

CHAPITRE 1

LES OBJETS CONNECTÉS : MONDE DE DIVERSITÉ

Nous allons expliquer tout au long de ce chapitre, les notions clés de «l’Internet des objets ». Nous allons commencer par un bref historique, qui nous permettra de bien comprendre la diversité de ces objets. Nous allons ensuite définir les concepts relatifs aux objets connectés. Enfin, nous procéderons à une analyse de sécurité de quelques-uns des protocoles de communication les plus utilisés dans ce domaine.

1.1 UN BREF HISTORIQUE

Dans cette section nous allons présenter un bref historique de la création des objets connectés, de leurs protocoles ainsi que de leur utilisation. Cet historique nous permettra par la suite de mieux appréhender l’univers des objets connectés et ainsi pouvoir en donner une définition claire.

Selon un article de Cisco (Evans, 2011), le concept d’objet connecté a été introduit par un groupe de recherche appelé « Auto-ID » vers les années 2000. Le concept mit un peu de temps avant de se développer. Ce groupe travaillait principalement sur les objets contenant des puces d’identification par radiofréquence, plus communément appelée « RFID ». Ces puces permettent de transporter un « tag » qui peut correspondre à un identifiant. Cela a été très utile pour les industries, notamment pour le transport de marchandises. En effet, grâce à cette technologie, il

est plus simple d'identifier des blocs de marchandises et de les trier automatiquement.

Cependant, les technologies ont évolué et ces objets utilisent maintenant diverses puces, qui permettent de communiquer avec divers protocoles. Ainsi, il existe aujourd'hui de nombreuses technologies de communication sans fil, toutes utilisées dans le monde de l'internet des objets. Chaque technologie possède ses propres protocoles de communication, une certaine consommation énergétique, ainsi qu'une portée différente. Certains, comme le LoraWan, permettent des communications à très longue distance (plusieurs kilomètres) à faible consommation énergétique, mais à faible débit de données. À l'opposé, le Bluetooth Low Energy (BLE) permet des communications avec de plus grands débits, aussi à faible consommations énergétique, mais à portée beaucoup plus courte (une centaine de mètres environ).

Aujourd'hui, les objets connectés se sont énormément diversifiés et englobent ainsi tous les objets, autres que les PC et les serveurs traditionnels, ayant une connection directe ou indirecte au réseau Internet. On inclut aussi tous les objets pouvant se contrôler à distance, sans forcément utiliser Internet. Par exemple, une usine peut utiliser des machines contrôlées par des opérateurs à distance, dans une salle de contrôle. Ici, l'objet n'est pas relié au réseau Internet, mais est manipulable à distance.

L'intérêt pour ces objets a énormément grandi au cours des dernières années. En effet, comme le montre un article de « IoT Analytics » (Lueth, 2018), le nombre d'objets connectés est passé de 3.8 milliards en 2015 à environ 7 milliards en 2018. De plus, comme le montre la figure 1.1, issue du même rapport, en 2018 les analystes prévoient une augmentation annuelle de 17% du nombre d'objets connectés, jusqu'en 2025. On peut aussi y voir une diversité dans les technologies utilisées, avec une dominance des objets contrôlés dans un réseau sans fil personnel. Ces derniers sont majoritairement utilisés en domotique.

En observant la Figure 1.2, représentant l'évolution de l'intérêt pour les recherches concernant

