



Université d'Artois

IUT de Béthune

Département Réseaux et Télécommunications

SAÉ6.ROM01

Veille technologique

par

Flavien HENOCQ et Eliot HULEUX

Table des matières

Introduction	1
1 Contexte et enjeux des IoT dans le monde actuel	2
1.1 Transformation des usages	2
1.2 Impacts sur les réseaux opérateurs	4
1.3 Impacts sur les infrastructures multimédia	6
2 Technologies clés de l’IoT	7
2.1 Protocoles de communication	7
2.2 Réseaux dédiés à l’IoT	8
2.3 Matériel utilisé	9
2.4 Plateformes de gestion	10
2.5 Sécurité	11
3 Cas d’usages réels du quotidien	12
3.1 Smart Home	12
3.2 Santé connectée	13
3.3 Smart Cities	13
3.4 Industrie 4.0	14
3.5 Mobilité	15
4 Maquette expérimentale	15
5 Points forts et points faibles	17
5.1 Points forts	17
5.2 Points faibles	18
6 Perspectives d’évolution	19
6.1 IoT et 5G	19
6.2 Edge Computing	20
6.3 Intelligence Artificielle embarquée	21
7 Conclusion	21

Introduction

L'Internet des Objets (IoT - Internet of Things) représente une révolution technologique majeure. Il s'agit de l'ensemble des objets physiques connectés à Internet capables de collecter, transmettre, et parfois traiter des données. Cette interconnexion étend la portée du numérique au monde physique, apportant de nouveaux usages et services aux particuliers, aux entreprises, et aux collectivités.

Aujourd'hui, l'IoT touche de nombreux secteurs du quotidien : domotique, santé connectée, transports, villes intelligentes, industrie 4.0. Dans le cadre de la spécialisation Réseaux Opérateurs et Multimédia (R&T), il est crucial d'analyser ces évolutions, d'expérimenter de nouvelles solutions et de proposer des technologies adaptées aux nouveaux besoins.

Ce rapport a pour objectif de faire une veille technologique complète sur les IoT appliqués au quotidien, d'étudier les technologies émergentes, de réaliser un maquettage expérimental, et d'analyser les avantages et inconvénients des solutions.

1 Contexte et enjeux des IoT dans le monde actuel

1.1 Transformation des usages

L'arrivée massive des objets connectés dans notre environnement quotidien marque une transition majeure vers une société intelligente et hyperconnectée. Ces objets, en interagissant avec leur environnement et en communiquant entre eux ou avec des systèmes centraux, permettent une évolution des usages traditionnels dans presque tous les domaines d'activité.

a) Du contrôle manuel à l'automatisation intelligente

Avant l'IoT, la majorité des actions quotidiennes nécessitaient une intervention humaine directe. Aujourd'hui, de nombreuses tâches sont automatisées grâce aux objets connectés. Par exemple :

- En domotique, les volets se ferment automatiquement en fonction de la luminosité extérieure.
- Dans les bureaux, les systèmes de chauffage ou de climatisation s'adaptent en fonction de la présence détectée et de la température ambiante.
- Dans les véhicules, des capteurs analysent en temps réel les conditions de conduite et activent des systèmes de sécurité ou d'assistance.

Cette automatisation réduit la charge mentale des utilisateurs, améliore leur confort et optimise la gestion de l'énergie.

b) L'utilisateur devient un acteur passif, mais mieux servi

L'IoT introduit une logique de services proactifs. Par exemple :

- Les montres connectées surveillent la santé en continu et peuvent alerter en cas de fréquence cardiaque anormale.
- Les réfrigérateurs connectés suggèrent des listes de courses selon leur contenu.
- Les thermostats apprennent les habitudes d'occupation pour anticiper les besoins en chauffage.

L'utilisateur n'a plus besoin de configurer ou surveiller en permanence : c'est l'objet lui-même qui adapte son comportement.

c) Des données personnalisées et contextualisées

Les objets connectés collectent des données en continu : température, mouvement, position GPS, consommation électrique, etc. Ces données permettent de proposer :

- Des recommandations personnalisées (ex : réduire la température dans une pièce inoccupée)
- Des services optimisés (ex : adapter le trafic urbain en fonction de la densité de circulation en temps réel)
- Des analyses prédictives (ex : maintenance d'un appareil avant panne).

