

Chapitre 3 : Protocoles de Communication IoT

- 1 **Rôle des protocoles de communication dans l'IoT**
- 2 **Critères de choix des protocoles de communication**
- 3 **Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP**
- 4 **Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation**
- 5 **Zigbee : architecture, avantages et applications**
- 6 **Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations**
- 7 **LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages**
- 8 **NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages**

Introduction et Objectifs du Chapitre

Comprendre les fondations et les enjeux de la communication dans l'Internet des Objets.

⚠ Les Défis de la Communication IoT



Consommation Énergétique

Autonomie requise de plusieurs mois ou années sur batterie.



Ressources Limitées

Capacités de calcul et mémoire restreintes sur microcontrôleurs.



Environnements Hétérogènes

Conditions de déploiement variées (industrie, rural, urbain).



Sécurité à Grande Échelle

Gestion et sécurité de millions de dispositifs connectés.

📋 Programme & Objectifs

- 1 Exploration du **rôle et de l'importance** des protocoles.
 - 2 Maîtrise des **critères de choix** techniques et métiers.
 - 3 Étude comparative : **MQTT, CoAP et HTTP**.
 - 4 Analyse de la **connectivité sans fil** (Wi-Fi, ZigBee, LoRa...).
- 🔧 Mise en œuvre concrète via des **Travaux Pratiques**.

- **Rôle des protocoles de communication dans l'IoT**
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Rôle et **Importance** des Protocoles de communication IoT

Le langage universel au cœur de l'écosystème connecté: Les protocoles garantissent que chaque composant d'un système connecté puisse comprendre et exploiter correctement les informations échangées.

DÉFINITION FONDAMENTALE

Un protocole est un **ensemble de règles et de conventions** qui définissent la manière dont les données sont formatées, transmises, reçues et interprétées entre différents systèmes ou dispositifs.



Capteur de Température

PROTOCOLE



Passerelle (Gateway)

PROTOCOLE



Plateforme Cloud

Les protocoles de communication IoT sont des ensembles de règles qui permettent aux objets connectés d'échanger des données entre eux et avec les systèmes de traitement (passerelles, serveurs ou plateformes cloud).



Interopérabilité

Permet la communication entre dispositifs de marques et technologies différentes.



Standardisation

Définit un format de données commun et compréhensible par tous les acteurs du réseau.



Indépendance

Abstrait les spécificités matérielles pour se concentrer sur l'échange d'informations.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Architecture en Couches de l'IoT

Structuration modulaire des échanges pour garantir l'interopérabilité.

L5**APPLICATION**

MQTT • CoAP • HTTP • LwM2M

**Couche Application**

Interface directe avec l'utilisateur et formatage des données capteurs.

L4**TRANSPORT**

TCP • UDP (Fiabilité & Flux)

**Transport & Réseau (IP)**

Acheminement des paquets et gestion de la session de bout en bout.

L3**RÉSEAU**

IPv6 • 6LoWPAN • Routage

**Accès au Médium (L1/L2)**

Gestion de la transmission radio brute et adressage physique (MAC).

L2**LIAISON DE DONNÉES**

IEEE 802.15.4 • MAC • Erreurs

L1**PHYSIQUE**

Wi-Fi • LoRa • BLE • Zigbee

Cette architecture s'inspire du modèle **TCP/IP**. L'utilisation de **6LoWPAN** (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) permet d'amener IPv6 sur des couches physiques contraintes (**802.15.4**), créant un pont entre l'objet et le cloud.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Modèles de Communication : D2D & D2C

Interactions fondamentales entre les objets et l'infrastructure.

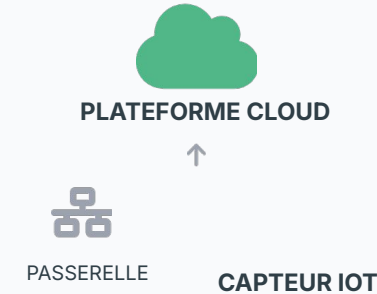
Device-to-Device (D2D)



CARACTÉRISTIQUES

- ✓ Communication directe sans intermédiaire central.
- ✓ Latence minimale et autonomie locale.
- i Exemple : Un capteur de mouvement allumant directement une ampoule.

Device-to-Cloud (D2C)



CARACTÉRISTIQUES

- ✓ Centralisation des données pour analyse massive.
- ✓ Gestion à distance et stockage historique.
- i Exemple : Un thermostat envoyant des données à une application cloud.

● D2D : Idéal pour la réactivité locale et la survie sans internet.

● D2C : Essentiel pour le Big Data, le ML et le contrôle global.

Séparation des Couches de Communication IoT

Couche réseau (transport physique)

Assure le transport des données entre les objets et le réseau.

Wi-Fi
BLE
LPWAN
(LoRa, NB-IoT)

Objet IoT

Objet IoT

Réseau

Protocole

MQTT / CoAP
HTTP

MQTT

CoAP

HTTP

Réseau

Réseau

Serveur / Cloud

CoAP
HTTP

Les technologies réseau transportent les données, les protocoles applicatifs définissent leur structure et leur échange.

« Le réseau est la route, le protocole est la langue utilisée pour communiquer. »

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- **Critères de choix des protocoles de communication**
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Critères de **Sélection** d'une technologie de communication

L'ingénierie IoT est l'art du compromis technique entre contraintes et performances.



Énergie

Autonomie sur batterie vs
Fréquence de
transmission.



Portée

Distance entre l'objet et
la passerelle (PAN, LAN,
WAN).



Débit

Volume de données : de
quelques bits à du
streaming vidéo.



Latence

Réactivité nécessaire :
Temps réel vs
Asynchrone.



Sécurité

Capacités de chiffrement
et d'authentification.

LE TRIANGLE DES COMPROMIS

Il est physiquement impossible d'optimiser
simultanément la **Portée**, le **Débit** et l'**Énergie**.

Scénario A : LPWAN

Longue portée + Faible énergie =
Très faible débit (ex: LoRaWAN)

