20 juin 2025



Rapport de veille technologique

Comment l’Internet of Things (IoT) peut-il améliorer l’efficacité énergétique des bâtiments intelligents ?

Manon ROUSSELIERE

Camélia DJENID

B1 – 2024/2025

[Avant-propos 2](#_Toc2095415395)

[I – Introduction 3](#_Toc157694989)

[Objectifs 3](#_Toc1644957635)

[II - Contexte et définitions 4](#_Toc1996543644)

[Termes et concepts clés 4](#_Toc1507223851)

[Contexte historique et technologique 4](#_Toc602997140)

[III – Etat de l’Art 5](#_Toc1632673632)

[1 - Echelle d’une ville 5](#_Toc848801459)

[2 - Echelle d’un bâtiment 6](#_Toc1978313318)

[3 - Echelle d’un particulier 6](#_Toc1159379362)

[IV - Méthodologie 7](#_Toc937435956)

[Critères de sélection des sources 7](#_Toc1910923015)

[Cadrage 7](#_Toc344271062)

[Exploitation des acquis théoriques 7](#_Toc1547621088)

[V - Résultats et discussion 8](#_Toc1461700334)

[1 - Présentation des résultats obtenus 8](#_Toc1677182846)

[1.1 - Enjeux énergétiques liés aux bâtiments 8](#_Toc407055750)

[1.2 - Lien entre IoT et efficacité énergétique 8](#_Toc1304113911)

[1.3 - Données chiffrées mondiales 8](#_Toc1287575361)

[1.4 - Innovations clés 9](#_Toc1155486447)

[Capteurs et actionneurs 9](#_Toc1453850794)

[Connectivité 9](#_Toc1379426561)

[Traitement et analyse des données 9](#_Toc1469743709)

[Sécurité et confidentialité 9](#_Toc1380575047)

[2- Analyse critique des résultats 10](#_Toc300139259)

[2.1 - Tendances principales 10](#_Toc1380553643)

[Intégration de l’Intelligence Artificielle 10](#_Toc100683321)

[Intégration du cloud et de l’edge computing 10](#_Toc233923698)

[L’apparition des Digital Twins 10](#_Toc1647772233)

[2.2 - Normes vertes et certifications (LEED, BREEAM, etc.) 11](#_Toc2120135940)

[2.3 - Analyse concurrentielle 11](#_Toc380440192)

[Le marché de l'IoT 11](#_Toc174940676)

[Acteurs majeurs 12](#_Toc1116215372)

[Startups innovantes 13](#_Toc1031874858)

[2.4 - Forces/Faiblesses des solutions actuelles 13](#_Toc550042010)

[3 - Interprétation des données 13](#_Toc1211465976)

[3.1 - Limites actuelles 14](#_Toc946064480)

[3.2 - Interopérabilité 14](#_Toc1322083119)

[3.3 - Données personnelles 14](#_Toc779104707)

[VI - Propositions et recommandations 15](#_Toc369222872)

[Solutions envisagées 15](#_Toc1345362472)

[Perspectives 15](#_Toc921952357)

[Impact potentiel 16](#_Toc1255877450)

[VII - Conclusion 16](#_Toc1558859512)

[Synthèse des principaux points abordés 16](#_Toc1909346837)

[Réflexion finale 17](#_Toc1990610140)

[Glossaire 17](#_Toc2001360398)

[Bibliographie 18](#_Toc1049307105)

[Annexes 19](#_Toc579446238)

# Avant-propos

Dans le cadre de notre première année d’étude à Sup de Vinci, nous avons réalisé une veille technologique sur le sujet : Comment l’Internet des Objets peut-il améliorer l’efficacité énergétique ? Il s’agit pour nous d’un sujet important car il est au cœur des problématiques actuelles d’écologie et d’inflation du prix de l’énergie, nous avons donc voulu étudier le sujet plus en profondeur afin de comprendre les rouages d’un sujet aussi important.

# I – Introduction

En 2025, la croissance rapide de l’urbanisation entraîne un immense besoin de développement des infrastructures en même temps que leur nombre explose. En effet, si 55 % de la population mondiale vit aujourd'hui en zone urbaine, cette proportion devrait atteindre les 68 % d’ici 2050. La croissance exponentielle de la population mondiale et surtout la hausse de la densité de population en zones urbaines obligent à optimiser la consommation d'énergie et d’eau des bâtiments neufs et existants afin d’accroître leur efficacité énergétique et de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre.

En effet, les bâtiments sont responsables de plus de 30 % de la consommation d'énergie mondiale. Parmi ces 30%, les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) consomment en moyenne 50 % de l’énergie des bâtiments. Il est par conséquent essentiel de renforcer leur niveau d’efficacité énergétique.

Mais la crise climatique ainsi que l’augmentation du coût de l’énergie n’y sont pas en reste. Ainsi les gouvernements mettent en place des réglementations visant à réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO2 des bâtiments, tandis que des organismes professionnels établissent les programmes de certification correspondants. Par exemple, aux États-Unis, le programme de certification Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) développé par le Green Building Council a homologué des bâtiments qui ont enregistré 1,2 milliard de dollars d'économies d’énergie entre 2015 et 2018. Dans l’Union européenne, les nouvelles réglementations exigent de tous les bâtiments neufs un niveau de consommation d'énergie proche de zéro. La directive sur la performance énergétique des bâtiments entend en effet décarboner l’ensemble des bâtiments d’ici 2050.

Si nous voulons réduire la consommation d'énergie sans dégrader les conditions de vie à l’intérieur des bâtiments, il est indispensable de repenser le système. Les opportunités d'économiser de l'énergie doivent être envisagées, les technologies et techniques les plus efficaces énergétiquement doivent être appliquées. C’est dans ce contexte que l’Internet des Objets (IoT) se place comme une solution efficace afin de se conformer à ces exigences.

Cette situation nous amène à étudier la question suivante : comment obtenir une consommation énergétique durable et économique dans les bâtiments grâce à l’Internet des Objets (IoT).