Ce passage de l'information statique à l'information contextuelle en temps réel transforme les usages dans la vie personnelle comme professionnelle.

d) Une interconnexion croissante entre services

Les objets ne fonctionnent plus de façon isolée. Ils coopèrent pour créer des écosystèmes intelligents :

- Dans une maison connectée, les capteurs de présence peuvent piloter l'éclairage, la musique et l'alarme.
- En ville, les capteurs de qualité de l'air peuvent déclencher une alerte pollution, et inciter à la réduction du trafic automobile.
- En logistique, les balises GPS et les capteurs de température permettent de suivre les conditions de transport de produits sensibles.

Cette logique de systèmes interconnectés crée de nouvelles synergies entre différents domaines et ouvre la voie à des innovations transverses.

e) Un usage universel : grand public, entreprises, collectivités

La transformation ne se limite pas à un seul type d'utilisateur :

- Les particuliers profitent d'un confort accru et de services personnalisés.
- Les entreprises optimisent leurs process internes, réduisent leurs coûts et améliorent leur productivité.
- Les collectivités locales utilisent les IoT pour la gestion intelligente des ressources (eau, énergie, circulation, éclairage public).

L'IoT devient donc un levier de modernisation à tous les niveaux de la société.

1.2 Impacts sur les réseaux opérateurs

L'explosion du nombre d'objets connectés a un impact direct et profond sur les réseaux des opérateurs télécoms. Contrairement aux terminaux traditionnels (smartphones, ordinateurs), les IoT ont des exigences spécifiques qui nécessitent une évolution des architectures réseaux.

a) Faible latence : pour les IoT critiques

Certains usages des IoT ne tolèrent aucun délai :

- Véhicules autonomes, qui doivent réagir en temps réel à leur environnement,
- Applications médicales connectées, comme les pacemakers ou les capteurs de glycémie,
- Systèmes industriels (robotique, automatisation).

Ces applications nécessitent une latence de l'ordre de la milliseconde, ce que les réseaux traditionnels ne garantissent pas. La réponse : le déploiement de la 5G et du edge computing, qui rapprochent les traitements de la source des données.

b) Scalabilité : prise en charge de milliards d'objets

L'IoT implique une gestion massive d'équipements :

Selon les prévisions, plus de 25 milliards d'objets connectés seront déployés d'ici 2030. Ces objets communiquent souvent avec de très petites quantités de données, mais très fréquemment (polling, heartbeat, messages MQTT).

Les réseaux doivent donc :

- Gérer une densité très élevée de connexions simultanées,
- Être capables de répartir dynamiquement les ressources radio,
- Supporter des adresses IP à grande échelle (d'où l'importance de l'IPv6).

c) Optimisation énergétique : prolonger l'autonomie des objets

De nombreux IoT fonctionnent sur batterie (capteurs environnementaux, balises GPS, objets portables). Les communications réseau sont un facteur de consommation important.

Les opérateurs et constructeurs ont développé des technologies à faible consommation énergétique, notamment :

- NB-IoT (Narrowband-IoT),
- LTE-M (Long-Term Evolution for Machines),
- LoRaWAN (Long Range Wide Area Network),
- Sigfox (ultra-narrowband).

Ces réseaux sont conçus pour :

- Envoyer de faibles volumes de données,
- Optimiser la gestion du sommeil (deep sleep),
- Permettre une autonomie allant jusqu'à plusieurs années.

1.3 Impacts sur les infrastructures multimédia

Avec l'arrivée des IoT, les infrastructures multimédia doivent faire face à de nouveaux défis liés à la nature, au volume et au traitement des données produites.

a) Explosion des volumes de données

Les objets connectés génèrent un flot continu d'informations :

- Capteurs envoyant des mesures toutes les secondes,
- Caméras IP diffusant de la vidéo en haute définition,
- Microphones connectés en écoute constante (ex : assistants vocaux).

Ce phénomène crée un véritable tsunami de données, qui doit être :

- Transporté efficacement,
- Stocké de façon scalable,
- Traité rapidement pour en extraire de la valeur.

Les datacenters doivent être adaptés en conséquence avec des capacités de bande passante élevées, des stockages distribués et une capacité de traitement en parallèle.

b) Nouveaux types de contenus multimédias

Les IoT ne se limitent pas aux données brutes. Ils sont à l'origine de nouveaux formats multimédias, par exemple :

- Vidéosurveillance intelligente (analyse d'image embarquée),
- Audio ambiant analysé pour détecter une chute ou un cri,
- Réalité augmentée alimentée par des capteurs de mouvement ou de localisation.