Scénario B : Wi-Fi

Haut débit + Portée moyenne =
Consommation élevée

Scénario C : BLE

Faible énergie + Débit moyen =
Portée très courte

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

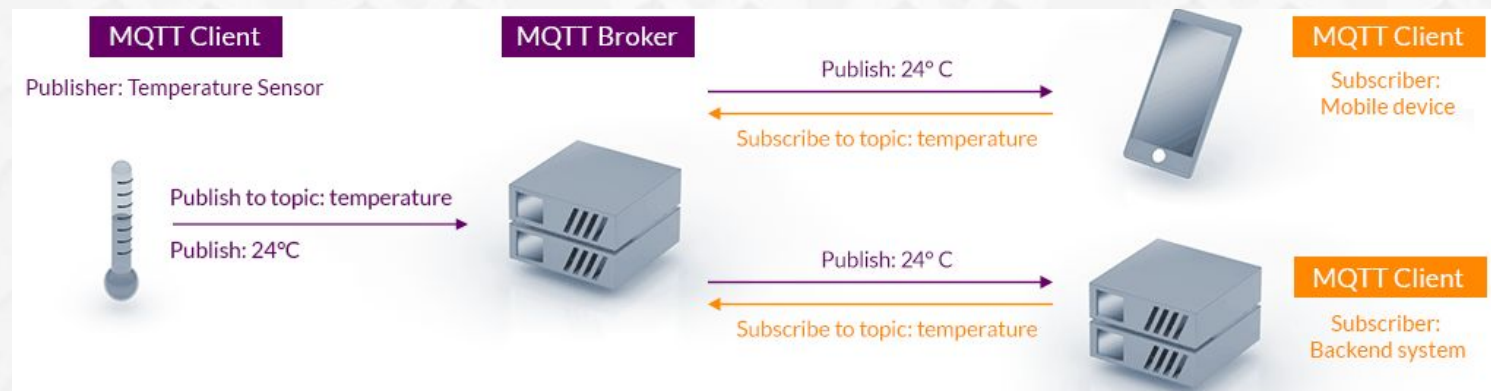
MQTT : Le Modèle Publish / Subscribe

Message Queuing Telemetry Transport - Un standard pour l'IoT

Le **Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)**: un protocole de messagerie léger, basé sur le modèle **publication/abonnement**, conçu pour faciliter la **communication entre machines** dans des environnements à **ressources limitées** ou à **bande passante restreinte**, tels que l'Internet des Objets (IoT).

S'appuie sur le protocole **TCP** (Transmission Control Protocol), offrant une communication fiable avec contrôle de flux et détection d'erreurs.

Il utilise un modèle de **publication/abonnement** où les clients publient des messages sur des **"topics"** spécifiques, et d'autres clients **s'abonnent** à ces topics pour recevoir les messages correspondants. Cette approche facilite la communication **asynchrone** entre de nombreux appareils.



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) :

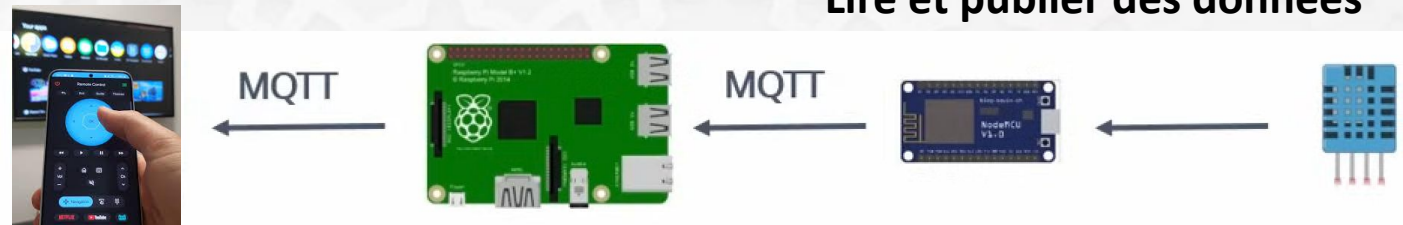
Présentation générale :

- **Protocole léger** de **couche applicative** basé sur le modèle **publish/subscribe**,
- Conçu pour les systèmes IoT et la communication machine-à-machine (M2M) pour d'établir une communication entre plusieurs appareils.
- Il est développé par IBM et Eurotech pour les **appareils constraints** (à faible puissance et ressources limitées) et pour des environnements à **faible bande passante**, débit réduit, à faible consommation d'énergie, ce qui en fait une solution idéale pour les applications **Internet des Objets (IoT)**.
- Fonctionne au-dessus du protocole TCP/IP.

Envoyer une commande pour contrôler un actionneur



Lire et publier des données



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

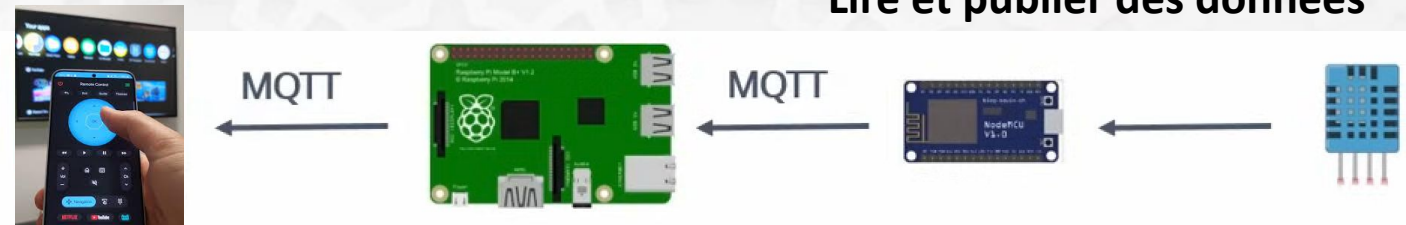
Avantages :

- **Légèreté** : MQTT est très léger, ce qui réduit la charge sur le réseau et la consommation d'énergie.
- **Simplicité d'implémentation** : Facile à intégrer dans divers logiciels et dispositifs IoT.
- **Efficacité en environnement à bande passante limitée** : Parfait pour des réseaux où le débit de données est faible et où une latence élevée est acceptable.

Envoyer une commande pour contrôler un actionneur



Lire et publier des données



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

1. Les Clients MQTT

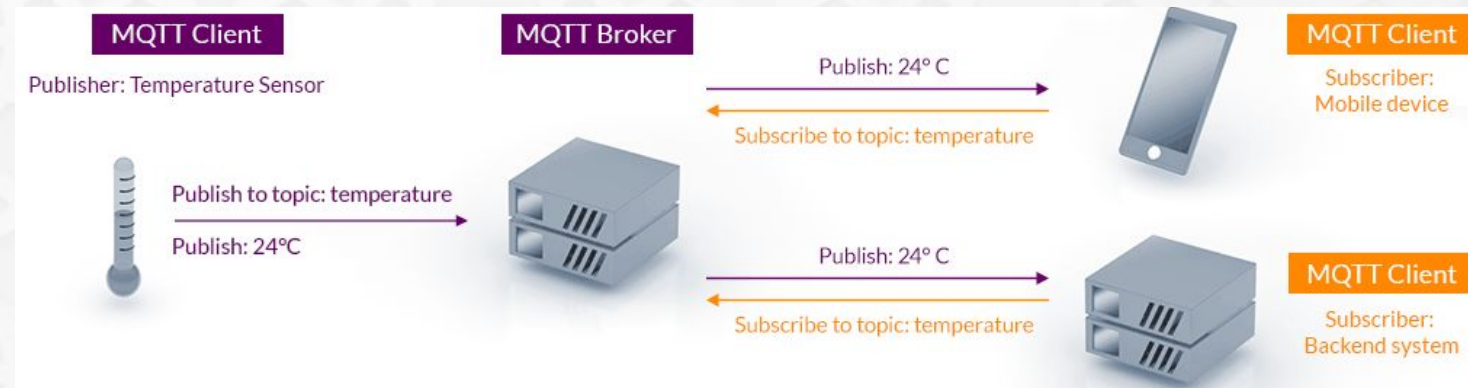
Types de clients :

Publisher/s (Éditeurs) : Publient des messages sur un ou plusieurs **Topics** (sujets).

