

L'internet des objets

Source: <https://www.maxicours.com/se/cours/l-internet-des-objets/>

Objectifs

- Comprendre ce qu'est l'internet des objets.
- Connaître les architectures de communication utilisées pour faire communiquer les objets connectés.
- Connaître les technologies liées aux objets connectés.

Points clés

- L'internet des objets forme un écosystème informatique composé d'objets connectés et de serveurs informatiques, qui communiquent à travers le réseau internet.
- Deux architectures de communication sont principalement utilisées :
 - objet-à-IHM : un utilisateur interagit avec un objet grâce à une IHM ;
 - objet-à-objet : les objets forment un réseau d'objets qui fonctionne sans intervention humaine.
- Les communications passent par un serveur qui fait l'intermédiaire entre deux objets ou entre un objet et une IHM.
- Un échange de données est modélisé par un diagramme SysML de séquence.
- Pour créer un objet connecté, il faut choisir :
 - une unité de traitement : microcontrôleur ou microprocesseur ;
 - un type d'IHM : native ou web ;
 - un serveur : serveur linux dans le cloud ;
 - un moyen d'accès à internet : réseau cellulaire, réseau IoT ou LAN.

Pour bien comprendre

- Le fonctionnement d'internet
- Le modèle client-serveur

*IHM signifie **interface homme-machine** et fait référence à un tableau de bord qui permet à un utilisateur de communiquer avec une machine, un programme informatique ou un système.*



CHAPITRE 1

Principe et intérêts des objets connectés

a. Évolution d'internet

Le développement d'internet a connu plusieurs étapes.

- ⊕ **Années 1960 à 1990** : Des années 1960 au début des années 1990, internet connaît un usage limité (universités, science, armée, etc.).

C'est durant cette période que la plupart des technologies de base sont créées, comme les protocoles IP et TCP.

- ⊕ **Années 1990** : Dans les années 1990, l'usage d'internet se démocratise, notamment grâce au web et au mail. Des réseaux filaires sont déployés dans de nombreux pays.
- ⊕ **Années 2000** : Dans les années 2000, internet voit l'émergence des réseaux sociaux et devient un vrai support d'échange de contenu multimédia (vidéo, musique, fichiers, etc.).
- ⊕ **Années 2010** : Enfin, il y a dans les années 2010 une orientation de beaucoup de services vers les mobiles.
 - Des réseaux cellulaires hauts-débits, 3G puis 4G, sont déployés.
 - Les standards de communication sans-fil, comme le wifi et le Bluetooth, sont généralisés et améliorés.
 - En parallèle, le développement du big data et de l'IA (intelligence artificielle) permettent de traiter les énormes quantités de données générées par un mode de vie de plus en plus connecté.

C'est dans ce contexte que l'internet des objets est apparu et continue son développement aujourd'hui.

Remarque : Certains objets connectés sont apparus avant 2010, mais leur usage est resté assez limité.



Années 2020 : L'internet des objets devrait poursuivre son développement dans les années 2020. Il devrait s'appuyer sur le déploiement des nouveaux réseaux cellulaires 5G et sur les dernières avancées de l'IA pour atteindre de plus en plus d'objets du quotidien.

b. Principe



L'internet des objets forme un **écosystème informatique** composé d'objets connectés et de serveurs informatiques, qui communiquent à travers le réseau internet.



L'internet des objets est nommé **IoT**, *Internet of Things* en anglais.

Ecosystème informatique : Ensemble intégré du [matériel](#) et des ressources [logicielles](#) d'une organisation, considérés notamment du point de vue de leur complémentarité et de leur [interopérabilité](#).

Un objet connecté est généralement un objet traditionnel (voiture, électroménager, thermomètre, etc.) auquel on va ajouter la capacité de se connecter à internet. La plupart du temps, la connexion se fait par réseau cellulaire ou par l'intermédiaire d'une box internet.

Une fois connecté à internet, l'objet peut :

- transmettre des données à un utilisateur ;
- recevoir des ordres d'un utilisateur ;
- entrer, de manière autonome, en contact avec d'autres objets pour stocker ses données ou s'échanger des informations.

c. Intérêt et innovation

En plus des **innovations technologiques** nécessaires au développement des objets connectés, l'internet des objets apporte de nombreuses **innovations d'usage**. De nouvelles manières d'utiliser les objets et de nouveaux services apparaissent, impossible à produire avec des objets classiques.