## Objectifs

L’objectif principal de cette veille était d'identifier les tendances émergentes des objets IoT et les différentes manières d’améliorer l’efficacité énergétique, étudier les différents moyens employés par les entreprises pour améliorer leur efficacité énergétique

# II - Contexte et définitions

## Termes et concepts clés

**IoT :** d'après Wikipédia "L'Internet des objets ou IdO (en anglais (the) Internet of Things ou IoT) est l'interconnexion entre l'Internet et des objets, des lieux et des environnements physiques." en d'autres termes il désigne un vaste réseau d'objets connectés entre eux et à Internet, capables de collecter des données et de les analyser pour effectuer des tâches de manière autonome. Tous les objets physiques munis de capteurs capables de communiquer avec un réseau lié à Internet peuvent devenir des objets connectés. L'IoT, c'est donc l'ensemble des technologies qui nourrissent le monde virtuel du Big Data, grâce aux informations collectées par les milliards d'objets physiques connectés.  
**Bâtiments intelligents :** Un bâtiment intelligent, ou smart building, est une structure équipée de technologies avancées/objets connectés qui permettent une gestion automatisée et optimisée de divers systèmes tels que le chauffage, la ventilation, l'éclairage (CVC), et même la sécurité.  
**Efficacité énergétique :** d'après Wikipédia "L'efficacité énergétique ou efficience énergétique est l'état de fonctionnement d'un système pour lequel la consommation d’énergie est minimisée pour un service rendu identique." c'est donc l'optimisation de la consommation énergétique pour qu’elle soit économique et durable

## Contexte historique et technologique

Le concept de connexion d’appareils pour communiquer entre eux remonte aux débuts d’Internet. Le terme « Internet des objets » a été inventé pour la première fois par Kevin Ashton en 1999.

**Années 1970 :** Le concept de systèmes embarqués a commencé à prendre forme, où des microprocesseurs étaient intégrés dans des dispositifs pour contrôler des fonctions spécifiques.  
**Années 1980 :** Le développement des technologies de communication sans fil comme la RFID (Radio Frequency Identification) et les premiers exemples de communication de machine à machine (M2M) ont émergé. En parallèle, les premiers systèmes de domotique (protocoles X10, KNX) pour l’automatisation résidentielle apparaissent.  
**Années 1990 :** La prolifération d'Internet et les progrès de la technologie sans fil ouvrent la voie à la révolution de l'IoT. Les premières applications incluaient les distributeurs automatiques connectés et la communication industrielle M2M.  
**Années 2000 :** L'introduction d'IPv6, qui a considérablement augmenté le nombre d'adresses IP disponibles, a permis la connexion d'un nombre pratiquement illimité d'appareils à Internet. Le développement de capteurs à faible coût et la disponibilité croissante des réseaux sans fil ont encore accéléré la croissance de l’IoT.  
**Années 2010 :** L'IoT a gagné du terrain avec l'avènement des smartphones et des appareils domestiques intelligents. Des entreprises comme Google, Amazon et Apple ont lancé des produits compatibles IoT, tels que des thermostats intelligents, des assistants vocaux et des appareils connectés. De plus on voit émerger des smart grids (compteurs intelligents comme Linky en France, déployés dès 2015).  
**Années 2020 :** L'IoT fait désormais partie intégrante de divers secteurs, des soins de santé et de l'industrie manufacturière à l'agriculture et aux villes intelligentes. Le déploiement des réseaux 5G a amélioré les capacités de l'IoT, permettant une transmission de données plus rapide et une latence plus faible.

# III – Etat de l’Art

L’économie d’énergie apportée grâce à l’utilisation de l’IoT constitue souvent un bon investissement. En effet, intégrer un système de gestion intelligent de base peut permettre d’enregistrer des économies d’énergies importantes permettant à la fois des économies annuelles de 25% mais également une diminution de son empreinte carbone. Le retour sur investissement est assez rapide, environ deux ans. Cela permet à la fois d’améliorer le confort tout en augmentant son efficacité énergétique comme nous l’observons avec des exemples concrets à toutes les échelles.

## 1 - Echelle d’une ville

Les villes intelligentes (smart cities) intègrent l’IoT à l’échelle urbaine, et les bâtiments connectés en sont une composante essentielle. Une ville intelligente a pour but d'améliorer la qualité de vie des citadins en rendant la ville plus adaptative et efficace, à l'aide de nouvelles technologies qui s'appuient sur un écosystème d'objets et de services. (CNIL)

Les bâtiments intelligents faisant donc parties de cet écosystème peuvent échanger des données avec les réseaux électriques (smart grids) et participent ainsi à l’effacement énergétique (réduction volontaire de la consommation en période de pointe).

Ainsi, des milliers de capteurs et d’objets connectés, disséminés dans la ville, remontent en temps réel de l’information. De cette manière, en centralisant les données à l’échelle d’un quartier, la production/distribution d’énergie est optimisée. Par exemple, l’éclairage public peut s’auto-moduler en fonction de la luminosité ambiante et ainsi réduire la consommation énergétique de la ville. La gestion des déchets, le trafic routier, l’administration civile, ou encore la sécurité peuvent être sensiblement améliorés grâce à l’IoT. Une ville intelligente s’appuie donc sur une multitude de projets IoT et chaque bâtiment devient un acteur actif de l’écosystème énergétique urbain.  
 Exemples : Amsterdam, Singapour, Barcelone ou Dubaï utilisent des réseaux de capteurs pour suivre l’énergie consommée dans les bâtiments publics. Mais l’exemple le plus explicite en termes de smart city est celui d’Oslo (Norvège) qui a été élue “capitale verte de l’Europe” pour 2019 notamment grâce à l’éclairage intelligent, ses nombreux capteurs et ses projets immobiliers avec une très faible empreinte carbone (FutureBuilt).

• Exemple historique : Le projet Daintree Networks (2014) a montré une réduction de 30% de la consommation électrique via l’éclairage connecté dans les bureaux.   
 o Source : MIT Technology Review (2015).

## 2 - Echelle d’un bâtiment

Un bâtiment intelligent collecte des données exploitables provenant des appareils, capteurs, systèmes et services des utilisateurs du bâtiment. L'exploitation de ces données rend le bâtiment programmable et réactif aux besoins des utilisateurs et du gestionnaire du bâtiment. En ajoutant de l'intelligence artificielle le bâtiment réagit automatiquement aux besoins des utilisateurs du bâtiment.