Par exemple, un capteur de température qui publie la température relevée.

Subscriber/s (Abonnés) : S'abonnent à des **Topics** (sujets) spécifiques pour recevoir les messages correspondants.

Par exemple, un dispositif qui surveille la température en s'abonnant au topic "température".



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

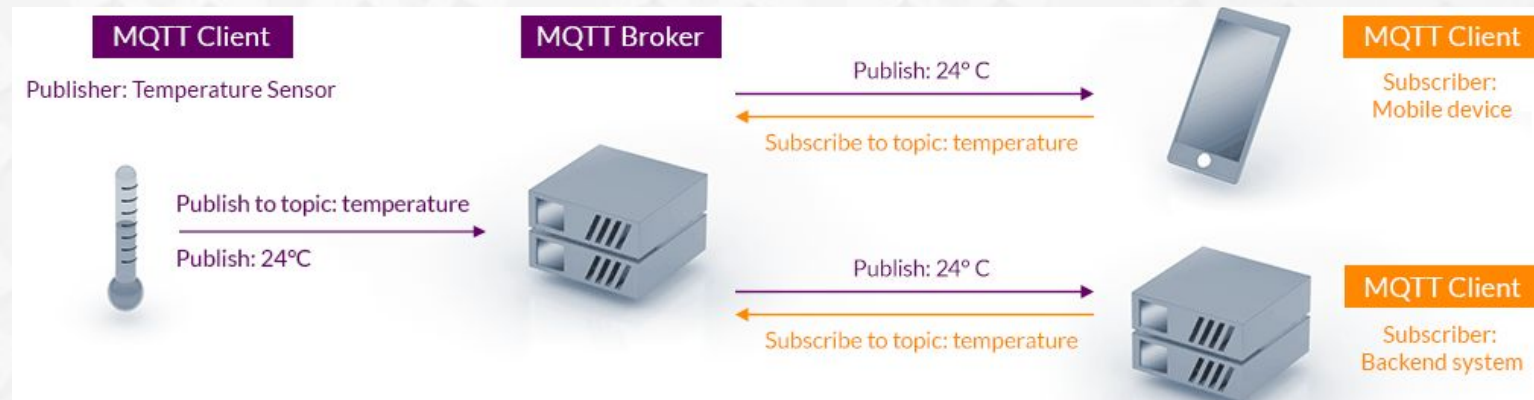
- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

2. Le Modèle de Publication/Abonnement

Dans MQTT, un appareil peut publier des messages ou s'abonner à des sujets pour recevoir des messages.

Fonctionnement:

- l'éditeur publie un message en précisant un sujet (Topic).
- Le broker reçoit ce message et l'associe au sujet.
- Tous les clients abonnés à ce sujet reçoivent le message via le broker.

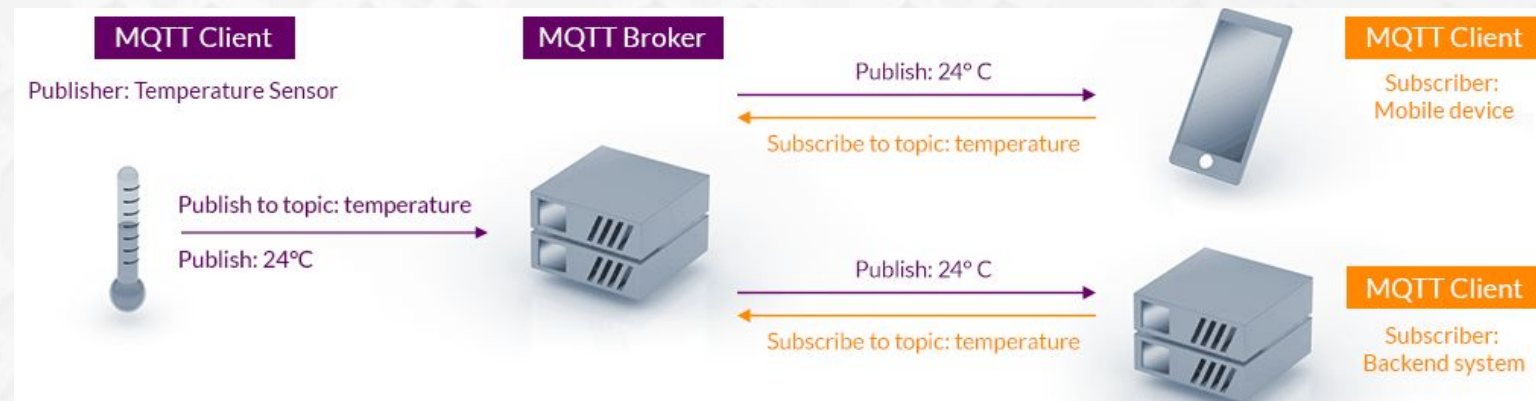


- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

3. Messages.

Les messages représentent les informations échangées entre les appareils. Ils peuvent contenir des **commandes** (par exemple, allumer une lumière) ou des **données** (comme les relevés de capteurs).



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

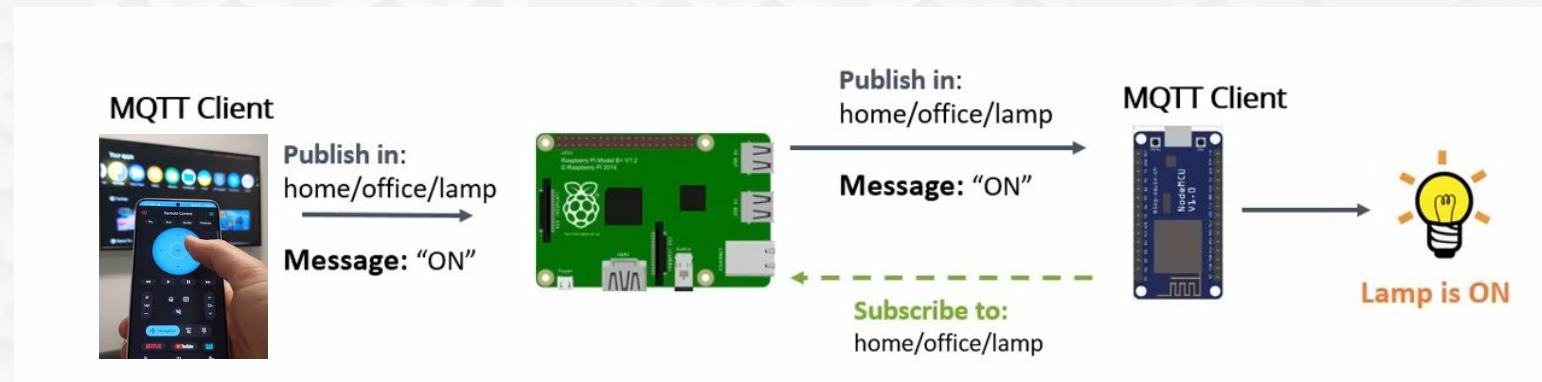
- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

4. Sujets (Topics).

Les sujets organisent les messages et permettent aux appareils de s'inscrire pour **recevoir uniquement certains types de messages**. Ils sont représentés par des **chaînes de caractères (strings)** séparés par des barres obliques (/) pour indiquer différents niveaux de hiérarchie.