Remarques

- Une innovation technologique est une innovation liée au progrès des technologies utilisées pour réaliser un produit.
- Une innovation d'usage est une innovation liée à la manière d'utiliser un produit.

Voici quelques exemples de nouveaux usages.



Les objets connectés peuvent être consultés et commandés à distance.

Exemple

Un vivarium connecté permet de nourrir des animaux lorsqu'on est en vacances.



Les objets connectés peuvent stocker leurs données en ligne pour éviter qu'elle ne soit perdues en cas de destruction.

Exemple

Un système de vidéo protection qui stocke ses vidéos et données en ligne. Si il est détruit par un voleur, les preuves sont intactes.



Les objets gèrent leur maintenance, leur mise-à-jour et proposent un diagnostic à distance.

Exemple

Un lave-vaisselle connecté avec auto-diagnostic permet d'éviter le déplacement d'un technicien pour déterminer les raisons de certaines défaillances. Les pièces de rechange pour la réparation peuvent être automatiquement commandées et une demande de rendez-vous peut être envoyée.



Les objets peuvent initier une communication avec un autre humain, si son utilisateur n'est pas en mesure de le faire.

Exemple

Une voiture connectée peut détecter si elle a un accident et alerter les secours.



Les objets peuvent devenir autonomes et communiquer ensemble sans intervention humaine.

Exemple

Un système d'arrosage du jardin connecté peut communiquer avec une station météo connectée pour savoir s'il est judicieux d'arroser aujourd'hui.

Source: <https://www.maxicours.com/se/cours/l-internet-des-objets/>



CHAPITRE 2

Le fonctionnement des objets connectés

a. Rappel - Modèle client-serveur

Quand deux systèmes informatiques (ordinateurs, smartphones, serveur, etc.) communiquent selon le modèle de communication client-serveur, on trouve un système nommé **client** et un système nommé **serveur**.

Client et serveur n'ont pas le même rôle.



Le rôle du client : Le client envoie ce qu'on appelle des requêtes au serveur. Une requête sert à demander des données, des fichiers, l'accès à un service, etc.



Le rôle du serveur : Le serveur attend de recevoir des requêtes. Quand il reçoit une requête, il essaie de la satisfaire. Il produit pour cela une réponse qu'il envoie au client. Cette réponse contient les données, les fichiers, les services, etc., que le client a demandés.

b. Modélisation d'un échange

Un échange entre plusieurs systèmes informatiques ou personnes se représente graphiquement sous la forme d'un **diagramme SysML de séquence**.

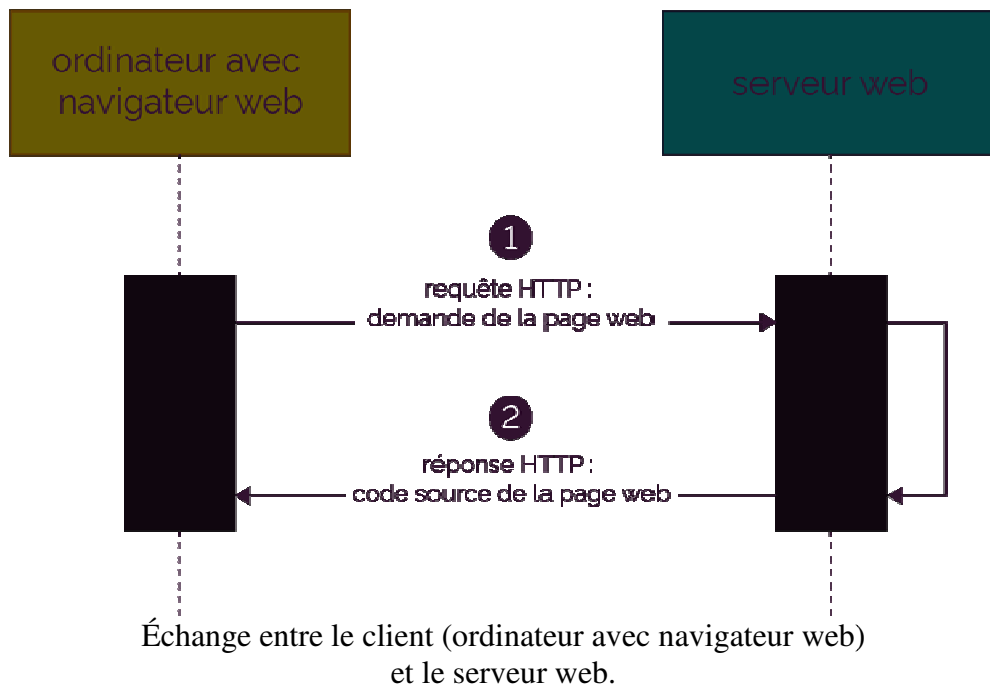
Ce diagramme comporte les éléments suivants :