Ces contenus nécessitent des infrastructures multimédias flexibles, capables de s'adapter à des flux hétérogènes, en termes de fréquence, qualité, et latence.

c) Edge computing : traitement décentralisé

Face à la masse de données produites, il n'est plus pertinent de tout envoyer dans le cloud. L'*edge computing* (ou calcul en périphérie) permet de :

- Réaliser des traitements au plus proche des objets,
- Réduire la latence,
- Éviter l'encombrement des réseaux centraux,
- Protéger les données sensibles en limitant leur transmission.

Exemples :

- Une caméra intelligente qui détecte une intrusion localement et envoie uniquement une alerte, au lieu d'un flux vidéo continu,
- Un capteur industriel qui analyse les vibrations d'une machine et n'envoie des données que s'il détecte un comportement anormal.

Le *edge computing* devient ainsi un complément essentiel aux infrastructures cloud pour assurer performance, réactivité et efficacité énergétique.

2 Technologies clés de l'IoT

L'Internet des Objets repose sur un écosystème technologique varié, allant des protocoles de communication aux plateformes de gestion en passant par le matériel embarqué et les exigences en matière de sécurité.

2.1 Protocoles de communication

Les objets connectés nécessitent des protocoles de communication adaptés à des contraintes spécifiques : faible bande passante, faible consommation, connectivité intermittente, etc.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

- Protocole léger basé sur TCP/IP,

- Fonctionne selon un modèle *publish/subscribe*,
- Idéal pour les communications intermittentes et les environnements contraints,
- Très utilisé dans les environnements industriels et la domotique.

CoAP (Constrained Application Protocol)

- Protocole léger basé sur UDP,
- Inspiré du modèle REST (GET, POST, PUT, DELETE),
- Optimisé pour les petits capteurs avec peu de ressources,
- Compatible avec l'architecture RESTful et l'intégration au Web des objets.

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)

- Protocole plus lourd mais orienté fiabilité,
- Utilisé dans des applications critiques nécessitant la garantie de livraison,
- Prise en charge de la file d'attente, des accusés de réception, et des transactions,
- Plus courant dans les systèmes professionnels de messagerie entre serveurs.

2.2 Réseaux dédiés à l'IoT

Les objets connectés ont besoin de réseaux adaptés à leurs contraintes en matière d'autonomie, de portée et de coût.

LoRa (Long Range)

- Réseau longue portée (jusqu'à 15 km en zone rurale),
- Très faible consommation énergétique,
- Fonctionne sur des bandes ISM libres (868 MHz en Europe),
- Utilisé dans les smart cities, l'agriculture, le monitoring environnemental.

Sigfox

- Technologie ultra-narrowband,

- Idéale pour transmettre de très petits volumes de données (12 octets maximum par message),
- Faible coût et faible consommation,
- Couverture mondiale par le biais d'un réseau propriétaire.

NB-IoT (Narrowband IoT)

- Utilise les infrastructures des opérateurs mobiles (4G/5G),
- Très bon niveau de pénétration dans les bâtiments,
- Bon compromis entre débit, autonomie et fiabilité,
- Déploiement rapide via les opérateurs télécoms.

