

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

## **UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET**

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Département : Génie Electrique**

**Spécialité : Electronique des Systèmes Embarqués**

## **THÈME**

**Evaluation de la qualité des données d'un système  
d'IoT**

**Préparé par :**  
**MiroudAmel**  
**KhiterDjihane**

**Devant le Jury :**

<b>Nom et prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
A. GHELLAB	MCB	Président
R. OTMANI	MAA	Examineur
A. ADDA BENATTIA	MCB	Examineur
Y. BELHADJI	MCA	Encadreur
A. BENSATTALAH	MCB	Co-Encadreur

# Remerciement et dédicaces

### ***Remerciements***

*Tout d'abord, nous remercions ALLAH, le tout puissant, qui nous a donné la santé, le courage et la patience de finir ce travail.*

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à nos réussites et qui nous ont aidés à rédiger ce mémoire

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur, **Mr BELHADJI YUCEF** pour son engagement, son aide et ses précieux conseils qu'il a su me transmettre tout au long de ce projet. Je tiens particulièrement à le remercier pour son soutien tous ces mois.

Un grand merci s'adresse également à notre co-encadreur **Mr BENSATTALAH AISSA** pour son aide précieux et ses conseils ainsi que son accompagnement tout au long de la réalisation de notre mémoire.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement le président du jury, **Mr A. GHELLAB** d'avoir accepté de présider la soutenance de notre mémoire.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers les membres du jury **Mr. R. OTMANI et Mr. A. ADDA BENATTIA** pour leur participation à l'évaluation approfondie de ce mémoire. Votre expertise et vos suggestions vont nous permettre d'enrichir notre réflexion et d'améliorer la qualité de notre travail.

À la fin, nous remercions nos parents, nos sœurs et nos frères.

## Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma gratitude, je dédie ma graduation et ma joie

À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et de mon bonheur, à ma lune et au fil de l'espérance qui éclaire mon chemin, la moitié de ma mère.

À celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon prince papa.

À mes frères Khaled et Abdelkader pour l'amour qu'il a pour moi.

A mon frère Mohammed Amin qui n'a cessé de me prodiguer conseils, encouragements et soutien tout au long de mes études.

À ma merveilleuse petite sœur Retaj qui sait toujours apporter joie et bonheur à toute la famille.

À tous les membres de la grande famille Miroud et la famille Merabet.

Sans oublier mon binôme Djihane pour son soutien moral de sa patience sa compréhension tout au long de ce projet.

à tous mes collègues de promotion de Master2 électronique des systèmes embarquée.  
à tout ce qui ont participé à ma réussite et à tous qui m'aiment.

## **Dédicace**

Je dédie ce mémoire à ceux qui m'ont aidé et mon effort cette occasion :

A ma mère qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études

À la mémoire de mon père qui nous a quittés voilà quatorze ans

A mon grand-père Djilali qui sans lequel je n'aurais jamais repris mes études

A ma grande mère, elle est ma deuxième mère qui n'est pas comme les autres

A mes frères : Mokhtar, Mahdi, Khaled

A MES Chères tantes : Saadia et Salma

A Mes sœurs Hanan, Maroua, khadidja, hadjer

A mon chère oncle Ahmed et sa femme et ses enfants Ritadj et Mohamed

Une spéciale dédicace A deux personnes qui ont été très proche de Mon cœur Halima et Hanaa

A mon binôme Amel Miroud pour son travail et son encouragement

A tous mes amies et toutes les personnes que j'aime.

# Liste des figures et de tableaux

## Liste des figures

Figure 1.1 L'évolution du web : du web 1.0 au web 4.0.....	4
Figure 1.2 Représentation du système IoT vs RFID .....	5
Figure 1.3 Top 10 des domaines d'application IoT .....	10
Figure 1.4 Tendances de croissance du nombre d'objets connectés jusqu'en 2020.....	12
Figure 1.5 Pyramide de l'IoT.....	13
Figure 1.6 Relation entre capteur et actionneur .....	14
Figure 1.7 Quelques exemples de capteurs et d'actionneurs .....	14
Figure 1.8 Représentation des différents types de réseaux dans une application IoT	16
Figure 1.9 Rôle du cloud computing dans les applications IoT .....	17
Figure 1.10 Architecture d'une application IoT en quatre couches.....	18
Figure 2.1. Les 3V du big data.....	27
Figure 4.1 Présentation du capteur DS18B20 et son câblage avec la carte Arduino .	44
Figure 4.2 Présentation du capteur LM35 et son câblage avec la carte Arduino .....	45
Figure 4.3 Présentation des fonctionnalités de la carte Arduino .....	46
Figure 4.4 Description des différentes parties de la carte Arduino Uno .....	47
Figure 4.5 ESP32 WROOM.....	48
Figure 4.6 Les broches de la carte ESP32 WROOM DevKit générique .....	49
Figure 4.7 Interface du CoolTerm pour la collecte des données .....	50
Figure 4.8. Protocole de communication .....	51
Figure 4.9. Programme de collecte de température avec DS18B20, LM35 et l'ESP32 sur une application web .....	52
Figure 4.10. La visualisation des valeurs de mesure de température via le web (HTML)	53
Figure 4.11 Présentation du montage à trois capteurs ainsi que les deux essais froid et chaud .....	54
Figure 4.12. Représentation graphique des températures enregistrées durant les 05 jours	56
Figure 4.13. Représentation des moyennes pendant 05 jours.....	57
Figure 4.14. Représentation des variances pendant 05 jours .....	57
Figure 4.15. Représentation des écarts-type pendant 05 jours.....	58
Figure 4.16. Représentation des moyennes pendant 05 jours.....	60
Figure 4.17. Représentation des variances pendant 05 jours .....	60
Figure 4.18. Représentation des écarts-type pendant 05 jours.....	60
Figure 4.19. L'allure des températures enregistrées durant la première journée-Montage multiple (DS18B20) .....	61
Figure 4.20. L'allure des moyennes de températures durant la première et la deuxième heure .....	62
Figure 4.21. L'allure des moyennes de températures durant la troisième heure .....	62
Figure 4.22. L'allure des températures enregistrées durant la première journée-Montage multiple (LM35) .....	63
Figure 4.23. Allure des températures enregistrées durant la première heure .....	63
Figure 4.24. Allure des températures enregistrées durant la deuxième heure .....	64
Figure 4.25. Allure des températures enregistrées durant la troisième heure .....	64