- Des **étiquettes**, qui nomment les éléments communiquant.
- Des **lignes en pointillés**, qu'on nomme lignes de vie : elles représentent l'axe du temps, qui va du haut vers le bas. Elles indiquent aussi quand l'élément est actif durant la communication :
 - la ligne de vie d'un élément est vide si l'élément est inactif ;
 - la ligne de vie d'un élément est occupée par un rectangle blanc si l'élément est actif.
- Des **flèches**, qui représentent les échanges de données entre deux éléments.

Exemple

Dans le cadre d'une communication web, un client (ordinateur avec navigateur web) dialogue avec un serveur (serveur web).

Voici ci-dessous une modélisation de leur échange.

**Remarques:**

- Les flèches coudées relient deux flèches d'échanges de données. Elles indiquent que le second échange est déclenché par le premier.
- Le SysML, *System Modeling Language*, est un langage de modélisation graphique qui permet de décrire la structure, le fonctionnement et le comportement d'un produit. Il comporte plusieurs autres diagrammes, comme le diagramme des exigences ou le diagramme des cas d'utilisation.

c. Les architectures de communication des objets connectés

Deux architectures de communication sont principalement utilisées : l'architecture objet-à-IHM et l'architecture objet-à-objet.

Architecture objet-à-IHM : L'architecture de communication objet-à-IHM est utilisée par la plupart des objets connectés grand public. L'objet connecté est alors associé à une IHM, interface homme-machine.

Une IHM est un logiciel qui permet à l'utilisateur d'interagir avec un objet.

L'IHM est généralement accessible depuis un smart phone et/ou un ordinateur, connecté à internet.

Fonctionnement : L'architecture objet-à-IHM fonctionne grâce à un échange d'informations entre les trois éléments suivants :

- L'objet connecté.
- Le terminal informatique (smartphone, ordinateur, tablette, etc.).
- Un serveur informatique qui fait office d'intermédiaire entre l'objet et le terminal.

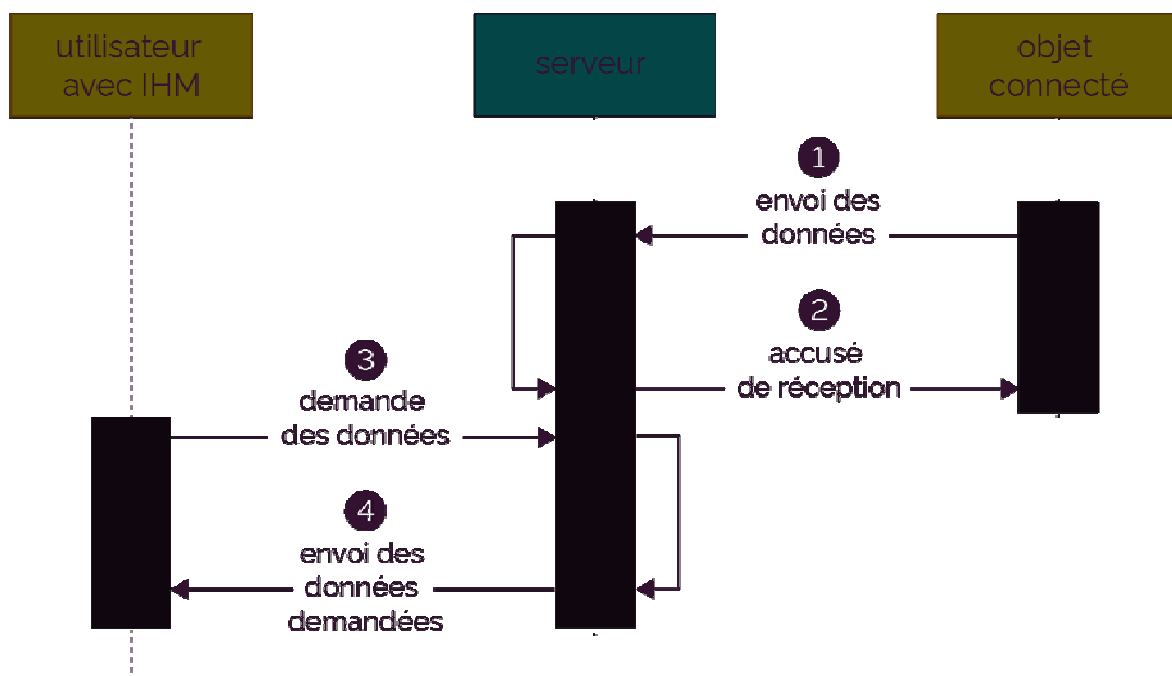
La circulation des données : Les données ne transitent jamais directement entre l'objet connecté et l'IHM.