Récemment, des variateurs CVC (chauffage, ventilation, climatisation) ABB et des moteurs IE3 (efficacité premium : à haute efficacité énergétique) ont été utilisés pour rénover les systèmes CVC et d’alimentation en eau chaude de l’hôtel InterContinental de Madrid. Treize variateurs de vitesse ABB et seize moteurs IE3 ont ainsi été intégrés à la GTB (gestion technique du bâtiment), ce qui a permis d’enregistrer des économies d'énergie d’environ 40 % et d’aider l’hôtel à atteindre ses objectifs de développement durable. Sur l’année, ces économies se sont élevées à 445 000 kWh et ont conduit à une réduction de la facture énergétique de l’hôtel de 37 000 $. Le retour sur investissement prévu a ainsi été obtenu en exactement deux ans.

- Sources ABB

*c) Maintenance prédictive : De la réactive à la proactive*

• Cas historique : La société Siemens, pionnier de la maintenance IoT dès 2010 avec ses capteurs vibratoires pour les ascenseurs.   
 • Cas actuel : Plateformes comme IBM Maximo utilisent l’IoT + IA pour prédire les pannes (étude Deloitte, 2022).

## 3 - Echelle d’un particulier

Avec la maison connectée, le confort de vie devient exceptionnel (ambiances lumineuses, sonores programmées et optimisation de la régulation de la température). D’autre part, vous pouvez automatiser tout objets électriques des volets aux lumières, sans oublier la gestion à distance des prises électriques. Grâce à la technologie domotique, la maison connectée participe à la réduction des factures d’énergie à hauteur de 40 %.   
De plus avec les détecteurs de CO2 et de fumée, les risques d’accident et d’incendie sont considérablement diminués. Des caméras et des détecteurs de présence peuvent aussi être installés et vous préviennent lors des intrusions dans votre maison. Malgré tout, la maison connectée présente certains inconvénients. Le principal problème concerne surtout son prix d’achat et le coût élevé de son installation. D’un autre côté, cette technologie crée une certaine accoutumance de l’utilisateur. Avant l’émergence de l’IoT les bâtiments utilisés principalement des thermostats, comme le Nest Learning Thermostat commercialisé en 2011. Nest d à maintenant un objectif réduire la consommation sans affecter le confort des habitants. L’entreprise développé par google a donc ajouté l’IoT à c’est thermostat pour un contrôle à distance, une programmation automatique avec des capteur d’humidité pour garder la température du logement au gout de l’occupant. Après plusieurs semaines d’utilisation des études internet et indépendante à Nest montre une réduction moyenne de 15 % sur les factures de chauffages.

• Nouveauté : Modèles de Digital Twins (jumeaux numériques) pour simuler l’efficacité énergétique (ex : Siemens, 2023). Michael Grieves chercheur et pionner du concept Digital Twin qui est un modéle numèrique qui essaye de representé au maximum un systéme reel. FAIT

# IV - Méthodologie

Dans un premier temps des outils comme Notions nous ont permis de regrouper toutes nos informations dans une base de données que nous avons utilisée afin d’analyser la fiabilité et la pertinence de nos articles. Une fois la limite de l’espace gratuit atteinte, nous avons migré vers GitHub, où nous avons continué à stocker nos ressources et nos productions. Pour ce qui est de la rédaction du rapport final nous l'avons rédigé sur Word et pour la présentation nous avons utilisé PowerPoint.

## Critères de sélection des sources

Pour cette veille technologique nous avons décidé d’utiliser principalement des articles issus de sources spécialisées dans le domaine (les bâtiments durables, l’énergie, l’automatisation, l’informatique) tel que l’école ESIEA, Intel, Siemens, PEEB (Programme pour l’efficacité énergétique, dans les bâtiments). Nous avons essayé de rester sur des ressources récentes (maximum 5 ans). Les données et les informations ont été croisées entre elles pour être sûr de la fiabilité.

## Cadrage

Nous avons également défini ce qui était dans notre périmètre de recherche et ce qui ne l’était pas. Ainsi nous avons fait le choix de nous concentrer sur les régions développées (plus particulièrement l’Europe) et sur les tendances IoTs concernant l’efficacité énergétique. Il fallait donc éviter de sortir du périmètre en évoquant des notions tel que des solutions IoT sans lien avec l’efficacité énergétique, les différentes manières d’améliorer l’efficacité énergétique ou de réduire son emprunte carbone.

## Exploitation des acquis théoriques

Afin de mener à bien notre veille technologie, nous avons pu exploiter les connaissances acquises au cours de l’année. Nous avons, par exemple, pu utiliser nos compétences acquises en cours de Word, de PowerPoint, de veille, d’expression écrite et orale. Mais aussi les connaissances acquises en cours plus techniques comme les cours d’hardware ou de réseaux.

# V - Résultats et discussion

## 1 - Présentation des résultats obtenus

### 1.1 - Enjeux énergétiques liés aux bâtiments

Les bâtiments sont parmi les plus gros consommateurs d’énergie au monde. Selon l’Agence internationale de l’énergie (AIE), ils représentent environ 30 à 40 % de la consommation énergétique mondiale et environ 30 % des émissions de gaz à effet de serre. Cette consommation est principalement liée au chauffage, à la climatisation, à l’éclairage et à l’usage des équipements électroniques.

Les enjeux majeurs en cherchant à améliorer l’efficacité énergétique des bâtiments sont la réduction des consommations énergétiques sans dégrader le confort des occupants, la transition vers des énergies renouvelables et le suivi des consommations pour détecter les gaspillages. L’un des enjeux majeurs est de moderniser un bâtiment souvent ancien donc énergivore et mal isolé.

### 1.2 - Lien entre IoT et efficacité énergétique

L’Internet des objets, permet de connecter en temps réel les équipements d’un bâtiment (capteurs, systèmes CVC, éclairage, etc.) à des plateformes de gestion énergétique. Grâce à cela on peut collecter des données en continu (température, occupation des pièces, qualité de l’air ...), les analyser en temps réel afin de détecter des comportements anormaux ou involontaires. À la suite de ces analyses, les équipements sont contrôlés intelligemment (éteindre une lumière dans une pièce vide, ajuster le chauffage ...).

