdO ou son abréviation anglaise, la plus répandue : IoT (Internet of Things) [1].

L'Internet des Objets (l'IoT) repose sur l'idée que tous les objets peuvent être connectés à Internet et sont donc capable d'émettre de l'information et éventuellement de recevoir des commandes [1] pour bien comprendre on peut dire que l'IOT est une révolution technologique de l'information et de la communication. Il décrit un monde composé d'équipements intelligents organisés en réseau, pouvant être connectés entre eux mais aussi avec l'environnement extérieur. Cette évolution technologique génère de nouvelles formes de communication entre les objets du monde réel qui sont capables de percevoir et de partager des informations précises [2].

Pour définir le concept de l'Internet of Things (IoT) évoqué tout au long de ce mémoire, nous exposons, pour commencer, les différentes définitions de l'IoT existant dans la littérature, un petit historique pour ensuite mettre l'accent sur son fonctionnement, son architecture et au cours de notre travail on va essayer de relier l'internet des objets à la 5G citons quelques exigences ainsi que ses domaines d'applications. Et enfin, on va terminer par ses défis.

1.2.Définition :

L'internet des objets a été introduit pour la première fois par Kevin Ashton. Il désigne l'omniprésence autour de nous d'une variété d'objets qui, à travers des schémas d'adressage uniques, sont capables d'interagir les uns avec les autres et de coopérer avec leurs voisins pour atteindre des objectifs communs. Les objets intelligents, qui sont considérés comme la plateforme de base de l'IOT, sont les objets de la vie quotidienne (réfrigérateur, téléviseur....etc.)[1].

L'Internet des objets ou Internet of Things (IoT) correspond à l'extension au domaine des « choses » – c'est-à-dire aux entités matérielles et logicielles, que l'on appelle communément les « objets » – des fonctionnalités offertes par l'Internet et le Web en matière de communication entre personnes. Dans cette approche, l'humain apparaît comme un cas particulier d'objet qui associe des capacités matérielles et logicielles spécifiques. On en vient alors à parler d'Internet of Everything (IOE) selon la conception introduite par Cisco en 2011[2].

Le terme d'Internet des Objets (IdO) ne fait pas encore consensus sur sa définition, ce qui s'explique par la jeunesse de ce concept en pleine mutation. Il existe ainsi autant de définitions que d'entités impliquées dans la réflexion, le développement ou la normalisation de ce nouveau paradigme [3].

L'IdO est un réseau créé à partir d'appareils intelligents qui sont connectés et qui communiquent entre eux via un réseau comme Internet. Les appareils connectés recueillent et échangent de l'information entre eux grâce à des logiciels, caméras et capteurs capables de détecter la lumière, les sons, la distance, les mouvements, etc. Ils peuvent être contrôlés et surveillés à distance, mais la plupart fonctionnent automatiquement. Parmi les appareils intelligents, on trouve des électroménagers, des serrures, des caméras de sécurité, des équipements de production et des véhicules connectés [4].

Cette vision de l'Internet des objets introduira une nouvelle dimension aux technologies de l'information et de la communication : en plus des deux dimensions temporelle et spatiale qui permettent aux personnes de se connecter de n'importe où à n'importe quel moment, nous aurons une nouvelle dimension « objet » qui leur permettra de se connecter à n'importe quel objet[5].

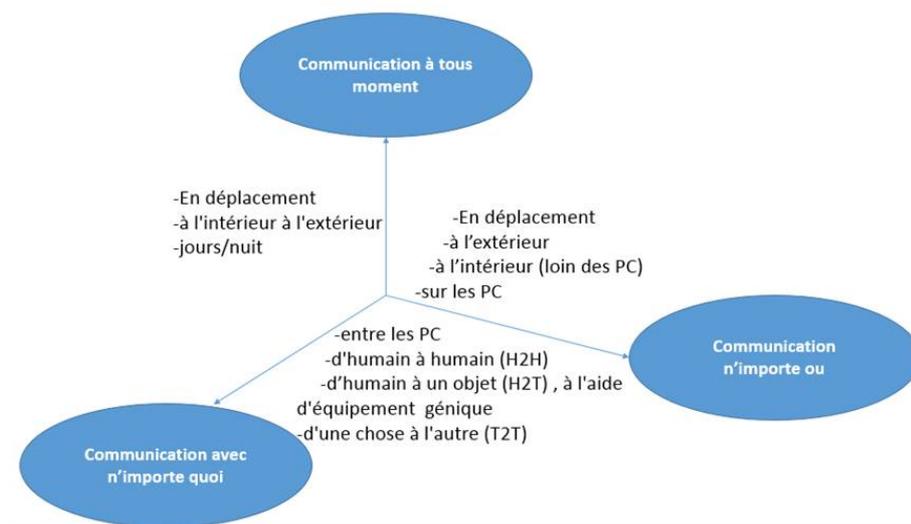


Figure 1-1 : Une nouvelle dimension pour l'IdO[5]

1.3. Historique :

Le concept de l'internet des objets apparaît pour la première fois en 1995 dans le livre du fondateur de Microsoft, Bill Gates, « *The Road Ahead* ». Il y mentionne alors ce nouveau concept, sans toutefois attirer l'attention du public puisque le développement d'Internet est alors trop limité[6].

Comme pour de nombreux nouveaux concepts, c'est au (MIT) et plus particulièrement au groupe Auto-ID Center qu'est attribuée l'origine de l'IoT.

Pour Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), l'IoT correspond simplement au moment où il y a eu plus « de choses ou d'objets » connectés à Internet que de personnes [2].

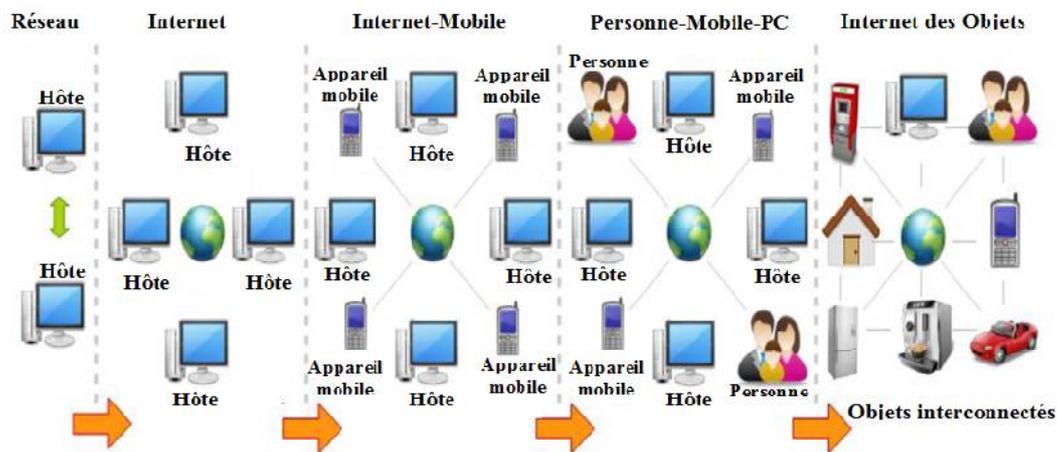


Figure 1-2 : Evolution des réseaux informatiques vers l'IdO[7]

En 2003, la population mondiale s'élevait à environ 6,3 milliards d'individus et 500 millions d'appareils étaient connectés à Internet. Le résultat de la division du nombre d'appareils par la population mondiale (0,08) montre qu'il y avait moins d'un appareil connecté par personne [5].

Selon la définition de Cisco IBSG, l'IoT n'existait pas encore en 2003 car le nombre d'objets connectés était relativement faible. En outre, les appareils les plus répandus actuellement, et notamment les Smartphones, faisaient tout juste leur apparition sur le marché [5].

En raison de l'explosion des Smartphones et des tablettes, le nombre d'appareils connectés à Internet a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards. C'est ainsi que le nombre d'appareils connectés par personne est devenu supérieur à 1 (1,84 pour être exact) pour la première fois de l'histoire [5].

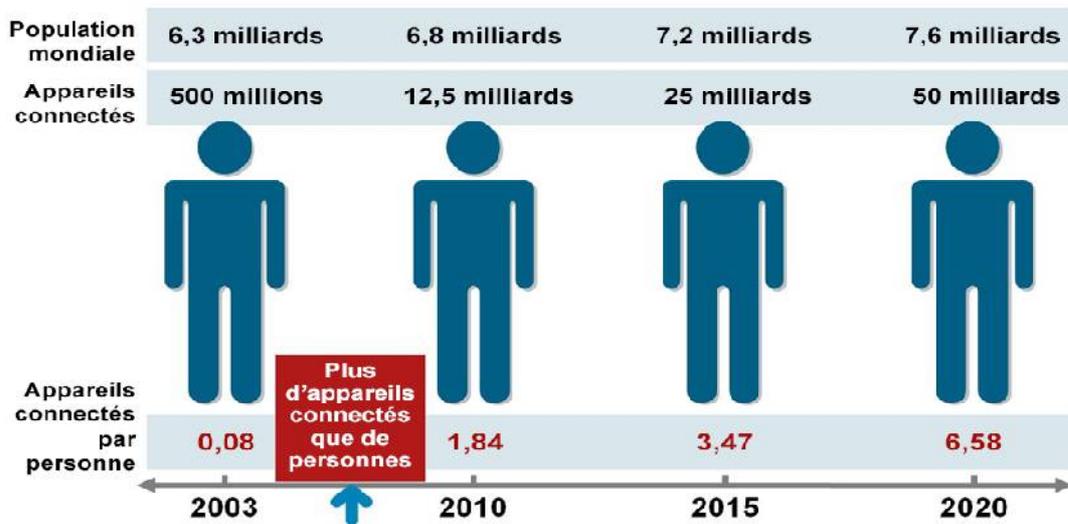


Figure 1-3 : Le développement de l'Internet des objets vu par Cisco en 2011[5].

En ce qui concerne l'avenir, Cisco IBSG estime que 50 milliards d'appareils seront connectés à Internet d'ici à 2020. Il est important de noter que ces estimations ne tiennent pas compte des progrès rapides d'Internet ni des avancées technologiques, mais reposent uniquement sur les faits avérés à l'heure actuelle [5].

1.4.Principe de fonctionnement :

L'internet des objets est composé de plusieurs éléments complémentaires ayant chacun ses propres spécificités. Il permet à l'aide des systèmes d'identifications électroniques normalisés et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des objets physiques, ainsi que pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter sans discontinuité les données s'y rattachant [21].

L'IoT est une combinaison d'innovations technologiques récentes et de solutions déjà existantes. Chaque objet est muni d'une identification électronique unique capable de lire et transmettre à travers un protocole dans le réseau internet. Il est nécessaire cependant de définir la nature de l'objet, ses fonctionnalités, sa position dans l'espace, l'historique de ses déplacements, etc. Pour effectuer ce lien entre physique et virtuel, le dispositif technique doit donc modéliser des contextes réels et les rendre virtuel [8].

1.5.Standardisation de l'internet des objets :

L'un des fondements de l'IoT repose sur l'aptitude des objets à communiquer entre eux, quelle que soit leur nature, leur origine et leur localisation. Interopérabilité et ouverture sont

deux mots clés de l'Internet des objets. Certains pensent que le recours au protocole IP est suffisant pour atteindre cet objectif. La question est en fait infiniment plus complexe et pose d'énormes problèmes de standardisation.

Les principales organisations qui se préoccupent de l'IoT, elles sont nombreuses et certaines (ETSI, IEEE, IETF)[2].

1.6. Normes et standards utilisées dans l'IdO :

Il existe plusieurs normes de l'internet des objets dans cette partie nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes :

1.6.1. WiFi(correspondant à la famille des standards IEEE 802.11) qui équipe aujourd'hui tous les nouveaux Smartphones, et est utilisée principalement par les réseaux locaux sans fil. Le Wifi permet l'accès à Internet avec des vitesses de transfert atteignant facilement des dizaines de méga bits par seconde. Il est caractérisé par une consommation relativement importante, et donc une autonomie faible pour les équipements qui l'embarquent [12].

1.6.2. Bluetooth : qui équipe également la plupart des terminaux intelligents. Un grand nombre d'objets communicants l'adopteront aussi. Elle est définie par le groupement d'intérêt Bluetooth, pour les réseaux sans fil personnel.

Dans ses versions de base, Bluetooth se caractérise par une communication à faible portée et un débit beaucoup plus faible que le WiFi, de l'ordre de quelques centaines de kilo bits par seconde.

Néanmoins dans sa dernière version 4.2, qui met l'accent sur les objets communicants, on promet des débits 2 fois et demi plus rapides que les versions précédentes, tout en ayant une faible consommation d'énergie. Des objets tels que les montres connectées, équipées de cette dernière version, seront capables de dialoguer directement avec un routeur, afin d'accéder à Internet en utilisant le protocole 6LowPan d'IPv6, sans passer par un Smartphone [12].

1.6.3. Zigbee : Elle est basée sur le standard IEEE 802.15.4 pour les couches physique et liaison. Elle est définie par la Zigbee Alliance, et a été spécialement conçue pour des équipements à faible consommation d'énergie, avec un très bas débit n'excédant pas 250 kilo bits par seconde, et une taille de paquets ne dépassant pas 127 octets.. Zigbee intègre un protocole de routage mesh, permettant une connectivité au-delà de la portée radio, en utilisant les nœuds intermédiaires comme relais et en utilisant un plan d'adressage qui lui est propre. Cela dit, une version plus récente, Zigbee IP, supporte désormais les standards 6LowPan d'IPv6, ouvrant le champ de l'interopérabilité avec le reste du monde [12].

1.6.4.5G : La quatrième technologie peut être considérée comme le futur de l'IdO c'est la **5G**, tout simplement la 5G est une évolution supplémentaire des technologies de la téléphonie mobile. Ce réseau de cinquième génération s'annonce tout d'abord comme une **technologie** très puissante puisqu'elle permettra la transmission de données à une vitesse de 10 Gbit/s. Un débit 100 fois plus élevé que la 4G.

Les réseaux de cinquième génération (5G) deviennent le principal guide pour la croissance des applications IoT. La 5G peut apporter d'importantes contributions à la prochaine génération d'IdO en connectant des milliards de choses intelligentes pour générer des IdO futurs réels et massifs. A l'heure actuelle, il est très difficile d'identifier la capacité des dispositifs IoT, car le domaine hétérogène des applications doit satisfaire les besoins de l'application. Selon le rapport de l'International Data Corporation (IDC), les services de la 5G mondiale aidera 70% des entreprises à dépenser 1,2 milliard de dollars sur les solutions de gestion de connectivité. Les systèmes actuels d'IdO largement conçus par domaine d'application spécifique, tels que BLE, ZigBee, d'autres technologies, telles que les réseaux Wi-Fi, LP-WA (Lora, Sixgfox), les communications cellulaires (3GPP, LTE), etc. L'IdO se développe rapidement avec la nouvelle technologie, en particulier le nouveau domaine d'application. Aujourd'hui, les systèmes IdO améliorent la qualité des modes de vie qui impliquent l'interconnexion entre les appareils domestiques intelligents et les environnements intelligents. L'industrie de l'IdO (IIoT) est l'évolution de nombreux défis, tels que de nouvelles exigences pour les produits et les solutions, et la transformation des modèles d'affaires - les techniques de communication les plus populaires dans la connectivité de l'IdO est 3GPP et LTE(4G) réseaux, qui offrent des systèmes IoT avec la fiabilité, intemporelle, robustesse de la connexion, et avec une large couverture, faible coût de déploiement, haut niveau de sécurité, accès au spectre dédié et simplicité de la gestion. Pourtant, les réseaux cellulaires existants, par exemple, ne sont pas en mesure de prendre en charge les communications MTC, mais les réseaux 5G-IoT pourraient le faire. De plus, 5G-IoT fournit le débit de données de réseau cellulaire le plus rapide avec une latence très faible et une couverture améliorée pour la communication MTC [9].

Ces dernières années, divers travaux sur le 5G-IoT ont été réalisés. Les sociétés CISCO, Intel, Verizon, etc. ont mené des projets de recherche sans fil sur la 5G, qui ont adapté la qualité vidéo aux besoins de l'œil humain. Les 5G-IoT fournissent des expériences en temps réel, reconfigurables, tout en ligne, à la demande et sociales aux applications IoT[9].

1.7. Exigences techniques 5G - Internet des objets :

- Jusqu'à 10 Gbit/s de débit de données (de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G et 4.5G).
- Une milliseconde de latence.
- Efficacité spectrale par zone 3 fois plus que celle du réseau 4G.
- Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface (par rapport à la 4G LTE).
- 100 % de couverture du réseau.
- 99,999 % de disponibilité du réseau.
- 90 % de réduction en utilisation d'énergie du réseau.
- Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils Internet des objets (IoT) à faible consommation [46].

1.8. Architecture de l'Internet des Objets :

L'architecture de l'IdO est l'un des sujets les plus mentionnés dans les articles de recherche de ce domaine. L'architecture cinq couches est généralement acceptée comme étant l'architecture qui décrit le mieux l'IdO.

La Figure 1-4 montre la superposition des cinq couches de cette architecture. Ci-dessous une description de chacune d'entre elles [7].

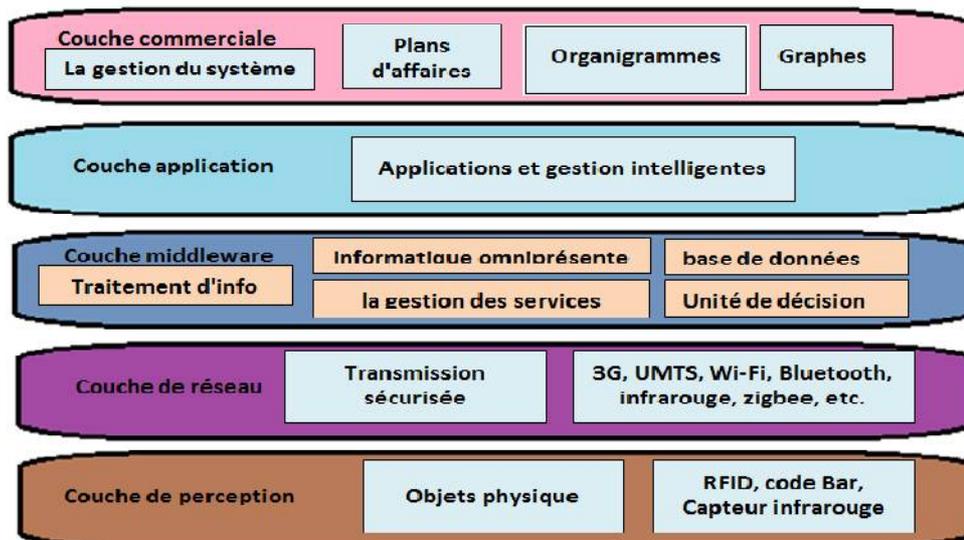


Figure 1-4 : L'architecture cinq couches [7].

1.8.1. Couche perception :

C'est la première couche, on l'appelle aussi couche objets. Elle représente les objets physiques de l'IdO qui ont pour but la collecte et le traitement basique de l'information, et qui fournissent différentes fonctionnalités comme donner la position physique, la température, le poids, le mouvement, etc. Cette couche collecte et numérise les données d'un certain environnement et les envoie à la couche supérieure via des canaux sécurisés [7].

1.8.2. Couche réseau :

Cette couche s'occupe du transport de la donnée vers le centre de traitement de l'information. Le moyen de transmission peut être filaire ou non et les principales technologies utilisées dans cette couche sont la 3G, Wifi, ZigBee, etc. C'est au niveau de cette couche que se trouvent les protocoles de communication, tels que 6LowPan, qui sont nécessaires pour l'adressage de millions d'objets connectés [13].

1.8.3. Couche traitement :

Chaque objet de l'IdO offre des services que cette couche (appelée aussi couche Middleware) est responsable de gérer et de lier avec des bases de données les informations collectées, pour ensuite y appliquer des traitements et des calculs, afin de prendre des décisions automatiques. Elle permet aussi au développeur d'application de l'IdO de faire appel à des services sans prendre en considération l'interopérabilité des objets, ou bien une plateforme matérielle spécifique [13].

1.8.4. Couche application :

Cette couche offre la possibilité d'utiliser les informations traitées par la couche traitement et les services des objets présentés par cette dernière, pour développer diverses applications de l'IdO. Ces applications seront ensuite directement être utilisées par des utilisateurs finaux [7].

1.8.5. Couche Business :

Le but de cette couche est la gestion des différentes applications de l'IdO. Les responsabilités de cette couche sont de construire un modèle de gestion, des graphes, des organigrammes, etc. en se basant sur les données reçues de la couche application, et sur le résultat de cette analyse. Cette couche permet de décider le chemin futur et la stratégie de business. La gestion et la surveillance des quatre autres couches se font aussi à son niveau [13].

1.9. Technologies fondatrices de l'IoT :

L'Internet of Things (IoT) permet l'interconnexion des différents objets intelligents via l'Internet. Ainsi, pour son fonctionnement, plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. Citons quelques exemples de ces technologies.

L'IoT désigne diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui permettent d'identifier des objets, capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques, mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels. En effet, bien qu'il existe plusieurs technologies utilisées dans le fonctionnement de l'IoT, nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes qui sont les technologies clés de l'IoT. Ces technologies sont les suivantes : RFID et WSN et sont définies ci-dessous [13].

1.9.1. RFID (Radio Frequency Identification) :

Un système RFID est composé d'un ou plusieurs lecteurs et d'un ensemble d'étiquettes (appelée aussi tags, marqueurs, identifiants ou transpondeurs) à micro-puissances.

Les étiquettes sont des dispositifs minuscules équipées d'une puce contenant des informations et une antenne pour la communication radio. Elles sont placées sur les éléments que l'on veut identifier d'une manière unique ou tracer. Les étiquettes peuvent avoir différentes formes et peuvent être passives ou actives [13].

1.9.1.1. La RFID passive :

Les étiquettes passives ne disposent d'aucune source d'énergie et attendent à ce qu'un signal électromagnétique leur arrive et munit de l'énergie pour pouvoir envoyer leurs propres signaux [45].

1.9.1.2. La RFID active :

Les étiquettes actives sont équipées d'une batterie, elles diffusent des signaux automatiquement et d'une façon autonome [13].

Les étiquettes passives sont plus déployées que celles qui sont actives car leur usage est beaucoup plus flexible avec un cout nettement réduit (comparé au cout relatif aux étiquettes actives qui est nettement élevé). Une autre spécificité pas moins importante dans les étiquettes passives qui est la durée de vie. Par le fait d'être passive, la durée de vie de l'étiquette est importante (elle reste valable tant qu'elle garde son bon état), ce qui n'est pas le cas pour une étiquette active ou la durée de vie est restreinte (s'achève avec l'épuisement de la batterie) [45].

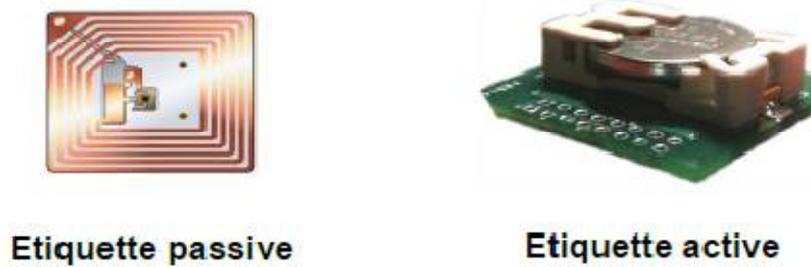


Figure 1-5 :Les étiquettes RFID [13].

1.9.2. Les réseaux de capteurs sans fil :

Les RCSFs se composent généralement d'un grand nombre de nœuds capteurs minuscules, stationnaires ou mobiles, souvent déployés aléatoirement dans un champ de captage. Ce dernier est généralement un milieu hostile, isolé ou difficile à contrôler, ou la mission d'un nœud capteur consiste à chaque fois, de récolter, d'une façon autonome, des informations précises depuis l'environnement de déploiement. Suivant le type du nœud capteur, la donnée captée peut être la température, l'humidité, la pression, la lumière ou autres. Les nœuds capteurs dans un RCSF communiquent entre eux via des liens radio pour l'acheminement des données collectées à un nœud considéré comme "point de collecte", appelé station de base ou puits. Cette dernière peut être connectée à une machine puissante, appelée gestionnaire des tâches, via

Internet ou par satellite. En outre, le réseau peut être configuré de telle sorte que l'utilisateur puisse adresser ses requêtes aux capteurs en précisant l'information requise, et en ciblant les nœuds capteurs qui devraient s'y intéresser [13].