### Liste des tableaux

<b>Tableau 4.1. Les températures enregistrées durant la première heure pendant 05 jours</b>	<b>55</b>
<b>Tableau 4.2. Les températures enregistrées durant la deuxième heure pendant 05 jours</b>	<b>55</b>
<b>Tableau 4.3. Les températures enregistrées durant la troisième heure pendant 05 jours</b>	<b>56</b>
<b>Tableau 4.4. Les moyennes de températures pendant 05 jours.....</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 4.5. Les variances calculées pendant 05 jours.....</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 4.6. Les écarts-type calculées pendant 05 jours .....</b>	<b>58</b>
<b>Tableau 4.7. Les températures enregistrées durant la première heure pendant 05 jours</b>	<b>58</b>
<b>Tableau 4.8. Les températures enregistrées durant la première heure pendant 05 jours</b>	<b>58</b>
<b>Tableau 4.9. Les températures enregistrées durant la 3<sup>ème</sup> heure pendant 05 jours (LM35)</b>	<b>59</b>
<b>Tableau 4.10. Les températures enregistrées durant la première heure.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau 4.11. Les températures enregistrées durant la deuxième heure .....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau 4.12. Les températures enregistrées durant la troisième heure .....</b>	<b>64</b>



# Table des matières

## Table des matières

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : concepts de base sur l'IoT .....	3
1. Introduction .....	3
1.1 Évolution du Web et de l'Internet.....	3
1.2 Différence entre RFID et l'IoT .....	5
1.2.1 Portée de la technologie.....	6
1.2.2 Interactions et fonctionnalités.....	6
1.2.3 Infrastructure et écosystème.....	6
1.2.4 Evolutivité et extensibilité .....	7
1.3 Définition et Caractéristique clés de l'IoT .....	7
1.3.1 Définition de l'IoT.....	7
1.3.2 Caractéristique clés de l'IoT .....	8
1.4 Rôle de l'Internet des objets .....	8
1.5 Avantages et application de l'IoT.....	9
1.6 Contexte historique et évolution de l'IoT .....	10
1.6.1 Origines de l'IoT .....	10
1.6.2 Evolution des technologies de l'IoT.....	12
1.7 Composants clés des systèmes l'IoT .....	13
1.7.1 Objets connectés .....	13
1.7.2 Capteurs et actionneurs .....	14
1.7.3 Réseaux de communication.....	15
1.7.4 Plateformes IoT .....	16
1.7.5 Cloud computing et stockage des donnée .....	16
1.7.6 Sécurité .....	17
1.8 Architecture d'IoT.....	18
1.9 Caractéristique essentielles de l'IoT.....	18
Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation.....	19
1. Introduction.....	20
2.1 Définitions des types de données.....	20
2.1.1 Donnée .....	20
2.1.2 Information.....	21
2.1.3 Big data.....	21
2.2 Diversité des données IoT .....	22
2.3 L'enjeu de big data pour les systèmes IoT .....	23
2.3.1 Importance du big data.....	24
2.3.2 Caractéristiques du big data .....	25
2.4 Qualité de donnée d'un système IoT.....	27
2.5 Critères d'évaluation de la QD .....	28
2.5.1 But d'évaluation .....	28
2.5.2 Critères d'évaluation .....	30
2.5.3 Méthode d'évaluation de la qualité de données IoT et détection d'erreur.....	31
Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée.....	33
3.1 Techniques d'analyse statistique .....	34
3.1.1 Analyse descriptive.....	34
3.1.2 Analyse de la variance .....	37
3.1.3 Analyse de corrélation.....	39
3.1.4 Analyse par régression .....	41

<b>3.1.5 Méthodes d'estimation .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.6 Test d'hypothèse .....</b>	<b>42</b>
<b>Chapitre 4 : Etude d'un système IoT pour mesure de Température</b>	
<b>1. Introduction.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Présentation du matériel utilisé .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.1 Capteur de température.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.2 Carte Arduino et ESP32 .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 Méthodologie de l'expérimentation .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Analyse et Interprétation des résultats.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.1. Essai simple (avec un seul capteur) .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.2. Essai multiple.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.2. Essai Combiné (DS18B20 + LM35) .....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>65</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>66</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>67</b>

# Introduction générale

# Introduction Générale

---

L'internet des objets (IoT) est une technologie révolutionnaire qui permet de connecter des objets physiques à travers des réseaux, leur permettant la collecte, l'échange et l'analyse des données. L'IoT offre des possibilités innombrables dans de nombreux domaines, de la domotique à l'industrie, en passant par la santé et l'agriculture. Les systèmes IoT se composent de trois composantes principales : les capteurs, les réseaux de communication et les plateformes de traitement des données. Les capteurs sont des dispositifs qui mesurent des paramètres physiques tels que la température, l'humidité, la pression, etc. Ils sont responsables de la collecte des données à partir de l'environnement. Les réseaux de communication permettent la transmission des données collectées vers les plateformes de traitement, utilisant des technologies telles que le WiFi, le Bluetooth, la 4G/5G, etc. Les plateformes de traitement reçoivent, stockent et analysent les données, permettant aux utilisateurs de prendre des décisions basées sur ces informations. L'un des aspects critiques de l'IoT est la qualité des données (QD) générées par les systèmes IoT, car elle a un impact direct sur la fiabilité et l'utilité des informations obtenues.