De cette manière la gestion de l’énergie devient active, prédictive et optimisée. Cette optimisation automatisée des consommations énergétiques en fonction des habitudes des occupants, de leurs horaires ou des tarifs de l’électricité permet souvent des économies de 15 à 30%.

### 1.3 - Données chiffrées mondiales

Selon Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), la naissance de l’Internet des objets a eu lieu lorsqu'il y a eu plus d’objets connectés à Internet que de personnes sur Terre, c'est-à-dire entre 2008 et 2009. En 2010, le nombre d'appareils connectés atteignait déjà 12,5 milliards, pour 6,8 milliards d'individus.  
En 2020, on comptait plus de 21,7 milliards d'objets connectés dans le monde : 11,7 milliards d'objets connectés, auxquels il faut ajouter 10 milliards de smartphones, tablettes et ordinateurs, qui bien que connectés, ne comptent pas parmi les objets IoT.  
Par ailleurs, on peut estimer que les dépenses mondiales en matière d'Internet des objets atteindront 1 100 milliards de dollars en 2023.

### 1.4 - Innovations clés

Les avancés émergentes dans la technologie (IA, 5G, edge computing) nous amènent à attendre une avancée significative dans le domaine de l’IoT. Ces dernières pourront améliorer notre manière d’interagir avec nos appareils connectés mais rendront également la technologie IoT plus présente dans notre quotidien.

#### Capteurs et actionneurs

**Capteurs :** Les capteurs sont les éléments fondamentaux des appareils IoT. Ils collectent des données sur l’environnement, telles que la température, l’humidité, la qualité de l’air, les mouvements et la lumière. Ces données sont ensuite transmises à un système central pour traitement.  
**Actionneurs :** Les actionneurs sont des dispositifs capables d'effectuer des actions basées sur des commandes provenant d'un système de contrôle. Ils peuvent ajuster les paramètres, déplacer des composants ou interagir avec l'environnement, rendant les systèmes IoT interactifs et dynamiques.

#### Connectivité

**Protocoles de communication sans fil :** les appareils IoT s'appuient sur divers protocoles de communication sans fil pour se connecter et partager des données. Ceux-ci incluent le Wi-Fi, le Bluetooth, Zigbee, Z-Wave et LoRaWAN. Le choix du protocole dépend de l'application et des exigences spécifiques, telles que la portée, la consommation électrique et le taux de transfert de données.  
**Réseaux 5G :** Le déploiement des réseaux 5G change la donne pour l'IoT, offrant des vitesses de transfert de données plus élevées, une latence plus faible et une capacité accrue pour les appareils connectés. Cela permettra des applications IoT plus complexes et gourmandes en données.

#### Traitement et analyse des données

**Informatique de pointe :** Edge computing implique de traiter les données à proximité de l'endroit où elles sont générées, plutôt que de les envoyer vers un cloud centralisé. Cela réduit la latence et l’utilisation de la bande passante, rendant possible l’analyse des données en temps réel. L'informatique de pointe est cruciale pour des applications telles que les véhicules autonomes et l'automatisation industrielle.  
**Informatique en nuage :** Le cloud computing fournit l'infrastructure nécessaire au stockage et au traitement de grandes quantités de données IoT. Il permet l'évolutivité, la flexibilité et la rentabilité, permettant aux entreprises de tirer parti de l'analyse avancée et de l'apprentissage automatique pour extraire des informations à partir des données IoT.

#### Sécurité et confidentialité

**Cryptage :** Assurer la sécurité des données IoT est primordial. Les techniques de cryptage protègent les données pendant la transmission et le stockage, empêchant tout accès non autorisé et toute falsification.  
**Authentification et contrôle d'accès :** Des mécanismes d'authentification robustes garantissent que seuls les appareils et utilisateurs autorisés peuvent accéder aux systèmes IoT. Les politiques de contrôle d'accès définissent les actions que chaque utilisateur ou appareil est autorisé à effectuer.

## 2- Analyse critique des résultats

### 2.1 - Tendances principales

Les tendances principales que nous avons pu remarquer en termes d’IoT lié à l’efficacité énergétique sont liés aux innovations récentes en technologie tel que l’intégration de l’Intelligence Artificielle (IA) ou bien celle de l’edge computing. Ces innovations sont elles-mêmes la suite d'innovations liées des années 2010. L’Intelligence Artificielle s’inscrit dans la continuité de l’automatisation et l’edge computing fait suite aux solutions de cloud. Mais on peut également voir apparaître des innovations plus récentes et moins présentes dans nos quotidiens comme les Digital Twins.

#### Intégration de l’Intelligence Artificielle

On a pu voir apparaître ces dernières années de plus en plus d’automatisation notamment avec l’apparition de l’Intelligence Artificielle (IA). L’automatisation permet aux systèmes de réagir sans intervention humaine. On peut noter plusieurs exemples de technologies d’IoT intégrants l’automatisation tel que les thermostats intelligents qui ajustent la température en fonction de la météo ou de la présence ou bien l’éclairage automatique selon la présence de la lumière naturelle. Mais l’intelligence artificielle pousse plus loin cette automatisation en faisant des analyses prédictives des pics de consommation ou en optimisant la consommation en fonction de plusieurs critères (économie, confort, empreinte carbone ...)

#### Intégration du cloud et de l’edge computing

L’une des innovations majeures pour l’IoT concerne le cloud et plus récemment l’edge computing. Durant les années 2010, les premières centralisations de données sur des cloud apparaissent, tel que les solutions d’IoT d’AWS. Puis durant les années 2020, afin de réduire la latence des appareils IoT, les traitements des données se réalisent de plus en plus en local (edge computing). L’edge computing est une stratégie qui rapproche le traitement des données du lieu où elles sont collectées ou utilisées, afin de recueillir et de traiter les données IoT sur la périphérie plutôt que de les renvoyer vers un datacenter ou un cloud. Des exemples d’utilisations sont déjà présents avec notamment NVIDIA Jetson et leurs bâtiments intelligents.