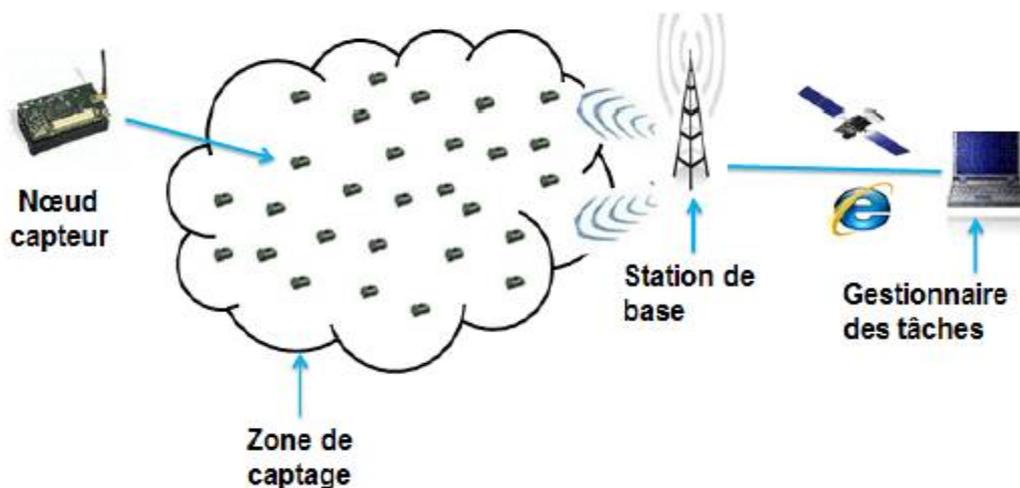


Figure 1-6 : Architecture de communication d'un réseau de capteur sans fil [13].

Les RCSFs jouent un rôle très intéressant dans l'Internet des objets. En effet, les capteurs permettent la représentation des caractéristiques dynamiques (température, humidité, pression, mouvements, . . .) des objets et des endroits du monde réel dans le monde virtuel représenté par le réseau Internet global. Ainsi, avec l'incorporation des réseaux de capteurs dans l'Internet, Les capteurs deviennent des serveurs (fournisseurs de services) dans ce que l'on désigne par le web des objets (dit WoT pour Web of Things)

Ainsi, les services (applications) des RCSFs se rajoutent à l'ensemble des services et applications de l'Internet de futur qui réunira une variété de réseaux fortement hétérogènes (que _ca soit sur le plan matériel ou logiciel), soumis à des contraintes différentes et qui sont déployés pour diverses applications, afin d'en avoir un monde réel très sophistiqué.

En plus de ces deux technologies principales (RFID et RCSFs), on trouve également d'autres technologies qui contribuent à la concrétisation du principe de l'Internet des objets. On parle alors des systèmes embarqués et la nanotechnologie (rétrécissement et incorporation des capteurs et autres dispositifs miniatures dans les objets à faire connecter à Internet), comme montré dans la figure suivante [13].

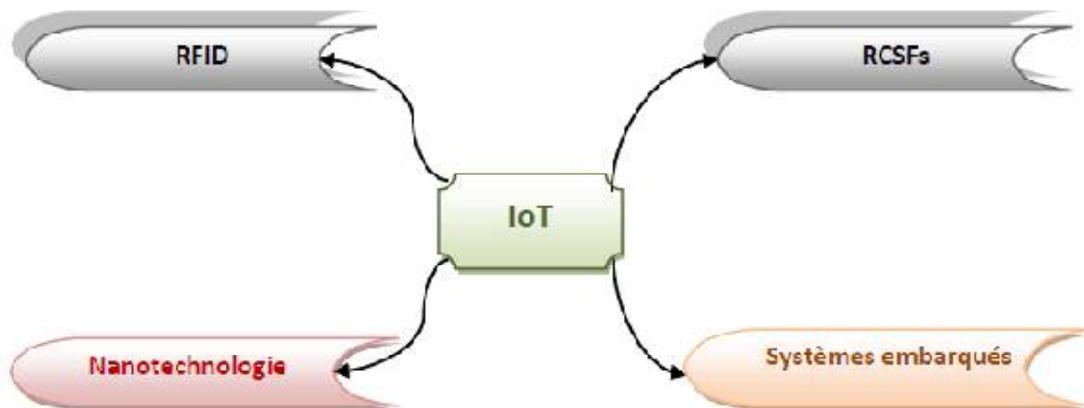


Figure 1-7 : Technologies fondatrices de l'Internet des objets [13].

1.10. Protocoles de fonctionnement de L'IOT :

De nombreuses normes IOT sont proposées pour faciliter et simplifier les tâches des programmeurs d'applications et des fournisseurs de services. Différents groupes ont été créés pour fournir des protocoles, y compris les efforts menés par le W3C, IETF, EPC global, IEEE et l'ETSI.

L'IOT ambitionne de faire communiquer chaque système avec tous autres au moyen de protocoles communs. La mise en application à une large échelle du concept d'IOT apparait largement tributaire d'une standardisation de la communication entre objets dite M2M[1].

- Au niveau de la couche de liaison, le standard **IEEE 802.15.4** est plus adapté que l'Ethernet aux environnements industriels difficiles.
- Au niveau réseau, le standard 6LoWPan a réussi à adapter le protocole IPV6 aux communications sans fil entre nœud à très faible consommation.
- Au niveau routage, l'IETF a publié en 2011 le standard RPL.
- Au niveau de la couche application le protocole CoAP qui tente d'adapter http, beaucoup trop gourmand aux contraintes des communications entre nœuds à faible consommation.

1.10.1. CoAP (Constrained Application Protocol)

Est un protocole de couche D'application pour les applications IOT. Il d'édéfinit un protocole de transfert Web Basé sur les fonctionnalités HTTP, est lié à UDP (et non TCP) par défaut qui le Rend plus approprié pour les applications IOT. En outre, CoAP modifie certaines Fonctionnalités HTTP pour répondre aux exigences de l'IOT telles que la faible Consommation d'nergie et le fonctionnement en présence de liens à perte et Bruyants [1]. CoAP a été conçu sur la base de REST qui représente un moyen plus Simple d'échanger des données entre les clients et les serveurs via HTTP. REST Peut être considéré comme un protocole de connexion qui repose sur L'architecture sans serveur apatriide. Il est utilisé dans les applications de réseaux Sociaux et mobiles et élimine l'ambigüité en utilisant les méthodes HTTP get, post, put et delete. Il permet aux clients et aux serveurs d'exposer et de consommer Des services Web comme le protocole d'accès aux Objets simples (SOAP), mais de Manière plus simple en utilisant les identificateurs de ressources uniformes (URI). CoAP vise à permettre à de minuscules appareils à faible puissance, le calcul et Les capacités de communication à utiliser les interactions RESTful. Avec CoAP, Les interactions entre services web de l'Internet des PC et de l'Internet des Objets Deviennent bien plus simples à réaliser, une passerelle applicative assez légère Correspondance entre les commandes RESTet CoAP se charge de l'adaptation d'un monde à l'autre [17].

1.10.2. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) :

Représente un protocole De messagerie idéal pour les communications IOT et M2M.

Il vise à connecter des périphériques et des réseaux intégrés aux applications et au middleware. MQTT Utilise le modèle de publication souscription pour offrir une flexibilité

de transition Et une simplicité d'implémentation. Il convient aux périphériques à ressources Limitées qui utilisent des liens peu fiables ou à faible bande passante. MQTT est Construit en haut du protocole TCP. Il se compose de trois composants, abonnés, éditeurs et courtiers. De nombreuses applications utilisent MQTT telles que les Soins de santé, la surveillance, le compteur d'énergie et la notification de Facebook. Par conséquent, le protocole MQTT permet d'acheminer les périphériques de petite taille, à faible consommation et à faible mémoire dans des zones vulnérables et Réseaux à faible bande passante [1].

1.10.3. XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) :

XMPP Est une Norme de messagerie instantanée IETF (IM) qui est utilisé pour les conversations Multipartis, les appels vocaux et vidéo et la télé présence. Il permet aux utilisateurs de communiquer entre eux en envoyant des messages instantanés sur Internet quelque soit le système d'exploitation qu'ils utilisent. XMPP permet aux applications de messagerie instantanée d'accéder à l'authentification, au contrôle d'accès, à la mesure de la confidentialité, au cryptage hop-by-hop et à la compatibilité avec d'autres protocoles.

Beaucoup de fonctionnalité XMPP en font un des protocoles Préfères par la plupart des applications de messageries instantanées et pertinentes Dans le cadre de l'IOT. Il fonctionne sur une variété de plateformes basées sur Internet de manière décentralisé. XMPP est sécurisé et permet d'ajouter de Nouvelles applications au-dessus des protocoles de base [17].

1.10.4. AMQP (Advanced Message Queuing Protocol):

AMQP est un Protocole de couche d'application standard ouvert pour l'IOT se concentrant sur des Environnements axés sur les messages. Il requiert un protocole de transport sécurisé Comme TCP pour échanger des messages. Il prend en charge une communication Fiable via des primitives de garantie de livraison de messages, en définissant un protocole au niveau du fil, les implémentations AMQP peuvent inter opérer entre elles. Les communications sont traitées par deux composants principaux :

- Échanges et files d'attente de messages. Les échanges sont utilisés pour acheminer les messages vers les files d'attente appropriées.
- Le routage entre les échanges et les files d'attente des messages repose sur certaines règles et conditions prédéfinies. Les messages peuvent être stockés dans les files d'attente,

puis envoyés au récepteur par la suite. AMQP prend également en charge le modèle de communication publié [1].

1.11. Domaines d'utilisation :

Le marché des objets connectés est promis à une grande croissance dans les années à venir car il a une valeur immense dans les différents domaines d'objets connectés pour les professionnels. Cependant, seules quelques applications sont actuellement déployées [1].

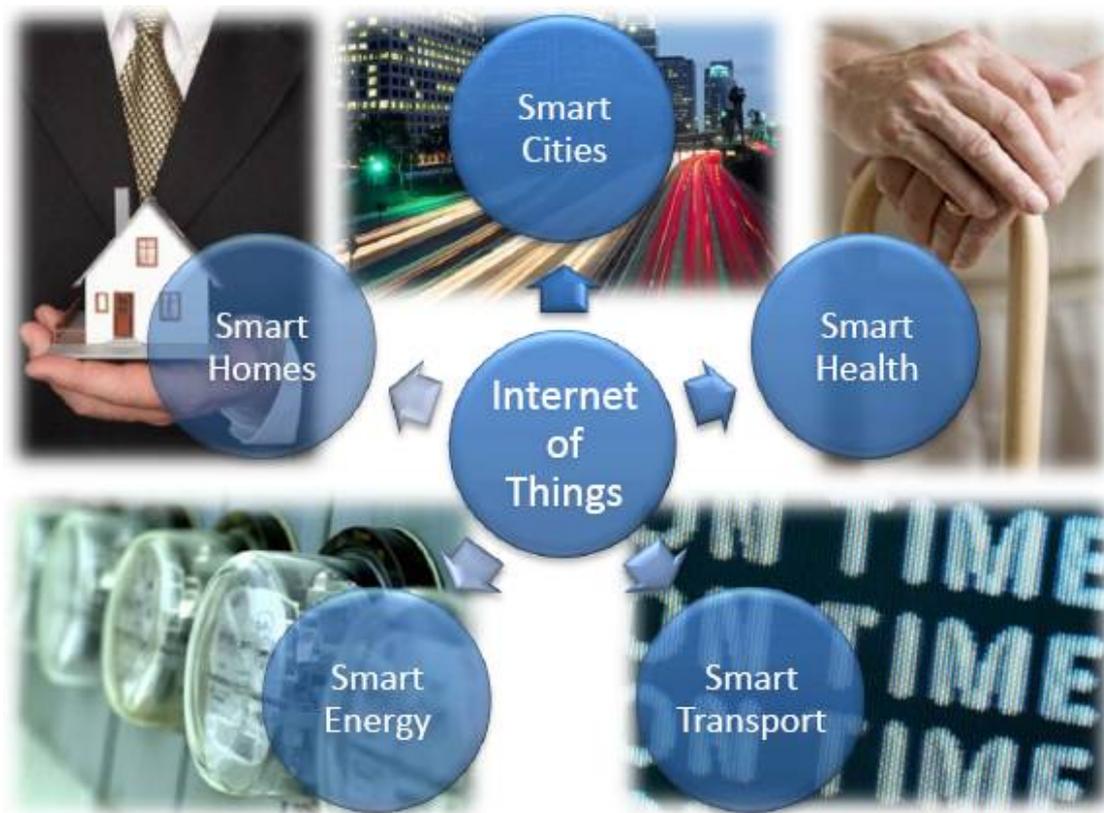


Figure 1-8 : L'Internet des objets et la création d'espaces intelligents [5]

Les domaines d'application de l'IdO sont très nombreux, et touchent pratiquement tous les axes de la vie quotidienne des individus, Parmi ces domaines, nous citons quelques exemples [7].

1.11.1. L'internet des objets dans le domaine de la santé :

Les objets connectés peuvent servir à réduire quelque éléments de dépenses pour les remplacer par d'autres il permet aussi de favoriser l'hospitalisation à domicile, qui assurera le contrôle et le suivi des signes cliniques des patients par la mise en place des réseaux personnels de surveillance, ces réseaux seront constitués de bio-captures posés sur le corps

des patients ou dans leurs lieux d'hospitalisation. Cela facilitera la télésurveillance des patients qui permettras de réduire les erreurs médicales, optimiser la consommation de médicaments ou encore leur prise régulière, et même encourager la prévention de certaines maladies, l'internet des objets permettre aussi de suivre sa tension, son rythme cardiaque, la qualité de sa respiration ou encore sa masse grasseuse, et d'autres objets connectés médicaux , brosse a dent connectée ou encore, le scanner qui calcule le nombre de calories dans votre assiette[1].

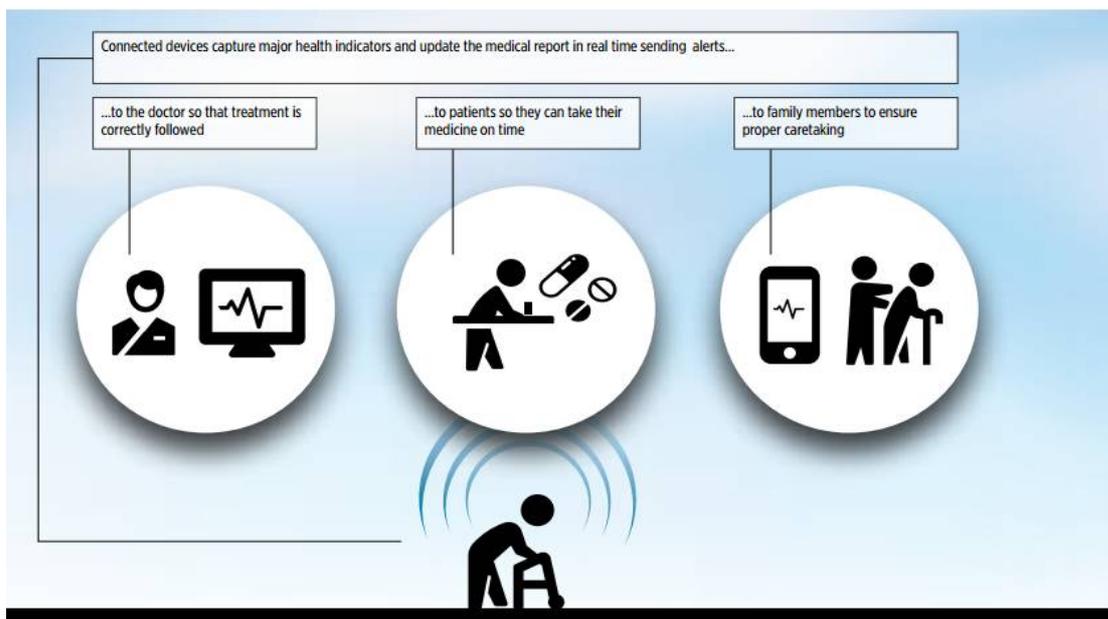


Figure 1-9 :L'IOT dans le domaine de la santé [10]

1.11.2. L'internet des objets dans le domaine d'éducation :

Dans le domaine de l'éducation, les solutions mobiles adapteront le processus d'apprentissage aux besoins de chaque élève, améliorant les niveaux de compétence générale, tout en reliant les salles de classe virtuelles et physiques pour rendre l'apprentissage plus pratique et accessible [10].

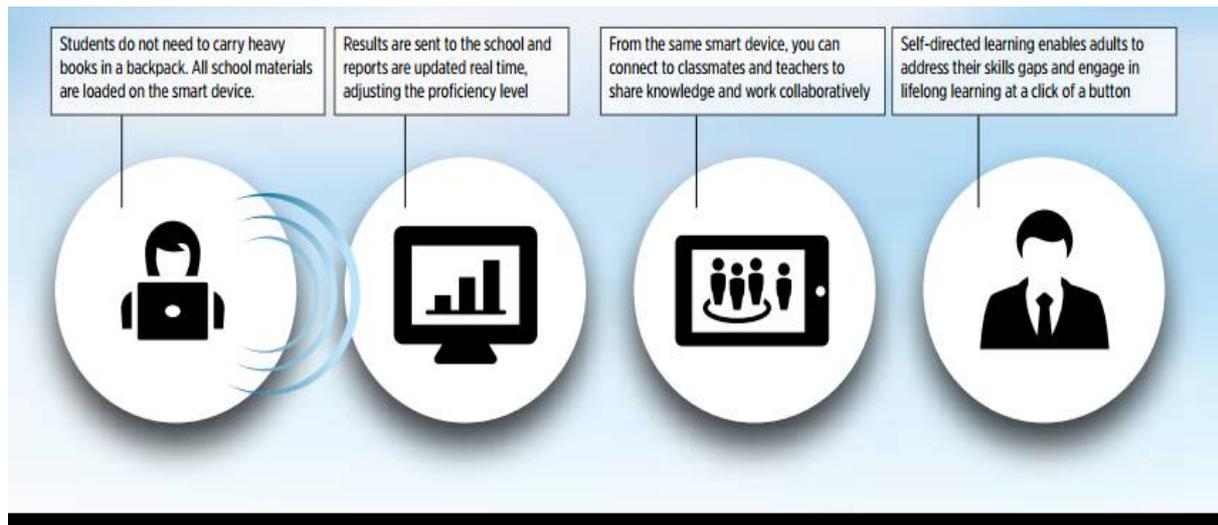


Figure 1-10 : L'IOT dans le domaine d'éducation [10]

1.11.3. L'internet des objets dans le domaine de l'industrie :

Le déploiement de L'IoT dans l'industrie sera certainement un grand support pour le développement de l'économie et le secteur des services, puisque L'IDO permettra d'assurer un suivi total des produits, de la chaîne de production, jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnements. Cette traçabilité de bout en bout facilitera la lutte contre la contrefaçon, la fraude et les crimes économiques transfrontaliers [1].

Pour les entreprises, la capacité de l'IDO à combiner les innovations en matière d'analyse de données, d'impression 3D et de capteurs améliorera la productivité en permettant un changement radical dans la qualité de la prise de décision, l'efficacité de la production, la personnalisation de la distribution et la productivité de la production alimentaire [10].

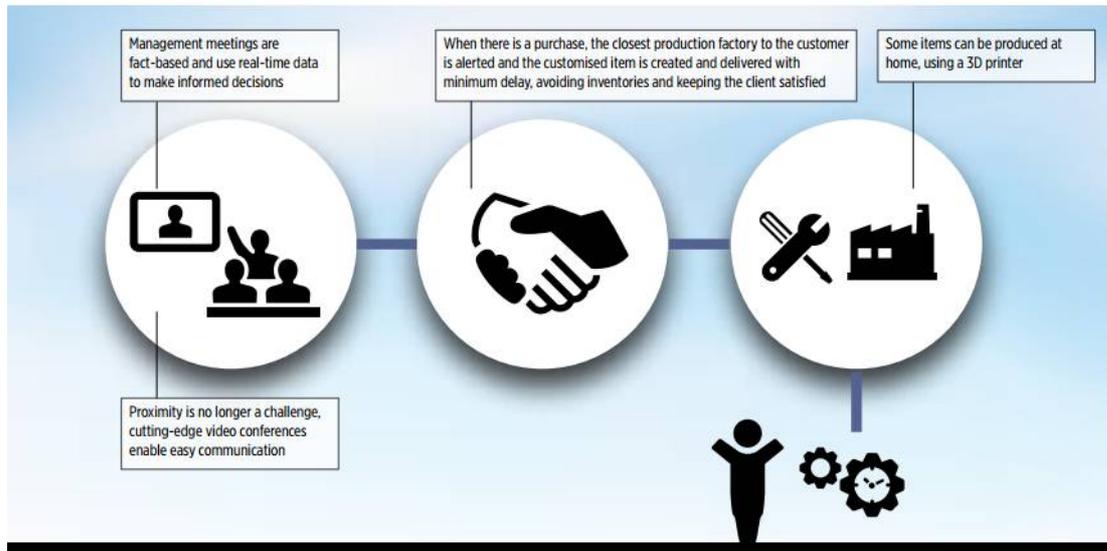


Figure 1-11 : L'IOT dans le domaine de l'industrie [10]

1.12. Exigences relatives à la mise en œuvre De l'IOT:

Les exigences d'implémentation de l'IdO sont considérées comme des exigences critiques pour les prochaines architectures d'IdO, qui sont décrites dans les sous sections suivantes:

1.12.1. Évolutivité :

Avec le grand nombre d'objets connectés à l'infrastructure IOT, on considère que chaque objet connecté a sa propre représentation virtuelle.

Par conséquent, l'exigence d'évolutivité est souhaitable pour étendre la fonctionnalité des normes ouvertes aux futures applications IOT. En outre, alors que l'expansion de l'IdO se développe grâce à l'adoption généralisée de nouvelles applications, les futures architectures d'IdO doivent répondre aux exigences d'évolutivité [11].

1.12.2. Interopérabilité :

La nécessité d'habiliter les communications entre divers objets par différents fournisseurs de services est très importante dans les futures architectures d'IdO. Par conséquent, les architectures d'IdO exigent des normes d'interopérabilité pour créer des plates-formes parallèles ou ouvertes qui prennent en charge le potentiel global de la pratique de connexion transparente entre tous les types d'applications et de dispositifs IdO. En outre, pour permettre les pratiques de communication entre toutes les choses dans les futures architectures d'IdO, quelle que soit leur origine [11].

1.12.3. Sécurité :

Le renforcement de la sécurité est un aspect important des applications IdO, en raison de la tâche difficile de protéger les informations sensibles transmises et traitées dans les environnements hostiles entourant l'IdO. Ainsi, on peut vraiment considérer qu'il s'agit d'une exigence clé future des déploiements d'applications IdO pour éviter que ces grandes échelles d'applications IdO ne soient contrôlées par des parties non autorisées. En outre, les mécanismes de sécurité de la stratégie de conception de l'IdO devraient être suffisamment légers en raison des ressources limitées dont disposent les dispositifs IdO. En conséquence, l'absence de politique de sécurité des futures architectures d'IdO peut menacer la confiance de l'utilisateur, ce qui conduira à l'échec de la technologie dans son ensemble [11].

1.12.4. Contrôle et gestion des ressources :

L'accessibilité et la configuration des objets intelligents participants parmi les applications IdO doivent être réalisées à distance. Cela aidera à contrôler efficacement les ressources si les administrateurs ne sont pas disponibles à certains endroits. En outre, des contraintes redondantes en matière de ressources peuvent affecter les systèmes IdO, qui doivent équilibrer la charge pour une utilisation appropriée des ressources [11].

1.12.5. Efficacité énergétique :

La durée de vie est l'appréhension de durabilité la plus fonctionnelle dans les objets intelligents que la participation parmi les applications IoT. Par conséquent, la sensibilisation à l'énergie est très importante pour réduire les contraintes de ressources en éliminant la consommation d'énergie redondante. En conséquence, la stratégie de conception de l'architecture IdO devrait être de minimiser la consommation d'énergie par le développement de propriétés légères des techniques et méthodes de communication [11].

1.12.6. Qualité de service (QoS) :

La capacité de fournir un service satisfaisant aux utilisateurs est une exigence importante des architectures de systèmes IdO. La QoS est un facteur d'installation non fonctionnel, qui peut être obtenu en organisant les services fournis et en les récupérant. Par exemple, les applications de traitement en temps réel imposent une priorité élevée aux performances typiques. En conséquence, seules les informations obligatoires doivent être récupérées en réponse à la demande adressée [11].

1.13. Conclusion :

Il est évident que les applications des IoT deviennent de plus en plus prépondérantes. Nous avons fixé l'objectif de développer des applications sécurisées dans cette technologie, nous allons commencer par une étude des IoT.

Tout au long de ce chapitre, nous avons délibérément choisi des définitions simples concernant l'internet des objets dans le but d'enlever l'ambiguïté et de démystifier certaines confusions. Ce premier chapitre nous a permis de comprendre certaines généralités sur la technologie "IOT", de lui donner une définition d'un point de vue globale, une meilleure vision sur ce réseau et il nous permet de visionner son domaine d'utilisation, ainsi son mode de fonctionnement ont été présentés, son architecture et enfin les exigences que peut représenter un tel réseau.