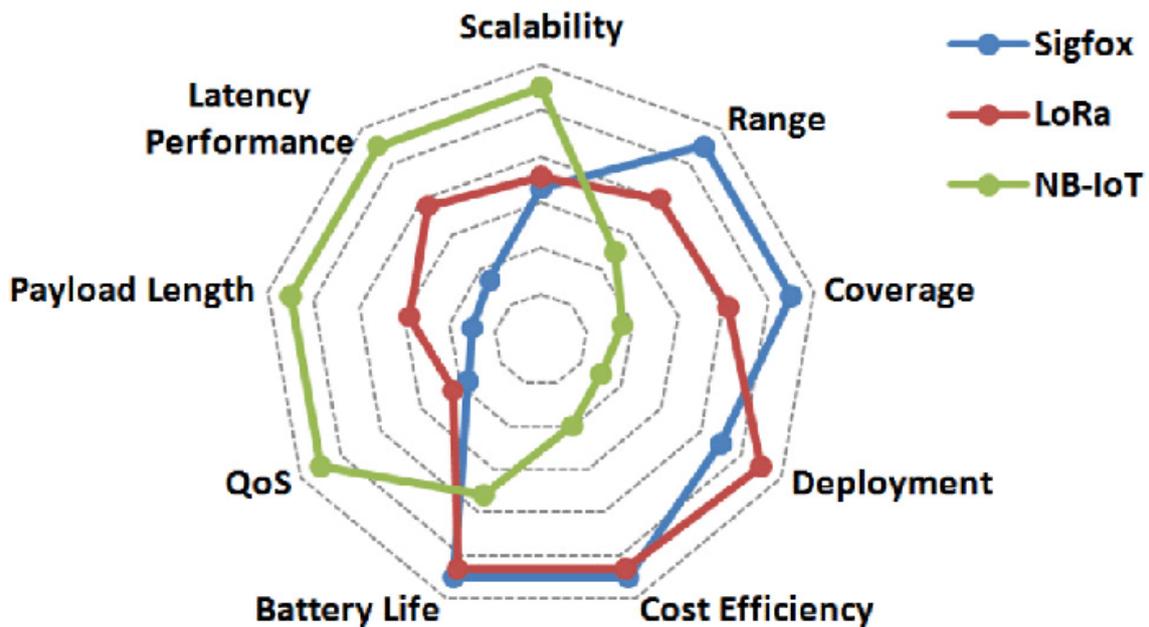


Figure 1 – Comparatif des technologies

2.3 Matériel utilisé

Le matériel constitue la base physique de l'IoT : microcontrôleurs et capteurs sont les composants clés des dispositifs connectés.

Microcontrôleurs

- **ESP32** : double cœur, Wi-Fi et Bluetooth intégrés, très utilisé dans les projets DIY,
- **STM32** : gamme industrielle très puissante avec de nombreuses interfaces,
- **Raspberry Pi** : nano-ordinateur polyvalent, utilisé pour des applications plus complexes ou comme passerelle.

Capteurs

- Température, humidité : ex. DHT11, BME280,
- Mouvement : PIR, accéléromètres, gyroscopes,
- Qualité de l'air : capteurs de CO₂, particules fines, COV,
- Lumière, pression, bruit, position : selon l'usage ciblé.

2.4 Plateformes de gestion

La gestion d'un parc d'objets connectés passe par des plateformes logicielles centralisées ou décentralisées. Exemple :

Node-RED

- Environnement de programmation graphique basé sur des flux,
- Très accessible pour le prototypage et l'intégration rapide,
- Reposant sur Node.js, s'interface avec MQTT, HTTP, WebSockets.

AWS IoT Core

- Plateforme cloud proposée par Amazon Web Services,
- Gestion sécurisée de millions de périphériques,
- Intégration avec les services de traitement, de stockage et d'analyse AWS,
- Prise en charge des protocoles MQTT, HTTP et WebSockets.

Home Assistant

- Plateforme open source de domotique,
- Compatible avec des centaines de marques et protocoles (Zigbee, Z-Wave, MQTT, etc.),
- Interface web intuitive et personnalisation par YAML ou interface graphique,
- Forte communauté et nombreuses extensions.

2.5 Sécurité

L'IoT soulève d'importants défis en matière de cybersécurité. Les dispositifs doivent être protégés dès leur conception.

TLS/DTLS (Transport Layer Security)

- TLS : pour les connexions TCP (ex. MQTT sur TLS),
- DTLS : pour les connexions UDP (ex. CoAP sur DTLS),
- Assurent la confidentialité, l'authenticité et l'intégrité des données.

Authentification forte

- Utilisation de certificats numériques (X.509),
- Clés asymétriques pour éviter les mots de passe faibles,
- Authentification basée sur le hardware (TPM, HSM).

Zero Trust Architecture

- Principe de "ne jamais faire confiance, toujours vérifier",
- Chaque composant doit être authentifié et autorisé explicitement,
- Limitation des privilèges et segmentation des réseaux.

3 Cas d'usages réels du quotidien

L'Internet des Objets transforme profondément notre quotidien, à travers une multitude d'applications concrètes qui améliorent le confort, la sécurité, la santé, l'efficacité énergétique ou encore la mobilité.

3.1 Smart Home

Les maisons connectées (ou "smart homes") utilisent des objets intelligents pour automatiser des tâches courantes et améliorer le confort des occupants.

Éclairage intelligent (Philips Hue)

- Permet de contrôler les lampes depuis un smartphone ou par la voix (assistants vocaux),
- Programmation horaire, détection de présence, ajustement de la luminosité et de la couleur,
- Réduction de la consommation électrique grâce à une meilleure gestion de l'éclairage.