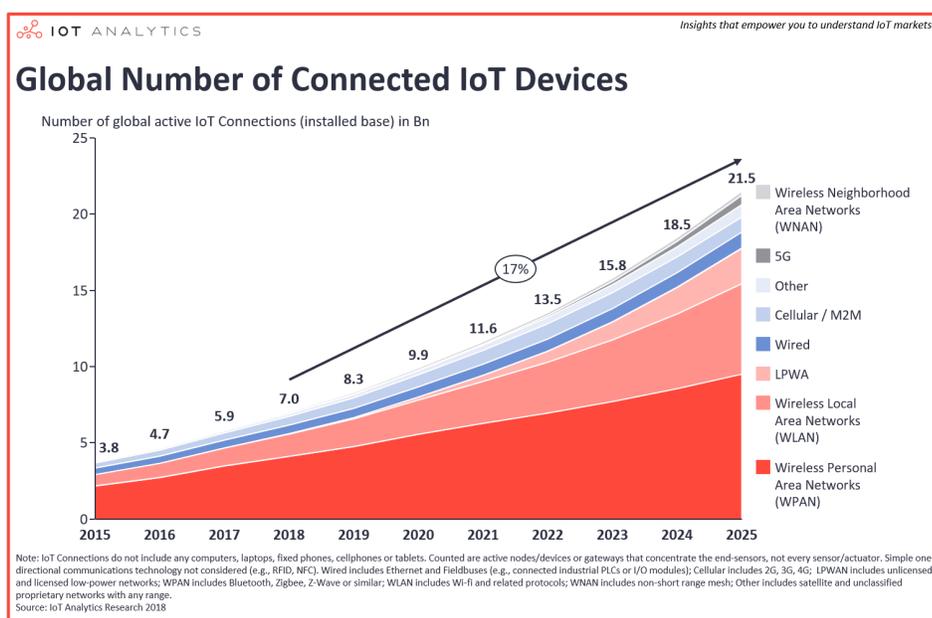


Figure 1.1 – Prévisions de l'évolution du nombre d'objets connectés sur dix ans (Lueth, 2018)

les objets connectés, on s'aperçoit que celui-ci augmente fortement à partir de 2014. On observe un phénomène similaire pour les recherches liées aux maisons intelligentes ou «smart homes». Cet intérêt pourrait s'expliquer par une amélioration suffisante des technologies afin de permettre une production plus importante d'objets connectés à coûts toujours plus faibles. Ainsi, le nombre d'applications possibles s'est fortement diversifié. Au départ, les applications étaient majoritairement tournées vers l'industrie, afin de faciliter les contrôles et transports de marchandises. Aujourd'hui, on retrouve des applications dans de nombreux domaines, comme l'agriculture, la santé, la domotique et la gestion de l'énergie.

1.2 LES DIFFÉRENTS TYPES D'OBJETS CONNECTÉS

Nous venons d'observer que le monde des objets connectés est extrêmement diversifié et hétérogène. On trouve ainsi des objets avec une faible puissance de calcul et d'autres au contraire qui possèdent un système d'exploitation complet, basé sur Linux. De ce fait, les problématiques