Tous cela nous donne un aperçu général sur la technologie IOT, et nous permet d'avancer au chapitre suivant et nous essayer d'expliquer comment connecté les objets à internet.

Chapitre 02

Objet Connecté

2.1.Introduction :

Considérons l'Internet des Objets comme un environnement ultra-connecté permettant une infinité d'interactions entre des objets physiques diffus et leurs représentations virtuelles. Plus précisément, l'IoT décrit "un réseau de réseaux permettant, via des systèmes d'identification électronique et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant. Les interactions entre objets sont rendues possibles grâce à l'intégration aujourd'hui facilitée de capteurs et contrôleurs. Les objets connectés existent depuis déjà plusieurs années, mais la conjonction de l'intégration technologique, de l'évolution des technologies de communication, des nouvelles capacités à traiter les données captées et l'apparition des nouveaux services qui en découlent, a accéléré leur développement pour les rendre indispensables [14].

Aujourd'hui cette technologie est en train de devenir une réalité qui va drainer le commerce et l'industrie du futur [14].

Avant de passer au prochain concept, il importe de faire la distinction entre l'IdO et les objets intelligents. Ces deux concepts sont certes intimement reliés, toutefois, ils représentent deux idées bien différentes. L'IdO correspond à un réseau de communication comprenant des personnes, des objets ainsi que des technologies alors que les objets intelligents représentent les objets faisant partie de l'IdO. Ceux-ci ont la propriété de se connecter à Internet. Suite à cette explication, il serait faux de croire que l'IdO et les objets intelligents sont synonymes. Malgré tout, plusieurs chercheurs font encore l'erreur de mélanger ces deux termes [15].

Le but de ce chapitre est de revenir sur certaines notions fondamentales des objets connectés avant de se concentrer sur les problèmes posés par l'Internet des Objets. Dans ce chapitre nous allons commencer par une définition d'un objet comme une entrée pour bien comprendre la notion des objets connectés, leurs classifications, leur architecture, ensuite nous avons détaillé les caractéristiques de l'Internet des Objets on fait par la suite l'accent sur les obstacles qui limitent la progression de l'IoT tel que la sécurité du réseau, l'identification des objets connectés, le déploiement du protocole IPv6, la consommation énergétique, confidentialité des utilisateurs et l'authentification et en fin

pour différencier l'iot au M2M on ajout une partie qui parle sur la différence entre l'iot et la M2M.

2.2. Définition d'un objet :

Un objet est, avant toute chose, une entité physique ; par exemple, un livre, une voiture, une machine à café électrique ou un téléphone mobile. Dans le contexte précis de l'Internet des objets, cet objet possède au minimum un identifiant unique attaché à une identité exprimant d'une part ses propriétés immuables (type, couleur, poids, etc.) et son état c'est-à-dire l'ensemble de ses caractéristiques pouvant évoluer au cours du temps (position, niveau de batterie, etc.) [2].

Dans le langage courant, ce sont les termes « objet connecté », parfois « objet intelligent » et parfois « objet interactif » qui sont les plus utilisés¹² tandis que dans les travaux de recherche universitaire, on retrouve plutôt la terminologie « objet communicant » [16].

Le dictionnaire Larousse propose pour les différents mots entrant dans la composition de ces expressions, les définitions suivantes :

- **Objet** : « Chose solide considérée comme un tout, fabriquée par l'homme et destinée à un certain usage ».
- **Connecter** : « Unir, lier des choses entre elles » et au sens technique « Établir une liaison électrique, hydraulique, ... entre divers organes ou machine » ou « Etablir une liaison avec un réseau informatique ».
- **Intelligent** : « Se dit d'un bien dont la maintenance ou le fonctionnement sont assurés par un dispositif automatisé capable de se substituer, pour certaines opérations, à l'intelligence humaine ».
- **Interactif** : « support de communication favorisant un échange avec le public »
- **Communicant** : « Se dit d'une chose qui communique avec une autre » [16].

2.3. Définition d'un objet connecté :

C'est un dispositif permettant de **collecter, stocker, transmettre et traiter des données** issues du monde physique [17]. Un objet connecté doit être adopté à un usage, il a une certaine forme d'intelligence [18]. Identifiés et Identifiables de façon unique et ayant un lien direct ou indirect via un concentrateur « Gateway » avec Internet [17].

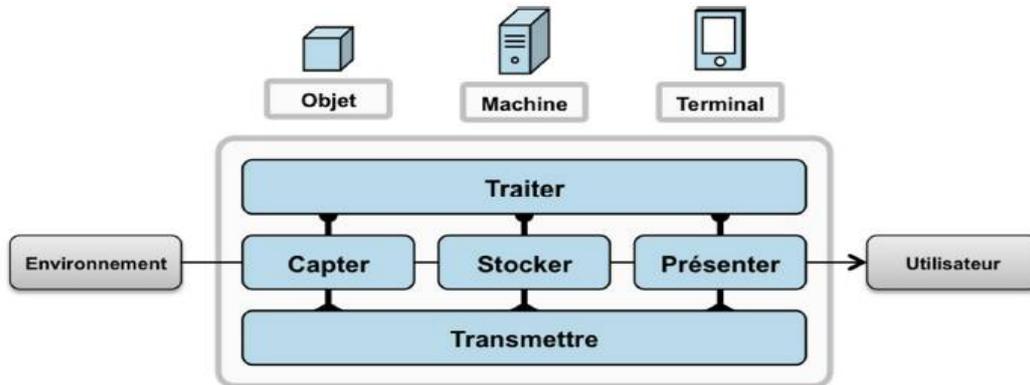


Figure 2-1 : Collecte de données [17]

L'objet connecté, intelligent, interactif ou communiquant est donc un artefact fabriqué par l'homme pour établir une liaison afin de pouvoir transmettre des informations à un autre objet connecté de manière automatisée et en favorisant ainsi un échange avec l'utilisateur [16].

Cette définition générale ne spécifie pas comment et par quels moyens techniques les objets communiquent ainsi elle englobe « n'importe quel objet relié au réseau électrique ». C'est par cette distinction que l'on peut différencier les objets connectés de première génération tels que l'ordinateur, le Smartphone ou la tablette simplement reliés à Internet, de la seconde génération d'objets connectés entre eux via l'Internet des Objets [16].



Figure 2-2: Deux générations d'objets connectés [16]

Un objet connecté peut interagir avec le monde physique de manière indépendante sans intervention humaine. Il possède plusieurs contraintes telles que la mémoire, la bande passante ou la consommation d'énergie, etc. Il doit être adopté à un usage, il a une certaine forme d'intelligence, une capacité de recevoir, de transmettre des données avec des logiciels grâce aux capteurs embarqués [18]. Un objet connecté a une valeur lorsqu'il est connecté à d'autres objets et briques logicielles, par exemple : une montre connectée n'a d'intérêt qu'au sein d'un écosystème orienté santé/bien-être, qui va bien au-delà de connaître l'heure.

Un objet connecté à trois éléments clés :

- Les données produites ou reçues, stockées ou transmises.
- Les algorithmes pour traiter ces données.
- L'écosystème dans lequel il va réagir et s'intégrer [19].



Figure 2-3 : Quelques exemples d'objets connectés [13]

On a distingué deux types d'objets :

Les objets passifs : ils utilisent généralement un tag (puce RFID, code barre 2D). Ils embarquent une faible capacité de stockage (de l'ordre du kilo-octet) leur permettant

d'assurer un rôle d'identification. Ils peuvent parfois, dans le cas d'une puce RFID, embarquer un capteur (température, humidité) et être réinscriptibles [17].

Les objets actifs : ils peuvent être équipés de plusieurs capteurs, d'une plus grande capacité de stockage et être doté d'une capacité de traitement ou encore être en mesure de communiquer sur un réseau [17].

2.4. Classification des objets :

Les objets, choses ou things issus de l'Internet des Objets (Internet of Things) vont s'influencer les uns les autres en fonction de leurs capacités fonctionnelles (par exemple, la puissance de calcul, la connectivité réseau, la puissance disponible, etc.) ainsi que du contexte et des situations [20].

Nous commençons par la figure 2-4 qui explique la mise en service des IoT, qui ne sont ni plus ni moins que des équipements connectés à un réseau de télécommunications [21].

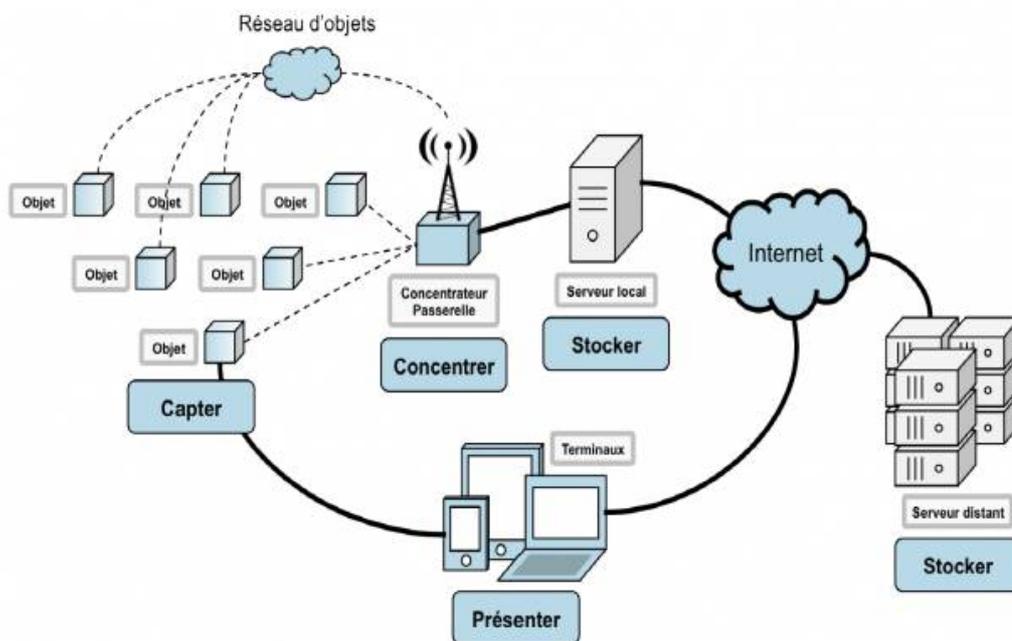


Figure 2-4 : Mode d'opération des IoT [21]

Précisons le rôle des différents processus présentés sur ce schéma :

Capteur : désigne l'action de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.

Concentrer : permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard (ex. Wifi) ou des dispositifs large public.

Stocker : qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible.

Présenter : indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir [17].

Un objet connecté peut être contrôlé à distance et remplit généralement deux rôles :

- Un rôle de capteur pour surveiller l'apparition d'un événement ou d'une mesure spécifique (capteur de présence, capteur thermique, mesure du nombre de pas...).
- Un rôle d'actionneur pour réaliser une action suite à un événement spécifique mesuré ou détecté (déclenchement d'une alarme en cas d'intrusion, ouverture d'une porte à distance...) [14].

2.5. Cycle de vie d'un objet connecté dans l'IoT :

Dans l'IoT, les objets intelligents passent par trois étapes : la phase préparatoire (bootstrapping), la phase opérationnelle et la phase de maintenance [13].

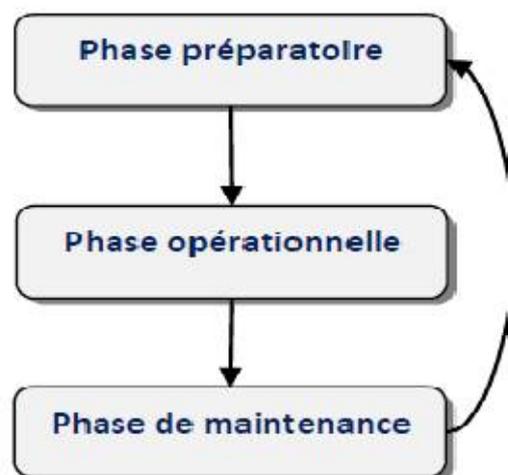


Figure 2-5 : Cycle de vie de l'objet [13]

La phase préparatoire (bootstrapping) : déploiement des objets (capteurs, tags), leur configuration avec les informations nécessaires, par exemple les identificateurs, les clés de sécurité, etc.

La phase opérationnelle : dans la phase opérationnelle, l'objet connecté se met à réaliser sa mission qui diffère d'une application à une autre.

La phase de maintenance : effectuer des mises à jours, régler les problèmes en faisant d'éventuelles réparations des objets en cas de défaillances par exemple.

Il est même possible de remplacer carrément des objets et redémarrer à nouveau à partir de la phase préparatoire [13].

2.6. Les Types de relation entre objets :

L'interaction sociale entre deux individus reflète le rattachement entre eux et qualifie la relation qui les unie.

Le type de relation traduit le lien social entre les interlocuteurs, et l'intensité de parenté qui les lie. Il peut influencer fortement sur la nature de leurs interactions [22].

Par analogie aux types de relation entre les individus, des travaux ont proposé une classification des types de relation relative aux objets communicants, sur la base des cinq types de relations suivantes:

2.6.1. Relation de Co-localisation : Lorsque des objets sont présents simultanément au même endroit (sur une machine, dans un atelier, une maison, une ville, ...)

2.6.2. Relation de Co-travail : Lorsque des objets coopèrent ensemble dans une même application ou un même processus, pour réaliser une tâche ou un but collectif.

2.6.3. Relation de Parenté : Lorsque des objets appartiennent à une même famille (objets similaires, même catégorie, construits dans une même période, par le même fabricant, appartenant à un même lot) [22].

2.6.4. Relation de Propriété : Lorsque des objets appartiennent au même propriétaire et interagissent entre eux. L'objet peut être porté par son propriétaire (une personne, une machine ou un autre objet). Le propriétaire peut stimuler l'interaction des objets.

2.6.5. Relation Sociale : Lorsque des objets se rencontrent et entrent en contact, de façon sporadique ou continue, au travers de la rencontre physique de leurs propriétaires respectifs. L'aspect social de l'interaction entre objets décline de l'interaction sociale entre leurs propriétaires [22].

2.7. Caractéristiques fondamentales de l'Internet des Objets :

Les objets connectés se définissent en termes d'identité, d'interconnectivité, de

« Shadowing », de sensibilité et d'autonomie... [23].

2.7.1. Sensibilité à son environnement :

Un objet peut transmettre des informations non seulement sur son propre état, mais aussi sur les caractéristiques de son environnement. Il peut ainsi avoir des capteurs signalant les niveaux de température, d'humidité, de vibrations, d'emplacement ou de bruit. Il peut enfin être en mesure d'enregistrer et/ou de diffuser des informations audio ou vidéo, si la bande passante disponible est suffisante [23].

2.7.2. L'interconnectivité : Tous les objets présents dans l'Internet des Objets peuvent être connectés à l'infrastructure mondiale de l'information et de la communication (Union Internationale des télécommunications, 2012). Parmi les formes de connectivités les plus connues entre l'IoT et internet, nous retrouvons l'Ethernet. Cependant, tous les appareils peuvent se connecter via une large variété de mode de connexion et de technologies, qu'elles soient avec (Ethernet) ou sans fil. Comme le précise IBM Journal (2018), nous pouvons retrouver dans les options sans fil les technologies : ANT+, Bluetooth, EDGE, GPRS, IrDA, LTE, NFC, RFID, Weightless, WLAN, ZigBee, et ZWave [20].

2.7.3. Les changements dynamiques : l'état des dispositifs (par exemple,

connecté/déconnecté) change de manière dynamique tout comme le contexte dans lequel ces dispositifs fonctionnent qu'il soit relié au cadre spatio-temporel, comme le précise l'Union Internationale des télécommunications (2012) ou également dans le cadre de la vitesse ou encore de la localisation comme l'indiquent Patel & Patel (2016). Il est important de noter que leur nombre est également susceptible d'évoluer lui aussi [20].

2.7.4. Représentation virtuelle (shadowing) :

La notion de shadowing désigne le fait qu'un programme logiciel puisse tout connaître d'un objet physique et agir en son nom. Grâce à cela, même un objet physique « muet » peut avoir une représentation virtuelle relativement intelligente. Ceci est parfois désigné sous le nom de cyber-objet ou d'agent virtuel. Par exemple, une bouteille de lait peut avoir un identifiant unique et la capacité d'indiquer sa présence à un capteur local, situé dans le réfrigérateur. Dans un autre endroit, un programme (l'agent virtuel de la bouteille de lait) possède d'autres informations sur la bouteille (où elle a été achetée, quand elle se périmé, etc.). Ce programme peut communiquer à son tour avec le frigidaire et indiquer ces informations à l'utilisateur [24].

2.7.5. Autonomie : Les objets sont traités de manière individuelle, en général d'un point isolé, et opérés indépendamment d'un contrôle à distance. La notion d'apatridie est ici extrêmement importante : il ne doit pas y avoir d'intelligence centrale contrôlant l'ensemble des objets individuels de manière totalitaire. Au contraire, chaque objet est en quelque sorte autonome et indépendant, avec la capacité d'être interrogé et d'interagir avec d'autres objets du réseau lorsque nécessaire [24].

Ces caractéristiques permettent non seulement aux éléments physiques d'acquérir de nouvelles capacités, mais aussi de créer de nouveaux objets. **L'Internet des objets ouvre donc un environnement ultra-connecté, des capacités et des services permettant une interaction avec et entre les objets physiques et leur représentation virtuelle** [23].

2.7.6. La flexibilité : un objet peut interagir avec d'autres objets à n'importe quel moment (Any time), n'importe où (Any where), et n'importe comment (Any how), et fait des calculs pour n'importe quel objet (Anything), pour n'importe qui (Anyone), et pour n'importe quel service (Any service) [25].

2.8. Infrastructure de communication :

Dans leur majorité, les objets ne se connectent pas directement à internet mais *via* une passerelle ou un hub numérique [14].

L'infrastructure réseau la plus souvent mise en œuvre peut se représenter comme cela:

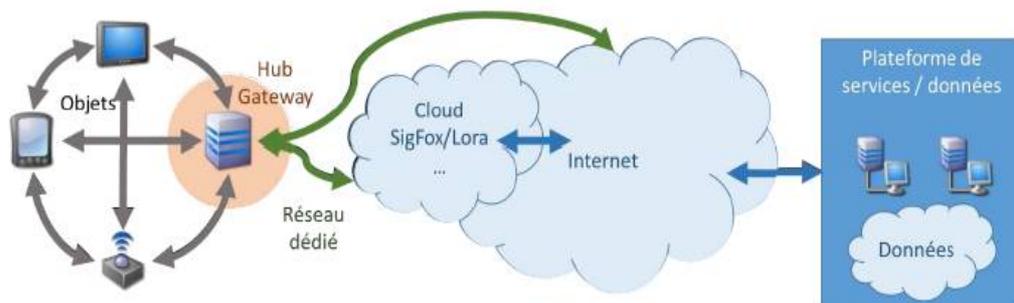


Figure 2-6 : Infrastructure réseau communément mise en œuvre pour les objets connectés

[14]

Les objets connectés communiquent entre eux, ou avec les serveurs de traitement, prioritairement par le réseau Internet. Néanmoins, les types de liaison peuvent différer suivant les situations et les environnements : des objets peuvent partager directement entre eux des informations sur leur environnement pour interagir sans échanger avec des serveurs ; ou bien peuvent avoir besoin d'agrégier les données avant de les transmettre à un serveur de traitement. Ils peuvent aussi être dans des zones à faible couverture avec un débit faible ou très éloignés d'un point d'accès réseau et dans ce cas utilisé un réseau dédié [14].

2.9. La sécurité du réseau : Selon une étude de Hewlett Packard (2014), 70% des appareils IoT ont un manque crucial de sécurité. En effet, l'internet des objets est vulnérable à de nombreuses attaques pirates pour différentes raisons. Tout d'abord, à cause de la multitude de composantes, ces dernières ne pouvant être constamment sous surveillance et étant donc facilement sujettes à des attaques. Ensuite, les objets de l'IoT sont constamment connectés à l'internet au moyen de communications sans fil : ces dernières sont sécurisées dans l'Internet au moyen de cryptages, c'est à dire de clés qui permettent de crypter les informations transmises par les Objets. Le problème est qu'actuellement les appareils de l'IoT ne sont pas encore assez puissants pour supporter ces chiffrements. Il est dès lors important de développer de nouveaux algorithmes plus efficaces et requérant moins de puissance [26].

2.10. L'identification des objets connectés :

Le souci d'**identification unique de tous les Objets connectés** pose aussi problème. En effet, un des composants principaux à la sécurité d'un réseau est le principe d'identification

unique des appareils. L'identification est l'action d'attribuer un numéro unique, appelée IP, à un objet pour empêcher toute confusion entre eux.

Malheureusement, depuis le 03 février 2011, toutes les adresses IPv4 (4-bit) sont épuisées. Or cela représente un énorme frein au développement de l'internet des objets car ce dernier met justement en relation une multitude d'objet nécessitant une identification. Heureusement, des solutions sont déjà en cours de développement, telles qu'une nouvelle méthode d'adressage : l'IPv6 [26].

Dans l'IdO, la gestion de l'identité exige la prise en compte d'une variété stupéfiante de types d'identité et de relations, qui doivent tous suivre quatre principes d'identité objet :

- L'identité d'un objet n'est pas la même que celle de ses mécanismes sous-jacents. L'appareil à rayons X du service de radiologie peut avoir une adresse IP, mais il devrait aussi avoir sa propre identité pour le distinguer des autres appareils.
- Un objet peut avoir une identité de base et plusieurs identités temporaires qui changent en fonction de son rôle.
- Un objet peut s'identifier grâce à son identité ou à ses particularités.
- Les objets connaissent l'identité de leurs propriétaires. appareil qui contrôle la glycémie d'un utilisateur devrait savoir comment cette information s'inscrit dans l'état de santé générale de l'utilisateur.

Les objets peuvent aussi se trouver dans des groupes, que certains mécanismes doivent gérer. Une maison peut avoir plusieurs appareils électroménagers que seuls certains résidents et visiteurs peuvent utiliser à des moments précis. Le réfrigérateur pourrait se verrouiller après minuit à tout résident ou adolescent en visite, mais rester ouvert pour les adultes. [53]

La preuve d'identité est un élément important de la gestion de l'identité. Lorsque les développeurs créent un réseau mondial d'objets, ils doivent construire une infrastructure qui permet l'authentification mutuelle des objets. Il doit y avoir un équilibre entre une gestion centralisée et une approche distribuée et hiérarchique.

Les mécanismes d'anonymisation et la création de pseudonymes sont également des éléments constitutifs importants. Comme l'IdO traite de contextes multiples, il est peu probable qu'une entité révèle son identité tout le temps. Dans un réseau de véhicules, par

exemple, une voiture de police peut révéler son identité aux voitures et au personnel du poste de police, mais garder son identité cachée pendant le travail d'infiltration, sauf si elle interagit avec d'autres voitures de police. [53]

2.11. Le déploiement du protocole IPv6 :

Le protocole IPv6 a été développé dans les années 1990 afin de succéder à l'IPv4 dont les capacités d'adressage apparaissaient insuffisantes pour faire face au développement de l'Internet. Il est devenu un standard officiel de l'IETF en 1998 et a fait l'objet de nombreux perfectionnements depuis [10].

IPv6 (*Internet Protocol version 6*) est un protocole réseau sans connexion de la couche 3 du modèle OSI (*Open Systems Interconnection*). Grâce à des adresses de 128 bits au lieu de 32 bits, IPv6 dispose d'un espace d'adressage bien plus important qu'IPv4. Cette quantité d'adresses considérable permet une plus grande flexibilité dans leur attribution et une meilleure agrégation des routes dans la table de routage d'Internet. La traduction d'adresse, qui a été rendue populaire par le manque d'adresses IPv4, n'est plus nécessaire.

Avec ses 128 bits utilisés pour l'adressage des hôtes, ce système offre une espace quasi-inépuisable ($3,4 \cdot 10^{38}$ adresses) pouvant soutenir l'attribution d'identifiants uniques à chaque nœud de l'Internet des Objets. Un autre avantage d'adopter ce système d'adressage pour les objets de l'Internet est celui de pouvoir tirer partie de nombreux protocoles existants sous IP, et effectuer des communications de bout-en-bout sans nécessiter de traduction (à travers un dispositif comme NAT) [27].

[8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF]

pouvant être noté

[8000::123:4567:89AB:CDEF]

Figure 2-7: Format d'adresse IPv6 [11]

Une première approche consiste à utiliser la même architecture du monde Internet, avec sa pile de protocoles de communication, et de l'appliquer tout simplement au monde des objets communicants.

En effet, le succès de l'utilisation du protocole IP, dans sa version IPv4, provient du fait qu'il a permis à des systèmes informatiques hétérogènes de dialoguer ensemble et d'être accessibles à distance à l'échelle planétaire.