- Exemple : **home/office/lamp**
- Les sujets sont **sensibles à la casse**:

Ex: **Home/Office/Lamp** et
home/office/lamp sont différents.



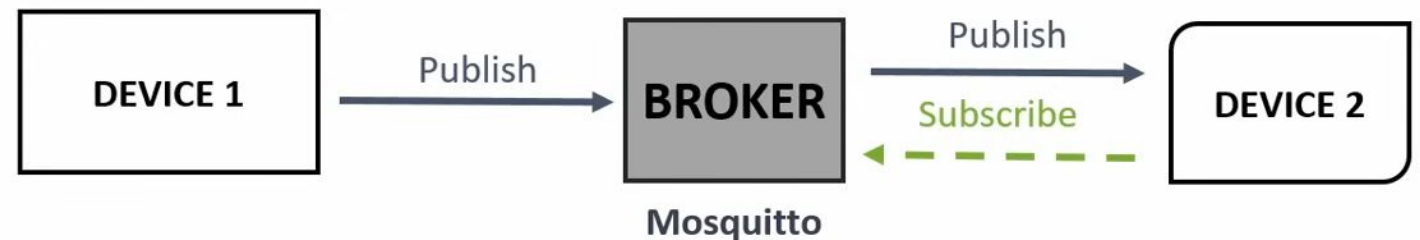
- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

5. Broker (Serveur MQTT)

Le **Broker** (courtier) est le hub central qui **reçoit tous les messages**, les **filtre** et les **distribue** aux **clients abonnés** aux sujets (Topic) correspondants. Il garantit une **distribution efficace** des messages.

Un exemple populaire de broker MQTT est **Mosquitto**, souvent utilisé sur un **Raspberry Pi** ou serveur quelconque pour les projets IoT.



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Installation Mosquitto (Ubuntu, Debian, Raspberry Pi):

```
$ sudo apt install mosquitto mosquitto-clients
```

Une fois installé, vous pouvez tester le fonctionnement en ouvrant deux terminaux :

- **Terminal 1 (Subscribe)** : `mosquitto_sub -h localhost -t "test/topic"`
- **Terminal 2 (Publish)** : `mosquitto_pub -h localhost -t "test/topic" -m "Hello MQTT"`

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

6. Méthodes MQTT

- **Connexion** : Le client envoie une requête pour établir une connexion avec le broker MQTT.
- **Déconnexion** : Le client demande à se déconnecter du broker, mettant fin à la session.
- **S'abonner (Subscribe)**: Le client s'abonne à un ou plusieurs sujets afin de recevoir les messages qui y sont publiés.
- **Se désabonner (Unsubscribe)**: Le client annule son abonnement à un sujet, cessant ainsi de recevoir les messages associés.
- **Publier (Publish)**: Le client (éditeur) envoie un message sur un sujet spécifique via le broker.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Avantages :

- **Fiabilité** avec des niveaux de QoS (Quality of Service) :
 - **QoS 0** : Livraison au mieux (pas de confirmation).
 - **QoS 1** : Livraison garantie au moins une fois.
 - **QoS 2** : Livraison garantie une seule fois (pas de doublons).
- **Efficacité énergétique** pour les appareils contraints grâce à une communication asynchrone.
- **Sécurité** avec SSL/TLS et authentification via MQTT.

Inconvénients :

- **Point de défaillance unique** : Le **Broker** est centralisé, donc une panne entraîne une interruption de service.
- **Consommation de ressources** : Le Broker nécessite des ressources pour gérer les connexions et les messages.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- **Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP**
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

MQTT : Le Modèle Publish / Subscribe

Message Queuing Telemetry Transport - Un standard pour l'IoT

PROTOCOLE APPLICATIF



PUBLISHER

Capteur / Client

PUBLISH (Data)



MQTT BROKER

Serveur Central

Filter by Topic



SUBSCRIBER

Application / Dashboard

SUBSCRIBE (Topic)

Le Broker

Cœur du système, il gère les connexions, authentifie les clients et route les messages vers les abonnés concernés.

- ✓ Découplage temporel/spatial
- ✓ Gestion de la persistance

Les Topics

Structure hiérarchique de chaînes de caractères utilisée pour filtrer et acheminer les messages.

maison / salon / temp

Supporte les wildcards (+, #)

Les Clients

Dispositifs ultra-légers (capteurs) ou applications complexes. Ils peuvent être éditeurs, abonnés, ou les deux.

- ✓ Empreinte mémoire minimale
- ✓ Optimisé pour les réseaux instables

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

MQTT : Niveaux de Qualité de Service (QoS)

Les niveaux de Qualité de Service (QoS) permettent de choisir le compromis entre **fiabilité de livraison** et **consommation de ressources réseau (latence, bande passante, énergie)**. Il existe 3 niveaux QoS : 0, 1 et 2.

QoS 0



At most once (Au maximum une fois)

Le message est envoyé une seule fois sans confirmation. Idéal pour les données non critiques et fréquentes.

- ✓ Plus rapide
- ✓ Moins de ressources
- ✗ Aucune garantie

Publisher → Broker
1 message

Exemples : température toutes les secondes, humidité, données de capteurs temps réel

QoS 1



At least once (Au moins une fois)

Garanti d'être livré au moins une fois via un accusé de réception (PUBACK).

- ✓ Livraison garantie
- ⚠ Le message peut être reçu plusieurs fois (**doublons**)
- ⚙ Un peu plus de bande passante : Overhead modéré

Publisher → Broker : PUBLISH
Broker → Publisher : PUBACK (Publish Acknowledgment)

Exemples : commandes simples, logs, alertes capteurs.

QoS 2



Exactly once (Exactement une fois)

Le niveau le plus sûr. Garantit que le message est reçu une seule fois sans doublon via un échange en 4 étapes.