La qualité des données dans les systèmes IoT est un aspect crucial qui détermine la fiabilité et l'utilité des informations générées. Plusieurs dimensions de la qualité des données sont à considérer durant la phase d'implémentation et la collecte des données, telles que la disponibilité et la précision. Pour évaluer la qualité des données dans les systèmes IoT, diverses techniques et méthodes peuvent être utilisées. Cela peut inclure des analyses statistiques : calcul de moyenne, écart-type et variance, pour identifier les valeurs aberrantes, les lacunes dans les données et les tendances. L'analyse des erreurs systématiques et des incertitudes peut également être effectuée pour quantifier les écarts potentiels entre les mesures et les valeurs réelles.

Dans cette étude, notre objectif principal est de mettre en place un système IoT pour la mesure de la température et d'évaluer la qualité des données générées par ce système. La température est une donnée couramment mesurée et peut avoir des implications importantes dans de nombreux contextes, tels que la surveillance environnementale, le contrôle de la température dans les installations industrielles ou la surveillance du bien-être des personnes.

## Introduction Générale

---

Le plan d'organisation de notre étude est le suivant :

- Un premier chapitre consacré pour une revue de la littérature pour recueillir des informations sur les technologies et les capteurs utilisés dans les systèmes IoT de mesure de température. Nous avons exploré les travaux de recherche existants, les études de cas et les articles pertinents pour comprendre les meilleures pratiques et les avancées récentes dans ce domaine.
- Un deuxième chapitre à travers lequel nous avons énoncé les concepts liés à la qualité des données et les méthodes d'évaluation.
- Un troisième chapitre destiné à l'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée.
- Le dernier chapitre est consacré pour la conception et l'implémentation et le test du système IoT pour mesure de température. Pour cela, nous avons choisi les capteurs Dallas DS18B20 et LM35 en raison de leur précision et de leur fiabilité définies par leurs constructeurs. Nous avons également utilisé le module ESP32 Devkit WiFi pour établir une connexion sans fil et permettre la transmission des données collectées via le web.

# Chapitre 01

## Introduction

L'évolution technologique se réfère à l'utilisation des connaissances scientifiques pour créer des applications et des outils qui améliorent différents aspects de notre vie quotidienne. Ces avancées ont donné naissance à diverses technologies de communication, notamment l'Internet des objets (IoT). L'IoT est devenu l'un des domaines les plus essentiels en raison de son immense potentiel à faciliter notre existence. Il permet désormais de contrôler notre domicile et tous ses appareils depuis un simple téléphone, ce qui était impensable auparavant. La preuve de l'engouement suscité par cette technologie réside dans la capacité de connecter la plupart de nos appareils électroménagers, voitures et même bureaux à des réseaux Wi-Fi. Ainsi, nous sommes à l'aube d'une nouvelle phase de notre mode de vie. Il y a quelques années, le terme "Internet" était principalement associé aux ordinateurs et aux smartphones. Toutefois, l'idée d'utiliser Internet sur nos téléphones était perçue comme étrange et a nécessité un certain temps d'adaptation avant de devenir une nécessité incontournable dans notre quotidien. Le même processus se produit maintenant avec l'Internet des objets, où tous les objets peuvent être connectés à Internet grâce à des protocoles familiers. Cependant, certains aspects de ce concept restent flous pour beaucoup de gens, qui ignorent encore son fonctionnement, ses caractéristiques et ses domaines d'application. Afin de dissiper ces incertitudes, nous allons tenter de répondre à plusieurs questions essentielles, telles que : Qu'est-ce que l'Internet des objets ? Quels sont les secteurs où il est utilisé ? Et quelle est son importance pour le développement technologique ?

### 1.1 Évolution du Web et de l'Internet :

Le Web est passé par plusieurs phases distinctes :

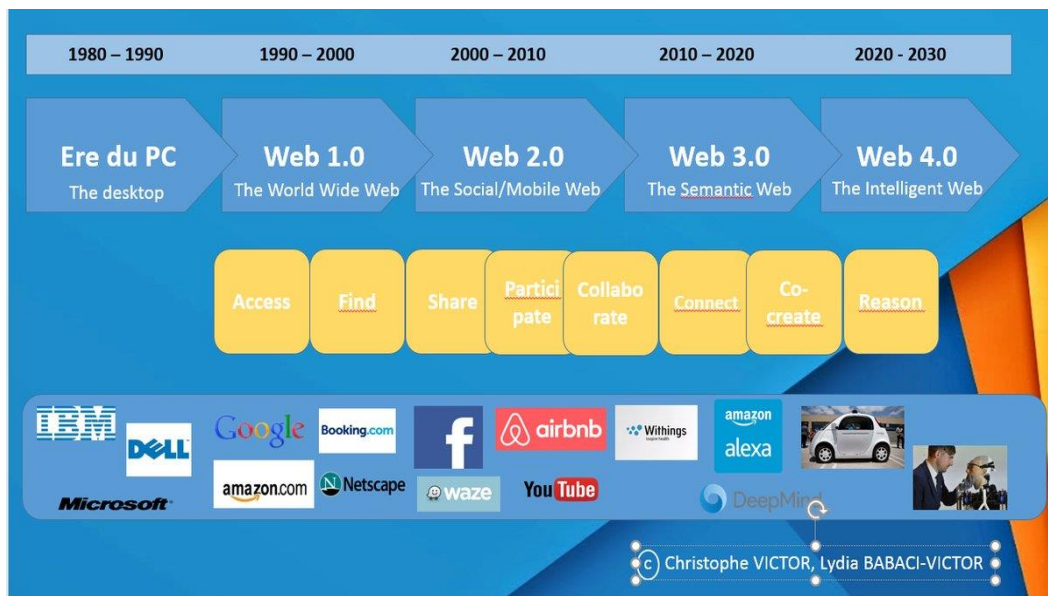
- **Première étape:**Le point de départ de toute remonte à une phase de recherche où le réseau était connu sous le nom d'ARPANET (Advanced ResearchProjects Agency Network). À cette époque, l'utilisation du réseau était principalement limitée aux milieux universitaires et était principalement axée sur la recherche scientifique.
- **Deuxième étape :** dans sa deuxième phase, le Web a été qualifié de "brochure électronique". Durant cette période, il y a eu une ruée vers l'acquisition de noms de domaine. Les entreprises ressentaient le besoin pressant de partager des informations sur Internet afin de promouvoir leurs produits et services.
- **Troisième étape:**Au cours de la troisième étape de l'évolution du Web, les données statiques ont évolué vers des données transactionnelles. Cela a permis l'émergence du commerce en ligne, avec des transactions d'achat et de vente de produits ainsi que la prestation de services. Cette période a



## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

été marquée par l'essor de sociétés telles qu'eBay et Amazon.com, mais également par la bulle des entreprises "point com" qui a malheureusement conduit à leur récession.

- **Quatrième étape:** La quatrième phase de l'évolution du Web, celle dans laquelle nous nous trouvons actuellement, est souvent désignée comme le Web "Social" ou "expérimental". Au cours de cette période, des entreprises telles que Facebook, Twitter et Groupon ont connu une popularité et une rentabilité extraordinaires (contrairement à la troisième phase du Web). Elles ont offert aux utilisateurs des moyens de communiquer, de rester en contact et de partager des informations en ligne de manière interactive et sociale.



**Figure 1.1** L'évolution du web : du web 1.0 au web 4.0 [web1]

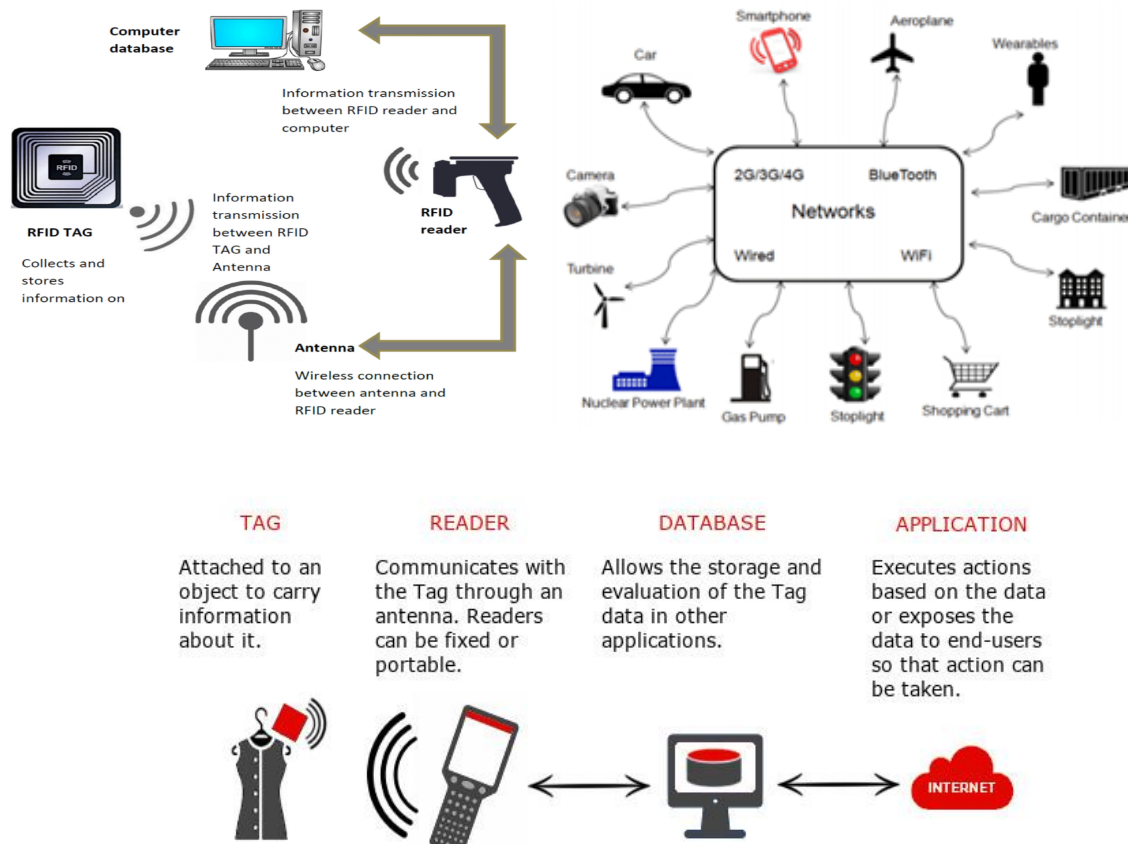
Contrairement au Web, qui a connu différentes phases d'évolution, l'Internet lui-même n'a pas subi de transformation fondamentale. Sa fonctionnalité principale est restée essentiellement la même depuis la phase ARPANET. Au départ, il existait plusieurs protocoles de communication tels que AppleTalk, Token Ring et IP. Actuellement, le protocole IP est devenu la norme. L'Internet des objets représente la première véritable évolution de l'Internet, offrant des capacités sensorielles et la possibilité de connecter des objets et des dispositifs à grande échelle.

Grâce à l'IoT, l'Internet acquiert de nouvelles fonctionnalités révolutionnaires, nous permettant d'anticiper, de diagnostiquer et de connecter des domaines autrefois inaccessibles. Cette évolution ouvre la voie à des applications innovantes qui transforment notre mode de vie, notre travail et notre façon d'interagir avec le monde qui nous entoure [1].