Malheureusement, aujourd'hui on arrive à l'épuisement de son espace d'adressage, limité à quatre milliards d'adresses. IPv4 ne pourra donc pas satisfaire les besoins des réseaux des objets communicants et attribuer une adresse IP à chacun d'entre eux.

Devant cette pénurie, IPv6 semble être le standard adéquat qui permettrait de répondre aux besoins du monde de ces nombreux objets connectés. Avec IPv6, l'adressage des objets sera quasi illimité [12].

Il est donc possible de créer des milliards de milliards d'adresses (2¹²⁸) différentes en IPv6 alors que l'IPv4 plafonne à quatre milliards d'adresses environ (2³²). Ceci permet de se passer du mécanisme de traduction d'adresse et du protocole NAT (Network Address translation) qui permet de regrouper plusieurs adresses privées autour d'une même adresse IPv4 publique. Ceci élimine un degré de complexité en permettant un adressage direct des abonnés [11].

Simultanément, l'IPv6 remédie à certains inconvénients de l'IPv4 : il utilise des entêtes de longueur fixe (40 octets) alors que celles de l'IPv4 varient de 20 à 60 octets, ce qui simplifie le routage. La fragmentation éventuelle des datagrammes ne se fait plus au niveau des routeurs mais au niveau des machines émettrices qui reçoivent, éventuellement, un message d'alerte "*Packet too big*" [11].

IPv6 incorpore également dans sa spécification le protocole sécurisé IPsec.

Le protocole bien connu de couche 2 de l'IPv4, l'ARP (Address Resolution Protocol), permettant à un noeud de découvrir et d'identifier les autres noeuds situés sur un même segment, est remplacé par le protocole NDP (Neighbor Discovery Protocol) qui peut être sécurisé par une méthode cryptographique (SEND – Secure Neighbor Discovery Protocol), remédiant ainsi aux vulnérabilités du protocole ARP.

L'IPv6 n'a pas été développé pour répondre aux besoins de l'Internet des objets. Il offre cependant des atouts précieux pour répondre aux exigences de l'IoT :

- Un adressage sans limites permettant l'identification unique de chaque objet et l'extensibilité de n'importe quelle architecture.
- Le non recours au protocole ARP qui rompt dans l'ipv4, la connexion point à point [11].



Figure 2-8: Pourcentage des connexions aux serveurs de Google s'effectuant en IPv6 [11]

2.12. La consommation énergétique :

Ceci accentue un autre souci : la **consommation énergétique**. L'IPv6 est un ensemble de protocoles complexes coûteux en mémoire, et qui dès lors requiert une plus grande consommation électrique ; or l'alimentation électrique n'est à l'heure actuelle pas encore suffisante pour permettre aux composants de l'IoT de supporter de tels schémas de sécurité. Il faudrait donc rendre les capteurs autosuffisants; sans cela, le plein potentiel de l'internet des objets ne pourrait être exploité car il faudrait continuellement changer les « piles » de milliards de capteurs. Différentes recherches sont continuellement menées dans le but de trouver les technologies adéquates en terme d'autosuffisance et de prix. Actuellement, « American Chemical Society2 » a proposé une première solution intéressante pour le monde de la santé : les nanogénérateurs. Ce sont de petites puces flexibles qui génèrent de l'électricité sur base des mouvements du corps [26].

Pour que l'IoT puisse démontrer tout son potentiel, les capteurs devront être autosuffisants.

Sinon, on devait changer les batteries de milliards d'appareils déployés aux quatre coins de la planète et même dans l'espace, cela serait évidemment impossible, nous devons donc trouver un moyen pour générer de l'électricité en puisant dans l'environnement, par exemple en utilisant les vibrations, la lumière et les courants d'air. D'ailleurs, des scientifiques ont annoncé la création d'un nano générateur, il s'agit d'une puce flexible capable de générer de l'électricité à partir de mouvements corporels tels qu'un pincement de doigt [21].

2.12.1. Usages :

Le marché des objets connecté se développe à partir d'usages très varié, dont une part de plus en plus importante concerne des dispositifs autonomes et sans-fil : les capteurs pour la maison connecté, les objets portables (wearable technology), les balises de géolocalisation, les capteurs environnementaux, les systèmes embarqué non intrusifs, etc. Ces équipements disposent de leur propre source d'alimentation (batteries rechargeables ou piles) et communiquent par des protocoles radios optimisant la consommation énergétique [28].

Le principe général. Est de permettre à l'équipement de fonctionner « en veille » la plupart du temps et de réveiller ses fonctions consommatrices uniquement lorsque l'usage prévu le nécessite, par exemple : la transmission de données a fréquence régulière ou l'envoi d'une alerte sur un évènement critique. Les contraintes d'usage peuvent nécessiter de concevoir des systèmes a même d'être opérationnels pendant une ou plusieurs années, sans remplacement ou recharge de batterie [28].

2.12.2. Technologies :

Les solutions permettant de répondre a ces enjeux impliquent d'avoir une approche globale lors de la conception du système, en partant de l'analyse précise des usages, des fonctionnalités requises et des différents organes techniques mis en œuvre. Des simulations, puis des tests de consommation d'énergie, sont effectués sur des prototypes pour valider ou ajuster la conception. Les axes d'optimisation les plus courants impliquent en particulier:

- De maximiser la réserve énergétique embarqué (la batterie), dans la limite des contraintes physiques.
- De limiter les phases de fonctionnement les plus consommatrices (optimisation des scénarios opérationnels et de l'algorithmique embarqué.

- De réduire la consommation lors des communications sur le réseau local ou distant

[28].

2.13. Confidentialité des utilisateurs :

Le piratage informatique sera un problème majeur, L'IoT devrait croître de plus de 12 milliards d'appareils en 2016 et 50 billions en 2020. Chaque appareil est un point d'accès potentiel pour une attaque du réseau par les pirates. Dans une enquête faite la l'organisation Forester, partout dans le monde, 47 % des organisations industrielles qui utilisent ou envisagent d'utiliser l'IoT avait précédemment connu des violations de la sécurité dans leurs applications industrielles [21].

Pour ce qui est de la confidentialité, en robotique par exemple et ses diverses utilities mettent à nu la vie privée de l'individu et ses pensées les plus profondes, ce qui peut être considéré comme une violation de la vie privée des personnes [21].

2.14. L'authentification :

Plusieurs obstacles importants restent à combler pour la réalisation de la vision de l'IoT dont le principal est la sécurité. La plupart des études et recherches Tendent à rendre leurs solutions applicables et utiles. Dans le domaine de la sécurité, Les chercheurs ont proposé diverses solutions pour permettre des communications Sécurisées entre les objets [49]. L'authentification est une fonctionnalité importante et critique dans le contexte de l'IoT pour permettre une communication sécurisée entre les périphériques .En effet, un service d'authentification fournit la preuve que l'identité d'un Objet ou le sujet a l'identité qu'elle prétend avoir. Le terme "authenticité" désigne la propriété qui garantit qu'un partenaire de communication est bien celui qu'il prétend être. L'authentification est la première barrière de sécurité qui permet d'empêcher un utilisateur non autorisé d'accéder aux nœuds. Une personne non autorisée pourrait très bien accéder à un nœud donné, sans attendre qu'il envoie des données à un nœud puits. Il est donc requis d'avoir une authentification forte auprès de chaque nœud.

Les mécanismes d'authentification sont capables d'empêcher les Utilisateurs d'accéder aux données des nœuds capteurs et de garantir la sécurité des données de manière efficace. L'authentification consiste à permettre à l'utilisateur légitime d'accéder aux ressources

ainsi que de les refuser à une personne malveillante. Après l'authentification, on a le contrôle d'accès qui permet de restreindre l'accès à l'utilisateur authentifié aux seules données dont il a les privilèges [49].

2.14.1. Solutions :

Les solutions à considérer pour assurer l'authentification sont :

– **Mitiger les attaques par déni de service** : Il s'agit d'un gros problème dans les réseaux de capteurs dû aux ressources limitées des capteurs. Les faibles ressources des capteurs posent d'énormes problèmes dans tous les domaines de recherche sur les WSNs, dont la sécurité bien sûr. Le Déni de Service abusant justement des ressources des systèmes semble être l'attaque parfaite pour une personne malintentionnée [49].

– **Détection et révocation de nœuds compromis** : L'authentification des utilisateurs doit mettre en place des mécanismes pour détecter activement et ainsi révoquer un nœud compromis.

– **Assurer la disponibilité des capteurs** : Les faibles ressources des capteurs posent d'énormes problèmes dans tous les domaines de recherche, dont la sécurité bien sûr. Le Déni de Service abusant justement des ressources des systèmes semble être l'attaque parfaite pour une personne malintentionnée. On a déjà du mal à se protéger des dénis de service distribués avec les serveurs web [49].

2.15. La différence entre le M2M et l'IoT:

Le **M2M** et l'**IoT** sont des solutions qui proposent des accès à distance, à des objets ou des capteurs [15].

Machine-to-Machine (M2M) and Internet of Things (IoT)

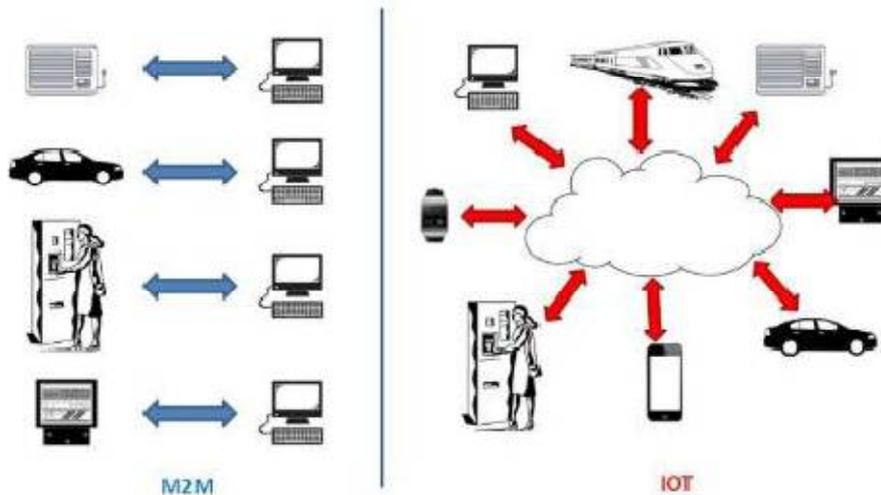


Figure 2-9 : Comparaison entre M2M et IoT [15]

Le **M2M** se définit traditionnellement par un réseau de télécommunication point à point utilisant un module cellulaire ou Wifi intégré, pour connecter des machines ou des objets à un réseau. L'intervention humaine n'est pas nécessaires, les informations circulent d'un endroit à un autre et peuvent être relayées via un serveur vers un logiciel [15].

L'**IoT** est considéré comme un système de système où chaque objet est identifié et communique avec une plateforme Cloud. Il induit une standardisation, des normes communes dans son fonctionnement. La plupart des objets connectés sont par exemple identifiés par une adresse IP, à l'instar d'un ordinateur raccordé à Internet. Le but est de récupérer, traiter, analyser les informations, les données et de les stocker [15].

Attention à ne pas confondre l'Internet des Objets et le Machine to Machine (M2M). Même si la nuance est ténue, le M2M est considéré comme un sous-ensemble de l'IoT avec les particularités suivantes :

- Le M2M utilise les technologies de communication cellulaires qui sont des communications radio à débits et distances importants.
- Avec le M2M, il n'y a pas d'échanges entre les machines/objets distants : les flux d'informations se font en étoile, à partir, ou vers des serveurs centraux [15].

2.16. Conclusion :

Il existe donc de nombreux types d'objets connectés pouvant être utilisés par les entreprises ou les particuliers. On les trouve aujourd'hui principalement dans les secteurs de l'industrie, de l'énergie, de la santé et du bien-être, du transport, de la logistique et de l'automobile.

Dans ce chapitre nous avons vu certaines notions des objets connectés nous avons aussi fait une partie un peut détailler sur les principales caractéristiques de l'iot, leurs obstacles afin de bien comprendre la différence entre l'iot et le M2M.

Chapitre 03

La télémédecine

3.1. Introduction :

Depuis plusieurs années Internet et la téléphonie mobile ont profondément transformé nos modes de communication. Le secteur de la santé s'est saisi de ces nouvelles technologies tant du côté des professionnels de santé, que de celui des usagers. La téléphonie mobile via les applications et les objets connectés permettent de mieux se suivre et de partager facilement ses données. La santé, autrefois réservée au milieu médical, devient grâce au numérique accessible au grand public [29].

Les télécommunications et internet ont bouleversé tous les secteurs de la société, au fil de leur développement et de leur utilisation par les usagers.

Certains économistes présagent que la révolution des télécommunications dans le secteur médical sera plus importante que celle qui l'a précédée dans d'autres domaines [29].

L'arrivée du téléphone, à partir des années 1970, a contribué à modifier cette situation, mais sans la bousculer vraiment, le patient pouvant alors contacter le cabinet du médecin pour prendre un rendez-vous ou demander une visite à domicile. De plus, rien de ce qui se disait dans le secret de la consultation ne filtrait à l'extérieur, sauf au sein d'un étroit cercle familial [29].

Vers la fin des années 1970, la société entre dans une nouvelle ère où tous les secteurs d'activité se trouvent bousculés, réorganisés et amplifiés par la microinformatique, les réseaux de transmission de données et internet. C'est l'époque de l'apparition des premiers sites d'informations médicales et des forums où les usagers patients peuvent se renseigner et échanger leurs expériences, d'abord sur le Minitel, plus tard remplacé par l'ordinateur et internet [29].

La médecine d'avant le boom des télécommunications et d'internet était une médecine traditionnelle. L'acte médical était « paternaliste », totalement asymétrique, le patient ignorant, venant chercher chez son médecin un savoir. Les principes de bienfaisance et non-malfaisance fournissaient aux médecins un alibi, conduisaient à tenir le malade dans l'ignorance d'un pronostic grave et à lui cacher « la vérité » : on pensait qu'il fallait protéger le malade [29].

Ce chapitre a pour but de focaliser le domaine de la télémédecine et ses catégories pour bien comprendre le domaine de la télémédecine et la relation avec l'internet des objets on a fait une étude détaillé concernant la télémédecine commençant par une partie qui différencie les différents domaines de la télémédecine, les outils techniques et les actes de la télémédecine ensuite on a fait une partie détaillé concernant l'écosystème de l'e-santé IoT avec ses trois couches.

3.2. La m-Santé aujourd'hui et demain :

3.2.1. Définitions :

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de Santé), la e-santé se définit comme « *les services du numériques au service du bien-être de la personne et l'utilisation des outils de production, de transmission, de gestion et de partage d'informations numérisées au bénéfice des pratiques tant médicales que médico-sociales* » [30].

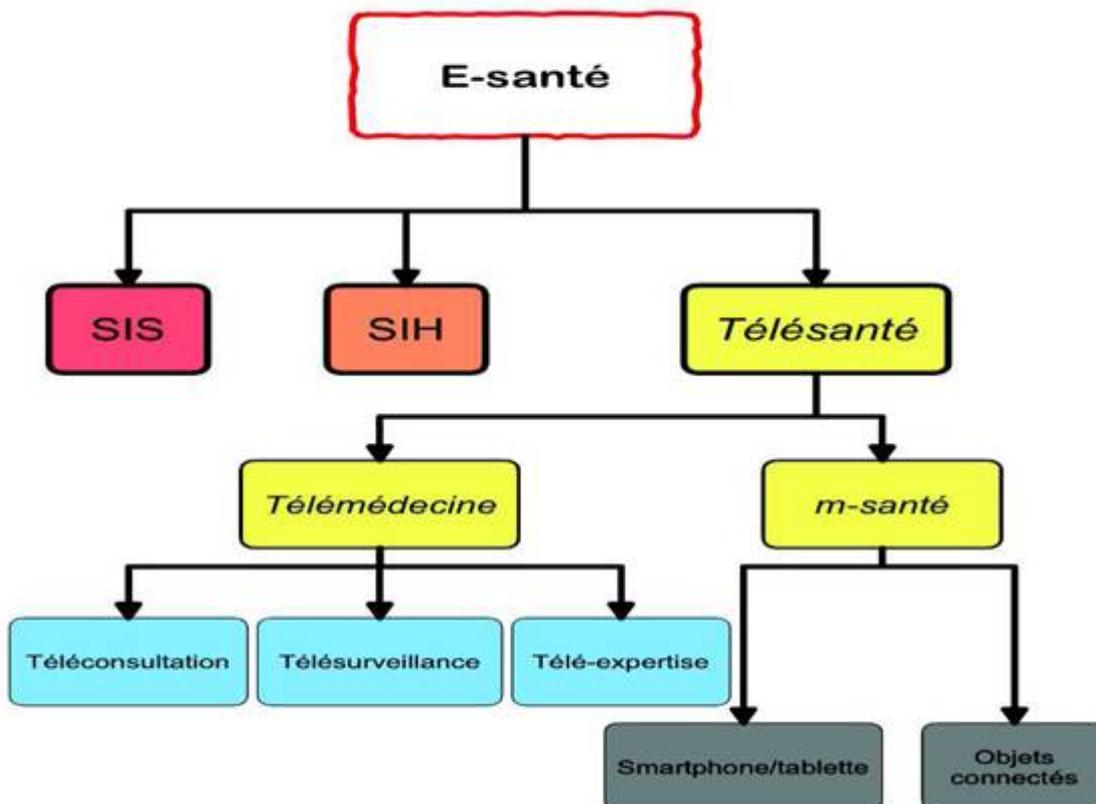


Figure 3-1 : Organisation de l'e-santé [30]

Selon John Mitchell dans [30], **la e-santé désigne l'** "usage combiné de l'internet et des technologies de l'information à des fins cliniques, éducationnelles et administratives, à la fois localement et à distance".

Sa définition est désormais plus large. Elle correspond à l'application des technologies de l'information et de la communication (TIC) au domaine de la santé et du bien-être.

Cela correspond à du contenu numérique lié à la santé, appelé également la santé électronique.

La « e-santé » recouvre principalement deux domaines :

- **Les systèmes d'informations de santé (SIS) ou hospitaliers (SIH) :** ils organisent, au niveau informatique, les échanges d'informations entre la médecine de ville et l'hôpital, ou entre services au sein d'un même hôpital. Ils concernent par exemple le dossier médical partagé (DMP), le système de la carte vitale, etc. [44]

- **La télésanté qui regroupe à son tour :**
 - ✓ **La télémédecine** (téléconsultation : consultation en visioconférence ; la télésurveillance : surveillance à distance d'un patient malade par des professionnels de santé ; la télé-expertise : l'échange d'avis entre médecins) **et la santé mobile** (la santé via les smartphones : appareils électroniques, applications pour mobiles, objets connectés en lien avec la santé) [44].
 - ✓ **La santé mobile (m-Health, mobile Health ou m-santé):** recouvre "les pratiques médicales et de santé publique reposant sur des dispositifs mobiles, tels que téléphones portables, systèmes de surveillance des patients, assistants numériques personnels et autres appareils sans fil" [44].

Cela englobe également les applications concernant le mode de vie et le bien-être qui peuvent se connecter à des dispositifs médicaux ou capteurs (bracelets ou montres) ainsi que les systèmes de conseil personnalisés, les informations de santé et rappels de prise de médicament envoyés par SMS et la télémédecine pratiquée par communication sans fil [44].

- **Les objets connectés** sont des "dispositifs connectés à l'Internet pouvant collecter, stocker, traiter et diffuser des données ou pouvant accomplir des actions spécifiques en fonction des informations reçues".

Ils effectuent des mesures en temps réel et permettent de renseigner de nombreux paramètres influant sur la santé : poids, température corporelle, pouls, tension, rythme respiratoire, rythme cardiaque, taux de glycémie, qualité de sommeil...

Au bout de la connexion de l'objet se trouve un ordinateur ou un Smartphone, un médecin ou un centre d'appel, un centre de coaching, etc... La première utilité est l'alerte : tout changement d'un des paramètres transmis de manière brutale ou atteignant une valeur critique préalablement fixée incite à une intervention, une surveillance particulière, à des conseils ou à des recommandations [31].

Pour le grand public, l'e-santé – pour « santé électronique » – évoque essentiellement la santé connectée, celle qui fait appel à l'Internet des objets et aux applications pour Smartphones. Et pour cause, ces nouvelles technologies sont majoritairement destinées au grand public, en bonne santé, et non aux malades. Cependant, c'est aussi par ce biais que ce même grand public se familiarise avec un pan plus médical de la e santé [31].

3.3. Les définitions de la télémédecine :

La littérature donne plusieurs expressions consacrées à la santé numérique ou connectée. Les professionnels de santé médicaux parlent essentiellement de télémédecine, alors que les ingénieurs informaticiens ou du numérique parlent surtout d'e-santé. Beaucoup de termes français sont la traduction de mots utilisés dans la littérature anglo-saxonne. *E-health* se traduit en français par « e-santé », *telehealth* par « télésanté ». En France, le terme télésanté intègre tous les domaines de la santé numérique, mais dans les pays anglo-saxons *telehealth* est surtout utilisée pour décrire les services de la télémédecine informative et télémédecine la pratique de la télémédecine clinique [32].

Les ingénieurs informaticiens français utilisent les termes « e-santé » ou « télésanté » en y englobant la pratique de la télémédecine clinique, en continuité avec le courant créé au début des années 2000 par l'ingénieur informaticien australien John Mitchell, qui souhaitait remplacer la télémédecine par l'e-santé [32].

La télémédecine est une remarquable application des nouvelles technologies de l'information visant à améliorer l'accessibilité aux soins de santé spécialisée, qui va des transferts de données (imagerie médicale, enseignement à distance, données sur des patients) à l'action directe du praticien sur le malade.

Elle constitue aujourd'hui un facteur important d'amélioration de la performance de système de santé [32].

Cela crée une confusion entre le marché des outils de la télésanté (*e-commerce*) et les nouvelles pratiques et organisations professionnelles de la télémédecine. Pour faire contrepoids à cette vision technologique de la santé numérique, des professionnels de santé médicaux ont créé une société savante en 2006, la Société française de télémédecine, afin de faire connaître et de développer les pratiques de la télémédecine clinique [32].

3.3.1. Télémédecine clinique et télémédecine informative :

La télémédecine clinique et la télémédecine informative ont été définies par l'OMS en 1998 de la façon suivante : « *La télémédecine clinique est une activité professionnelle qui met en œuvre des moyens de télécommunication numériques permettant à des médecins et d'autres membres du corps médical de réaliser à distance des actes médicaux pour des malades. La télémédecine informative est un service de communication audiovisuelle interactif qui organise la diffusion du savoir médical et des protocoles de prise en charge des malades et des soins dans le but de soutenir et d'améliorer l'activité médicale.* » [46].

Autrement dit, la télémédecine clinique est une pratique à distance de la médecine par les professionnels de santé médicaux, alors que la e-santé ou télésanté correspond aux services commerciaux de la société des systèmes d'information en santé, que l'on appelle télémédecine informative [33].

3.4. Les outils techniques de la télémédecine :

Chaque acte de télémédecine nécessite un matériel technique adapté et du temps humain dédié, on peut citer :

3.4.1. Le téléphone : Outil le plus utilisé, Smartphone le plus souvent. Diverses fonctions sont proposées : téléphonie classique et sécurisée, visioconférence sécurisée, appareil photo

et vidéo, messageries sécurisées, de nombreuses applications en santé et la gestion des objets connectés en santé [33].

3.4.2. La messagerie sécurisée : Les plus répandues sont Apicrypt, créée il y a plus de vingt ans par des médecins libéraux visionnaires (abonnement annuel), et depuis quelques années la messagerie sécurisée en santé MS-Santé, gratuite sur le site d'Asip Santé [33].

3.4.3. Le système d'information du professionnel de santé : Il contient le dossier du patient, permet d'adresser une demande de télé-expertise avec un volet médical de synthèse par messagerie sécurisée [33].

3.4.4. Les objets connectés de santé : Ils mesurent des constantes biométriques comme le poids, la tension artérielle, le pouls, la saturation en oxygène, l'activité physique ou la glycémie capillaire, et nécessitent un système de communication des données (Smartphone ou box connectée). Ces données sont gérées par un professionnel de l'équipe de soins du patient ou par une plateforme externalisée [33].

3.4.5. La station de télémédecine : Cela peut être un ordinateur relié à une ligne haut débit sécurisée pour se connecter à la plateforme e-santé régionale, et équipé d'une caméra. Un logiciel permet de commander la caméra qui est face au patient [33].

Sur l'écran de l'ordinateur apparaît en taille réelle le professionnel qui délivre la téléconsultation. La station de télémédecine permet l'utilisation d'un stéthoscope électronique ou d'un échographe. Des plateformes intégrées et des cabines de télémédecine existent aussi à des prix plus conséquents [33].