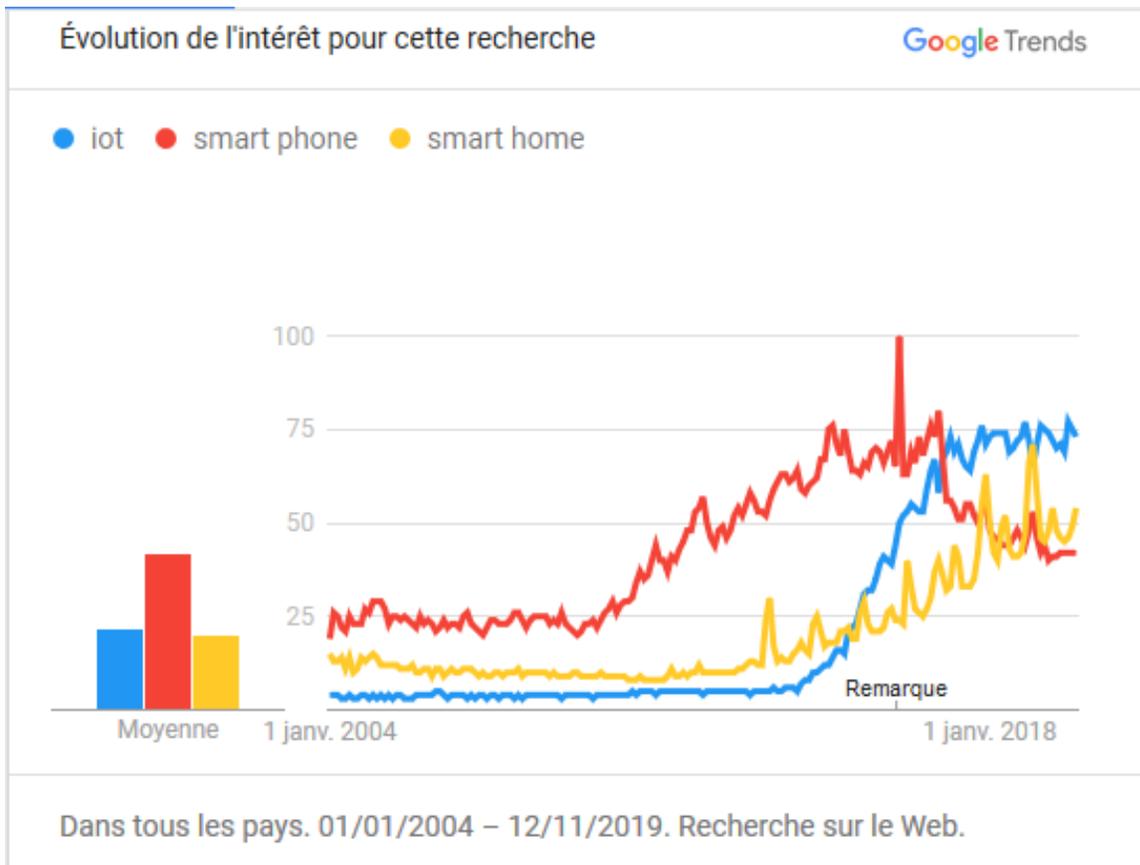


Figure 1.2 – Évolution de l'intérêt pour les objets connectés

pour ces objets peuvent être différentes et nous devons maintenant définir correctement chaque type d'objet et leurs contraintes.

1.2.1 L'ARCHITECTURE GÉNÉRALE D'UN SYSTÈME CONNECTÉ ET INTELLIGENT

Schmeiser (2017), définit les objets connectés selon les technologies utilisées, les services qu'ils doivent fournir, ainsi que leurs conditions d'utilisations. Ils sont définis ainsi :

Définition 1.1. *Les objets connectés sont des capteurs sensoriels et des acteurs (moteur etc.) utilisant des technologies de communication sans fil. Ils doivent utiliser des technologies de coopération, d'identification et de configuration distante. Ces objets doivent ainsi traiter et fournir des données sur l'environnement physique, être localisables et fournir une interface homme-machine.*

Cependant, il existe d'autres définitions comme celle de Alemdar et Ersoy (2010), qui ne parlent pas d'objets connectés mais de réseaux de capteurs sans fils.

Définition 1.2. *Un réseau de capteurs sans fils est un ensemble de capteurs et d'actionneurs communicant par un réseau sans fil (comme le Wifi, BLE etc.) afin de pouvoir récupérer des informations sur un environnement physique distant.*

On remarque que cette définition est très proche de la définition de Schmeiser (2017), et que le côté non filaire est très important. Stojkoska et Trivodaliev (2017) ont décrit les défis pour les maisons intelligentes et comment les objets connectés peuvent apporter des réponses. Ici les objets connectés sont décrits comme des objets intelligents permettant de contrôler divers équipements d'une maison, comme le chauffage ou les lumières. De cet article, nous pouvons donner la définition suivante :

Définition 1.3. *Les IoT sont une interconnexion de capteurs et d'effecteurs ayant la capacité de partager des informations au travers de plateformes logicielles communes, afin de nourrir des*

algorithmes d'analyse de données pour permettre de développer de nouvelles applications. Ces interconnexions se font souvent à l'aide de technologies de communication sans fil (RFID, WIFI etc).

De l'ensemble de ces définitions, on observe divers éléments importants : la notion de capteurs et d'effecteurs, la notion de communication et de partage de l'information, la notion de distance, de contrôle et de traitement. Le but des objets connectés est de fournir un service, ou une application exploitable par un humain. Ainsi, les interfaces personnes machines sont un élément principal des objets connectés, car elles permettent à l'humain de bénéficier du service rendu par les objets, et permettent de contrôler ces derniers. Dans ce document, nous généralisons la notion d'objets connectés afin d'englober des systèmes plus larges. Nous définissons les objets connectés et les systèmes intelligents ainsi :

Définition 1.4. *L'ensemble des objets connectés (ou IoT) correspond à l'ensemble des objets physiques et logiciels, capables d'interagir directement ou indirectement avec le monde physique, dont les commandes et résultats de ces interactions avec le monde physique doivent être gérés par des systèmes distants numériques.*

Définition 1.5. *Les systèmes intelligents sont des sous-ensembles d'objets connectés organisés et travaillant en synergie afin de fournir un service ou un ensemble de services définis.*

Ainsi, un système intelligent et connecté utilisera et orchestrera plusieurs objets connectés, tels que des capteurs, effecteurs et interface personnes-machine afin de fournir un service. Nous pouvons résumer l'architecture d'un tel système avec la figure 1.3.