#### L’apparition des Digital Twins

Plus récemment, afin de simuler l’efficacité énergétique, des modèles de “jumeaux numériques” (digital twins) ont fait leurs apparitions. Un “Digital Twin” est une représentation numérique d’un objet physique, d’un processus ou d’un processus. Grâce à des données collectées, les “Digital Twins” sont capables de prédire un comportement. Un Digital Twin est donc un programme informatique qui utilise des données du monde réel pour créer des simulations qui peuvent prédire comment un produit ou un processus fonctionnera. On retrouve notamment ces modèles avec l’entreprise Siemens en 2023. Ils peuvent avoir différentes utilités en fonction de leurs utilisations. Par exemple, il peut servir à réduire les charges de maintenance en surveillant des produits déjà existants ou bien servir pour le prototypage avant la fabrication pour réduire les défauts des produits. Ainsi on retrouve les “Digital Twins” dans les smart cities afin de guider les décisions de planifications et leurs offrent de nombreuses solutions.

### 2.2 - Normes vertes et certifications (LEED, BREEAM, etc.)

Les bâtiments peuvent obtenir des certifications environnementales qui garantissent une bonne gestion énergétique, parmi lesquelles :

* LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) : certification nord-américaine reconnue mondialement. Critères : efficacité énergétique, choix des matériaux, gestion de l’eau…
* BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) : d’origine britannique, elle évalue aussi la durabilité globale.
* HQE (Haute Qualité Environnementale) : certification française mettant l’accent sur le confort, la santé et l’environnement.  
  Pour obtenir ces labels, l’usage de solutions IoT permet souvent d’améliorer les performances énergétiques mesurables, donc de faciliter la certification.

### 2.3 - Analyse concurrentielle

#### Le marché de l'IoT

En 2024, le marché mondial de l’IoT est évalué à environ 600 milliards de dollars. Cette valorisation inclut un large éventail d'applications IoT, depuis l'électronique grand public et les appareils domestiques intelligents jusqu'à l'IoT industriel (IIoT) et les solutions de santé connectées.

Il existe trois secteurs de l’IoT : l’IoT grand public, l’IoT industriel et l’IoT pour la santé. Nous avons centré notre rapport de veille technologique sur l’IoT grand public, elle comprend les appareils domestiques intelligents, les appareils portables et les appareils connectés. L’IoT grand public a connu une croissance rapide à la suite de l’adoption de technologies intelligentes par de plus en plus de consommateurs. L’IoT industriel désigne les applications dans les secteurs de la fabrication, de l’énergie, de la logique et d’autres secteurs industriels et cherche l’efficacité opérationnelle, la maintenance prédictive et l’automatisation. L’IoT pour la santé vise les dispositifs médicaux connectés, la surveillance à distance des patients et des solutions de télésanté.  
Les analystes du secteur prévoient que le marché de l’IoT dépassera 1 000 milliards de dollars d’ici 2030, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) d’environ 15 à 20 % au cours de la prochaine décennie.

Cette croissance peut s’expliquer par de nombreux facteurs, tout d’abord les nouvelles avancées technologiques tel que l’analyse de données, les capteurs basse consommation, les réseaux 5G. L’explosion de données provenant d’appareils connectés font également croitre le marché de l’IoT. De plus, les entreprises constatent un intérêt en investissant dans l’IoT cela leur permet d’optimiser leurs opérations et de réduire les coûts. Les consommateurs ne sont pas en reste puisque la demande est croissante pour les appareils intelligents et les solutions connectées. Les appareils domestiques intelligents et les appareils connectés font désormais partie intégrante de la vie quotidienne. Enfin les initiatives gouvernementales tel que les normes vertes créent un cadre favorable à l’investissement dans l’IoT.

Ces facteurs permettent ainsi l’amélioration de l’efficacité de l’IoT, l’orientation des décisions commerciales et ainsi la croissance du marché de l’IoT.

#### Acteurs majeurs

Les grandes entreprises du Web, tel que les GAFAM, attirés par les prévisions de revenus cherchent à vendre des objets connectés ainsi que des services liés. En effet, ces grandes entreprises sont les plus avantagés sur ce marché, puisque l’IoT nécessite de stocker une grande quantité de données produites par les objets connectés. Il est également nécessaire de disposer d’une grande vitesse de traitement et d’une bonne bande passante. Parmi les acteurs majeurs de l’IoT on compte notamment :

* **Amazon Web Services (AWS) :** AWS propose une suite complète de services IoT, permettant aux entreprises de se connecter, de gérer et d'analyser les appareils et les données IoT. AWS IoT fournit des solutions évolutives, sécurisées et économiques pour diverses applications IoT.
* **Google Cloud :** Google Cloud propose une gamme de services IoT qui tirent parti de son expertise en matière de Big Data, d'apprentissage automatique et de cloud computing. Google Cloud IoT permet aux entreprises de créer et de déployer des solutions IoT à grande échelle.
* **Microsoft Azure :** Microsoft Azure IoT fournit une plateforme complète pour créer, déployer et gérer des applications IoT. Azure IoT propose une gamme de services pour connecter, surveiller et analyser les appareils et les données IoT.
* **IBM :** IBM Watson IoT exploite l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique pour proposer des solutions IoT plus intelligentes. IBM Watson IoT fournit des outils pour connecter, gérer et analyser les appareils et les données IoT.
* **Cisco IoT Cloud :** Cisco IoT Cloud fournit une plate-forme sécurisée et évolutive pour connecter et gérer les appareils IoT. L'expertise de Cisco en matière de mise en réseau et de sécurité permet des solutions IoT robustes et fiables.
* **Intel :** Intel fournit des solutions matérielles et logicielles pour les applications IoT, en mettant l'accent sur les performances, la sécurité et l'évolutivité. Les solutions IoT d'Intel permettent l'informatique de pointe, la connectivité et l'analyse des données.
* **Siemens :** Siemens Mindsphere est une plateforme IoT industrielle qui connecte les actifs physiques au monde numérique, permettant des informations et une optimisation basée sur les données. Mindsphere s'appuie sur l'expertise de Siemens en matière d'automatisation et d'applications industrielles.
* **Samsung (SmartThings) :** Samsung SmartThings propose une plate-forme pour connecter et gérer les appareils domestiques intelligents. SmartThings permet une intégration transparente de divers appareils IoT pour une commodité et une automatisation améliorée.