3.4.6. Exercice quotidien : Les messageries instantanées et sécurisées en santé ainsi que le système d'information partagé en équipe de soins structurent l'exercice quotidien : sollicitation, transfert d'informations, alerte sur un patient. Ils permettent de répondre au bon moment sans perturber le déroulé d'une consultation comme avec le téléphone. Les données sont tracées dans le dossier du patient [33].

3.5. Les cinq actes de la télémédecine :

La télémédecine regroupe des pratiques médicales à distance : téléconsultation, télé-expertise, télésurveillance médicale, téléassistance médicale et régulation. Elle est une réponse aux défis auxquels est confrontée l'offre de soins aujourd'hui. Elle permet la prise

en charge au plus près du lieu de vie des patients. C'est un moyen de réorganiser l'offre de soins en améliorant l'accès et la qualité. La Stratégie nationale de santé 2018-2022 donne une nouvelle impulsion à la télémédecine et des financements sont mis en œuvre pour favoriser son développement [33].

3.5.1. La téléconsultation : La téléconsultation a pour objectif de permettre à un professionnel médical de donner une consultation à distance à un patient. Un professionnel de santé peut être présent auprès de patient et, le cas échéant, assister le professionnel médical au cours de la consultation [34].

3.5.2. La télé-expertise : La télé-expertise a pour l'objet de permettre à un médecin de solliciter à distance l'avis d'un ou de plusieurs de ses confrères en raison de leurs formations ou de leurs compétences particulières, sur la base des informations liées à la prise en charge d'un patient [34].

3.5.3. La télésurveillance médicale : Un médecin interprète à distance les données nécessaires au suivi médical d'un patient et, le cas échéant, prend des décisions relatives à sa prise en charge. L'enregistrement et la transmission des données peuvent être automatisés ou réalisés par le patient lui-même, ou par un professionnel de santé [44].

3.5.4. La télé-assistance médicale : un médecin assiste à distance un autre professionnel de santé au cours de la réalisation d'un acte [32].

3.5.5. La réponse médicale apportée dans le cadre de la régulation médicale des urgences ou de la permanence des soins [32].



Figure 3-2 : Les principales applications en télémédecine [30]

Il convient d'ajouter à ces actes d'autres possibilités offertes par les outils de télésanté comme les réunions à distance, notamment dans le cadre des réunions de concertation pluridisciplinaire (RCP), ou encore des « staffs médicaux ». Dans tous les cas, les actes de la télémédecine sont des actes médicaux sous la responsabilité d'un médecin (professionnel médical) [34].

Actes de télémédecine				
Dénomination de l'acte	Personnes présentes sur le lieu d'exercice		Moment de la réalisation de l'activité	Activité réalisée
	Sur place	A distance		
Téléconsultation	Patient et professionnel de santé	Professionnel médical	En direct	Consultation d'un professionnel médical
Téléexpertise	Professionnel médical	Professionnel médical	En direct par visioconférence	Avis d'experte pour diagnostic ou traitement thérapeutique
Télésurveillance médicale	Patient et éventuellement professionnel de santé	Professionnel médical	Eventuellement en différé	Interprétation donnée clinique radiologiques, biologique
Téléassistance médicale	Patient et professionnel de santé	Professionnel médical	En direct	Aide d'expert pour l'accomplissement de l'acte médical

Tableau 3-1 : schématisation de différents actes de télémédecine [34]

3.6. Avantages de la télémédecine :

Elle présente en effet plusieurs avantages :

- Elle permet de développer les soins à domicile, pour améliorer le suivi des patients et prévenir les complications.
- Elle permet de limiter les déplacements (notamment pour les patients âgés ou handicapés).
- Elle facilite l'accès aux soins dans les zones d'accès difficile.
- Elle raccourcit les délais d'attente.
- Elle facilite la concertation entre médecins généralistes et spécialistes.

Sur le plan purement organisationnel, cette pratique a surtout permis à la plupart des établissements hospitaliers de remédier au problème de la désertification médicale et d'offrir ainsi aux patients la possibilité d'accéder à des soins appropriés sans avoir nécessairement besoin de se déplacer physiquement ni patienter longtemps pour recevoir le premier praticien disponible. En effet, la maîtrise du coût et la maximisation du gain de temps constituent également l'un des avantages directement procurés par cette nouvelle pratique [32].

Bien que la télémédecine puisse constituer une pratique avantageuse, elle comporte toutefois des limites. Elle ne pourrait donc se suffire à elle-même et doit être complétée par des soins réalisés directement en face à face. La raison en est simple, la médecine repose sur 4 principes majeurs : l'interrogatoire, l'observation, la palpation et l'auscultation. Si l'interrogatoire peut être réalisé à distance à l'aide du téléphone, et l'observation (à la limite à l'aide de la visioconférence), la palpation et l'auscultation ne peuvent malheureusement pas être effectuées à distance [32].

3.7. Les principaux objets connectés :

3.7.1. Les auto-tensiomètres : Ce sont des appareils de mesures de la pression artérielle systolique et diastolique. Ils mesurent également le nombre de pulsations par minute du patient. On trouve les auto-tensiomètres de poignet et les brassards.

Les auto-tensiomètres classiques disposent d'un écran de commande et pour les plus avancés, d'un câble USB pour transférer les données mémorisées dans le boîtier vers un ordinateur.

Les dernières générations de tensiomètres connectés n'utilisent ni câble, ni écran. Ils envoient via une liaison sans fil (Bluetooth majoritairement) les mesures relevées vers une application dédiée installée sur le smartphone ou la tablette de l'utilisateur [30].

3.7.2. Le glucomètre :

Le glucomètre est un appareil de mesure de la glycémie⁸ principalement utilisé par les diabétiques pour connaître leur taux de sucre dans le sang au quotidien. Des bandelettes réactives à usage unique sont insérées dans le lecteur et recueillent une goutte de sang préalablement obtenue à l'aide d'un auto-piqueur [30].

Les modèles connectés en Bluetooth à un Smartphone/tablette enregistrent toutes les valeurs à l'aide d'une application dédiée et permettent d'analyser les données :

- Courbes de tendance
- Historique des valeurs d'hémoglobine glyquée

Ainsi, l'application donne également des recommandations :

- Dosage d'insuline rapide à injecter en fonction des résultats
- Modification du comportement alimentaire.

Les données peuvent être partagées comme pour les auto-tensiomètres connectés [30].

3.7.3. L'oxymètre de pouls :

C'est un appareil de vérification de la saturation du sang en oxygène (SpO₂) et des battements par minute du cœur (BPM) de manière non invasive, au bout du doigt.

Les modèles connectés vont transmettre les données vers une application portable pour suivre et visualiser directement la SpO₂ et les pouls depuis l'écran de son Smartphone ou de sa tablette via une connexion Bluetooth. Le professionnel de santé pourra suivre cette évolution au cours du temps à distance de son patient [30].

3.7.4. Le pilulier :

Le pilulier est l'accessoire indispensable des patients atteints de maladies chroniques demandant la prise de plusieurs médicaments au cours de la journée.

Du fait du vieillissement de la population, l'utilisation de cet outil se généralise et beaucoup de fabricants proposent des piluliers innovants qui améliorent l'observance.

Un pilulier classique se compose souvent d'une petite sacoche de transport contenant sept petit étuis journaliers divisés en périodes de la journée (matin, midi, soir et coucher).

L'utilisateur, un membre de la famille ou le pharmacien remplit le pilulier semainier chaque semaine pour la semaine suivante.

Si un manque d'observance est constaté (oubli de prises), une aide à domicile ou une infirmière peut être sollicitée chez le patient plusieurs fois par jour. Un coût non négligeable dans les dépenses de santé.

Les piluliers connectés remédient à ce dispositif. Ils vont analyser l'observance et envoyer des notifications de prises sur le Smartphones d'un tiers, du pharmacien ou du médecin. Ce type de pilulier est actuellement très en vogue et est disponible à l'achat ou en location mensuelle. Les plus avancés ne requièrent pas de Smartphone ni de connexion internet au domicile du patient. Ils transmettent les données automatiquement grâce à un émetteur de téléphonie mobile intégré dans le pilulier. Un point très intéressant pour la population gériatrique qui ne dispose pas d'internet [30].

3.7.5. L'échographe :

L'échographe est un appareil relativement imposant et lourd (plusieurs dizaines de kg), très difficilement transportable dans l'urgence. L'échographie est une technique d'imagerie par ultrasons courante en médecine.

L'échographe se compose d'une sonde à émission d'ultrasons, d'un système informatique de traitement des données reçus par la sonde, d'une console de commande, d'un moniteur de visualisation, d'un système d'enregistrement des données (analogique ou numérique) et d'un chariot permettant de déplacer l'ensemble au lit du patient au sein de la structure hospitalière.

Cette technique demande une spécialisation du professionnel de santé qui réalise l'examen et n'est pas accessible pour le patient [30].

3.7.6. L'ECG de poche :

L'électrocardiogramme est un appareil permettant d'enregistrer le rythme cardiaque ainsi que les troubles du rythme lorsqu'ils se produisent.

Il se présente comme un petit boîtier de la taille d'une télécommande de télévision et est adapté à une utilisation par le patient souffrant d'une pathologie cardiaque comme par le professionnel de santé qui effectue des déplacements réguliers.

Il rend ainsi possible l'auto surveillance ECG au domicile. L'ECG s'utilise de différentes manières avec des câbles et pinces comme un ECG classique, ou avec un système d'électrodes digitales avec le pouce et l'index appliqués sur le thorax.

L'ECG de poche pourra ainsi être utilisé dans l'urgence par le patient ressentant des symptômes de douleurs thoraciques, d'essoufflement ou de palpitations, des signes de pathologie cardiaque brutale comme l'infarctus du myocarde ou l'angine de poitrine.

L'ECG de poche a l'immense avantage d'être connecté à un Smartphone/tablette pour l'analyse des données et surtout la possibilité d'envoyer l'ECG à un médecin en quelques secondes. Le médecin quant à lui pourra avoir un historique ECG de ces patients ou demander des avis à ses confrères.

Les ECG de poche ne sont pas remboursés par l'Assurance Maladie actuellement, en 2017. Ils restent onéreux, qu'ils soient connectés ou pas. Cependant ils sont moins chers qu'un ECG classique mais celui ci est beaucoup plus précis [30].

3.8. L'écosystème de l'e-santé IoT :

Ce système se compose de trois couches principales : IoT eHealth device layer, IoT-eHealth-Fog layer et IoT-eHealth-Cloud layer.

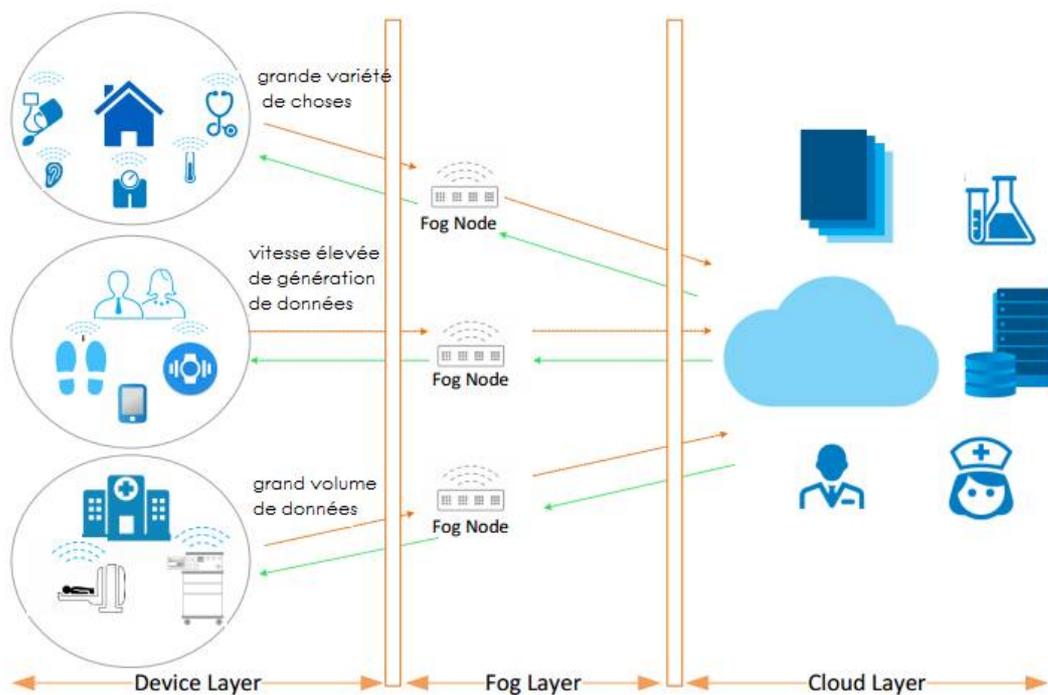


Figure 3-3: Architecture de l'écosystème e-health-Iot [41]

3.8.1. IoT-eHealth Device Layer:

Cet ensemble riche de dispositifs médicaux IdO intelligents permet aux individus de surveiller leurs données de santé à tout moment, à partir de n'importe quel ordinateur ou appareil mobile (le tout en temps réel) et de synchroniser leurs données en toute sécurité avec la plate-forme eHealth-Cloud [19]. Tout ce qu'ils ont à faire est de fournir une connexion en utilisant un protocole de communication approprié à une passerelle ou à un nœud de brouillard. Dans ce contexte, il existe une grande variété de réseaux personnels (PAN) et de protocoles WSN. La Figure 3-3 montre la pile de protocoles IoT-eHealth. Notez que le choix de la meilleure connectivité et du protocole de communication dépend fortement de l'application et du cas d'utilisation spécifique. Par exemple, pour transférer un grand nombre de documents sans fil, le Wi-Fi est idéal. D'un autre côté, BLE convient mieux aux communications à courte portée et à faible puissance. Les dispositifs de santé électronique IdO à la pointe de la technologie peuvent être classés en deux groupes principaux :

- a. **Capteur physique** : en général, tout dispositif médical doté d'une interface filaire/sans fil peut être utilisé dans l'écosystème de la cybersanté pour suivre le

bien-être physique des patients et surveiller numériquement leur santé. Cela comprend un moniteur ECG/EKG, un moniteur de fréquence cardiaque, un moniteur de glycémie, un moniteur de tension artérielle, un moniteur de température corporelle, un oxymètre de pouls, un moniteur d'hémoglobine, un moniteur d'activité, des chaussures intelligentes, des vêtements ou des textiles électroniques, un moniteur de sommeil... [41].

- b. Capteur virtuel** : à l'aide de logiciels et d'applications mobiles ainsi que de services de cybersanté, les capteurs virtuels saisissent les données sur la santé des patients et les données contextuelles de l'environnement. Le capteur virtuel comprend de nombreuses catégories telles que la télésurveillance, la consultation à distance, le diagnostic, le dossier médical du patient, la nutrition et les applications de référence médicale [41].

3.8.2. IoTe Health Fog Layer:

Un nombre croissant de dispositifs et de capteurs médicaux intelligents utilisés dans la vision des soins de santé axés sur l'IdO implique la génération rapide de grandes quantités de données diverses. Afin de pouvoir traiter avec succès des quantités croissantes de données de plus en plus variées et une grande vitesse de génération et de traitement des données, il est nécessaire de traiter des questions techniques et de sécurité. Du point de vue technique, les capteurs et les dispositifs intelligents utilisés dans le système de soins de santé piloté par l'IdO pour surveiller l'état de santé actuel des patients ont des capacités de calcul et de stockage limitées et ne sont donc pas en mesure de traiter la grande quantité de données médicales diverses produites rapidement. L'envoi de ces données dans le Cloud pour traitement, stockage et transmission des données de réponse n'est pas non plus la bonne solution, car il nécessite une bande passante plus large, un temps considérable et peut souffrir de problèmes de latence. En ce qui concerne les questions de confidentialité et de sécurité, toutes les données relatives à la santé et aux antécédents médicaux d'un patient sont particulièrement sensibles et doivent être protégées de la manière appropriée. Compte tenu des estimations concernant le nombre étonnant de dispositifs intelligents IoT qui seront en service au cours de la période suivante et du trafic de données prévu, ainsi que des exigences en matière de sécurité et de confidentialité, il est évident que Cloud n'est pas capable de faire face à ces défis. La solution pour un calcul et une connectivité plus rapides se traduit par la réalisation d'une couche supplémentaire, qui sera placée entre les terminaux

et le Cloud. Cette couche se réfère à l'informatique par brouillard et, en raison de ses avantages, a le potentiel de révolutionner divers domaines, en particulier les domaines sensibles au temps, tels que les soins de santé... [42].

Par conséquent, les nœuds de brouillard sont raisonnables pour traiter, filtrer et compresser les données qui circulent entre les dispositifs médicaux et le Cloud. Les principales caractéristiques du nœud de brouillard sont les suivantes : [41].

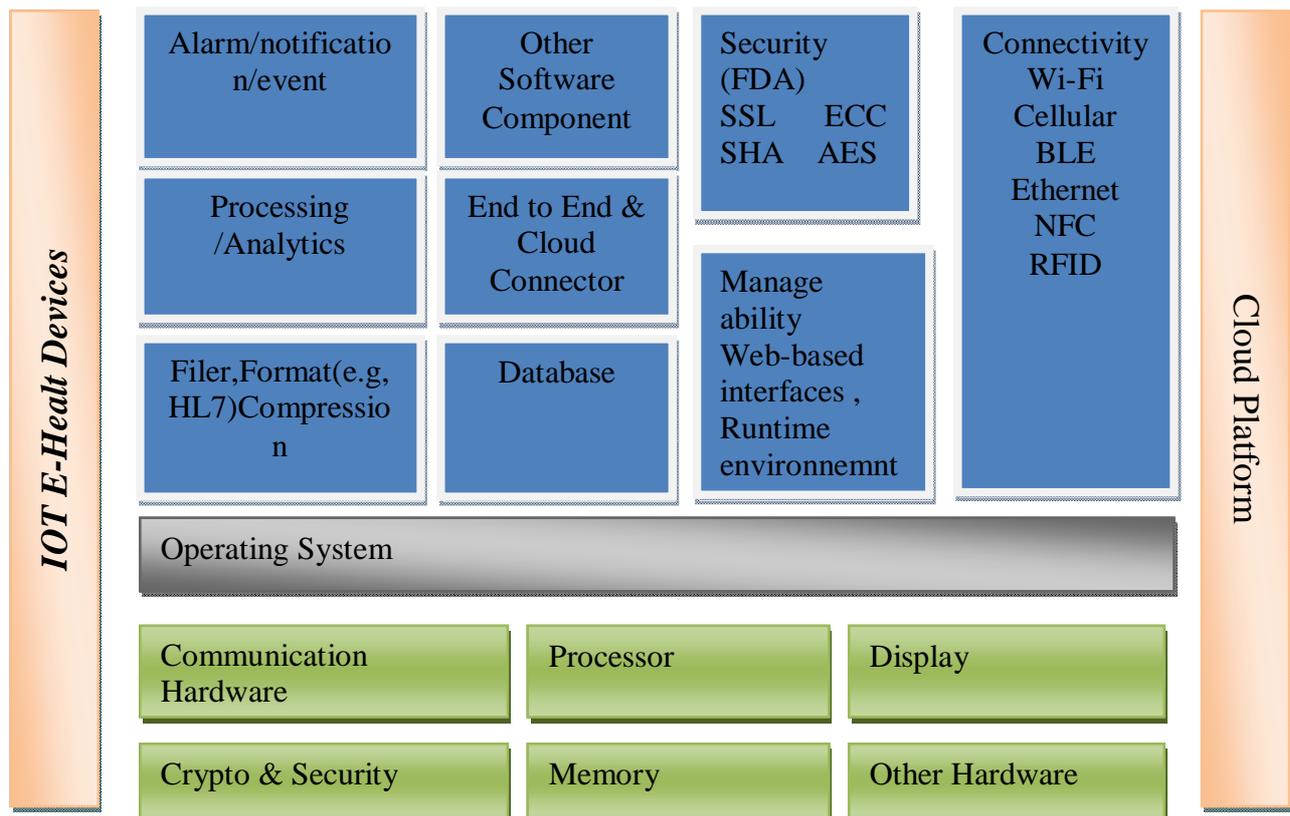


Figure 3-4 : architecture du couche fog [41]

- Connectivité:** les nœuds Fog prennent en charge un large éventail d'interfaces matérielles et de protocoles. Ils peuvent pratiquement établir une communication avec n'importe quel appareil eHealth ainsi qu'avec la plate-forme Cloud. Les nœuds Fog sont capables de fournir une connectivité fiable et sécurisée entre les appareils, à travers les réseaux et entre les réseaux. Cela comprend la traduction de protocoles, la sécurité, la commutation, le routage et l'analyse des réseaux [41].
- Échange de données bidirectionnel :** les nœuds de brouillard impliquent un flux de données bidirectionnel. Le nœud envoie périodiquement les données médicales agrégées vers le cloud pour un stockage à long terme et une grande analyse des

données. Il reçoit également les commandes ainsi que les données de configuration du nuage. Comme les nœuds de brouillard peuvent ne pas avoir une adresse IP publique valide, il est important de s'assurer que les nœuds de brouillard sont accessibles à partir du nuage. Pour atteindre cet objectif, différents mécanismes peuvent être utilisés tels que WebSocket, MQTT (Message Queue Telemetry Transport), et tunneling IP [41].

- c. Intégration flexible** : les nœuds reçoivent, collectent et capturent en temps réel les données des patients provenant des capteurs et des dispositifs médicaux. Cependant, une grande variété de dispositifs médicaux et d'instruments provenant de différents fabricants d'appareils et d'équipementiers sont disponibles. Pour être interopérables avec cette vaste gamme de dispositifs médicaux et de nombreuses interfaces, les nœuds de brouillard sont équipés d'interfaces multinormes. Ces interfaces doivent être compatibles avec divers protocoles PAN et WSN (tels que RFID, BLE, Zigbee, Wi-Fi, 3G/4G et Ethernet), les protocoles filaires (tels que Ethernet) ainsi que différents protocoles série (tels que UART, SPI et USB) [41].
- d. Traduction de protocole** : à l'instar des dispositifs, il existe une grande variété de protocoles. Par conséquent, pour être interopérables, les nœuds de brouillard effectuent la conversion de protocole nécessaire à différentes couches du réseau. Notez que la crise d'interopérabilité de l'IdO eHealth peut survenir à différentes couches d'abstraction telles que :
- **Interopérabilité au niveau de la couche réseau** : Le réseau IoTeHealth est dispersé entre divers protocoles réseau à faible consommation d'énergie (tels que BLE, ZigBee), et les protocoles réseau conventionnels (tels que Wi-Fi). L'une des tâches clés des nœuds de brouillard est de faire le pont entre les différents réseaux en convertissant les données entrantes dans le bon format et en les envoyant sur l'autre réseau.
 - **Interopérabilité au niveau de la couche de messagerie** : il existe une grande variété de protocoles de niveau applicatif tels que MQTT, CoAP (Constrained Application Protocol), et XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol). Chacun d'entre eux a un protocole unique pour le traitement des messages. Par conséquent, il est très important que les nœuds de brouillard soient indépendants des normes de protocole de message sous-jacentes et qu'ils puissent facilement transférer des messages entre différents protocoles.

- **Interopérabilité au niveau de l'annotation des données** : diverses organisations ont élaboré différentes normes pour l'intégration, l'échange et la récupération des dossiers de santé électroniques (DSE), comme HL7. Les nœuds de brouillard peuvent traiter et reformater les données sur la santé chaque fois que cela est nécessaire [41].
- e. **Agrégation, filtrage, formatage et encodage/décodage des données** : les données reçues proviennent de diverses sources telles que l'ECG, les balances, la tension artérielle, le glucose, les oxymètres d'impulsions, etc. Les nœuds de brouillard filtrent, agrègent, compriment et formatent les données médicales brutes recueillies afin qu'elles soient interopérables et adaptées aux autres ressources [41].
- f. **Base de données à court terme** : le nœud peut typiquement fournir un stockage à court terme pour les données entrantes.
- g. **Sécurité et protection des données** : pour protéger les données des patients, le nœud de brouillard offre des mesures de sécurité multicouches pour l'authentification, le cryptage et le contrôle d'accès [41].
- h. **Évaluation et notification** : les nœuds de brouillard peuvent évaluer et traiter les données brutes entrantes pour déterminer s'il est nécessaire de marquer une alerte ou une notification. Cela peut impliquer la génération d'événements et la transformation des données/événements vers d'autres destinations [41].
- i. **Traitement local** : en fonction des exigences des applications de santé et des spécifications des nœuds de brouillard, un riche ensemble d'applications peut être exécuté. Cela inclut l'exploration de données et la reconnaissance de formes dans des séries temporelles de données, l'extraction de caractéristiques, l'apprentissage machine, le traitement de signaux légers, le traitement d'événements, le raisonnement automatisé, le serveur web intégré, le serveur WebSocket intégré, etc [41].

3.8.3. Iot e-health cloud layer :

Système de back-end où les données persistent et où les parties prenantes ont accès au système, via une interface web ou mobile. C'est le point d'interface avec d'autres systèmes, tels que le système d'information hospitalier et les dossiers médicaux des patients [43].