Les données sont toujours :

1. dans un premier temps déposées sur le serveur, par l'objet ou par l'utilisateur grâce à l'IHM ;
2. puis récupérées, depuis le serveur, par l'autre élément (objet ou utilisateur et IHM).

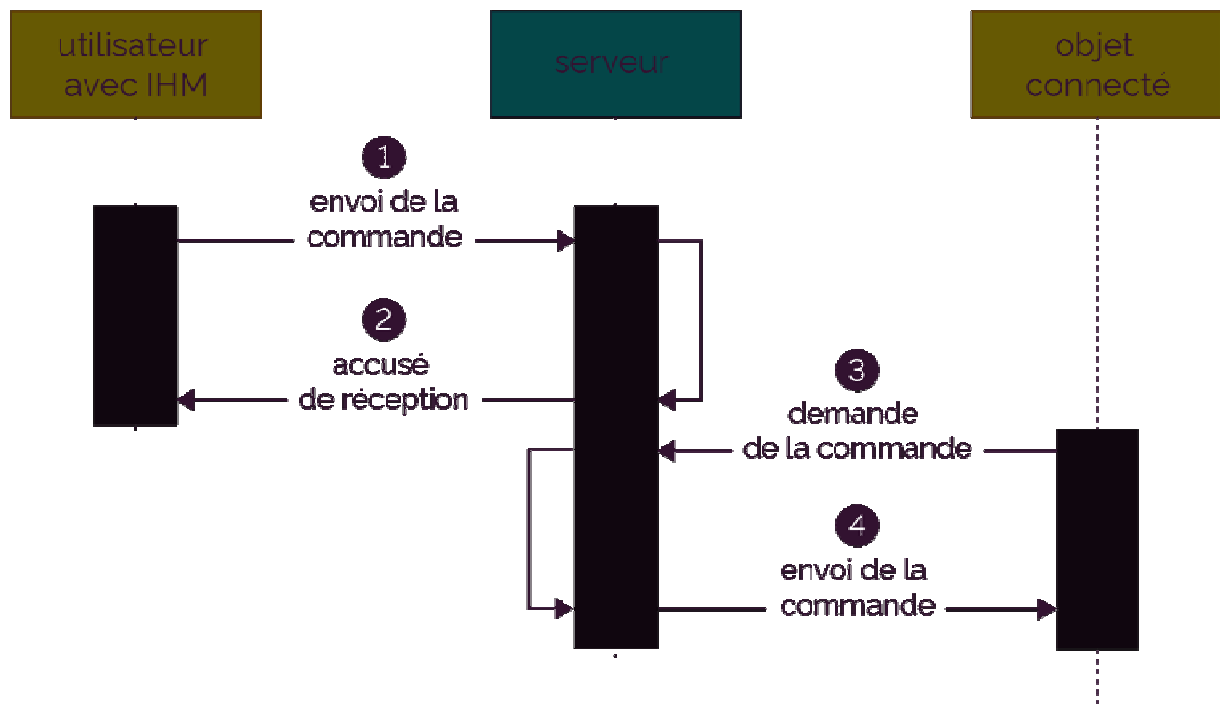
Types d'interactions entre l'objet et l'utilisateur : Habituellement, on rencontre deux types d'interactions entre l'objet et l'utilisateur.