#### Startups innovantes

De nombreuses startups IoT sont à l’origine de l’innovation dans le domaine. Ces entreprises développent des solutions de pointe qui transforment les secteurs et repoussent les limites des capacités de l'IoT. On compte parmi elles : Armis, spécialisé dans la sécurité IoT notamment aux entreprises leurs permettant ainsi de protéger leurs appareils connectés ; Particule qui offre une plate-forme pour gérer des appareils et services IoT ; Hélium, développe des réseaux sans fils pour les appareils IoT pour que leur connectivité soit sécurisée et évolutive. Enfin SmartRent fournit des solutions IoT pour les particuliers tel que des serrures connectées, des thermostats, des capteurs ...

### 2.4 - Forces/Faiblesses des solutions actuelles

Grâce à l’IoT, vous gagnez en confort de vie. Vous pouvez profiter de la régularisation de la température afin que votre pièce soit chauffée quand il est nécessaire. La lumière peut être réglée automatiquement en fonction de la météo et selon la présence dans la pièce. Mais il est également possible d’automatiser les volets ou gérer à distances les prises électriques. De plus, un bâtiment intelligent participe à la réduction de la facture d’énergie à hauteur de 40%. Enfin grâce aux détecteurs de CO2 et de fumée, les risques d’accidents et d’incendie diminuent fortement. Des caméras et des détecteurs de présence peuvent également être installés afin d’être prévenu en cas d’intrusion.

Malgré cela, un bâtiment intelligent présente certains inconvénients notamment celui de son prix d’achat ou de son coût d’installation, il faut également compter des frais d’entretiens et de maintenance pour ces équipements. Les technologies d’IoT présentes peuvent être rentables très rapidement dans certains cas mais peuvent prendre plus de temps en fonction des utilisateurs présents. De plus cette technologie crée une certaine habitude pour l’utilisateur.

## 3 - Interprétation des données

### 3.1 - Limites actuelles

Les appareils IoT collectent de grandes quantités de données, ce qui soulève des inquiétudes quant à la confidentialité et à la sécurité des données. Garantir que les informations personnelles sont protégées et utilisées de manière responsable constitue un défi crucial.  
Cryptage des données : Protéger les données pendant la transmission et le stockage pour empêcher tout accès non autorisé.  
Consentement de l'utilisateur : S'assurer que les utilisateurs sont informés et donnent leur consentement pour la collecte et l'utilisation des données.  
Les appareils IoT sont souvent vulnérables aux cyberattaques, qui peuvent compromettre l'intégrité des données et perturber les services. La mise en œuvre de mesures de sécurité robustes est essentielle pour protéger les systèmes IoT.  
Authentification : Vérification de l'identité des appareils et des utilisateurs pour empêcher tout accès non autorisé.  
Mises à jour du micrologiciel : Mise à jour régulière du micrologiciel de l'appareil pour corriger les vulnérabilités de sécurité.  
La propriété et le contrôle des données générées par les appareils IoT sont des questions complexes. Des politiques et réglementations claires sont nécessaires pour définir la propriété des données et les droits d’utilisation.  
Gouvernance des données : Établir des cadres pour la gestion des données, y compris la propriété, l'accès et le partage.  
Conformité réglementaire : Adhérer aux réglementations sur la protection des données, telles que le RGPD et le CCPA.  
La croissance rapide de l’IoT nécessite le développement de cadres réglementaires pour garantir la sûreté, la sécurité et l’interopérabilité. Les gouvernements et les organismes industriels doivent collaborer pour créer des normes et des lignes directrices.  
Normes d'interopérabilité : Garantir que les appareils et les systèmes IoT peuvent fonctionner ensemble de manière transparente.  
Règlements de sécurité : Établir des normes de sécurité pour les appareils IoT afin de protéger les utilisateurs et le public.

### 3.2 - Interopérabilité

Concrètement, l’interopérabilité désigne des systèmes capables de s’adapter et de collaborer avec d’autres systèmes indépendants, afin de créer un réseau et de faciliter le transfert de données.  
L’interopérabilité est une problématique connue des acteurs de l’IoT. Cela est renforcé par la multiplication des objets connectés qui ne communiquent pas entre eux et des gateways qui ne peuvent pas interpréter les données de tous les capteurs. Les différents protocoles (EnOcean, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, Wi-Fi…) ne parlent pas entre eux et cela peut créer des difficultés d’installation et de fonctionnement au sein d’un même logement/bâtiment.

### 3.3 - Données personnelles

**Collecte de masse des données :** Les dispositifs IoT collectent une quantité massive de données, souvent de manière continue. Cette collecte de données omniprésente peut inclure des informations sensibles telles que la localisation, les habitudes de consommation, et les données de santé. Les entreprises doivent s’assurer que cette collecte est conforme au RGPD, notamment en obtenant le consentement explicite des utilisateurs et en minimisant la collecte de données à ce qui est strictement nécessaire.  
**Contrôle des données :** Le RGPD exige que les utilisateurs soient informés de la manière dont leurs données sont collectées, utilisées et partagées. Dans le contexte de l’IoT, cela peut être complexe, car les dispositifs collectent souvent des données en arrière-plan. Les entreprises doivent fournir des informations claires et accessibles sur leurs pratiques de traitement des données et permettre aux utilisateurs de contrôler leurs informations.  
**Sécurisation des données :** Les dispositifs IoT sont souvent vulnérables aux cyberattaques en raison de leur connectivité constante et de leur sécurité parfois insuffisante. Les entreprises doivent mettre en place des mesures de sécurité robustes pour protéger les données collectées et prévenir les accès non autorisés. Cela inclut le cryptage des données, l’authentification forte et les mises à jour régulières des logiciels.