Le Cloud proposé bénéficie d'une architecture multicouche et se compose des couches suivantes :

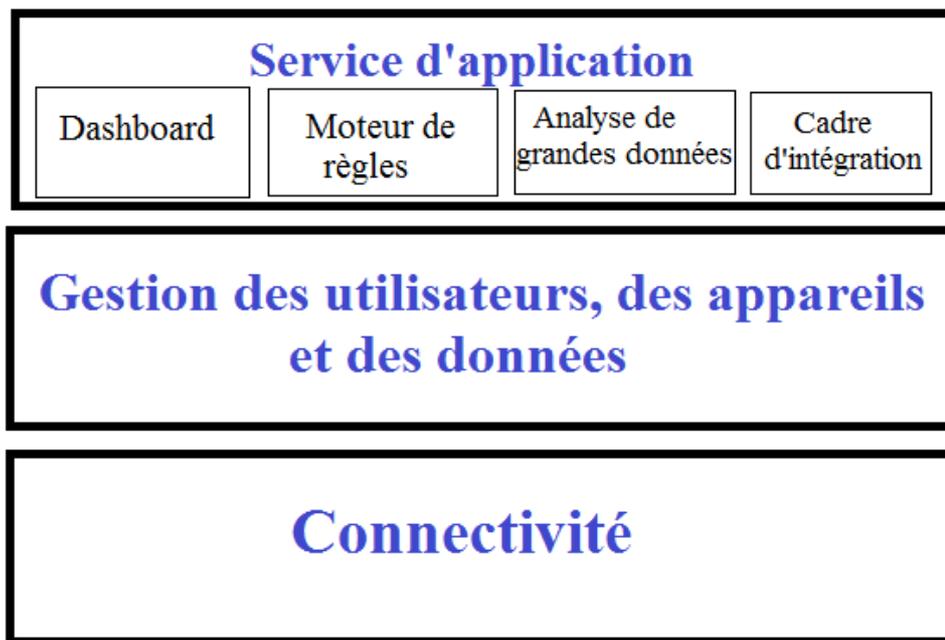


Figure 3-5 : architecture des couches de e-health Cloud [41]

- a. **Connectivité** : le module de connectivité est équipé d'une grande variété de capacités intégrées pour établir la connectivité entre les dispositifs de cybersanté, les nœuds de brouillard et le cloud. Cela offre une flexibilité ultime pour choisir une méthode de communication appropriée qui convient aux exigences de l'application de santé donnée. Par conséquent, les nœuds de brouillard et les dispositifs de santé électronique peuvent être connectés au cloud à l'aide de n'importe quel matériel via n'importe quel canal de communication (réseaux câblés, réseaux sans fil, 3G/4G, ou même satellite) basé sur une large gamme de protocoles (MQTT, WebSocket, REST API, etc.) [41].
- b. **Gestion des utilisateurs, des appareils et des données** : le Cloud intègre des données provenant de sources multiples. Il capture les données de nombreux nœuds de brouillard et stocke les données en toute sécurité. Il est donc toujours à la disposition de ceux qui s'occupent des soins aux patients. Cette plate-forme est également intégrée de façon transparente avec des sources non sensibles telles que les données des DSE, la plate-forme de prescription en ligne, les sources Web, etc. Par conséquent, le patient, le médecin ou tout autre membre de l'équipe soignante du patient peut accéder aux données en tout temps et en tout lieu. Cela augmente considérablement la collaboration entre toutes les disciplines, ce qui augmente

l'efficacité du plan de soins de santé. Un autre avantage de la plate-forme cloud est qu'elle sépare la couche de données de la couche application tout en fournissant un schéma unifié en termes de transactions de capture et de requêtes. Cette fonctionnalité permet une plus grande flexibilité pour développer de nouvelles applications. Ce module comprend des fonctions intégrées de gestion des utilisateurs, des groupes, des périphériques et des nœuds de brouillard, des autorisations d'accès et des rôles [41].

c. Service d'application eHealth:

- **Dashboard** : une application Web qui permet aux patients et à ceux qui s'occupent des soins des patients de surveiller et de gérer les appareils de santé électronique connectés et les données médicales globales. Le tableau de bord permet aux utilisateurs de surveiller, configurer, contrôler, diagnostiquer et réparer à distance les dispositifs eHealth connectés au cloud. Il permet également aux utilisateurs de visualiser, visualiser, comprendre et partager leurs données [41].
- **Moteur de règles** : un moteur holistique avec une interface utilisateur basée sur le Web pour analyser les données entrantes afin de créer les événements, les alarmes, les notifications et les actions de déclenchement appropriés. Les règles peuvent être aussi simples qu'un seuil à des règles complexes composées de plusieurs expressions analytiques et d'ordonnancement [41].
- **Analyse de grandes données** : il est très important d'analyser les données médicales agrégées pour identifier efficacement les idées réalisables. Plusieurs algorithmes de traitement d'événements, de traitement basé sur des règles, d'exploration de données et d'apprentissage automatique, ainsi que des algorithmes automatisés basés sur le raisonnement peuvent être appliqués aux dossiers historiques stockés pour extraire des informations significatives sur la santé des patients. Par exemple, en prédisant l'apparition d'une maladie, le patient peut prendre des mesures précoces afin d'améliorer considérablement le résultat, tout en réduisant les coûts. Les informations extraites permettent également aux utilisateurs de mettre à jour les règles et les configurations des dispositifs eHealth connectés et des nœuds de brouillard pour des changements et des optimisations de processus. Par exemple, il peut ajuster le taux d'échantillonnage des données et la résolution multimédia (images et vidéos) [41].

- **Cadre d'intégration** : un cadre technologique de file d'attente de messages évolutif et holistique qui facilite la communication de nuage à nuage et l'intégration avec tout système, application ou portail. Le framework fournit également un ensemble d'API REST riches avec des fonctions d'authentification et d'autorisation fiables et robustes permettant d'accéder aux niveaux de logique et de données du Cloud e-Health [41].

3.9. Conclusion :

Ce chapitre comprend deux parties concernant successivement : la télémédecine, sa définition et ses différents services, ainsi que les principaux objets connectés dans le domaine de la télémédecine et les avantages et de cette technologie. La deuxième partie concerne l'écosystème de l'e-santé IdO et ses couches.

On peut conclure que le domaine de la télémédecine médiatise l'acte médical en interposant un outil de communication entre les médecins ou entre un médecin et son patient.

Chapitre 04

Implémentation et réalisation pratique

4.1. Introduction :

Dans notre travail pratique on a essayé de réaliser un prototype d'une application IdO spécifiquement dans le domaine de la télémédecine. Les capteurs médicaux peuvent être associés avec l'internet afin de réaliser un système de télésurveillance à distance, soit on utilise des sites web, des applications ou des plateformes comme on a fait dans notre travail, ou ces plateformes permettent la prestation de soin de santé à distance et l'échange de l'information médicale s'y rapportant.

Notre application comprend deux parties essentielles :

La première partie consiste à visualiser la température d'un patient. Cette partie contient un module wifi **ESP 32**, un capteur de température **LM 35** pour connaître l'état de notre patient.

La deuxième partie concerne la réalisation d'un prototype qui permette de traiter le signal fréquence cardiaque à distance utilisons un module wifi **ESP 32** et un capteur **MAX 30102**.

L'objectif principal est de permettre au patient d'être en contact permanent avec leur médecin traitant. Il s'agit de développer un service de transfert de l'information à distance sur le mobile pour la télésurveillance médicale permettant au médecin d'avoir les données médicales par le moyen d'une liaison sans fil. Ce qui facilite fortement son travail et faire un diagnostic plus rapide et efficace.

Après avoir réalisé la conception appropriée à notre projet, nous allons dans ce chapitre décrire le processus de la réalisation de notre application. Ceci en spécifiant l'environnement de développement, et une présentation du logiciel et matériels utilisés.

4.2. Matériels et logiciels utilisés :

Le matériel a été choisi d'une manière judicieuse pour un bon fonctionnement avec les moyens que nous avons à notre portée pour réaliser une application qui contrôle la température d'un patient, tout aussi fonctionnel à l'échelle réel. Nous avons choisi l'environnement de développement « Arduino », pour la réalisation de l'application nous avons utilisé, un capteur de température **LM35**, un module wifi **ESP 32** et un moniteur de fréquence cardiaque et capteur d'oxymètre de pouls **Max 30102**.

Dans ce qui suit, nous allons détailler les cartes électroniques, en particulier le module wifi ESP 32 et le MAX30102 ainsi tous les composants électroniques et outils logiciels utilisés pour notre projet.

Afin de présenter nos cartes électroniques utilisées dans notre projet, nous commençant par une présentation générale de l'environnement Arduino.

4.2.1. Logiciel Arduino :

Le logiciel Arduino a pour fonctions principales :

- De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino.
- De se connecter avec la carte Arduino pour y transférer les programmes.
- De communiquer avec la carte Arduino.

Cet espace de développement intégré (EDI) dédié au langage Arduino et à la programmation des cartes Arduino comporte :

- Une **BARRE DE MENUS** comme pour tout logiciel une interface graphique (GUI).
- Une **BARRE DE BOUTONS** qui donne un accès direct aux fonctions essentielles du logiciel et fait toute sa simplicité d'utilisation.
- Un **EDITEUR** (à coloration syntaxique) pour écrire le code de programme, avec onglets de navigation.
- Une **ZONE DE MESSAGES** qui affiche et indique l'état des actions en cours.
- Une **CONSOLE TEXTE** qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme [44].

La figure suivante illustre l'interface graphique de ce logiciel EDI.

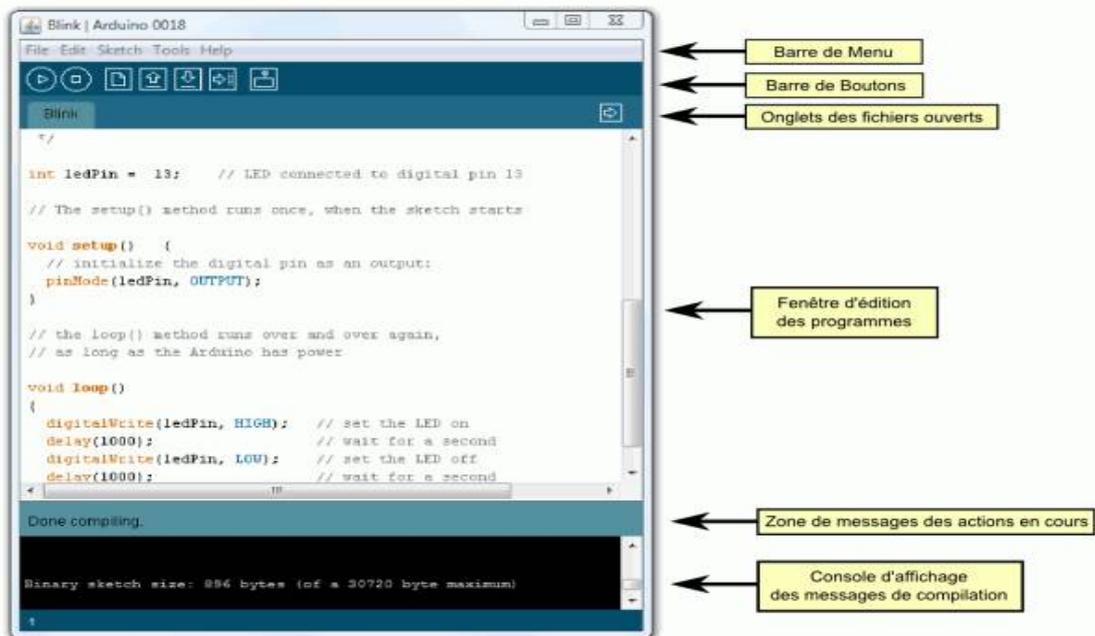


Figure 4-1: Présentation de l'EDI

Le logiciel Arduino intègre également :

- Un **TERMINAL SERIE** (fenêtre séparée) qui permet d'afficher des messages textes reçus de la carte Arduino et d'envoyer des caractères vers la carte Arduino. Cette fonctionnalité permet une mise au point facilitée des programmes, permettant d'afficher sur l'ordinateur l'état de variables, de résultats de calculs ou de conversions analogique-numérique : un élément essentiel pour améliorer, tester et corriger ses programmes [44].

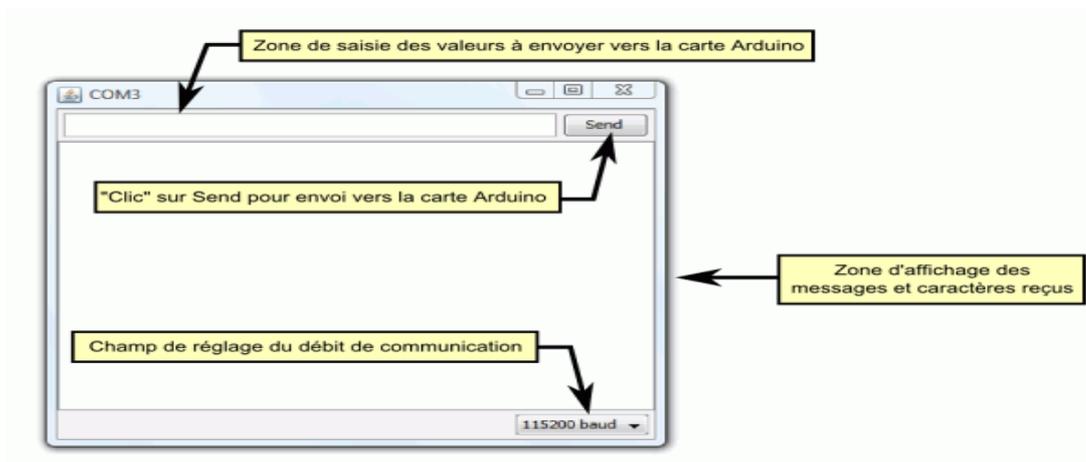


Figure 4-2 : Le Terminal Serie

4.2.2. Présentation de la plateforme ThingSpeak :

« ThingSpeak » est un service de plate-forme d'analyse de l'IdO qui nous permet d'agréger, de visualiser et d'analyser des flux de données en direct dans le Cloud. ThingSpeak fournit des visualisations instantanées des données postées par vos appareils. Avec la possibilité d'exécuter des codes MATLAB dans ThingSpeak, on peut effectuer une analyse et un traitement en ligne des données au fur et à mesure de leur arrivée. ThingSpeak est souvent utilisé pour le prototypage et la preuve de concept des systèmes d'IdO qui nécessitent des opérations d'analyse [21].

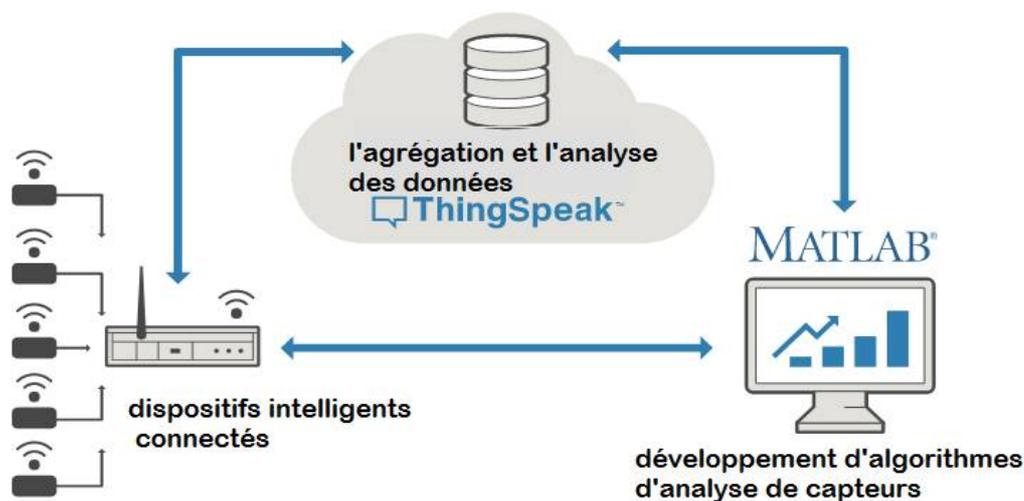


Figure 4-3 : Plateforme ThingSpeak [21]

- **Collecte des données :**

Les données des capteurs sont envoyées par le biais des ondes électromagnétiques.

Il y a des capteurs partout dans nos maisons, nos téléphones intelligents, nos automobiles, notre infrastructure urbaine et notre équipement industriel. Les capteurs détectent et mesurent des informations sur toutes sortes de choses comme la température, l'humidité et la pression. Et ils communiquent ces données sous forme d'une valeur numérique ou un signal électrique à exploiter [21].

Les capteurs, ou choses, détectent les données et agissent généralement d'une manière locale. ThingSpeak permet aux capteurs, aux instruments et aux sites Web d'envoyer des données vers l'endroit où elles sont stockées dans un canal privé ou public. Par défaut, ThingSpeak stocke les données dans des canaux privés, mais les canaux publics peuvent être utilisés pour partager des données avec d'autres. Une fois que les données sont dans un canal, ThingSpeak, nous permet d'analyser, visualiser, et calculer de nouvelles données ou interagir avec les médias sociaux, les services Web et autres dispositifs [21].

○ **Analyse de données avec MATLAB :**

Le stockage des données dans le canal privé facilite l'accès à vos données. À l'aide d'outils d'analyse en ligne, on peut explorer et visualiser les données. On peut également découvrir des relations, des modèles et des tendances dans les données. Ainsi qu'on peut calculer de nouvelles données. La visualisation est possible sous forme de graphiques, de diagrammes et de jauges [21].

ThingSpeak donne accès à MATLAB pour nous aider à comprendre les données. Ainis on peut faire les opérations suivantes :

- Convertir, combiner et calculer de nouvelles données.
- Planifier les calculs à exécuter à certaines heures.
- Comprendre visuellement les relations entre les données à l'aide des fonctions de traçage intégrées.
- Combiner les données de plusieurs canaux pour construire une analyse plus sophistiquée.

○ **Agrégation de données pour déclencher une réaction :**

Agir sur des données est très facile lorsque la température que nous mesurons dépasse 70°. On peut encore mettre en place une action plus complexe comme mettre en marche un moteur lorsque le niveau d'eau dans notre réservoir tombe en dessous d'une limite spécifique. On peut même commander à distance des dispositifs, tels que des serrures de portières à piles, à l'aide de l'application « TalkBack » [21].

ThingSpeak fournit des outils qui permettent la communication entre les appareils pour toutes ces actions et bien plus encore. On peut donc réagir aux données - qu'il s'agisse de

données brutes ou de nouvelles données que nous avons calculé - lorsqu'elles arrivent sur un canal.

La partie suivante montre comment créer un nouveau canal pour collecter les données analysées.

1. Tout d'abord, il faut s'enregistrer au ThingSpeak à l'aide d'un compte MathWorks qui existe déjà.
2. On clique sur « channel » puis « mychannel » (voir la figure suivante).

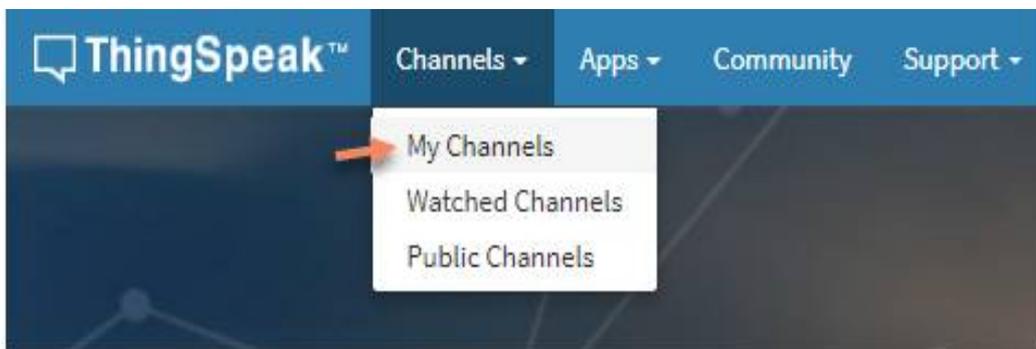


Figure 4-4 : Création d'une Chaîne sur ThingSpeak étape 1

3. Sur la page « Chaînes » on clique sur « **New Channel** »
4. On doit cocher les cases à côté des champs 1 à 3, puis saisir les valeurs de réglage de canal suivantes :

Name: Dew Point Measurement

Field 1: Temperature (F)

Field 2: Humidity

Field 3: Dew Point

The screenshot shows the 'New Channel' form on the ThingSpeak website. The form is titled 'New Channel' and has a blue header with the ThingSpeak logo and navigation links: 'Channels', 'Apps', 'Community', and 'Support'. The form fields are as follows:

- Name:** Dew Point Measurement
- Description:** (empty text area)
- Field 1:** Temperature (F) [checked]
- Field 2:** Humidity [checked]
- Field 3:** Dew Point (F) [checked]
- Field 4:** (empty) [unchecked]

Below the fields, there are options for 'Show Video' (YouTube, Vimeo), a 'Video URL' field (http://), and 'Show Status'. A green 'Save Channel' button is at the bottom.

Figure 4-5 : Création d'une Chaîne sur ThingSpeak **étape 2**

Certaines fonctionnalités clés de ThingSpeak incluent la capacité de faire :

- Configurer facilement les périphériques pour envoyer des données à ThingSpeak en utilisant les protocoles IdO courants.
- Visualiser les données de vos capteurs en temps réel.
- Données agrégées à la demande provenant de sources tierces.
- Utiliser la puissance de MATLAB pour donner un sens à vos données IdO.
- Exécuter vos analyses d'IdO automatiquement en fonction de programmes ou d'événements.
- Prototyper et construire des systèmes d'IdO sans installer de serveurs ni développer de logiciels Web.
- Agisser automatiquement sur vos données et communiquer en utilisant des services tiers comme « Twilio » ou « Twitter ».

4.2.3. Le capteur de température LM35 :

- **Définition d'un capteur :**

Un capteur est un organe chargé de prélever une grandeur physique et de la transformer en un signal exploitable.

La grandeur physique (ou mesurande) n'est généralement pas exploitable directement, elle constitue le signal d'entrée du capteur. La grandeur exploitable est souvent de nature électrique. Elle constitue le signal de mesure (ou sortie ou réponse) du capteur. Elle est une image de la grandeur à mesurer et doit être indépendante des autres grandeurs perturbatrices. [38]

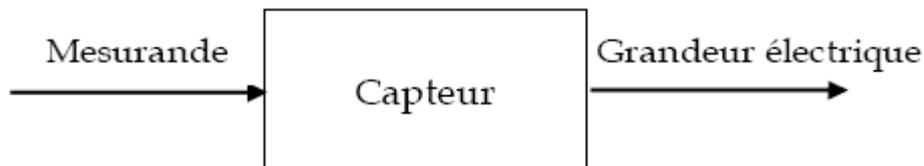


Figure 4-6 : Schéma fonctionnel d'un capteur [40]

- **Présentation du capteur LM35 :**

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température fabriqué par Texas Instruments. Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu coûteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve [37].

modules et de μ C sont déjà sur le marché et sont largement utilisés pour la conception et le développement de dispositifs IoT. Il s'agit des cartes Xbee, WhizFi, certaines cartes Arduino, etc. Cependant, la plupart des appareils actuellement offerts sont soit assez chers, soit volumineux en termes de poids et de taille. De plus, très peu de modules sont des appareils open source et n'ont aucune restriction dans l'utilisation. Un nouvel appareil appelé ESP32 a été lancé sur le marché par Espressif Systems en septembre 2016 pour remplacer l'ancien μ C ESP8266. L'ESP32 est un puissant microcontrôleur avec Wi-Fi et Bluetooth intégrés, conçu pour être une solution parfaite pour les appareils iot [50].