- ✓ Fiabilité maximale
- ⌚ Latence élevée
- 📶 Consomme plus de bande passante

Publisher → Broker: PUBLISH (Envoi du message)
Broker → Publisher: PUBREC (Publish Received: Message reçu)
Publisher → Broker: PUBREL (Publish Release: Autorisation de traiter)
Broker → Publisher: PUBCOMP (Publish Complete: Traitement terminé)
Exemples : transactions financières, commandes industrielles, contrôle de machines

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- **Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP**
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

MQTT : Niveaux de Qualité de Service (QoS)

QoS	Nom	Garantie	Risque de doublon	Messages échangés	Utilisation
QoS 0	At most once	✗ aucune	✗ non	1	données capteurs
QoS 1	At least once	✓ oui	⚠ possible	2	alertes
QoS 2	Exactly once	✓ parfaite	✗ non	4	données critiques

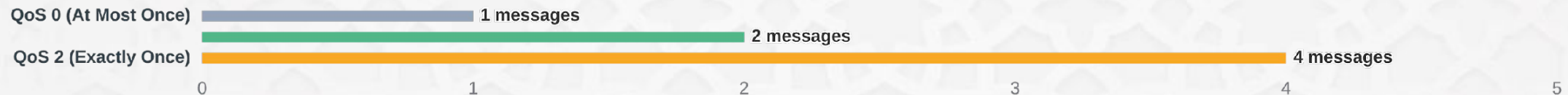
Comparaison des QoS

✓ Résumé

- **QoS 0** → vitesse maximale
- **QoS 1** → compromis fiabilité / performance
- **QoS 2** → fiabilité maximale mais coûteux

MQTT permet donc de **choisir le bon niveau selon l'importance des données et les ressources réseau disponibles.**

COMPARAISON DE LA SURCHARGE RÉSEAU (NOMBRE DE MESSAGES PAR TRANSFERT)



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

CoAP (Constrained Application Protocol) : Protocole léger basé sur **UDP**, adapté aux objets connectés contraints en énergie.

Définition :

CoAP signifie **Constrained Application Protocol**. Le terme se décompose comme suit :

- **Constrained (Contraint)** : Conçu pour des dispositifs ayant des ressources limitées.
- **Application** : Fonctionne au niveau de la couche applicative.
- **Protocol** : Définit les règles de communication.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- **Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP**
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

1. CoAP: Contexte et Objectifs :

- Conçu principalement pour les systèmes IoT et la communication M2M.
- Permet aux dispositifs simples (capteurs, systèmes embarqués) de rejoindre un réseau IoT même en conditions de bande passante réduite.
- Optimisé pour la transmission de données à faible débit, ce qui est crucial dans des environnements restreints.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Application Layer
Request/Response

UDP
Messages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

2. CoAP: Architecture en Couches

CoAP repose sur une architecture simple basée sur UDP :

Couche Supérieure : La Couche Applicative

Fonction :

- Implémente le modèle **requête-réponse** (Proche du HTTP).
- Gère l'échange de messages entre un **client** et un **serveur**.
- Assure le suivi de la communication via l'envoi d'une requête suivie d'une réponse.

Couche Inférieure : La Couche UDP

Fonction :

- CoAP fonctionne sur le protocole UDP (**User Datagram Protocol**) plutôt que TCP.
- Gère la transmission de messages synchrones et asynchrones.
- Permet une communication légère adaptée aux environnements IoT.

Client/Server :

Un **Client** envoie une **requête** au **Serveur**.

Le **Serveur** répond à la requête avec une **réponse**.

Communication directe entre **clients** et **serveurs**.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

3. Types de Messages dans CoAP

Le protocole CoAP définit quatre types de messages afin de permettre une communication fiable et efficace :

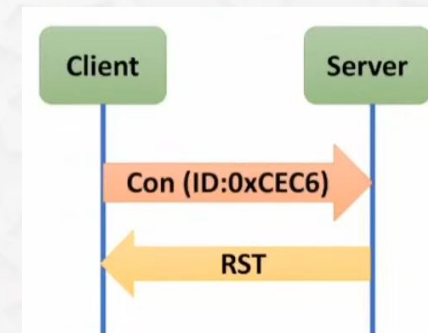
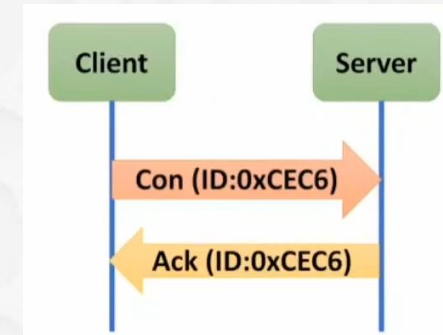
a. Messages Conformables (Reliable)

•Caractéristiques :

- Ce sont des messages **fiables** nécessitant une réponse.
- Chaque message confirmable possède un identifiant unique sur deux octets.

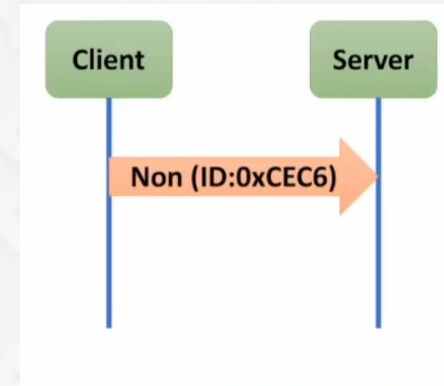
•Processus :

- Un client envoie un message confirmable à un serveur.
- Le serveur répond par un message **d'accusé de réception (ACK)** qui reprend le même identifiant.
- Si aucun accusé de réception n'est reçu, le message est retransmis jusqu'à épuisement des tentatives.
- Si le serveur ne peut pas traiter la requête, il peut envoyer un message de **réinitialisation (RST)**.



- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages



CoAP : Le Protocole Web Contraint

3. Types de Messages dans CoAP

Le protocole CoAP définit quatre types de messages afin de permettre une communication fiable et efficace :

b. Messages Non-Confirmables

•Caractéristiques :

- Ce sont des messages **non fiables** pour lesquels aucune réponse n'est attendue.
- Utilisés pour des données périodiques où la perte d'un message n'affecte pas significativement l'application.
- Ils disposent également d'un identifiant unique sur deux octets.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

3. Types de Messages dans CoAP

Le protocole CoAP définit quatre types de messages afin de permettre une communication fiable et efficace :

c. Messages d'Acknowledgment (Ack)

•Fonction :

- Envoyés par le serveur en réponse à un message confirmable.
- Ils confirment la réception du message en renvoyant l'identifiant unique associé.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

3. Types de Messages dans CoAP

Le protocole CoAP définit quatre types de messages afin de permettre une communication fiable et efficace :

d. Messages de Réinitialisation(Reset: RST)

•Fonction :

- Utilisés lorsque le serveur rencontre un problème lors du traitement d'un message confirmable.
- Indiquent un échec ou une erreur dans la communication.
- Comme les autres, ils portent le même identifiant pour associer le message initial.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

4. Exemples Pratiques et Cas d'Utilisation

Communication à Faible Bande Passante :

- **CoAP** est idéal pour des applications IoT dans lesquelles la bande passante est limitée, permettant aux dispositifs à faibles ressources de communiquer efficacement.