Thermostats intelligents (Nest)

- Apprennent les habitudes des occupants et adaptent la température automatiquement,
- Contrôle à distance via Internet,
- Intégration avec des capteurs de présence pour couper le chauffage quand la maison est vide.

Volets automatiques

- Commande programmée ou asservie à la luminosité extérieure,
- Intégration avec des scénarios domotiques (mode nuit, absence, alarme),
- Amélioration de l'isolation thermique et sécurité renforcée.

3.2 Santé connectée

Le domaine de la santé bénéficie largement de l'IoT, avec des dispositifs portables ou implantés qui permettent un suivi continu des patients.

Montres connectées (Apple Watch, Fitbit)

- Suivi de la fréquence cardiaque, du sommeil, du nombre de pas,
- Alertes en cas de rythme cardiaque anormal,
- Intégration avec des plateformes de santé pour l'analyse des données.

Oxymètres Bluetooth

- Mesure de la saturation en oxygène dans le sang (SpO₂),
- Utiles pour les patients atteints de maladies respiratoires ou dans le cadre du suivi du COVID-19,
- Transmission des résultats en temps réel aux professionnels de santé.

Détecteurs de chute pour personnes âgées

- Détection automatique de chutes à l'aide d'accéléromètres,
- Envoi immédiat d'une alerte aux proches ou aux secours,
- Sécurisation du maintien à domicile pour les seniors.

3.3 Smart Cities

Les villes intelligentes intègrent des technologies IoT pour améliorer la gestion urbaine et la qualité de vie des citoyens.

Lampadaires intelligents adaptatifs

- Réglage automatique de l'intensité lumineuse selon l'heure ou la présence de piétons,
- Réduction significative de la consommation énergétique,

- Maintenance préventive grâce à la détection des pannes.

Gestion optimisée des places de parking

- Capteurs au sol indiquant la disponibilité des emplacements,
- Applications mobiles guidant les automobilistes vers les places libres,
- Réduction du trafic urbain et de la pollution liée à la recherche de stationnement.

Bornes de recharge connectées pour véhicules électriques

- Affichage de l'état de disponibilité en temps réel,
- Réservation et paiement à distance via smartphone,
- Suivi des consommations pour optimiser le réseau électrique.

3.4 Industrie 4.0

L'IoT révolutionne le secteur industriel en apportant une automatisation avancée, une meilleure traçabilité et une efficacité accrue.

Maintenance prédictive sur machines industrielles

- Surveillance en continu des paramètres critiques (température, vibration, pression),
- Détection des signes de défaillance avant la panne,
- Réduction des coûts de maintenance et des temps d'arrêt.

Surveillance environnementale en entrepôt

- Capteurs mesurant la température, l'humidité, les taux de gaz ou de poussières,
- Alerte en cas de dépassement de seuils critiques (sécurité incendie, conservation),
- Meilleure gestion des conditions de stockage sensibles.

3.5 Mobilité

L'IoT transforme la façon dont les personnes et les marchandises se déplacent, grâce à une gestion intelligente du trafic et des moyens de transport.

Véhicules connectés et partagés

- Suivi de la position, de la vitesse, des diagnostics à distance,
- Intégration avec des services de location ou de covoiturage,
- Optimisation des trajets et réduction des émissions.

Capteurs de trafic urbain

- Mesure du flux de véhicules en temps réel,
- Aide à la régulation des feux de signalisation,
- Visualisation des embouteillages et gestion dynamique de la circulation.

Applications de transport intelligent

- Calcul d'itinéraires en fonction du trafic en temps réel,
- Alertes sur les perturbations, retards ou accidents,
- Intégration multimodale : bus, métro, vélos en libre-service.

4 Maquette expérimentale

Notre maquette a été effectuée sur Cisco Packet Tracer. Nous avons mis en place un détecteur de mouvement suivi d'une caméra, un détecteur de fumée, avec une alarme et une ouverture automatique des portes lorsque de la fumée rentre dans la maison. Le tout relié à un *Registration Server*, qui peut s'apparenter à un Home Assistant, où nous sommes venu définir les règles.