Figure 4-8 : Module wifi ESP 32

○ **La différence entre ESP 32 et ESP 8266:**

- ESP32 et ESP8266 sont des modules Wi-Fi bon marché parfaitement adaptés aux projets réalisés dans le domaine de l'Internet des objets (IdO).
- Les deux puces ont un processeur 32 bits. L'ESP32 est un processeur double cœur 160MHz à 240MHz alors que l'ESP8266 est un processeur simple cœur qui fonctionne à 80MHz.
- L'ESP32 est le successeur de l'ESP8266. Il ajoute un noyau CPU supplémentaire, un Wi-Fi plus rapide, plus de GPIOs, et supporte Bluetooth 4.2 et Bluetooth basse énergie. De plus, l'ESP32 est livré avec des broches sensibles au toucher qui peuvent être utilisées pour réveiller l'ESP32, un capteur à effet Hall intégré et un capteur de température intégré [36].

spécifications	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa Single-Core 32-bit L106	XtensaDual-Core 32-bit LX6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wifi	Oui ,HT20	Oui ,HT40
Bluetooth	Non	Bluetooth 4.2 et en dessous
Typicalfrequency	80 MHz	160 MHz
SRAM	160 kBytes	512kBytes
Flash	SPI flash jusqu'à 16MBytes	SPI flash jusqu'à 16MBytes
GPIO	17	36
Hardware / Software PWM	Aucun / 8 Channels	1 / 16Channels
SPI /I2C/I2S /UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	aucun	1
interface Ethernet MAC	aucun	1
Capteur tactile	aucun	Oui
Capteur de température	aucun	Oui
température de fonctionnement	~ 40°C ~ 125°C	~ 40°C ~ 125°C

Tableau 4-2 : Différence entre ESP 8266 et ESP 32 [41]

4.2.5. Le capteur MAX30102 :

Le capteur MAX30102 est un module intégré d'oxymétrie de pouls et de moniteur de fréquence cardiaque. Le MAX30102 comprend des LED internes, des photodétecteurs, des éléments optiques et une électronique à faible bruit avec réjection de la lumière ambiante. Cet appareil très sensible fonctionne avec une seule alimentation de 1,8 V et une alimentation séparée de 5,0 V pour les LED internes [].

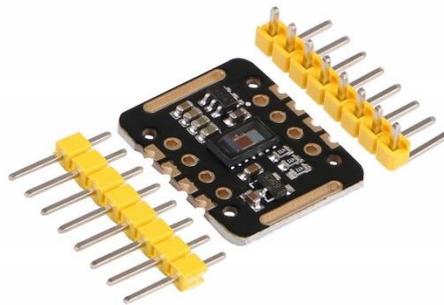


Figure 4-9 : Max 30102

4.3. Partie pratique du travail :

4.3.1. Température :

- a. **Définition :** Grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid [47].
- b. **Schéma électrique du montage sur Fritzing :** Tous d'abord on a tracé le schéma électrique du système sur le logiciel Fritzing. Le logiciel Fritzing est un outil de création des projets et des circuits électroniques, il permet aussi l'édition de circuit imprimé, il est disponible gratuitement sur internet. Il a notamment pour vocation de favoriser l'échange de circuits électroniques libres et d'accompagner l'apprentissage de la conception de circuits [52].

Le logiciel comporte trois vues principales:

- La « Platine d'essai », où l'on voit les composants tels qu'ils sont dans la réalité et où l'on construit le montage.

- La « Vue schématique », représentant le schéma fonctionnel du circuit.
- Le « Circuit imprimé », représentant la vue du circuit imprimé tel qu'il sera sorti en PDF pour être imprimé [52].

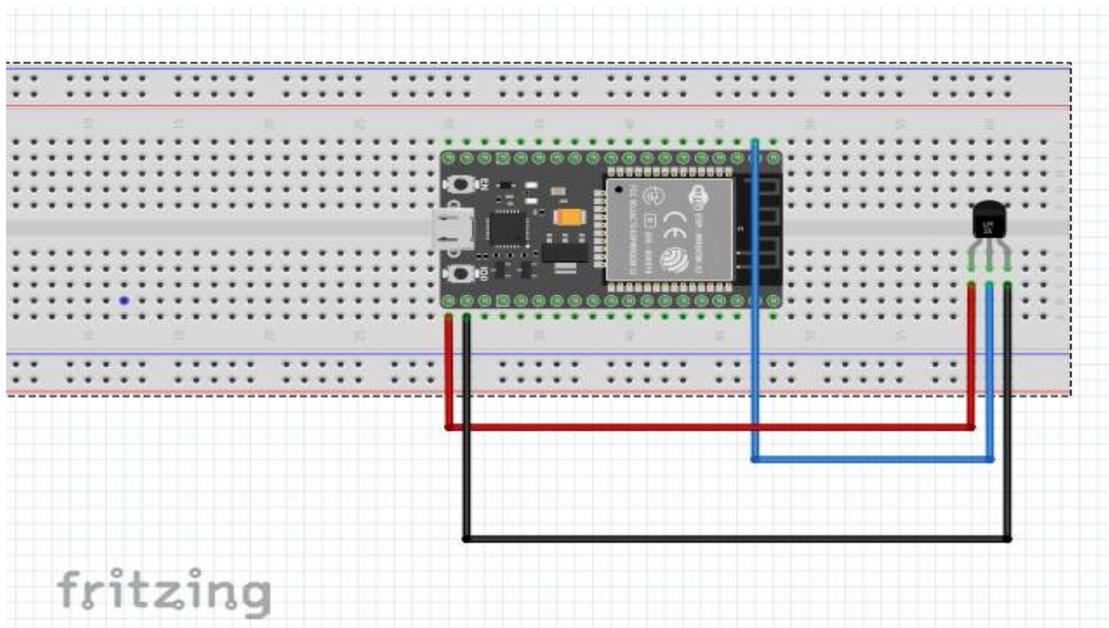


Figure 4-10 : Schéma électrique du montage réaliser sur Fritzing

Nous souhaitons utiliser notre module ESP32 (ESP Wroom 32) avec notre IDE Arduino et son langage de programmation, voici quelques explications qui devraient nous permettre de réaliser cette manipulation.

c. Utilisation d'un ESP32 avec l'Arduino IDE :

Dans cette étude, nous verrons comment programmer un ESP32 depuis l'EDI Arduino en C ou C++. A l'heure actuelle, la société « EspressiveSystems » (fabriquant de l'ESP32) n'a pas complètement intégré cette carte dans le gestionnaire de carte Arduino, donc c'est un processus manuel.

1. Configuration de l'IDE Arduino pour l'ESP32 :

Rendons-nous dans le menu « Préférences » de votre interface IDE

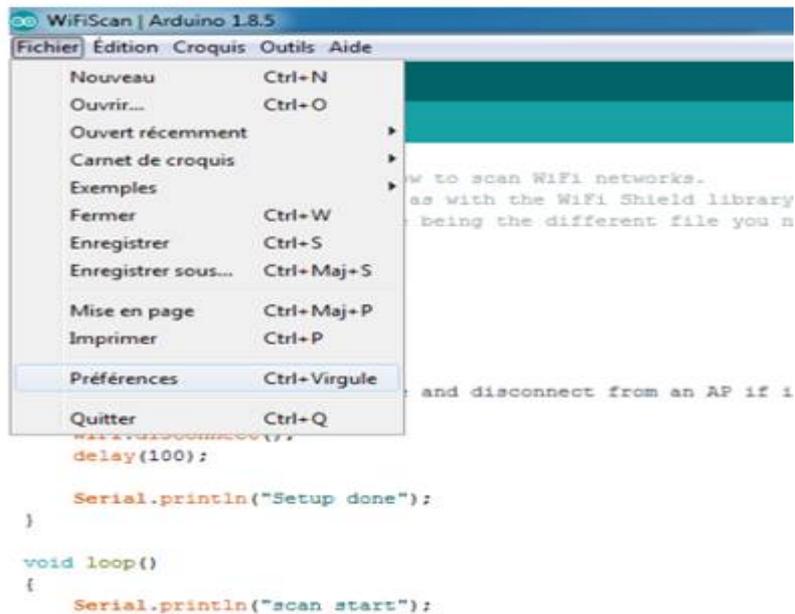


Figure 4-11 : Configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 1

Il est nécessaire de saisir un lien dans « URL de gestionnaire de cartes supplémentaires ». Pour cela nous cliquons sur l'icône indiqué sur la figure suivante :

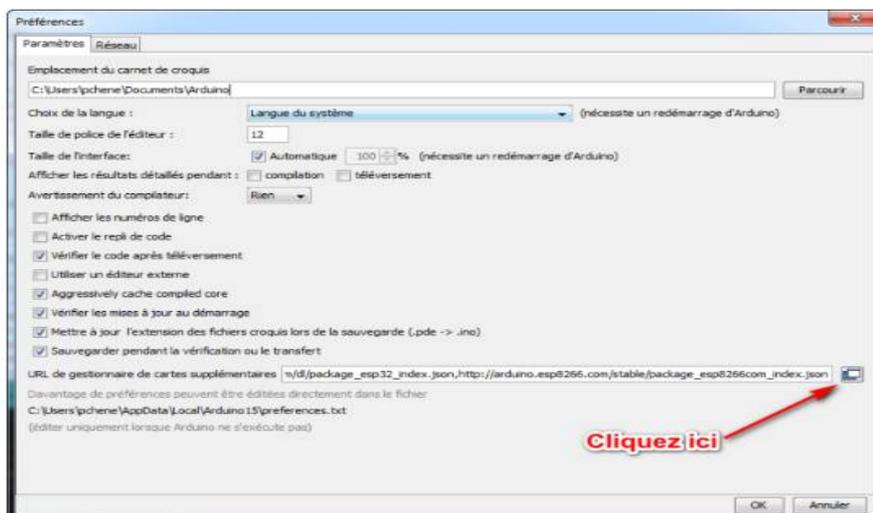


Figure 4-12 : Configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 2

Et nous saisissons alors le lien hypertexte suivant :

https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json [3]

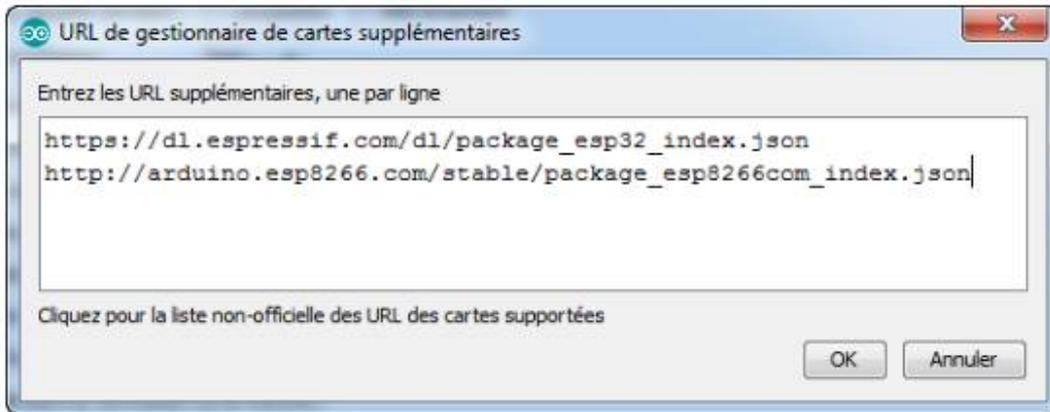


Figure 4-13 : Configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 3

Nous enregistrons par (OK) et quittez le menu « Préférences »

Rendons-nous, maintenant, dans le menu « Gestionnaire de cartes » par le biais du menu « Outils » et « Type de Carte ».

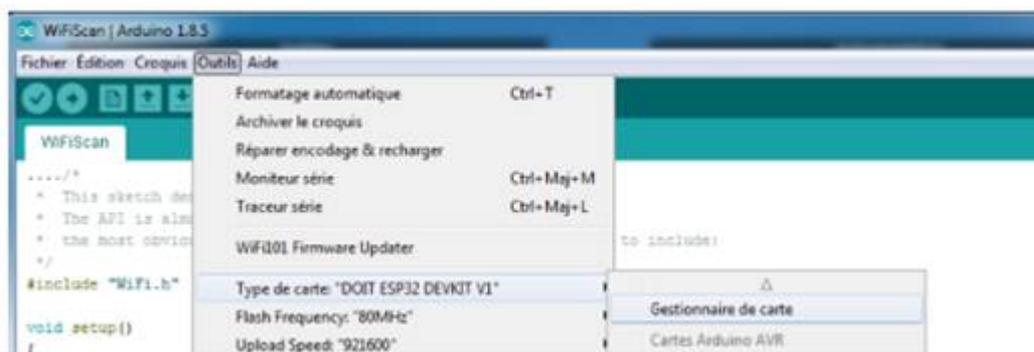


Figure 4-14 : Configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 4

Une fenêtre va alors apparaître, réalisez une recherche à l'aide du mot clé « esp32 »

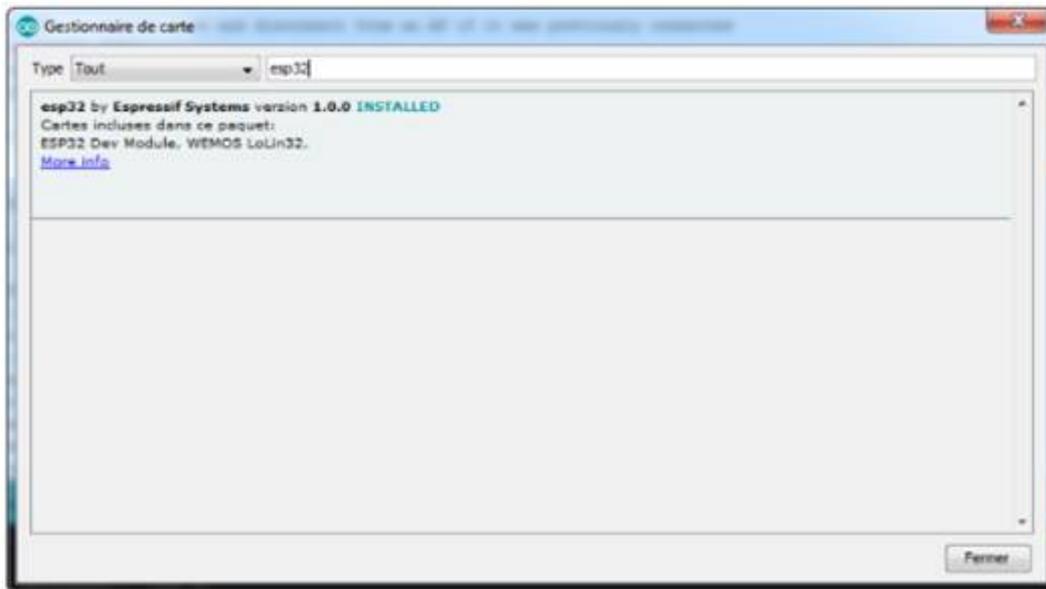


Figure 4-15 : Configuration de l'IDE arduino pour esp 32 **étape 5**

Puis il s'affiche le message suivant : « ESP32 by EspressifSystems... »

Après lancement de l'installation et téléchargement notre environnement de développement Arduino est maintenant équipé du nécessaire pour programmer la carte. L'étape suivante est la configuration. Pour cela, on se rend dans le menu « Outils » puis dans « Type de carte », puis il suffit de sélectionner la carte correspondante, c'est bien la carte « DOIT ESP32 DEVKIT V1 » comme indiqué au dos du module (voir la figure 4-16).



Figure 4-16 : ESP32 DEVKITV1

Donc cette étape est faite comme l'illustre la figure suivante :

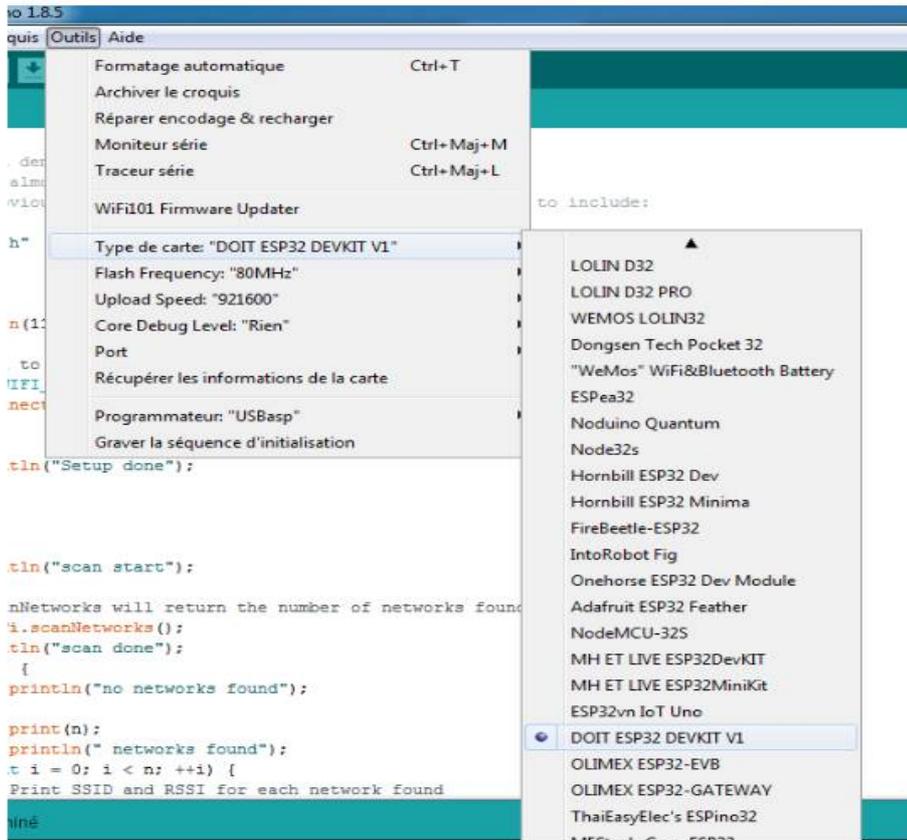


Figure 4-17 : Choix du module esp 32

2. Téléverser un programme :

Le téléversement (upload) du programme (Annexe 1) dans ESP32 est réalisé comme suit :

Après apparition du message « Connecting » en bas de l'interface de l'IDE Arduino, on doit maintenir 2 à 3 secondes le bouton [BOOT] du ESP32 (voir la figure 4-18).

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);
  WiFi.setSleep(false); // this code solves my problem
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
```



Appuyez alors 2 à 3 secondes sur le bouton BOOT qui se trouve sur votre carte ESP32

Téléversement..

Les variables globales utilisent 39120 octets (11%) de mémoire dynamique, ce qui laisse 288560 octets pour les variables locales. Le maximum est de 327680 octets.

esptool.py v2.6

Serial port COM4

Connecting.....

Figure 4-18 : Téléversement du programme

Une fois le programme est téléchargé, il faut appuyer le bouton [EN] pour lancer l'exécution sur la carte ESP32.

Afin de pouvoir visualiser notre résultat concernant la température du patient on a utilisé une plateforme IdO appelé : **ThingSpeak**.

d. Brochage du capteur :

Le brochage du capteur **LM 35** est effectué comme le montre la figure suivante :

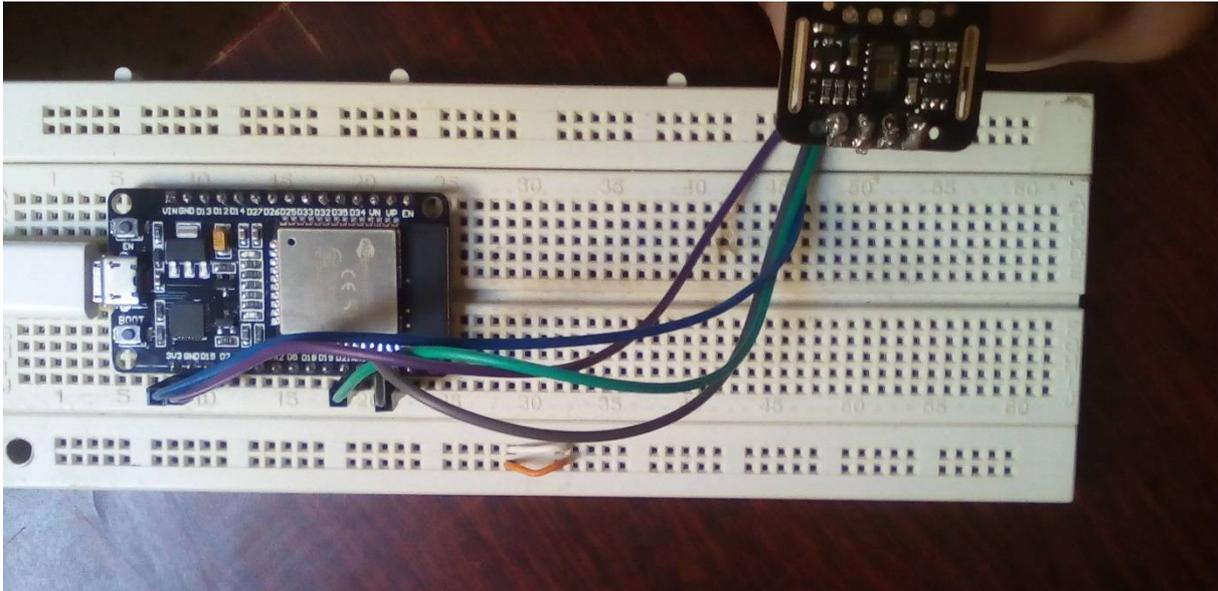


Figure 4-20 : Branchement du MAX30102 avec l'ESP32

4.4. Résultat obtenu :

Lorsqu'on branche le capteur de température **LM 35** et le module wifi **ESP 32** comme montré sur la figure précédente et avec l'utilisation d'une plateforme IdO « **ThingSpeak** » qui permet de visualiser et tracer la courbe présentant la variation de la température d'un patient.

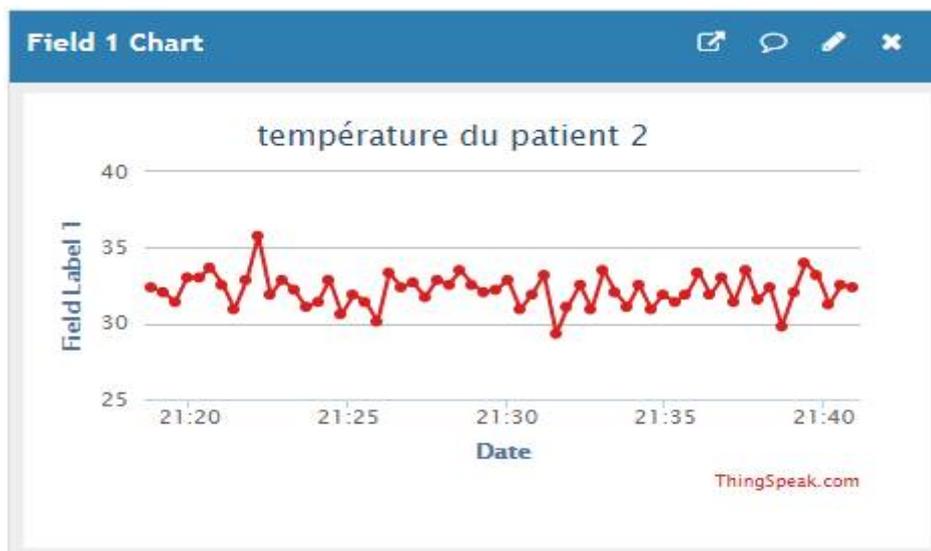


Figure 4-21 : Les résultats affichés sur ThingSpeak

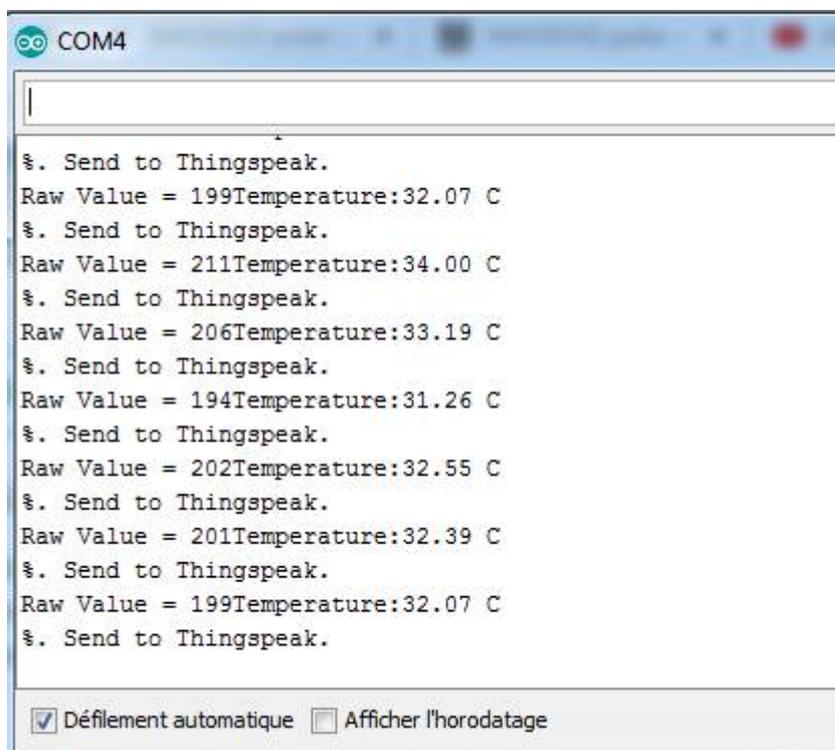
Le résultat obtenu de notre montage réalisé précédemment est la courbe de la figure 4-20 qui représente la variation de la température pendant un temps donné. Comme illustré dans la figure la température varie d'environ 32°C durant un temps donné (notre résultat est pris le vendredi 21/06/2019 à Guelma).

Notre travail est dirigé vers la visualisation de la température d'un patient comme une application dans le domaine de la télémédecine mais pour tester notre montage on a visualisé la température de l'environnement pendant une journée.

La version gratuite de ThingSpeak permet aux utilisateurs d'écrire sur un canal donné toutes les 15 secondes, il existe une version payante qui permet de visualiser chaque 1s.

Le but de notre travail n'est pas d'afficher un résultat instantané seulement mais aussi d'avoir un historique des données pendant une période, ce qu'est possible avec cette plateforme qui joue le rôle du Cloud aussi.

Nous montrons le résultat obtenu via le moniteur de série Arduino, et nous présentons les diverses mesures captées par le capteur de température « **Temperature** » sur la figure suivante.