Sur cette architecture, nous pouvons constater trois grandes composantes des systèmes intelligents connectés : les capteurs et effecteurs, les concentrateurs et les interfaces hommes-machines (IHM). La première partie contient, comme son nom l'indique, les capteurs et effecteurs qui interagissent directement sur le monde physique, en mesurant une caractéristique physique

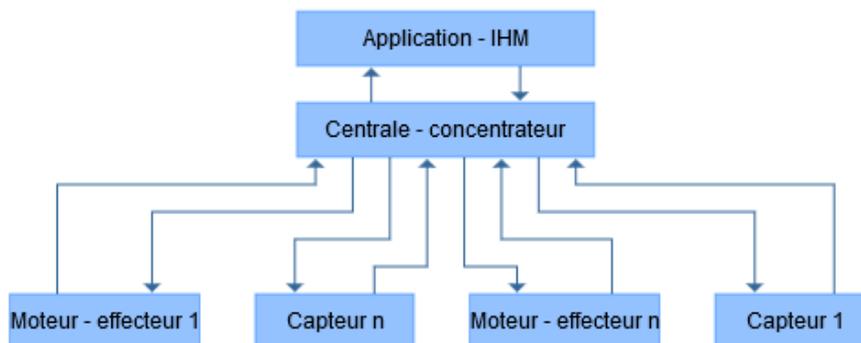


Figure 1.3 – Architecture des objets connectés

(capteur de température) ou en la modifiant (chauffage). La seconde partie contient les objets permettant de récolter et concentrer les données de plusieurs capteurs et effecteurs. C'est aussi cette partie qui comprendra les fonctions de décision et de contrôle des effecteurs.

Enfin, la troisième partie comprend les interfaces de commande qui sont des composants souvent logiciels (et rarement matériels). Ils permettent à l'utilisateur de surveiller le bon fonctionnement de ses objets et de contrôler si besoin les objets directement. C'est aussi via ces interfaces que l'utilisateur pourra changer certains paramètres du système, en indiquant une nouvelle valeur de température souhaitée par exemple.

En observant ce schéma, nous voyons que diverses entités possédant des objectifs et des ressources différentes vont devoir communiquer. En effet, un routeur ou une centrale domotique devra posséder plus de ressources qu'un capteur de température. Même au sein de ces trois familles, divers protocoles et méthodes existent.

Il est à noter qu'aucune de ces trois parties ne doit absolument être connectée à Internet. En effet, il est possible d'avoir des systèmes accessibles et manipulables uniquement depuis le réseau local.

1.2.2 LES SYSTÈMES AUTONOMES

Il existe des systèmes composés de plusieurs objets connectés, formant une entité autonome. C'est le cas par exemple des maisons connectées. Ici, nous définissons une maison connectée comme un habitat, contenant des objets connectés et travaillant en synergie afin de maximiser le confort de ses habitants. Nous appelons ce genre d'habitat des maisons intelligentes ou maisons autonomes (ou « Smart Home » ou « Home Automation » en anglais) (Bharathi *et al.*, 2017).

Dans cet exemple, le système de gestion de la maison permet de modifier divers aspects de l'environnement en fonction des données mesurées par ses capteurs. Par exemple, le système mettra en route le chauffage automatiquement s'il détecte une baisse de température ou il allumera une pièce quand il détectera une personne à l'intérieur.

On peut aussi définir les systèmes connectés intelligents comme un ensemble d'objets connectés entre eux et potentiellement au réseau Internet, travaillant en synergie afin de remplir une fonction ou un objectif en faisant intervenir le moins possible un être humain. Ainsi, une maison autonome est un système connecté intelligent. Les seules interventions de l'être humain, durant le fonctionnement nominal du système, seront de lui indiquer ses préférences (température ou taux d'humidité souhaités, etc.).