### 1.2 Différence entre RFID et IoT

# Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

La RFID (Radio Frequency Identification) et l'IoT (Internet of Things) sont deux technologies distinctes mais qui peuvent être complémentaires dans certains cas.



Creative Commons Graphic by SkyRFID

Figure 1.2 Représentation du système IoT vs RFID [web2]

Ci-après les principales différences entre RFID et IoT :

## 1.2.1. Portée de la technologie

- **RFID** : La RFID est une technologie de communication sans fil qui permet l'identification et la traçabilité d'objets à courte distance. Les étiquettes RFID sont généralement lues à une distance de quelques centimètres à quelques mètres à l'aide d'un lecteur RFID.
- **IoT** : L'IoT est une infrastructure réseau qui connecte des objets physiques et leur permet de communiquer et d'échanger des données via Internet. Les dispositifs IoT peuvent être connectés sur de plus longues distances, allant des réseaux locaux aux réseaux étendus.

## 1.2.2. Interactions et fonctionnalités

- **RFID** : La technologie RFID se concentre principalement sur l'identification automatique des objets. Elle permet de récupérer des informations spécifiques sur un objet identifié, telles que

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

---

son numéro de série ou sa localisation, mais ne permet pas nécessairement d'interagir avec l'objet.

- **IoT** : permet une interaction plus complexe entre les objets connectés. Les dispositifs IoT peuvent collecter, envoyer et recevoir des données, effectuer des actions et interagir avec d'autres objets ou utilisateurs. L'IoT permet des fonctionnalités avancées telles que le contrôle à distance, l'analyse des données en temps réel et la prise de décisions automatisées.

### 1.2.3. Infrastructure et écosystème

- **RFID** : La technologie RFID est généralement basée sur des systèmes propriétaires et autonomes, avec des lecteurs et des étiquettes spécifiques à chaque application. L'intégration de plusieurs systèmes RFID peut être complexe et nécessiter une gestion spécifique.
- **IoT** : Repose sur des standards de communication et des protocoles ouverts, permettant une interopérabilité entre différents dispositifs et plateformes. L'écosystème de l'IoT est plus vaste et comprend des infrastructures de réseau, des services cloud, des applications et des solutions logicielles qui facilitent la connectivité et l'échange de données.

### 1.2.4. Évolutivité et extensibilité

- **RFID** : La technologie RFID est souvent utilisée dans des applications spécifiques et limitées, telles que la gestion des stocks, la logistique ou le contrôle d'accès. L'évolutivité des systèmes RFID peut être limitée en termes de nombre d'objets identifiés et de capacité de traitement des données.
- **IoT** : est conçu pour être évolutif et extensible, permettant de connecter et de gérer un grand nombre d'objets hétérogènes à grande échelle. L'IoT offre une flexibilité pour développer de nouvelles applications et intégrer de nouveaux dispositifs au fur et à mesure de l'évolution des besoins.

En comparant les deux technologies on peut dire que la RFID se concentre principalement sur l'identification des objets à courte distance, tandis que l'IoT permet une connectivité plus étendue et des fonctionnalités avancées, en permettant la communication et l'interaction entre les objets connectés via Internet. De plus, il est à noter que certains types de RFID moins courants, utilisant des étiquettes actives plus coûteuses, peuvent prendre en charge des portées plus longues et une communication bidirectionnelle dans certains cas d'utilisation [2].

## 1.3 Définition et Caractéristiques clés de l'IoT

### 1.3.1 Définition de l'IoT

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

---

L'internet des objets (IoT) est défini comme un réseau interconnecté d'objets physiques qui sont équipés de capteurs, de logiciels et de capacités de connectivité, leur permettant de collecter et d'échanger des données via Internet. Ces objets peuvent être des appareils électroniques, des véhicules, des bâtiments, des infrastructures ou même des personnes. L'IoT permet à ces objets de communiquer entre eux et avec des systèmes informatiques, créant ainsi un écosystème intelligent et interconnecté [3]

### 1.3.2 Caractéristiques clés de l'IoT

L'IoT présente plusieurs caractéristiques clés qui le distinguent des autres domaines de l'informatique et des réseaux. Voici quelques-unes de ces caractéristiques :

- **Scalabilité** : L'IoT peut prendre en charge un très grand nombre d'objets connectés, ce qui permet d'étendre facilement le réseau pour inclure de nouveaux appareils et de gérer une quantité massive de données.
- **Connectivité ubiquitaire** : Les appareils IoT sont constamment connectés au réseau, permettant une communication sans fil permanente et une accessibilité à distance.
- **Capteurs et collecte de données** : Les objets IoT sont équipés de capteurs qui leur permettent de recueillir des données sur leur environnement physique, comme la température, l'humidité, la luminosité, etc. [4].
- **Communication machine-à-machine (M2M)** : Les appareils IoT peuvent interagir et communiquer entre eux sans intervention humaine, en partageant des informations et en prenant des décisions basées sur ces données.
- **Intégration des technologies** : L'IoT combine différentes technologies telles que la connectivité sans fil, les capteurs, le cloudcomputing, l'analyse des données et l'intelligence artificielle pour créer des systèmes complexes et interconnectés [5].
- **Autonomie** : Les appareils IoT peuvent fonctionner de manière autonome, sans nécessiter une interaction constante avec les utilisateurs. Ils peuvent prendre des décisions et exécuter des actions en fonction des informations collectées.
- **Sécurité et confidentialité** : Étant donné que l'IoT implique la collecte et l'échange de données sensibles, la sécurité et la protection de la vie privée sont des aspects cruciaux. Des mesures de sécurité robustes doivent être mises en place pour protéger les données et les appareils contre les attaques potentielles [6]

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

---

En comprenant ces caractéristiques clés, il devient possible de saisir l'ampleur et le potentiel de l'IoT dans divers domaines d'application.