L'utilisateur veut consulter les données de l'objet : l'objet dépose des données sur le serveur, l'IHM les récupère pour les afficher à l'utilisateur.



Scénario : « l'utilisateur consulte les données venant de l'objet »

L'utilisateur veut contrôler l'objet : l'utilisateur entre sa commande sur l'IHM, l'IHM dépose la commande sur le serveur, puis l'objet récupère la commande sur le serveur et l'exécute.



Scénario : « l'utilisateur envoie une commande à l'objet »

Remarque

Tous les échanges obéissent au modèle client-serveur.

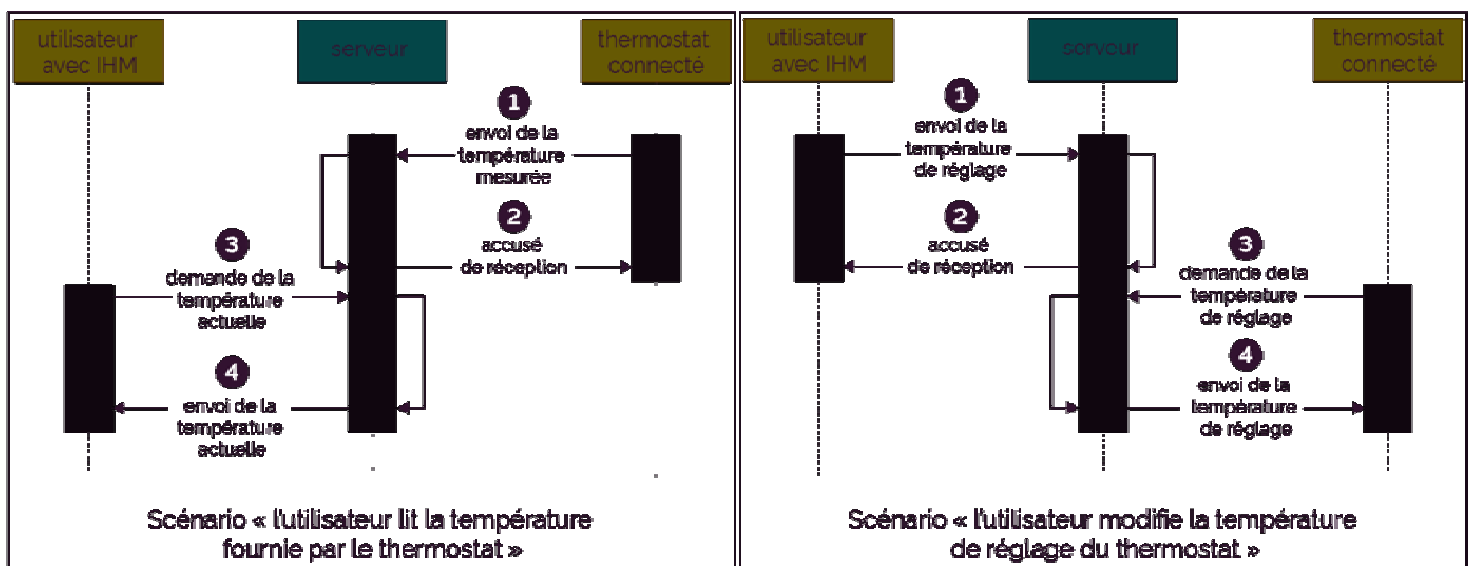
Exemple

Un thermostat connecté est un objet qui implémente l'architecture de communication objet-à-IHM. Il peut être utilisé dans les situations décrites précédemment.

Voici deux exemples de situation.

- L'utilisateur veut connaître la température mesurée par le thermostat.
- L'utilisateur veut changer la température de réglage du thermostat.

Les échanges possibles sont données par les deux diagrammes de séquence suivants.