L’Internet des Objets (IoT) et le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) représentent deux forces puissantes qui façonnent le paysage numérique contemporain. Alors que l’IoT continue de se développer, connectant des milliards d’appareils et générant une quantité exponentielle de données, le RGPD s’assure que cette prolifération technologique respecte les normes de protection des données personnelles. Actuellement, la situation est marquée par une tension entre l’innovation technologique rapide et les impératifs réglementaires stricts.

# VI - Propositions et recommandations

## Solutions envisagées

L’intégration de l’IoT dans un environnement industriel existant présente plusieurs défis. La compatibilité avec les systèmes en place (MES, ERP) doit être assurée pour éviter les silos de données. La cybersécurité est également un enjeu majeur : la multiplication des objets connectés accroît les risques de cyberattaques, nécessitant une protection renforcée des infrastructures.

Pour garantir une mise en œuvre efficace, il est essentiel d’adopter une approche progressive. Un projet pilote permet d’évaluer les bénéfices avant un déploiement global. Il est également recommandé de définir des objectifs précis, tels que la réduction des pannes ou l’amélioration de l’efficacité énergétique. Enfin, la collaboration avec des experts en IoT facilite l’intégration et maximise le retour sur investissement.

Voir annexe 2

## Perspectives

L’IoT jouera un rôle central dans la création de maisons intelligentes équipées d’appareils interconnectés offrant commodité, sécurité et efficacité énergétique. Dans plusieurs années les assistants intelligents ainsi que les appareils connectés seront de plus en plus présents dans le quotidien, et seront intégrés dans de plus en plus de foyers.  
Les assistants vocaux basés sur l'IA comme Amazon Alexa et Google Assistant deviendront plus sophistiqués, offrant une interaction et un contrôle transparents sur les appareils domestiques.  
Pour ce qui est des appareils tels que les réfrigérateurs, les machines à laver et les thermostats, ils utiliseront de plus en plus l'IoT pour optimiser les performances et réduire la consommation d'énergie. La 5G sera également de plus en plus adoptée ce qui améliorera les capacités de l’IoT.

## Impact potentiel

L’IoT s’impose comme un levier stratégique pour l’industrie moderne. En améliorant la visibilité, l’efficacité et la sécurité des opérations, il transforme la façon dont les entreprises gèrent leurs ressources et leurs équipements. Les avancées à venir, notamment l’intelligence artificielle appliquée à l’IoT et les jumeaux numériques, renforceront encore son impact. Les industriels qui intègrent dès aujourd’hui ces technologies bénéficieront d’un avantage concurrentiel significatif et d’une meilleure résilience face aux défis de demain.

• Cybersécurité : Piratages de systèmes IoT (ex : attaque sur les thermostats Honeywell en 2021, rapport Kaspersky).  
• Interopérabilité : Bataille des standards entre Matter (ex-Google/Apple) et OCF (Linux Foundation). Ajout de donnée

# VII - Conclusion

## Synthèse des principaux points abordés

L'Internet des objets (IoT) est sur le point de devenir une industrie de plusieurs milliards de dollars, révolutionnant divers secteurs et transformant notre façon de vivre et de travailler. Devenant ainsi un levier majeur pour la transition énergétique, contribuant à une gestion plus efficiente et plus durable des ressources dans tous les secteurs d’activité. À mesure que l’IoT continue de progresser, il entraînera des améliorations significatives en termes d’efficacité, de productivité et de qualité de vie. Cependant, il est essentiel de relever les défis éthiques, sociaux et réglementaires pour garantir que les avantages de l’IoT soient partagés de manière équitable et responsable. En exploitant le potentiel de l’IoT et en relevant ses défis, nous pouvons créer un avenir dans lequel l’IoT constitue un outil puissant pour améliorer la condition humaine.

Il en est de même pour les bâtiments à haute efficacité énergétique équipé de systèmes de gestion intelligents qui sont désormais un critère de choix à plusieurs niveaux pour de nombreux acheteurs.   
Avec l’essor de l’intelligence artificielle, les solutions IoT deviennent de plus en plus performantes. Les nouveaux systèmes sont capables de traiter un grand volume de données en temps réel et d’effectuer des analyses avancées pour améliorer la prise de décision.

Dans les années à venir et grâce aux avancées en intelligence artificielle, les bâtiments pourront ajuster automatiquement leur consommation en fonction de la demande énergétique et des conditions climatiques.

Par ailleurs, l’utilisation des objets connectés s’étendra à de nouveaux domaines tels que la mobilité durable, avec des infrastructures capables d’optimiser la recharge des véhicules électriques en fonction des disponibilités du réseau.

## Réflexion finale

Cette veille technologique sur l’importance de l’IoT pour l’efficacité énergétique a été très enrichissante. Nous avons pu gagner en compétence sur le fonctionnement de l’IoT et les différents usages de cette technologie vis à vis de l’efficacité énergétique.

Il s’agit pour nous d’une veille très importante à réaliser car il s’agit d’un atout clé pour l’écologie mais également pour nos dépenses énergétiques. Ainsi il est très intéressant de maintenir cette veille pour être au courant des dernières innovations mais également des derniers risques en termes de cybersécurité puisque l’IoT utilise nos données du quotidien.

Glossaire

M2M : machine to machine.

CVC : chauffage, climatisation, ventilation aussi appelé HVAC en anglais.

Plateforme de supervision énergétique : plateforme permettant un suivi en temps réel, la détection d’anomalies et une prise de décision automatisée.

Gateways : un dispositif permettant de relier deux réseaux distincts.

Directive sur la performance énergétique des bâtiments (2018/844/UE) : texte de décarbonisation visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, d’au moins 40 % d’ici à 2030 par rapport à 1990.