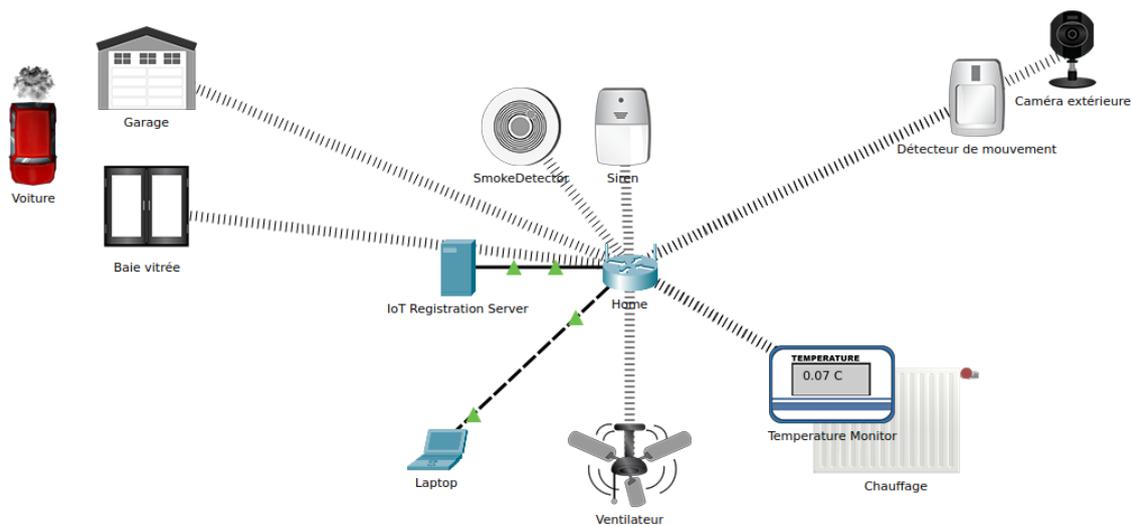


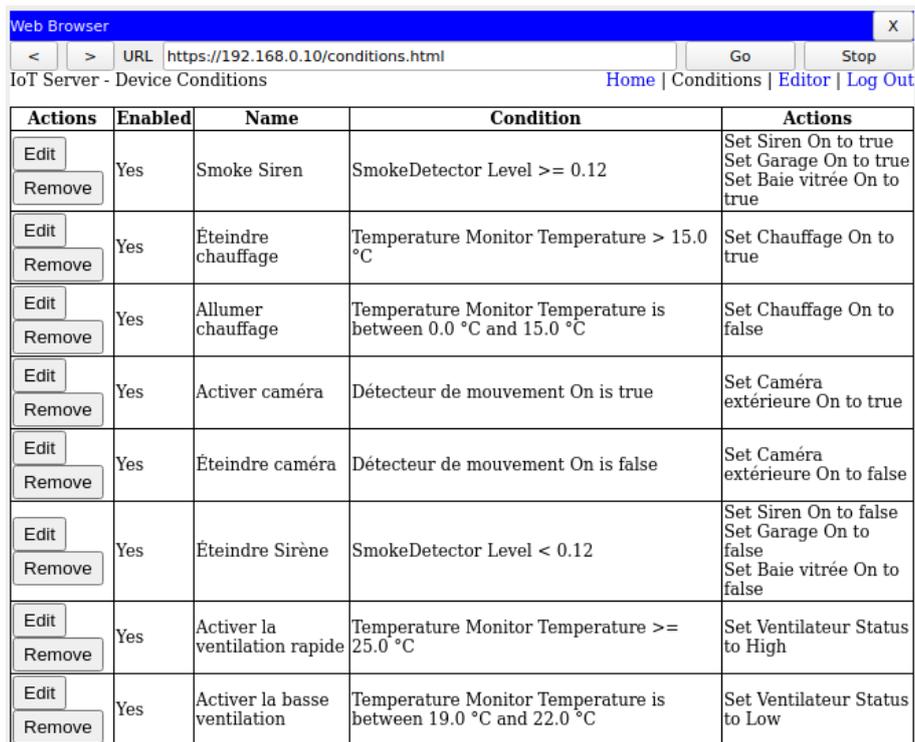
Figure 2 – Maquette sur Cisco Packet Tracer

L' *IoT Registration Server* permet de regrouper les IoT et de pouvoir écrire des règles d'automatisation.