### 1.4 Rôle de l'Internet des objets

L'Internet des objets a rapidement gagné en popularité et est considéré comme la phase la plus perturbatrice de la révolution Internet. L'IoT est omniprésent et est associé à des concepts similaires tels que l'"Internet de tout", l'informatique omniprésente et l'intelligence ambiante. Bien que les termes puissent varier académiquement, ils englobent tous des objets interconnectés via des réseaux, dotés de capacités de traitement et de capteurs, leur permettant de transmettre des informations sur leur environnement. L'IoT facilite l'interaction et la coopération entre les informations, les ressources et les objets, tels que les capteurs, les balises, les actionneurs, les téléphones portables, etc., afin d'atteindre des objectifs communs. Pour valoriser pleinement l'IoT, il est nécessaire d'intégrer des infrastructures informatiques et des services d'information, tels que les étiquettes RFID, les réseaux à large bande sans fil et les systèmes d'information géographique. Les données collectées par les objets intelligents répartis doivent être transmises via une infrastructure de communication, qui peut comprendre à la fois des technologies filaires et sans fil. L'IoT permet de connecter les objets du monde réel au monde virtuel, offrant une connectivité en tout lieu et à tout moment pour n'importe quoi. Ces capacités peuvent être appliquées à tous les domaines de la vie quotidienne [7].

### 1.5 Avantages et applications de l'IoT

Au fil du temps, des progrès significatifs ont été réalisés dans les domaines technologiques clés nécessaires à l'IoT. La miniaturisation des composants électroniques, la baisse des coûts de production, les améliorations des réseaux sans fil et des protocoles de communication ont permis de créer des dispositifs plus petits, moins chers et plus connectés. Les premières applications de l'IoT se sont concentrées sur des secteurs spécifiques tels que l'industrie, l'agriculture et la domotique. Cependant, au fil du temps, les applications de l'IoT se sont diversifiées et ont touché de nombreux domaines, notamment la santé, les transports, la logistique, l'énergie, la sécurité, les villes intelligentes, etc. Ces applications ont permis d'améliorer l'efficacité opérationnelle, de fournir des services plus intelligents et de transformer les modèles commerciaux. L'expansion des infrastructures : L'adoption de l'IoT a également été soutenue par l'expansion des infrastructures nécessaires à son fonctionnement. L'émergence de l'IPv6 a permis d'attribuer une adresse IP aux objets afin de les rendre repérable sur internet. La figure 1.3 montre les top 10 des domaines d'application IoT jusqu'au 2020 classés par le site IoTanalytic.

# Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

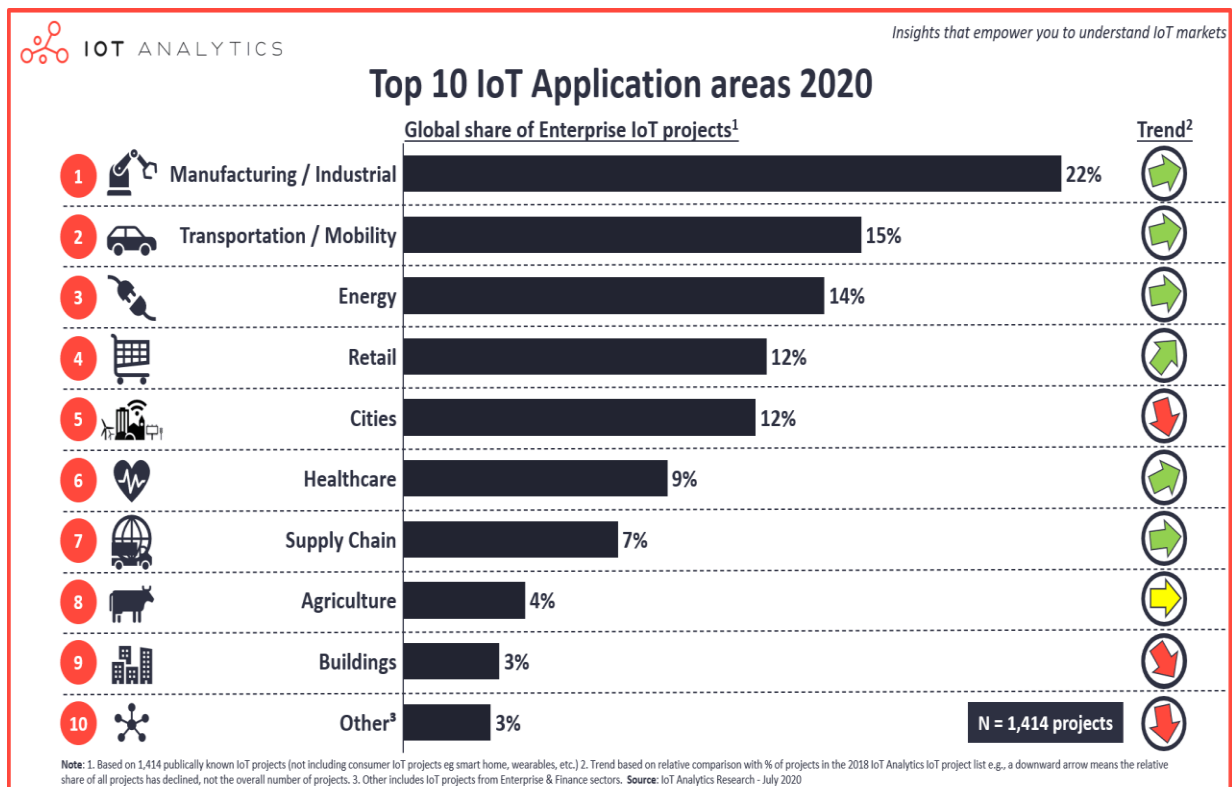


Figure 1.3 Top 10 des domaines d'application IoT

## 1.6 Contexte historique et évolution de l'IoT :

### 1.6.1 Origines de l'IoT :

L'origine des IoT remonte à la convergence de plusieurs domaines technologiques et concepts clés, tels que les réseaux sans fil, les capteurs, la miniaturisation des composants électroniques et les protocoles de communication [8]. La progression de ces technologies a permis de créer un environnement propice à la connectivité et à la communication des objets entre eux. Une référence importante dans l'évolution des IoT est l'émergence de l'IPv6 (Internet Protocol version 6), qui offre un nombre beaucoup plus important d'adresses IP que son prédécesseur, l'IPv4. Cela a permis d'envisager l'attribution d'une adresse IP à chaque objet connecté, facilitant ainsi leur intégration dans l'infrastructure Internet [9]. Les premières applications concrètes de l'IoT ont commencé à apparaître dans des secteurs spécifiques, tels que l'industrie, l'agriculture et la domotique [3]. Par exemple, les capteurs installés dans les usines permettaient de surveiller les équipements et d'optimiser les processus de production, tandis que les capteurs agricoles permettaient de surveiller les conditions environnementales et de prendre des décisions éclairées en matière d'irrigation et de fertilisation. Au fur et à mesure que les technologies se sont améliorées et que les coûts ont diminué, les applications de l'IoT se sont diversifiées et ont touché de nombreux secteurs, tels que la santé, les transports, la logistique, l'énergie, la sécurité, etc. [4]

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

---

### Évolution des technologies de l'IoT :

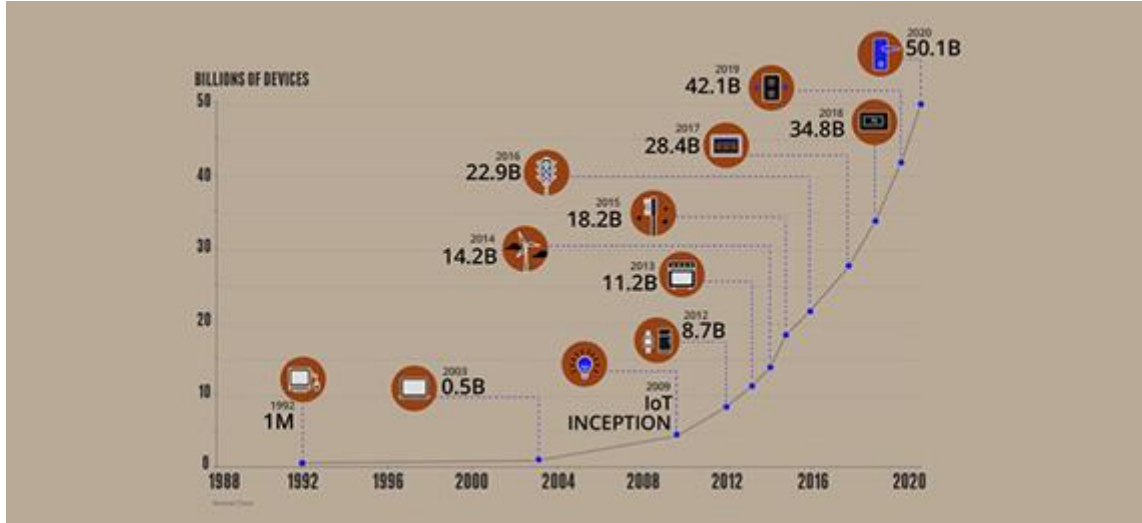
L'évolution de l'Internet des objets (IoT) a été étudiée à travers différentes perspectives. Des travaux tels que ceux de Gubbi, Buyya, Marusic et Palaniswami [4] ont présenté une vision globale de l'IoT, tandis qu'Atzori, Iera et Morabito[3] ont réalisé une enquête approfondie sur ses caractéristiques et applications. Borgia [10] a souligné les éléments clés de la vision de l'IoT, tandis que Li, Da Xu et Zhao [11] ont examiné les technologies et les protocoles sous-jacents. Les modèles d'affaires ont été discutés par Dijkman, Sprekels, Peeters et Janssen [12], tandis que Miorandi, Sicari, De Pellegrini et Chlamtac[13] ont exploré les enjeux de recherche. Dohr, Modre-Osprian, Drobits et Hayn[14] ont examiné l'application de l'IoT dans le contexte de l'assistance à domicile. L'évolution de l'Internet des objets (IoT) est un processus continu et en constante évolution. Depuis ses débuts, l'IoT a connu plusieurs étapes clés qui ont façonné son développement et son adoption croissante dans de nombreux domaines. L'évolution de l'Internet des objets (IoT) organisée en points clés :

- a) **Avancées technologiques** : La miniaturisation des capteurs, l'augmentation de leur puissance de traitement et la réduction de leur consommation d'énergie ont permis d'intégrer des capacités de connectivité à une gamme plus large d'objets.
- b) **Développement des réseaux sans fil** : Les technologies comme le Wi-Fi, le Bluetooth et les réseaux cellulaires à faible consommation d'énergie ont facilité la connectivité des objets sur de grandes distances et dans divers environnements.
- c) **Cloud computing et traitement des données** : Les capacités de stockage et de calcul à grande échelle ont permis de gérer et d'analyser les énormes quantités de données générées par les objets connectés, ouvrant la voie à des applications avancées telles que l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle.
- d) **Normalisation et interopérabilité** : Les efforts de normalisation et l'établissement de protocoles communs ont favorisé la communication et l'interopérabilité entre les appareils et les systèmes IoT, facilitant ainsi l'intégration des solutions.
- e) **Demande des utilisateurs** : Les avantages potentiels de l'IoT, tels que l'amélioration de l'efficacité, la réduction des coûts et l'amélioration de la qualité de vie, ont conduit à une adoption croissante de l'IoT tant dans les entreprises que dans les foyers.