# Bibliographie

<https://global.abb/content/dam/abb/global/energy-efficiency-movement/fr-fr/whitepapers/ABB_EE_Efficacite_energetique-des-batiments_intelligents.pdf>

- consulté le 13/01

<https://www.peeb.build/imglib/downloads/PEEB%E2%80%8B_efficacite-energetique-dans-les-batiments-au-maroc%E2%80%8B_support-de-sensibilation%E2%80%8B.pdf.pdf>

- consulté le 04/02

<https://www.intel.fr/content/dam/www/public/emea/fr/fr/documents/case-studies/dk100-quark-soc-kingspan-study1.pdf> - consulté le 13/01

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/internet-objets-smart-city> - consulté le 04/02

<https://www.esiea.fr/blog/linternet-des-objets-iot-revolutionner-le-quotidien-et-lindustrie/> - consulté le 27/01

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:0774729b-5a5f-4d8b-9e36-99c187c4a2ab/brochure-siemens-enlighted.pdf> - consulté le 13/01

<https://griot-conseil.com/tendances-iot-2025/> - consulté le 12/02

<https://www.advizeo.io/smart-buildings/batiment-intelligent-definition-usages-et-avantages-cles> - consulté le 12/02

<https://www.globalgrowthinsights.com/fr/blog/internet-of-things-iot--348>

- consulté le 01/03  
<https://www.wattsense.com/fr-fr/blog/gestion-du-batiment/adopter-lot-dans-les-batiments/> - consulté le 03/03

<https://iconics.fr/limpact-de-liot-sur-la-performance-industrielle-analyse-de-linternet-des-objets-dans-la-collecte-et-lanalyse-des-donnees-pour-une-production-intelligente/>

- consulté le 03/03

<https://homenergie.maison-travaux.fr/homenergie/solutions-du-quotidien-home-energie/objets-connectes-home-energie/maison-connectee-force-et-faiblesse-fp-250079.html> - consulté le 27/02

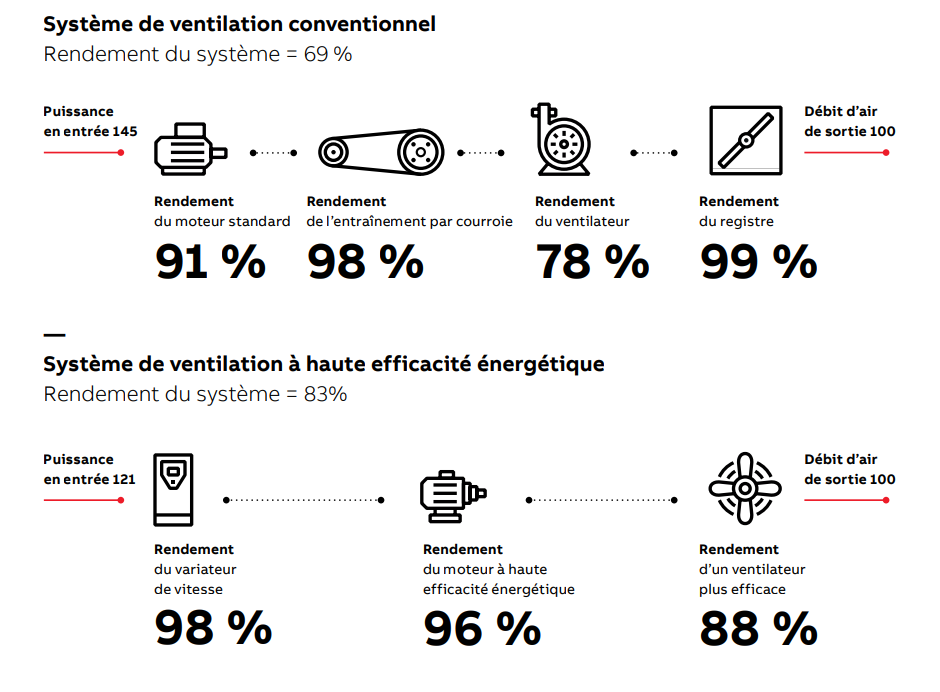
<https://nodon.fr/blogs/infos/l-interoperabilite-dans-l-iot-definition-et-solution#:~:text=L%27interopérabilité%20est%20une%20problématique,données%20de%20tous%20les%20capteurs> - consulté le 20/03

[https://dpo-consulting.fr/le-rgpd-et-linternet-des-objets-iot-defis-et-opportunites-en-2024/#:~:text=Les%20dispositifs%20IoT%20collectent%20une,et%20les%20données%20de%20santé](https://dpo-consulting.fr/le-rgpd-et-linternet-des-objets-iot-defis-et-opportunites-en-2024/#:~:text=Les%20dispositifs%20IoT%20collectent%20une,et%20les%20donn%C3%A9es%20de%20sant%C3%A9) - consulté le 03/04

<https://www.ecoreseau.fr/environnement/oslo-la-ou-sinspirer-pour-demain-2024-09-03-106958> - consulté le 05/05

# Annexes

Annexe 1

[](https://private-user-images.githubusercontent.com/185896624/436069116-e9614189-2d09-48e8-bec8-05d66a7db21e.png?jwt=eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJpc3MiOiJnaXRodWIuY29tIiwiYXVkIjoicmF3LmdpdGh1YnVzZXJjb250ZW50LmNvbSIsImtleSI6ImtleTUiLCJleHAiOjE3NDgyNjE5MDIsIm5iZiI6MTc0ODI2MTYwMiwicGF0aCI6Ii8xODU4OTY2MjQvNDM2MDY5MTE2LWU5NjE0MTg5LTJkMDktNDhlOC1iZWM4LTA1ZDY2YTdkYjIxZS5wbmc_WC1BbXotQWxnb3JpdGhtPUFXUzQtSE1BQy1TSEEyNTYmWC1BbXotQ3JlZGVudGlhbD1BS0lBVkNPRFlMU0E1M1BRSzRaQSUyRjIwMjUwNTI2JTJGdXMtZWFzdC0xJTJGczMlMkZhd3M0X3JlcXVlc3QmWC1BbXotRGF0ZT0yMDI1MDUyNlQxMjEzMjJaJlgtQW16LUV4cGlyZXM9MzAwJlgtQW16LVNpZ25hdHVyZT1kYzlkZDFjOWFmNDkzZjk2NDkyZjU1OGNiMmIwMGY1MmNiZmU4NWM2ODM0NGQ2ODBkNmRiYTI5YjVmYjc2ZjZmJlgtQW16LVNpZ25lZEhlYWRlcnM9aG9zdCJ9.gozvp5ONwyMOPoEGHe9KAgWTQ2qnxCujZCDFst3K4lE)

Annexe 2