Web Browser	
<	>
URL	https://192.168.0.10/home.html
Go	Stop
IoT Server - Devices	
Home	Conditions Editor Log Out
▶ ● SmokeDetector (PTT0810U96P-)	Smoke Detector
▶ ● Siren (PTT08109K31-)	Siren
▶ ● Temperature Monitor (PTT08102M42-)	Temperature Monitor
▶ ● Chauffage (PTT08101299-)	Furnace
▶ ● Garage (PTT08108L5X-)	Garage Door
▶ ● Détecteur de mouvement (PTT08101W75-)	Motion Detector
▶ ● Baie vitrée (PTT0810P2AN-)	Window
▶ ● Ventilateur (PTT081081X2-)	Ceiling Fan
▶ ● Caméra extérieure (PTT0810W2YW-)	Webcam

Figure 3 – Liste des IoT sur le serveur

Ce serveur a pu également imposer des conditions sur les IoT, avec par exemple, un allumage automatique de la caméra lors que le détecteur de mouvement s'allume, ou l'ouverture automatique des portes de garage et de baie-vitrée avec une alarme lorsque le détecteur de fumée atteint un certain seuil.



Actions	Enabled	Name	Condition	Actions
Edit Remove	Yes	Smoke Siren	SmokeDetector Level >= 0.12	Set Siren On to true Set Garage On to true Set Baie vitrée On to true
Edit Remove	Yes	Éteindre chauffage	Temperature Monitor Temperature > 15.0 °C	Set Chauffage On to true
Edit Remove	Yes	Allumer chauffage	Temperature Monitor Temperature is between 0.0 °C and 15.0 °C	Set Chauffage On to false
Edit Remove	Yes	Activer caméra	Détecteur de mouvement On is true	Set Caméra extérieure On to true
Edit Remove	Yes	Éteindre caméra	Détecteur de mouvement On is false	Set Caméra extérieure On to false
Edit Remove	Yes	Éteindre Sirène	SmokeDetector Level < 0.12	Set Siren On to false Set Garage On to false Set Baie vitrée On to false
Edit Remove	Yes	Activer la ventilation rapide	Temperature Monitor Temperature >= 25.0 °C	Set Ventilateur Status to High
Edit Remove	Yes	Activer la basse ventilation	Temperature Monitor Temperature is between 19.0 °C and 22.0 °C	Set Ventilateur Status to Low

Figure 4 – Liste des conditions à faire sur les IoT

Cette maquette est assez simple, mais elle permet de comprendre la notion d'IoT et de découvrir l'automatisation du quotidien.

5 Points forts et points faibles

L'intégration des technologies IoT dans des environnements réels révèle un certain nombre d'avantages significatifs, mais également des limitations qu'il convient de prendre en compte pour garantir leur efficacité et leur durabilité.

5.1 Points forts

Modularité : déploiement facile sur d'autres étages

- Les systèmes IoT sont généralement composés de modules indépendants (capteurs, microcontrôleurs, passerelles) facilement duplicables ou déployables dans de nouveaux espaces.
- Cette approche permet une extension rapide sans refonte globale du système,

- Elle facilite également la maintenance et l'adaptation aux évolutions du bâtiment ou des usages.

Économie d'énergie rapide

- Les objets connectés permettent une surveillance précise de la consommation électrique, thermique ou hydraulique,
- Grâce à l'automatisation (éclairage, chauffage, ventilation), il est possible de réduire les gaspillages énergétiques,
- Les économies sont mesurables dès les premières semaines d'utilisation, ce qui justifie rapidement l'investissement initial.

Interface de supervision intuitive

- Les solutions IoT sont souvent accompagnées de plateformes de visualisation conviviales (tableaux de bord, cartes interactives),
- Ces interfaces permettent une prise en main rapide même par des utilisateurs non techniques,
- Elles offrent une transparence précieuse sur l'état du système et facilitent la prise de décision.

5.2 Points faibles

Sécurité à renforcer impérativement

- De nombreux objets connectés sont encore déployés sans mesures de sécurité suffisantes (mots de passe par défaut, communications non chiffrées),
- Les failles peuvent être exploitées pour accéder au réseau interne ou perturber les services,
- Une politique de cybersécurité spécifique à l'IoT est indispensable (authentification forte, mises à jour, segmentation réseau).

Besoin de mises à jour régulières du firmware des capteurs

- Les capteurs et microcontrôleurs embarquent des logiciels susceptibles de contenir des bugs ou vulnérabilités,
- Ces firmwares doivent être mis à jour régulièrement pour corriger les failles et améliorer les performances,
- Or, tous les dispositifs ne disposent pas de mécanismes OTA (over-the-air) automatisés, rendant l'opération fastidieuse.