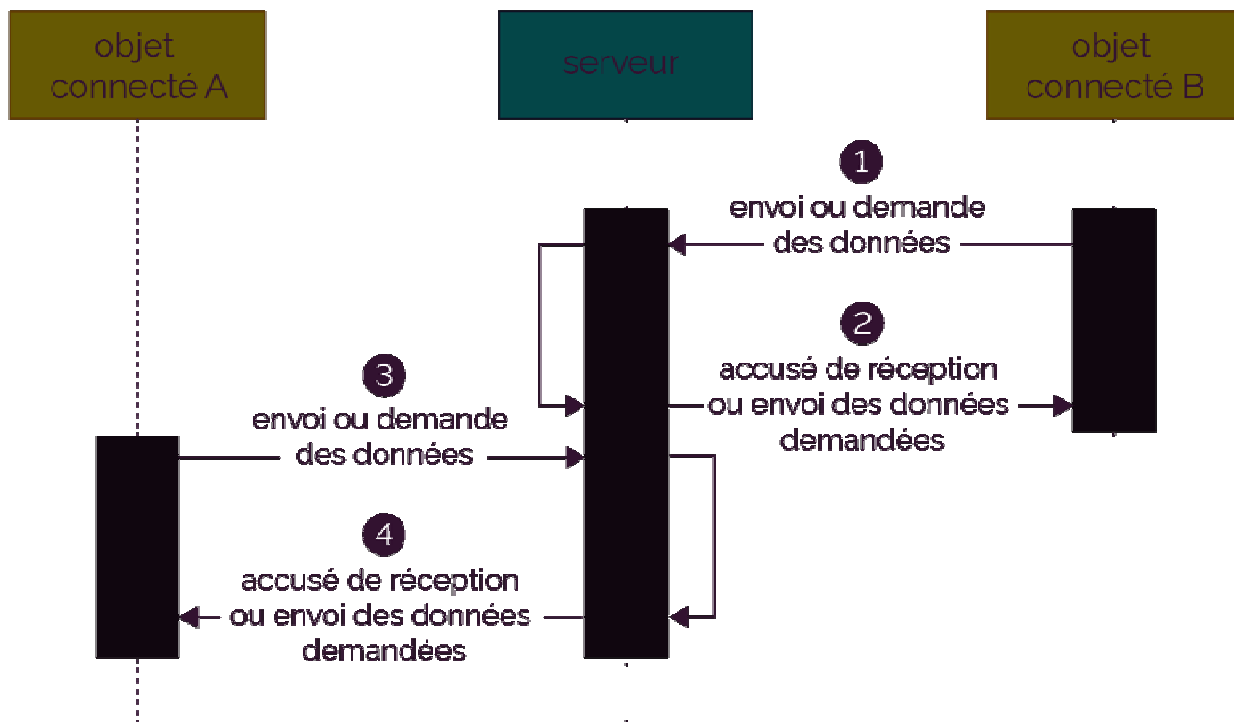


Architecture objet-à-objet

L'architecture de communication objet-à-objet représente l'autre moyen de communiquer très courant pour les objets connectés. Dans ce cas, l'objet n'interagit pas avec un utilisateur : il communique avec d'autres objets.

On se retrouve avec une communication entre au moins trois, et potentiellement un nombre très élevé, d'éléments.

- L'objet connecté.
- Un serveur informatique.
- Un ou plusieurs autres objets connectés.