Opérations de Commande sur Dispositif :

- Le protocole prend en charge des opérations basiques similaires à HTTP(RESTful) :
 - **GET** : Pour récupérer des données.
 - **PUT** : Pour mettre à jour ou créer des données.
 - **DELETE** : Pour supprimer des données.
- Ces opérations permettent à CoAP d'assurer des fonctions de commande avec une empreinte réduite en ressources.

Messages Fiables vs. Non Fiables :

- Les **messages confirmables** garantissent une transmission fiable, avec des mécanismes de retransmission.
- Les **messages non-confirmables** permettent de transmettre des données moins critiques sans la surcharge de confirmation.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

Avantages :

- **Léger et rapide** grâce à l'utilisation de **UDP** au lieu de TCP.
- **Faible latence** adaptée aux applications en temps réel.
- **Simplicité de mise en œuvre** avec un modèle RESTful.
- **Scalable** car il n'y a pas de serveur central unique (pas de Broker).

Inconvénients :

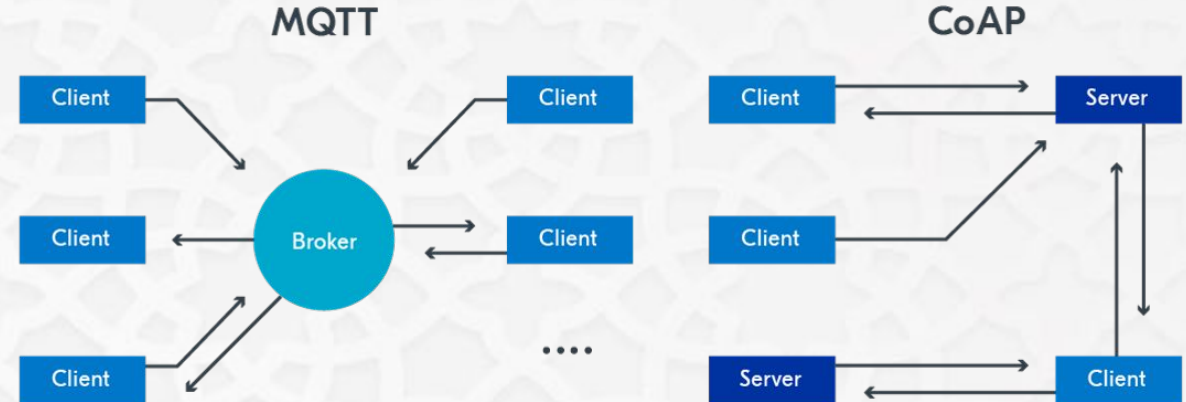
- **Fiabilité limitée** car UDP ne garantit pas la livraison des paquets.
- **Pas de Broker** : Les clients doivent connaître l'adresse du serveur, ce qui complique le déploiement à grande échelle.
- **Sécurité limitée** : Utilise DTLS (moins sécurisé que TLS).

- Capteurs et actionneurs IoT
- Réseaux de communication IoT
- Cloud Computing et IoT
- Plateformes de développement IoT

Protocoles et Middleware pour l'IoT:

CoAP

Critère	MQTT
Architecture	Centralisée avec un Broker
Modèle	Publish/Subscribe
Protocole	TCP
Fiabilité	QoS configurable (0, 1, 2)
Latence	Modérée (dépend du Broker)
Scalabilité	Limité par le Broker
Complexité	Configuration complexe (Broker nécessaire)
Cas d'utilisation	Home automation, IoT Cloud



CoAP
Distribuée (Modèle Client/Server)
Request/Response (RESTful)
UDP
Pas de garantie (UDP non fiable)
Faible (UDP rapide)
Très scalable (pas de Broker)
Simple (pas de Broker)
M2M direct, IoT contraint

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- **Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP**
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

CoAP : Le Protocole Web Contraint

Constrained Application Protocol — L'équivalent "léger" de HTTP pour l'IoT

Caractéristiques Fondamentales



Basé sur UDP

Réduit la surcharge par rapport à TCP. Mécanismes de fiabilité intégrés (retransmissions).



Légèreté Extrême

En-têtes binaires compacts pour minimiser la bande passante et l'énergie.



Architecture RESTful

Modèle Requête/Réponse utilisant les méthodes standards (GET, POST, PUT, DELETE).



Découverte de Ressources

Permet aux clients de trouver automatiquement les services disponibles.

Exemple

MODÈLE D'INTERACTION



Client CoAP
(Interrupteur)

PUT /lumiere/etat



Serveur CoAP
(Ampoule)

MÉTHODES SUPPORTÉES

GET

POST

PUT

DELETE

CoAP transforme le web traditionnel en un "Web of Things" performant pour les environnements où chaque octet et chaque milliwatt comptent.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

HTTP dans l'Écosystème IoT

Le protocole du Web au service des objets connectés

Pourquoi utiliser HTTP ?

- ✓ **Omniprésence** : Infrastructure web existante et compatible.
- ✓ **APIs RESTful** : Intégration native avec les services Cloud.
- ✓ **Simplicité** : Large écosystème de développeurs et d'outils.

Cas d'Usage Majeurs



Télémétrie Cloud



Mises à jour OTA

Le Défi de la Surcharge (Overhead)

HTTP n'étant pas optimisé pour l'IoT, il impose des contraintes significatives :

EN-TÊTES
(Heavy)

GET /api/data HTTP/1.1
Host: cloud.io...

DONNÉES
(Small)

{"temp": 22.5}

-  **Énergie** : Consommation élevée due à la taille des paquets et TCP.
-  **Bande passante** : Inefficace pour les réseaux contraints (LPWAN).



pour CoAP
(impulse)

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Critère	MQTT	CoAP	HTTP
Type de protocole	Publish / Subscribe	Client / Serveur (REST)	Client / Serveur (REST)
Transport	TCP	UDP	TCP
Léger pour IoT	✓ Très léger	✓ Très léger	✗ Plus lourd
Consommation de bande passante	Très faible	Faible	Élevée
Latence	Faible	Très faible	Moyenne
Fiabilité	QoS 0, 1, 2	Messages confirmables (ACK)	Fiabilité TCP
Architecture	Broker (intermédiaire)	Communication directe	Communication directe
Modèle de communication	Publish / Subscribe	Request / Response	Request / Response
Sécurité	TLS/SSL	DTLS	HTTPS (TLS)
Support des réseaux instables	✓ Très bon	✓ Bon	✗ Moins adapté
Consommation d'énergie	Très faible	Très faible	Plus élevée
Cas d'utilisation	IoT, capteurs, smart home	IoT, réseaux contraints	Web, APIs, applications



Serveur CoAP
(Ampoule)

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- **Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation**
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

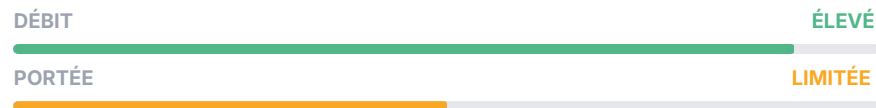
- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Principes de fonctionnement du Wi-Fi

Définition: Le Wi-Fi (IEEE 802.11) est une technologie de communication sans fil permettant de connecter des appareils à un réseau local via des ondes radio.