1.2.3 LES CAPTEURS ET EFFECTEURS

D'après notre définition, les capteurs physiques (tels que les capteurs de température ou d'humidité) renvoyant leurs mesures à un système distant sont des objets connectés. Il en va de même pour des effecteurs (tels que les moteurs de portails) commandés à distance. De plus, un système complexe, comprenant capteurs et effecteurs, peut aussi être considéré comme un objet connecté à partir du moment où un utilisateur distant est capable de recevoir les données mesurées par le

capteur ou s'il peut contrôler à distance ce système.

De manière générale, ces capteurs et effecteurs sont des objets simples, n'embarquant avec eux qu'un simple circuit pour transmettre leurs informations sur un réseau donné. Dans ces cas-là, ces objets n'utilisent pas un système d'exploitation complet comme un Linux Busybox, mais ils utilisent un microprogramme, aussi appelé «firmware». Ce dernier leur permet de faire l'ensemble des actions pour lesquels ils ont été prévus et rien d'autre. Un capteur de température connecté ne fera rien d'autre que relever périodiquement cette valeur physique, pour la transmettre à un concentrateur de données.

De plus, on remarquera que la majeure partie de ces objets possède une puissance de calcul plus faible que d'autres équipements tels que des téléphones intelligents ou des PC. Ceci est dû principalement à des contraintes énergétiques et économiques. Les constructeurs veulent que les objets soient fonctionnels et coûtent le moins cher possible à fabriquer. Les utilisateurs eux souhaitent avoir des objets autonomes énergétiquement afin de ne pas avoir à changer ou charger les batteries régulièrement. Cette faible puissance de calcul peut engendrer des problèmes de sécurité : elle rend plus difficile d'implémenter correctement des algorithmes de chiffrement fiables, souvent gourmands en énergie.

1.2.4 LES CONCENTRATEURS

Comme expliqué précédemment, les concentrateurs de données permettent de récupérer l'ensemble des informations perçues par les capteurs. Ils permettent aussi de distribuer les ordres aux effecteurs. C'est aussi cette partie qui peut contenir l'ensemble des algorithmes de décision dans le cadre d'un système intelligent. Les concentrateurs sont, par exemple, des routeurs ou des serveurs centraux. Cette partie permet de fournir un ensemble de données à une interface personne-machine, qui peut être locale ou distante.

Les objets servant de concentrateurs possèdent souvent une puissance de calcul bien supérieure aux capteurs et effecteurs. En effet, ils peuvent utiliser un système dérivé de Linux. Bien souvent, on appelle aussi ces systèmes « firmware » alors qu'ils sont bien plus lourds et complexes que ceux des capteurs et effecteurs. Enfin, ces appareils intègrent bien souvent leur propre interface de contrôle, que ce soit par SSH, Telnet ou via une application web.

1.2.5 LES INTERFACES HOMMES-MACHINES

Le dernier élément de notre architecture est le module des interfaces de commandes. Par exemple, une interface web, permettant à un utilisateur de connaître les différentes températures des pièces de sa maison et de contrôler son chauffage, est pour nous un objet ou une composante d'un objet connecté. Ici, l'interface n'agit pas directement sur le monde physique, elle permet de contrôler les capteurs et effecteurs. Elle agit donc de manière indirecte sur le monde physique.

Ces interfaces peuvent être physiques ou purement logicielles. Dans le premier cas, on aura par exemple, un panneau d'administration tactile d'une maison. Celui-ci va afficher diverses données à l'utilisateur, qui pourra ensuite définir des seuils ou des comportements particuliers. Dans le cas d'une interface purement logicielle, nous pouvons avoir une application web, hébergée par le système intelligent ou sur un serveur externe. Celle-ci présentera les mêmes fonctionnalités que la version physique, mais sera en plus accessible depuis plusieurs appareils.

Ici, nous avons fait le choix de considérer une interface de commande comme un objet connecté à part entière, car elle permet de contrôler indirectement d'autres objets connectés. C'est en effet un composant logiciel permettant d'agir de manière indirecte sur le monde physique, en contrôlant d'autres composants physiques. Ainsi, d'un point de vue sécurité, cette interface doit aussi utiliser des mécanismes d'authentification, d'intégrité et de confidentialité. En effet, si une entité malveillante est capable de prendre le contrôle d'une interface, d'écouter ses