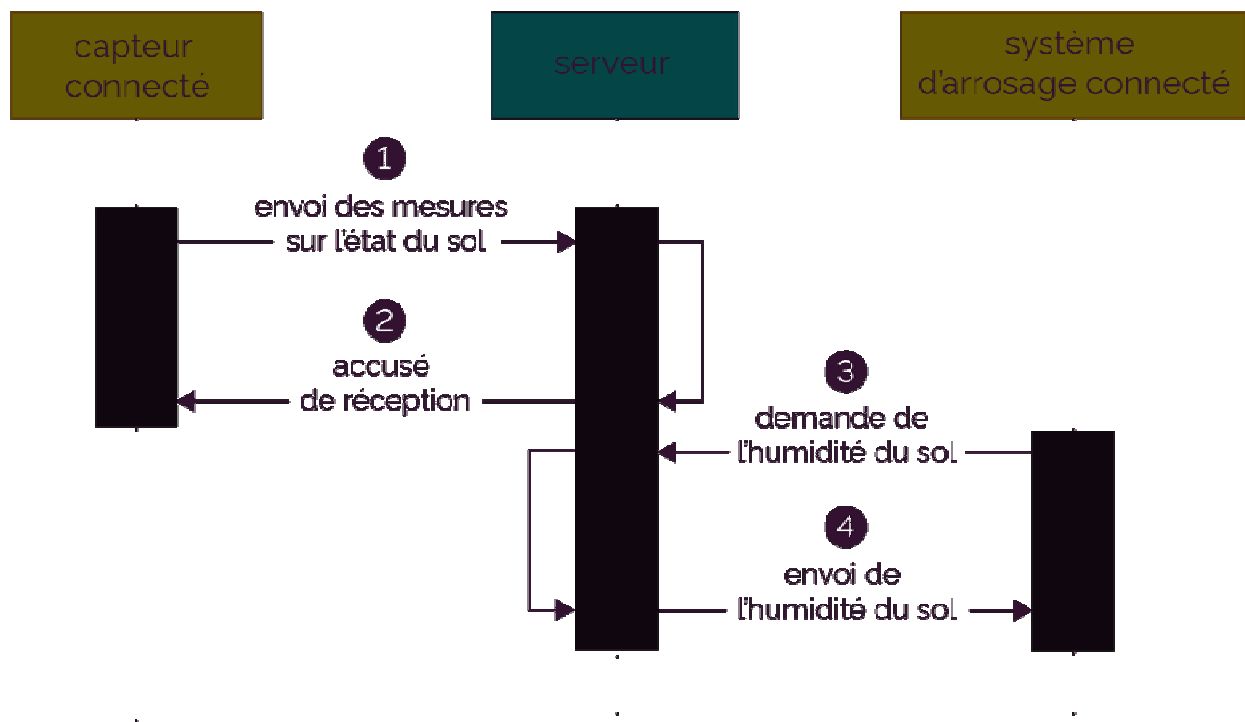
Scénario : « échange de données entre deux objets »

Remarques

- On parle de *Machine-to-Machine*, M2M, en anglais.
- Un même objet peut utiliser les deux architectures de communication (objet-à-IHM et objet).
- À l'origine, l'architecture objet-à-objet a surtout vocation à être utilisée dans le monde professionnel, mais il est maintenant possible pour les particuliers de s'en servir assez facilement. Des services comme IFTTT font le lien entre plusieurs objets.

Exemple

Dans un jardin, un capteur connecté mesure l'état du sol (humidité, richesse, température, etc.). Il transmet régulièrement ses données à son serveur. Un système d'arrosage connecté récupère les données du capteur connecté pour savoir quand il est judicieux d'arroser le jardin.



Scénario : « échange de données relatives à l'humidité du sol entre un système d'arrosage connecté et un capteur connecté »

Source: <https://www.maxicours.com/se/cours/l-internet-des-objets/>



CHAPITRE 3

Les technologies

3. Les technologies

Pour créer un objet connecté, il faut choisir une unité de traitement, un type d'IHM, un serveur et un moyen d'accès à internet.

a. L'unité de traitement utilisée pour réaliser l'objet

Un objet connecté peut être réalisé à partir d'un microcontrôleur ou à partir d'un microprocesseur, et chaque solution présente des avantages et des inconvénients.



Utilisation d'un microcontrôleur

Un microcontrôleur est une puce électronique, qui peut être programmée.

- Un objet connecté fondé sur un microcontrôleur possède une faible puissance de calcul et peut difficilement effectuer des traitements complexes (traitement d'images ou de vidéo par exemple).
- Un tel objet a en revanche l'avantage de consommer peu d'énergie, d'être fiable et d'être peu coûteux.

Remarque

Les cartes Arduino permettent de créer ce type d'objet connecté.



Utilisation d'un microprocesseur

Lorsque l'objet connecté est réalisé à partir d'un microprocesseur, on place le microprocesseur sur une carte-mère et on l'associe à quelques composants supplémentaires, notamment des mémoires. On obtient ainsi un vrai **micro-ordinateur**.

- Le système d'exploitation utilisé est en général une **distribution Linux** légère.
- Un objet connecté fondé sur un microprocesseur a une plus grande puissance de calcul et de traitement d'information.

L'inconvénient est qu'il consomme davantage d'énergie, il est moins robuste et il est plus cher.