Wi-Fi Standard (802.11)

- ⚡ **Bande passante élevée** : Idéal pour le streaming vidéo (caméras) et les gros volumes de données.
- 🔌 **Rôle de Passerelle** : Connecte les réseaux locaux (Zigbee, BLE) à Internet.
- 🕒 **Wi-Fi 6 (TWT)** : Optimise l'autonomie des objets sur batterie.



Transission radio: Utilise principalement les bandes :

- **2.4 GHz** → portée longue, débit plus faible
- **5 GHz** → débit élevé, portée plus courte
- **6 GHz (Wi-Fi 6E)** → très rapide, faible latence

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- **Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation**
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Architectures Wi-Fi

1. Mode Infrastructure (le plus courant)

👉 Architecture classique

[Internet] → [Routeur / AP] → Wi-Fi → [Clients]

✓ **Caractéristiques :**

- Un point central (AP)
- Gestion simple
- Utilisé à la maison, bureau

2. Mode Ad-hoc (IBSS)

👉 Connexion directe entre appareils

[PC] ~~~ [PC] ~~~ [Smartphone]

✓ **Caractéristiques :**

- ✓ Pas de point d'accès
- ✗ Peu utilisé aujourd'hui

4. Architecture contrôlée (Enterprise)

👉 AP + contrôleur central

[Controller]

/ | \

[AP] [AP] [AP]

✓ **Avantages :**

- Gestion centralisée
- Sécurité avancée
- QoS (priorisation trafic)

Utilisé en :

- entreprises
- universités
- aéroports

3. Réseau Mesh (Wi-Fi maillé)

👉 Plusieurs AP interconnectés

[AP1]

/ \

[AP2]---[AP3]

✓ **Avantages :**

- Couverture large
- Roaming fluide
- Auto-organisation

Très utilisé dans :

- maisons modernes
- hôtels
- campus

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- **Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation**
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

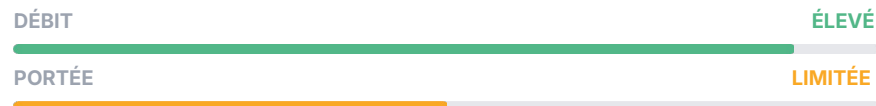
- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Connectivité **Wi-Fi** et Wi-Fi HaLow

De la haute performance à la longue portée basse consommation.

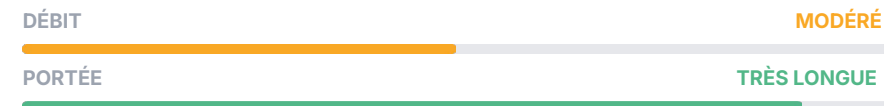
Wi-Fi Standard (802.11)

-  **Bande passante élevée** : Idéal pour le streaming vidéo (caméras) et les gros volumes de données.
-  **Rôle de Passerelle** : Connecte les réseaux locaux (Zigbee, BLE) à Internet.
-  **Wi-Fi 6 (TWT)** : Optimise l'autonomie des objets sur batterie.



Wi-Fi HaLow (802.11ah)

-  **Fréquences < 1 GHz** : Meilleure pénétration des obstacles et portée étendue (> 1 km).
-  **Ultra Basse Consommation** : Conçu pour les capteurs industriels et agricoles sur batterie.
-  **Scalabilité** : Supporte des milliers de dispositifs par point d'accès.



CAS D'USAGE :

 Vidéo Surveillance

 Domotique

 Agriculture de précision

 Compteurs intelligents

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- **Zigbee : architecture, avantages et applications**
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Zigbee et les Réseaux Maillés

Une technologie robuste conçue pour la domotique et l'automatisation industrielle.



Effacité Énergétique

Optimisé pour les appareils sur batterie.



Topologie Mesh

Auto-cicatrisant et extensible.



Sécurité Intégrée

Chiffrement AES-128 bits.



Architecture et Rôles du Réseau



Coordinateur

Le "cerveau" du réseau. Initialise le réseau, gère les clés de sécurité et stocke les informations de routage.

UN SEUL PAR RÉSEAU



Routeur

Relaye les données entre les appareils. Étend la portée et assure la robustesse en offrant des chemins alternatifs.

TOUJOURS ALIMENTÉ



Appareil Final

Capteurs ou actionneurs. Communique uniquement avec son nœud parent. Peut se mettre en veille pour économiser l'énergie.

ALIMENTÉ PAR PILE

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Bluetooth Low Energy (BLE)

Optimisation énergétique pour les objets personnels et portables.



⚡ Caractéristiques Clés

 **Consommation Ultra-Faible**
Autonomie de plusieurs mois/années sur pile bouton.

 **Compatibilité Native**
Standard sur tous les smartphones et tablettes modernes.

 **Portée Modérée**
Généralement 10 à 100 mètres en champ libre.

🏠 Cas d'Usage

 **Santé & Wearables**

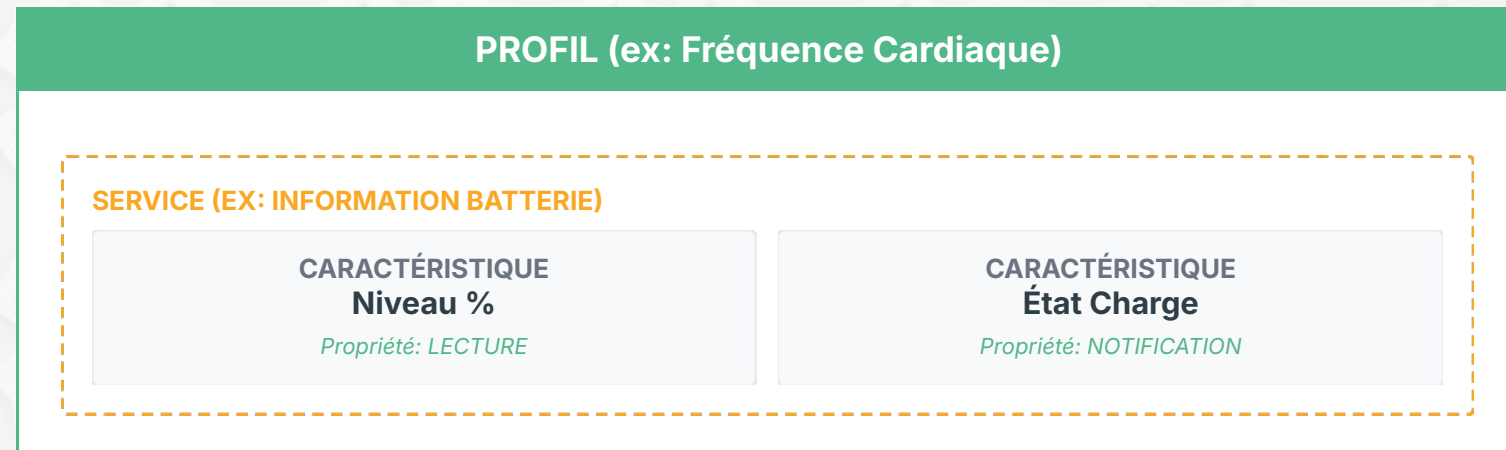
 **Beacons & Retail**

 **Serrures Intelligentes**

 **Jouets Connectés**

🏗 Architecture GATT (The Generic Attribute Profile)

The Generic Attribute Profile : Organisation hiérarchique des données.