Pertes de données potentielles en cas de coupure réseau

- Une interruption de la connexion Internet ou locale peut empêcher la remontée des données vers le cloud ou la plateforme centrale,
- Sans mécanisme de buffer local ou de reprise automatique, les données peuvent être perdues de manière irrémédiable,
- Cela pose problème dans les contextes critiques (surveillance médicale, sécurité industrielle), où chaque mesure compte.

6 Perspectives d'évolution

L'Internet des Objets (IoT) continue d'évoluer rapidement, porté par l'émergence de nouvelles technologies et par la convergence avec d'autres domaines comme les télécommunications avancées, le traitement en périphérie ou encore l'intelligence artificielle embarquée. Ces évolutions sont déterminantes pour relever les défis de performance, de sécurité, et de scalabilité auxquels les systèmes IoT sont confrontés.

6.1 IoT et 5G

Déploiement massif d'objets connectés avec le slicing 5G

- La 5G représente une révolution majeure pour les réseaux IoT grâce à ses caractéristiques : très haut débit, ultra-faible latence (inférieure à 1 ms) et densité massive de connexions (jusqu'à 1 million d'objets/km²).
- Le *network slicing* permet de créer des "tranches" de réseau virtuel dédiées à des usages spécifiques. Exemple : une tranche pour les objets médicaux critiques, une

autre pour les capteurs industriels à faible consommation.

- Cette capacité à segmenter les ressources réseau garantit une meilleure isolation, fiabilité et sécurité pour chaque catégorie d'usage.
- Les opérateurs peuvent ainsi fournir des services différenciés en fonction des besoins des clients (qualité de service, temps de latence, priorité).

Impact concret : des villes intelligentes capables de gérer à la fois l'éclairage public, les transports, la surveillance et la gestion énergétique sur un seul réseau, tout en respectant les contraintes de chaque service.

6.2 Edge Computing

Traitement des données au plus proche des capteurs

- Le volume massif de données générées par les objets connectés ne peut plus transiter intégralement vers le cloud central. Cela provoquerait une surcharge des réseaux et des latences inacceptables.
- Le *edge computing* consiste à déplacer une partie du traitement des données vers les périphéries du réseau, c'est-à-dire dans les passerelles, routeurs intelligents ou même directement dans les objets eux-mêmes.
- Cela permet de :
 - Réduire considérablement la latence (décision en quasi temps réel),
 - Alléger la bande passante réseau,
 - Améliorer la confidentialité des données (moins de transit externe),
 - Accroître la résilience du système en cas de coupure réseau.
- Des plateformes spécialisées comme Azure IoT Edge ou AWS Greengrass permettent d'orchestrer ces traitements locaux en synergie avec le cloud.

Exemple : dans une usine, un capteur peut localement identifier un comportement anormal sur une machine (vibration excessive) et couper automatiquement l'alimentation, sans attendre une décision centrale.

6.3 Intelligence Artificielle embarquée

Détection d'anomalies basée sur l'IA locale (TinyML)

- L'IA embarquée permet d'exécuter des modèles d'apprentissage automatique directement sur les microcontrôleurs ou capteurs (ex : ESP32, STM32, etc.) avec une empreinte mémoire et énergétique très faible.
- Cette discipline, appelée *TinyML*, ouvre la voie à des objets intelligents capables de :
 - Reconnaître des sons (cris, chocs, bris de verre),
 - Détecter des anomalies comportementales (mouvements anormaux, dérives thermiques),
 - Adapter leur comportement en fonction du contexte.
- Ces traitements en local permettent de conserver la réactivité, de limiter les échanges réseau, et d'assurer une meilleure protection des données (pas de traitement dans le cloud).
- Des frameworks comme TensorFlow Lite, Edge Impulse ou Arduino TinyML permettent de concevoir, entraîner, et déployer ces modèles de façon accessible.

Cas concret : un détecteur de chute pour personnes âgées peut analyser les données d'accéléromètre et de gyroscope embarqués, détecter en temps réel un mouvement inhabituel, et envoyer une alerte sans cloud.

7 Conclusion

L'IoT dans le quotidien apporte des améliorations majeures en termes de confort, d'efficacité énergétique et d'optimisation des ressources.

Cependant, il introduit aussi de nouveaux défis, notamment en matière de sécurité des données et de maintenance.

Le maquetage réalisé démontre la faisabilité d'un projet à coût modéré avec un fort retour sur investissement.

Il est recommandé d'accompagner toute mise en production IoT d'un plan de cybersécurité robuste et d'une veille technologique continue.