Remarques

- Une distribution Linux est un système d'exploitation, qui utilise Linux comme noyau (le noyau est le code source de base du système d'exploitation). D'autres logiciels sont ajoutés pour compléter Linux et obtenir un système d'exploitation complet. Il existe des centaines de distributions Linux différentes, avec des spécificités particulières. Android utilise aussi le noyau Linux.
- Les Raspberry Pi permettent de créer ce type d'objet connecté.
- Il est possible de mélanger les deux composants (microcontrôleur et microprocesseur) dans un même objet connecté.

b. Le type d'IHM utilisée

L'IHM utilisée peut être une application native ou une application web.

Application native : Dans le cas de l'architecture objet-à-IHM, l'IHM peut être une application native.

Une application native est un logiciel créé pour un système d'exploitation en particulier (Android, Windows, iOS, Linux, etc.).

Le logiciel est écrit avec un langage de programmation adapté à ce système d'exploitation (Java, C++, Swift, etc.).

Une application native est très performante, fluide et puissante. En revanche, elle ne peut être utilisée qu'avec le système d'exploitation pour lequel elle a été conçue : une entreprise doit donc développer un logiciel pour chaque système d'exploitation qu'elle veut cibler, ce qui est long et coûteux.

Application web : Dans le cas de l'architecture objet-à-IHM, l'IHM utilisée peut également être une application web.

Une application web est un logiciel accessible de la même manière qu'un simple site web.

Le logiciel est développé grâce aux langages informatiques du web (HTML, CSS, Javascript, PHP, etc.).

Une application web est moins performante, fluide et puissante qu'une IHM native. En revanche, elle est utilisable par tous les utilisateurs, peu importe leur système d'exploitation : il suffit d'avoir un navigateur web.

Remarque

Il existe aussi des IHM hybrides, des langages de programmation ou des outils qui permettent de développer, au moins en partie, une IHM native pour plusieurs systèmes d'exploitation.

c. Le serveur utilisé

Les serveurs avec lesquels les objets connectés interagissent sont habituellement situés dans le **cloud** : c'est-à-dire que ce sont des serveurs en ligne, situés physiquement dans des data centers.

La plupart des serveurs sont des ordinateurs très puissants, avec comme système d'exploitation une distribution GNU/Linux orientée serveur.

Remarque

Contrairement aux ordinateurs et aux smartphones, Linux domine largement le monde des serveurs ainsi que celui des objets connectés.

d. Le moyen de connexion à internet utilisé

Un objet connecté doit avoir accès à internet, il peut pour cela utiliser différents moyens de connexions.

Remarque

Un objet peut disposer de plusieurs moyens de connexion et les utiliser alternativement ou simultanément selon ses besoins.

✚ **Réseaux cellulaires** : Cet accès internet peut être fourni à l'objet par une connexion aux réseaux cellulaires, souvent **3G** ou **4G**, et bientôt **5G**.

- ✓ Ces réseaux sont considérés, du point de vue des objets connectés, comme haut-débit. Les objets qui utilisent ce type d'accès à internet peuvent être librement déplacés, tant qu'ils restent sous la couverture du réseau.

Le désavantage est qu'il faut prendre un abonnement à l'objet.

✚ **Réseaux IoT** : Il existe aussi des réseaux IoT (*Internet of Things*), spécifiques aux objets connectés, comme **LoRa** et **SigFox**.

- ✓ Ces réseaux proposent un faible débit, mais les antennes ont une longue portée, ce qui permet d'avoir rapidement une bonne couverture à faible coût. Ils sont surtout utilisés dans le cadre de l'architecture objet-à-objet.
- ✓ Comme avec les réseaux cellulaires, les objets peuvent être librement déplacés, tant qu'ils restent sous la couverture du réseau.

Il faut en revanche également prendre un abonnement à l'objet : les abonnements sont très peu coûteux.

✚ **LAN** : Enfin, un objet peut accéder à internet par l'intermédiaire d'un LAN, *Local Area Network* : l'objet se connecte au réseau local, par **ethernet** ou **wifi**. Il se connecte souvent à une box ou à un routeur, qui lui sert de passerelle vers internet.

- ✓ Cette solution est privilégiée pour les objets connectés grand public.
- ✓ L'objet est limité à la couverture du LAN, cette solution ne nécessite cependant pas la prise d'un abonnement pour l'objet.

Source: <https://www.maxicours.com/se/cours/l-internet-des-objets/>