 Le **GATT** définit comment les données sont lues, écrites et notifiées.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- **LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages**
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

LoRa et LoRaWAN

La révolution des réseaux LPWAN (Low Power Wide Area Network)

LONGUE PORTÉE • BASSE CONSOMMATION



Portée Exceptionnelle

Jusqu'à 15 km en zone rurale et 2-5 km en environnement urbain dense.



Efficienne Énergétique

Optimisé pour fonctionner plus de 10 ans sur une simple pile bouton ou batterie AA.



Haute Pénétration

Excellente capacité à traverser les obstacles (murs, sous-sols, végétation).

Comprendre la distinction

PHY

LoRa (Long Range)

Modulation radio propriétaire (Semtech) basée sur le spectre étalé (Chirp Spread Spectrum).

MAC

LoRaWAN

Protocole de communication réseau gérant l'accès au support, la sécurité et l'architecture étoile.

Cas d'Usage Idéaux

- ✓ **Agriculture Intelligente** : Humidité sols.
- ✓ **Smart City** : Éclairage, compteurs d'eau.
- ✓ **Logistique** : Suivi de conteneurs isolés.
- ✓ **Industrie** : Surveillance sites distants.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

PROTOCOLES DE CONNECTIVITÉ

LPWAN Cellulaire

NB-IoT : Narrowband IoT

La puissance de l'infrastructure cellulaire au service de l'industrie.



Infrastructure LTE

S'appuie sur les réseaux 4G et 5G existants des opérateurs télécoms.



Pénétration Profonde

Conçu pour traverser les murs épais et atteindre les zones souterraines.



Sécurité Opérateur

Authentification et chiffrement de bout en bout basés sur la carte SIM.



Ultra-Basse Énergie

Optimisé pour une autonomie de batterie dépassant les 10 ans.

Atouts Stratégiques

Scalabilité Massive

Supporte jusqu'à 50 000 appareils par cellule réseau.

Qualité de Service (QoS)

Spectre licencié garantissant l'absence d'interférences.

Coût de Maintenance

Pas de passerelles à gérer ; connexion directe au cloud.

Cas d'Usage Types



Smart Metering



Industrie 4.0



Agriculture



Logistique

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Synthèse Comparative des Protocoles

Aide à la décision basée sur les contraintes techniques du projet.

PROTOCOLE	COUCHE	PORTÉE	BANDE PASSANTE	CONSOMMATION
MQTT	Application	Dépend du transport	Faible à Moyenne	Faible
CoAP	Application	Dépend du transport	Très Faible	Très Faible
HTTP	Application	Dépend du transport	Moyenne à Élevée	Moyenne à Élevée
Wi-Fi	Physique/Liaison	Courte à Moyenne	Élevée	Moyenne à Élevée
Zigbee	Physique/Liaison	Courte/Moy. (Mesh)	Faible	Très Faible
BLE	Physique/Liaison	Très Courte	Faible	Très Faible
LoRaWAN	Physique/Liaison	Très Longue	Très Faible	Très Faible
NB-IoT	Physique/Liaison	Très Longue	Très Faible	Très Faible



Protocoles Applicatifs (Message)



Protocoles de Connectivité (Signal)

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Méthodologie de Choix Stratégique

Processus décisionnel pour l'optimisation des solutions connectées.

1

Exigences du Projet

- ✓ Volume et fréquence des données
- ✓ Latence critique vs acceptable
- ✓ Portée et mobilité requise
- ✓ Contraintes d'environnement (ex: indoor/outdoor)



3

Aspects Opérationnels

- ✓ Modèle économique (Abonnement vs Infra privée)
- ✓ Niveau de sécurité de bout en bout
- ✓ Scalabilité et interopérabilité
- ✓ Facilité de déploiement et maintenance



2

Contraintes Dispositifs

- ✓ Autonomie énergétique (Batterie vs Secteur)
- ✓ Capacité CPU et Mémoire disponible
- ✓ Budget unitaire du matériel (BOM)
- ✓ Complexité de l'intégration logicielle



4

Sélection & Validation

- ✓ Identification des protocoles candidats
- ✓ Analyse comparative multicritères
- ✓ Réalisation de Proof of Concept (PoC)
- ✓ Validation en environnement réel



CONSEIL EXPERT

Ne cherchez pas le protocole "parfait", mais le **meilleur compromis (trade-off)** entre performance, coût et durabilité.

- Rôle des protocoles de communication dans l'IoT
- Critères de choix des protocoles de communication
- Comparaison des principaux protocoles : MQTT, CoAP, HTTP
- Wi-Fi : principes de fonctionnement, architectures et cas d'utilisation
- Zigbee : architecture, avantages et applications
- Bluetooth : utilisation dans l'IoT, avantages et limitations

- LoRaWAN : fonctionnement, applications et avantages
- NB-IoT : caractéristiques, cas d'utilisation et avantages

Conclusion et Questions de Révision

Synthèse du chapitre et validation des acquis.

✓ Points Clés à Retenir

ARCHITECTURE

La communication IoT est structurée en couches (Modèle OSI/TCP-IP), séparant connectivité physique et protocoles applicatifs.

COMPROMIS (TRADE-OFFS)

Il n'existe pas de solution universelle. Le choix dépend de la **portée**, du **débit** et de l'**autonomie énergétique**.

STANDARDS MAJEURS

MQTT et CoAP dominent la couche applicative pour leur légèreté, tandis que LoRaWAN et NB-IoT révolutionnent la longue portée (LPWAN).

DÉCISION STRATÉGIQUE

L'analyse rigoureuse des contraintes matérielles et de l'environnement est cruciale pour la pérennité d'un projet IoT.

🧠 Auto-évaluation

Q1. Expliquez la différence fondamentale entre un protocole **orienté connexion** (TCP) et **sans connexion** (UDP) dans un contexte IoT.

Q2. Dans l'architecture MQTT, décrivez précisément les rôles respectifs du **Broker**, du **Topic** et du **Client**.

Q3. Pour un capteur agricole isolé devant envoyer des données sur 5 km avec 10 ans d'autonomie, quel protocole privilégieriez-vous ? Pourquoi ?