```
COM4
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 199Temperature:32.07 C
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 211Temperature:34.00 C
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 206Temperature:33.19 C
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 194Temperature:31.26 C
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 202Temperature:32.55 C
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 201Temperature:32.39 C
%. Send to Thingspeak.
Raw Value = 199Temperature:32.07 C
%. Send to Thingspeak.
```

Défilement automatique Afficher l'horodatage

Figure 4-22 : Les résultats affichés sur le moniteur série

Dans la deuxième application nous avons trouvé une difficulté à communiquer l'ESP32 et le MAX30102 ça peut être à cause d'un problème dans notre capteur durant la procédure du branchement.

4.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons réalisé deux prototypes des applications de la télémédecine dans l'IoT : l'une concernant la visualisation de la température d'un patient et l'autre dédiée aux maladies cardiaques.

Aux cours de notre travail on a trouvé que l'ESP32 est un bon choix pour réaliser une application IoT grâce à ses caractéristiques comparant avec l'ESP8266.

Il existe plusieurs plateformes et applications aide à stocker, traiter et visualiser les données envoyées via internet, dans notre travail on a présenté l'une de ses plateformes : ThingSpeak.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre projet a été réalisé dans le cadre de la technologie des objets connectés, cette technologie offre à l'être humain un confort supplémentaire qui facilite sa vie quotidienne plus que jamais, et cela grâce à une multitude d'applications et de protocoles de communications basés sur internet. Cette technologie qui fait ses premiers pas, a bien marqué sa présence dans une multitude d'applications liées au bien être, au sport, à la surveillance et à la gestion du trafic routier...

Cette étude porte sur le développement d'un service de télémédecine qui répond aux objectifs et aux besoins de la télésurveillance. Il vise à fournir une plate-forme entre le patient et son médecin à distance afin de gérer les situations critiques via des technologies de l'information et de la communication TIC.

Dans ce cadre, le travail réalisé, constitue un premier pas dans ce domaine. Il s'agit de développer un service d'acquisition des fréquences cardiaque et l'envoyer à la plateforme ThingSpeak pour le suivi des patients à distance destiné aux experts de la santé.

On peut considérer que les IoT liés au système du Cloud Computing constituent une révolution dans la technologie Internet. Cette nouvelle technique simple et révolutionnaire devra être appliquée dans de multiples domaines touchant la vie des individus afin d'améliorer leurs bien être.

Les résultats de ce projet ont été satisfaisants. Le travail effectué facilite la tâche d'un médecin traitant pour prendre les décisions nécessaire sans avoir demandé au patient d'être présent. C'est dans cette vision que d'autres applications et services destinées au domaine de santé seront développés par la suite.

Comme perspectives et concernant la relation de la télémédecine et l'IdO, il est souhaitable dans l'avenir de faire améliorer ces prototypes et réaliser des applications mobile dans le domaine de la télémédecine qui aide les personnes âgés et les maladies cardiaques et facilite leur vie quotidienne.

Bibliographiques

Bibliographie

[1] : **Mr Hidjeb Ali** « implémentation d'un protocole d'élection d'un serveur d'authentification dans l'internet des objets » Mémoire de fin de Cycle Master 2 Université Abderrahmane Mira de Bejaïa 2017.

[2] : <https://bscw.5g-ppp.eu/pub/bscw.cgi/d208247/IoT%20Rapport%20Abstract.pdf>
accédé le 29/06/2019.

[3] : **Saleh, Imad.** "Internet des Objets (IdO): Concepts, Enjeux, Défis et Perspectives." Revue Internet des objets 2.10.21494 (2018).

[4] : <https://www.pensezcybersecurite.gc.ca/cnt/rsks/ntrnt.../bsnss-fr.aspx>
accédé 29/06/2019.

[5] : **M. Yacine CHALLAL** « Sécurité de l'Internet des Objets : vers une approche cognitive et systémique » Au vu d'obtenir le diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches 2012.

[6] : **Dave Evans** L'Internet des objets « Comment l'évolution actuelle d'Internet transforme-t-elle le monde ? » Livre blanc Cisco 2011.

[7] : **Saad EL JAOUHARI**, Ahmed BOUABDALLAH et Jean-Marie BONNIN

Institut Mines-Telecom/TELECOM Bretagne « La sécurité des objets connectés ».

[8] : **TALEB Omar, MANKOURI Abdelkrim** « Programmation de la sécurité Internet des Objet, Etude de cas module WIFI Electric imp » l'université de tlemcen Mai 2016.

[9] : **Rahimi, H., Zibaenejad, A., & Safavi, A. A.** (2018, November). A Novel IoT Architecture based on 5G-IoT and Next Generation Technologies. In 2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON) (pp. 81-88). IEEE.

[10] : https://www.gsma.com/iot/wp.../2014/08/cl_iot_wp_07_14.pdf accédé le 29/06/2019

[11] : **Burhanuddin, M. A., Mohammed, A. A. J., Ismail, R., & Basiron, H.** (2017). Internet of things architecture: Current challenges and future direction of

Bibliographie

research. International Journal of Applied Engineering Research, 12(21), 11055-11061.

[12]:https://www.fun-mooc.fr/c4x/MinesTelecom/04013/asset/S4-5_-Objetscommunicants.pdf accédé le 25/06/2019

[13] : **Melle KARA Nadjah** « Conception d'un réseau de communication pour une maison intelligente en utilisant la technique d'internet des objets ». Mémoire de fin de cycle – université de Bejaia.

[14] : <https://www.cigref.fr/wp/wp.../2016/12/CIGREF-Objets-Connectes-2016.pdf> accédé le 29/06/2019

[15] : **Kathia Hart** « Taxonomie des consommateurs de bracelets intelligents capteurs d'activité physique basée sur l'adoption et l'utilisation des technologies » université de sherbrooke, Juin 2017

[16] : **ELISE MARGAIL** « innovation technologique, création esthétique et Discours d'accompagnement comme facteurs du Succès de l'appropriation des NTIC : Le cas des objets connectés » Septembre 2014.

[17] : **Mr : TIZZAOUI YOUVA** « Internet des Objets « IoT » Application : Industrie 4.0, Mémoire fin d'Études en vue de l'obtention du diplôme master Télécommunication.

[18] : **Imad Saleh** « Les enjeux et les défis de l'Internet des Objets (IdO) » Laboratoire Paragraphe Université Paris 8. 2017.

[19] : **Amri Toumia** et **Samuel Szoniecky** « Prétopologie et protection de la vie privée dans l'Internet des Objets » 2018.

[20] : **Dechany, Maxime** « L'impact de l'internet des objets sur le futur de la logistique et du transport: cas du transport routier » HEC-Ecole de gestion de l'Université de Liège : 2017-2018.

[21] : https://thingspeak.com/pages/learn_more accédé le 26/06/2019.

Bibliographie

[22] : Internet of Things « Privacy & Security in a Connected World » JANUARY 2015.

[23]: « Big data et objets connectés Faire de la France un champion de la révolution numérique » 2015.

[24] : Les Objets Connectés : la nouvelle génération d'Internet Publié le vendredi 13 septembre 2013.

[25] : **Mohamed Tahar Hammi** « Sécurisation de l'Internet des objets » 28 January 2019.

[26] : **Dorian Keuller** « Le secteur de la santé face à l'émergence de l'Internet des Objets : développement d'un outil d'aide à la décision » université catholique de louvain 2015.

[27] : **Patrick Olivier Kamgueu** « Configuration dynamique et routage pour l'internet des Objets » 18 January 2018.

[28] : Panorama-internet. 20/04/2019

[29] : **STAVAUX Edouard** « Santé mobile et oncologie : état des lieux et développement de SmokeCheck, application mobile de détection des cancers et complications chez les fumeurs » 6 septembre 2018.

[30] : **Pierre Rolin** « Utilisation des applications de santé et des objets connectés par les médecins et les pharmaciens d'officine français en 2017 » 29 January 2018.

[31] : **Bouchta Hajjine** « Conception, réalisation et intégration technologique d'un patch électronique : application à la surveillance des personnes âgées » 26 Jun 2017.

[32] : **MOKHENACHE Souhila** « Caractérisation des paramètres d'un signal ECG via mobile » MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen 28 mai 2015.

[33] : **Pierre Simon** et **Pascale Gayrard** « Télémédecine : des pratiques innovantes pour l'accès aux soins » Decembre 2017.

Bibliographie

[34] : **Rodrigue Alexander** « la télémédecine, une nouvelle modalité de l'offre de soins » Décembre 2012.

[35] : **Mlle KOUFI Djamilia, Mlle AMROUNI Norimen** « Contribution a l'étude d'une commande d'un actionneur dans un module d'une plateforme micro-fluidique » Université M'hamed Bougara Boumerdes 2015.

[36] : pmboitel.free.fr/pdf/init-arduino-class06.pdf. _accede 28/06/2019

[37] : **HASSANI ALAOUI Fatima Zahra** « Conception et réalisation du thermomètre électronique à mémoire » Université Sidi Mohammed Ben Abdallah 21 Juin 2011.

[38] : **SELMA Housseem Eddine et MOULAY ABDALLAH Yacine** « Réalisation d'une maison verte dotée des systèmes intelligents de contrôle pour la sécurité, l'environnement et le confort » Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 14 juin 2017.

[39] : **TERTAG FATIMA ET FERNANE KHEIRA** « réalisation d'un thermomètre électronique » université abou bakr belkaïd de tlemcen 16 juin 2016.

[40]: **Oene Bakker** « The internet of Things part 2: ESP32 Development Board»

[41]: **Farahani, Bahar, et al.** "Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare." *Future Generation Computer Systems* 78 (2018): 659-676.

[42]: **Maksimović, Mirjana.** "Implementation of Fog computing in IoT-based healthcare system." *JITA-JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY AND APLICATIONS* 14.2 (2017).

[43]: **Negash, Behailu,** et al. "Leveraging fog computing for healthcare IoT." *Fog Computing in the Internet of Things*. Springer, Cham, 2018. 145-169.

[44]: **LEHSAINI Ilyes et BENDIMERAD Abderrahman** « Etude et réalisation d'une plateforme d'acquisition micro contrôlée et de transmission Bluetooth du signal ECG sur Smartphone » Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen. 24 mai 2015.

Bibliographie

[45] : **Nathalie Mitton** « INTERNET DES OBJETS, AUTO-ORGANISATION ET PASSAGE À L'ÉCHELLE » 8 Juin 2011.

[46] : **Laetitia VASSIEUX** « Applications mobiles, objets connectés et promotion de la santé » juin2017.

[47] : **BOUARFA Djalila** et **BOUCHAALA Fadéla** « Contrôle de la température d'un autoclave par un microcontrôleur PIC 16F877 » Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Témouchent, Institut de Technologie, Département de Génie Electrique. 2017

[48] : <https://www.silabs.com/products/development-tools/software/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers> accédé le 20/06/2019

[49] : **Achour Raouf** et **Makhloufi Naima** « Authentification dans l'IOT » mémoire de master recherche en informatique option réseaux et systèmes distribués, Université A.Mira, Bejaia juillet 2017.

[50] : **Zhang, Zhi-Kai, et al.** "IoT security: ongoing challenges and research opportunities." 2014 IEEE 7th international conference on service-oriented computing and applications. IEEE, 2014.

[51]:<https://www.instructables.com/id/Pulse-Oximeter-With-Much-Improved-Precision/> accede le 28/06/2019

[52] : **Yves Mergy** « Prise en main de fritzing (1) construire une maquette » University of Applied Science Potsdam 2007-2010.

[53] : **Roman, Rodrigo, Pablo Najera, and Javier Lopez.** « Securing the internet of things » *Computer* 9 (2011): 51-58.

Annexes

Annexe 1 : programme Arduino pour l'application de la température.

```
#include "ThingSpeak.h"
#include <WiFi.h>
WiFiClient client;

char ssid[] = " your network SSID";
char pass[] = "your network password";
int status = WL_IDLE_STATUS;
unsigned long myChannelNumber = 792764;
const char * myWriteAPIKey = "RC1VUWTZB4JXUAUP";
const int analogIn = A0;
int RawValue= 0;
double Voltage = 0;
double tempC = 0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);
  WiFi.setSleep(false);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    ThingSpeak.begin(client);
  }
  Serial.print("connected");
}
void loop() {
  delay(2000);
```

```
float t =0;
RawValue = analogRead(analogIn);
Voltage = (RawValue / 2048.0) * 3300;
t = Voltage * 0.1;
ThingSpeak.setField(1,t);
ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

Serial.print("Raw Value = " );
Serial.print(RawValue);
Serial.print("Temperature:");
Serial.print(t);
Serial.println(" C");
Serial.println("%. Send to Thingspeak.");
delay(20000);
}
```

Annexe 2 : programme arduino pour l'application de la fréquence cardiaque et l'oxymétrie de pouls.

```
#include "ThingSpeak.h"
#include <WiFi.h>
#include "MAX30105.h"

#include "heartRate.h"
WiFiClient client;

char ssid[] = "your network SSID";
char pass[] = " your network password";
int status = WL_IDLE_STATUS;
unsigned long myChannelNumber = 805671;
const char * myWriteAPIKey = "V9B313HPM33P3TDB";
MAX30105 particleSensor;
const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE];
```

Annexes

```
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0;

float beatsPerMinute;
int beatAvg;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);
  WiFi.setSleep(false);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    ThingSpeak.begin(client);
  }
  Serial.print("connected");

  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST))
  {
    Serial.println("MAX30102 was not found. Please check wiring/power. ");
    while (1);
  }
  Serial.println("Place your index finger on the sensor with steady pressure.");

  particleSensor.setup();
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0);
}
void loop()
{
```

Annexes

```
long irValue = particleSensor.getIR();

if (checkForBeat(irValue) == true)
{
//We sensed a beat!
long delta = millis() - lastBeat;
lastBeat = millis();

beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);

if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
{
rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute;
rateSpot %= RATE_SIZE;
beatAvg = 0;
for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
beatAvg += rates[x];
beatAvg /= RATE_SIZE;
}
}

Serial.print("IR=");
Serial.print(irValue);
Serial.print(", BPM=");
Serial.print(beatsPerMinute);
Serial.print(", Avg BPM=");
Serial.print(beatAvg);

if (irValue < 50000)
Serial.print(" No finger?");

Serial.println();
ThingSpeak.setField(1,irValue);
ThingSpeak.setField(2,beatsPerMinute);
```

Annexes

```
ThingSpeak.setField(3,beatAvg);  
ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);  
Serial.println("%. Send to Thingspeak.");  
delay(20000);  
}
```

Liste des figures

Chapitre 1 :

Figure 1-1 : Une nouvelle dimension pour l'IdO.....	6
Figure 1-2 : Evolution des réseaux informatiques vers l'IdO.....	7
Figure 1-3 : Le développement de l'Internet des objets vu par Cisco en 2011.....	8
Figure 1-4 : L'architecture cinq couches.....	11
Figure 1-5 : Les étiquettes RFID	14
Figure 1-6 : Architecture de communication d'un réseau de capteur sans fil.....	14
Figure 1-7 : Technologies fondatrices de l'Internet des objets.....	15
Figure 1-8 : L'Internet des objets et la création d'espaces intelligents.....	18
Figure 1-9 : L'IOT dans le domaine de la santé	19
Figure 1-10 : L'IOT dans le domaine d'éducation	20
Figure 1-11 : L'IOT dans le domaine de l'industrie	21

Chapitre 2 :

Figure 2-1 : collecte de données.....	27
Figure2-2 : Deux générations d'objets connectés.....	27
Figure 2-3 : Quelques exemples d'objets connecter.....	28
Figure2-4 : Mode d'opération des IoT.....	29
Figure 2-5 : Cycle de vie de l'objet.....	30
Figure 2-6 : Infrastructure réseau communément mise en œuvre pour les objets connectés.....	34
Figure 2-7 : Format d'une adresse IPv6.....	36
Figure 2-8 : Pourcentage des connexions aux serveurs de Google s'effectuant en IPv6.....	38
Figure 2-9 : Comparaison entre M2M et IoT.....	42

Liste des figures

Chapitre 3 :

Figure 3-1 : Organisation de la e-santé.....	46
Figure 3-2 : Les principales applications en télémédecine.....	52
Figure 3-3 : architecture de l'écosystème e-health Iot.....	57
Figure 3-4 : architecture du couche fog	59
Figure 3-5 : architectur des couches de e-health Cloud	62

Chapitre 4 :

Figure 4-1 : présentation de l'EDI.....	68
Figure 4-2 : Le Terminal Serie	68
Figure 4-3 : Plateforme ThingSpeak	69
Figure 4-4 : crée une Chaîne sur ThingSpeak étape 1	71
Figure 4-5 : crée une Chaîne sur ThingSpeak étape 2	72
Figure 4-6 : schéma fonctionnel d'un capteur	73
Figure 4-7 : capteur LM 35.....	74
Figure 4-8 : module wifi ESP 32	75
Figure 4-9 : Max 30102.....	77
Figure 4-10 : Schéma électrique du montage réaliser sur Fritzing.....	78
Figure 4-11 : configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 1	79
Figure 4-12 : configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 2	79
Figure 4-13 : configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 3	80
Figure 4-14 : configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 4	80

Liste des figures

Figure 4-15 : configuration de l'IDE arduino pour esp 32 étape 5	81
Figure 4-16 : ESP32 DEVKITV1.....	81
Figure 4-17 : Choix du module esp 32.....	82
Figure 4-18 : Téléversement du programme.....	83
Figure 4-19 : Brochage de LM35 et l'alimentation de l'esp 32.....	84
Figure 4-20 : branchement du MAX30102 avec l'ESP32	85
Figure 4-21 : les résultats affichés sur ThingSpeak	85
Figure 4-22 : les résultats affichés sur le moniteur série	86

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : schématisation de différents actes de télémédecine	52
Tableau 4-1 : Caractéristiques du capteur LM35	74
Tableau 4-2 : différence entre ESP 8266 et ESP 32	76

Liste des abréviations

A

AMQP **A**dvanced **M**essage **Q**ueuing **P**rotocol

API **A**pplication **P**rogramming **I**nterface

ARP **A**ddress **R**esolution **P**rotocol

B

BLE **B**luetooth

BPM **B**attement **P**ar **M**inute

C

CoAP **C**onstrained **A**pplication **P**rotocol

D

DMP **D**ossier **M**édical **P**artagé

DSE **D**ossiers de **S**anté **E**lectroniques

DVD **D**igital **V**ersatile **D**isc

E

ECG **E**lectrocardiogramme

EDGE **E**nhanced **D**ata **R**ates for **G**SM **E**volution

EDI **E**space de **D**éveloppement **I**ntégré

EKG **E**lectrocardiography

ETSI **E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute

F

FCA **F**ournisseurs de **C**ontenus et d'**A**pplications.

G

GPIO **G**eneral **P**urpose **I**nput/**O**utput

H

HTTP **H**yper**T**ext **T**ransfer **P**rotocol

I

IBM **I**nternational **B**usiness **M**achine corporation

Liste des abréviations

IBSG	I nternet B usiness S olution G roup
IDC	I nternational D ata C orporation
IDO	I nternet D es O bjets
IEC	I nternational E lectrotechnical C ommission
IEEE	I nstitute of E lectrical and E lectronics E ngineers
IETF	I nternet E ngineering T ask F orce
IIoT	I ndustry I nternet O f T hing
IOE	I nternet O f E verything
IOT	I nternet O f T hing
IP	I nternet P rotocol
IP sec	I nternet P rotocol S écurité
IPv4	I nternet P rotocol V ersion 4
IPv6	I nternet P rotocol V ersion 6
IrDA	I nfrared D ata A ssociation
ISBG	I nternet B usiness S olutions G roup
I2C (IIC)	I nter I ntegrated C ircuit
L	
LTE	L ong T erm E volution
M	
MCU	M ultipoint C ontrol U nit
MIT	M assachusetts I nstitute of T echnology
MQTT	M essage Q ueue T elemetry T ransport
MTC	M achine T ype C ommunication
M2M	M achine T o M achine
N	
NAT	N etwork A ddress T ranslation
NDP	N eighbor D iscovery P rotocol
NFC	N ear F ield C ommunication
O	
OMS	O rganisation M ondiale de la S anté
OSI	O pen S ystems I nterconnection

Liste des abréviations

P

PAN **P**ersonal **A**rea **N**etwork

PC **P**ersonal **C**omputer

PWM **P**ulse **W**idth **M**odulation

Q

QOS **Q**uality **O**f **S**ervice

R

RCP **R**eanimation **C**ardio **P**ulmonaire

RCSF **R**éseaux de **C**apteurs **S**ans **F**il

RF **R**adio **F**requency

RFID **R**adio **F**requency **I**Dentification

RPL **R**outing **P**rotocol for **L**ow power and **L**ossy **N**etworks

S

SEND **S**ecure **N**eighbor **D**iscovery **P**rotocol

SIH **S**ystèmes d'Informations **H**ospitaliers

SIS **S**ystèmes d'Informations de **S**anté

SMS **S**hort **M**essage **S**ervice

SOAP **S**imple **O**bject **A**ccess **P**rotocol

T

TCP/IP **T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol / **I**nternet **P**rotocol

TIC **T**echnologies de l'Information et de la **C**ommunication

U

UART **U**niversal **A**synchronous **R**eceiver **T**ransmitter

UDP **U**ser **D**atagram **P**rotocol

URI **U**niform **R**esource **I**dentifier

URL **U**niform **R**esource **L**ocator

USB **U**niversal **S**erial **B**us

W

WiFi **W**ireless **F**idelity

WLAN **W**ireless **L**ocal **A**rea **N**etwork

Liste des abréviations

WOT	Web Of Things
WSN	Wireless sensor networks
W3C	World WideWeb Consortium
X	
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol
6loWPan IPv6	6 LoW Power Wireless Area Networks
3G	Third Generations
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
2D	Bidimensionnelle
3D	Tridimensionnel

Résumé

Au cours des dernières années, une nouvelle technologie a été remarquée dans le domaine de l'électronique et des réseaux informatiques, elle nous donne la possibilité de faire des systèmes qui sont connectés à des réseaux informatiques. Cette technologie est l'internet des objets (IoT). Une des applications de l'IoT est la télémédecine ou le développement d'applications et services de ce domaine sont devenus un enjeu majeur dans le monde des communications sans fil. L'ensemble de ces services touchera à court terme le vieillissement de la population et les personnes exposées à des risques d'accident dans leur vie quotidienne ou de dégradation de leur état de santé. Le concept de l'Internet des objets (IoT) est examiné dans ce projet, notre objectif est de faire la conception et la réalisation d'un prototype dans le domaine de la télémédecine basée sur l'IoT et destinée aux patients cardiaque.

Mots clés

Internet des objets, objet connecté, télémédecine, capteur, ESP 32.

Abstract

In recent years, a new technology has been noticed in the field of electronics and computer networks, it gives us the opportunity to make systems that are connected to computer networks. This technology is the Internet of Things (IoT). The telemedicine is one of its applications where the development of its applications and services has become a major issue in the world of wireless communications. All these services will affect the ageing of the population and people at risk of accidents in their daily lives or deterioration in their health status in the short term. The concept of the Internet of Things (IoT) is examined in this project, our objective is to design and build a prototype in the field of IoT-based telemedicine for heart patients.

Keywords

Internet of things, connected object, telemedicine, Sensor, ESP 32.

ملخص

في السنوات الاخيرة لوحظ بروز تكنولوجيا جديدة في مجال الالكترونيات و شبكات الكمبيوتر ، تتيح لنا الفرصة لإنشاء أنظمة صلة بشبكات الكمبيوتر. هذه التكنولوجيا هي إنترنت الأشياء.من بين هذه الأنظمة خدمة التطبيق عن بعد حيث اصبح تطوير تطبيقات و خدمات التطبيق عن بعد قضية رئيسية في عالم الاتصالات اللاسلكية ستؤثر كل هذه الخدمات على المدى القصير في شيخوخة السكان والمعرضين لمخاطر الحوادث في حياتهم اليومية او تدهور حالتهم الصحية.

يتم فحص مفهوم انترنت الاشياء في هذا المشروع، و هدفنا هو تصميم و بناء نموذج اولي في مجال التطبيق عن بعد القائم على انترنت الاشياء لمرضى القلب.

الكلمات المفتاحية

انترنت الاشياء، الطب عن بعد، شي متصل ،حساس، ESP 32