En outre, l'Internet des objets est à l'origine d'une véritable révolution en cours. De nombreux acteurs se positionnent sur ce marché prometteur, et la raison en est simple : les objets connectés connaissent une croissance exponentielle. Selon les prévisions des analystes, il devrait y avoir 50 milliards d'objets connectés d'ici 2020. La capacité à transformer des produits ordinaires en objets intelligents connectés ouvre de nouvelles opportunités de revenus et d'innovation pour les entreprises. Cependant, pour que ces objets soient connectés, il est nécessaire d'avoir un réseau (filaire ou sans fil) capable de supporter la

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

transmission et la réception des données, avec des débits adaptés aux différents usages. C'est ce qu'on appelle la connectivité M2M (Machine To Machine), qui permet aux objets de communiquer entre eux sans intervention humaine. Dans la figure ci-dessous nous représentons l'évolution du nombre d'objets connectés.

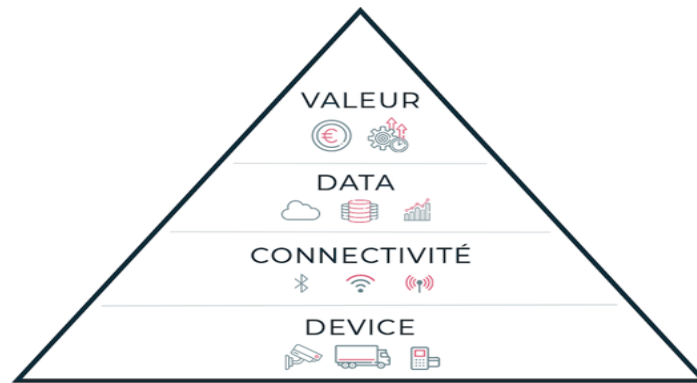


**Figure 1.4** Tendence de croissance du nombre d'objets connectés jusqu'en 2020. [web4]

### 1.7 Composants clés des systèmes IoT

Les systèmes IoT reposent sur plusieurs composants clés qui permettent la connectivité et le fonctionnement des objets connectés. Les capteurs, tels que discutés par Jara, Zamora et Skarmeta [15] et Perera et Zaslavsky [16], jouent un rôle essentiel en collectant des données physiques. Les réseaux de communication, tels que décrits par Bandyopadhyay et Sen (2011) [17], Gubbi et al. (2013) [4] et Palattella et al. (2016) [18], fournissent la connectivité entre les objets IoT. Les plateformes IoT, telles que mentionnées par Borgia (2014) [10] et Riazul Islam et al. (2015) [19], offrent une infrastructure logicielle pour gérer les objets connectés et les données générées. Le cloud computing, abordé par Vermesan et Friess (2014) [20], Yi et al. (2015) [21] et Botta et al. (2016) [22], joue un rôle crucial dans le stockage, le traitement et l'analyse des données IoT. Enfin, la sécurité, un aspect critique, est examinée par Roman et al. (2013) [23], Alaba et al. (2017) [24], Wang et al. (2020) [25] et Li et al. (2018) [26], soulignant les défis et les mesures de sécurité nécessaires dans les systèmes IoT. Ces références fournissent des informations détaillées sur les composants clés des systèmes IoT et approfondissent les aspects techniques et conceptuels liés à leur fonctionnement.

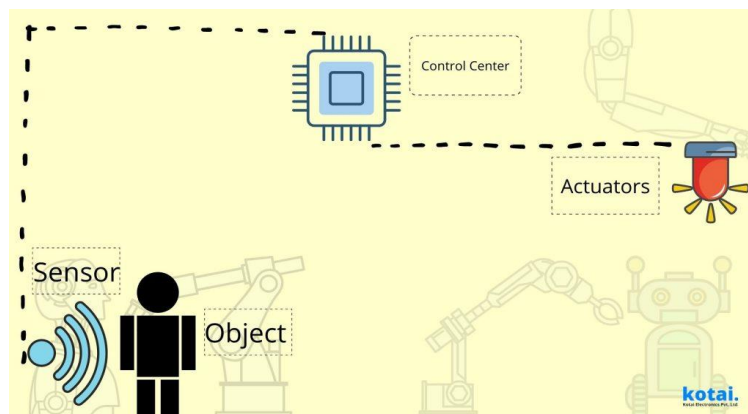




**Figure 1.5** Pyramide de l'IoT

### 1.7.1 Objets connectés

Ce sont des dispositifs physiques qui intègrent des technologies de communication, des capteurs et des actionneurs pour collecter des données, effectuer des actions et se connecter à Internet. Ils peuvent prendre diverses formes, des appareils domestiques tels que les thermostats intelligents et les serrures connectées, aux capteurs environnementaux utilisés dans l'agriculture ou la surveillance des infrastructures



**Figure 1.6** Relation entre capteur et actionneur

### 1.7.2. Capteurs et actionneurs

Les capteurs sont des composants qui mesurent différents paramètres physiques, tels que la température, l'humidité, la pression, la luminosité, la présence, etc. Ils convertissent ces mesures en signaux numériques exploitables. Les actionneurs, quant à eux, sont responsables de l'exécution d'actions physiques en réponse aux données collectées. Ils peuvent activer ou désactiver des dispositifs, ajuster des paramètres ou effectuer des actions spécifiques. Dans la figure ci-dessous on donne les capteurs les plus utilisés dans les applications IoT ainsi que les types des actionneurs.

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT



Figure 1.7 Quelques exemples de capteurs et d'actionneurs

### 1.7.3. Réseaux de communication

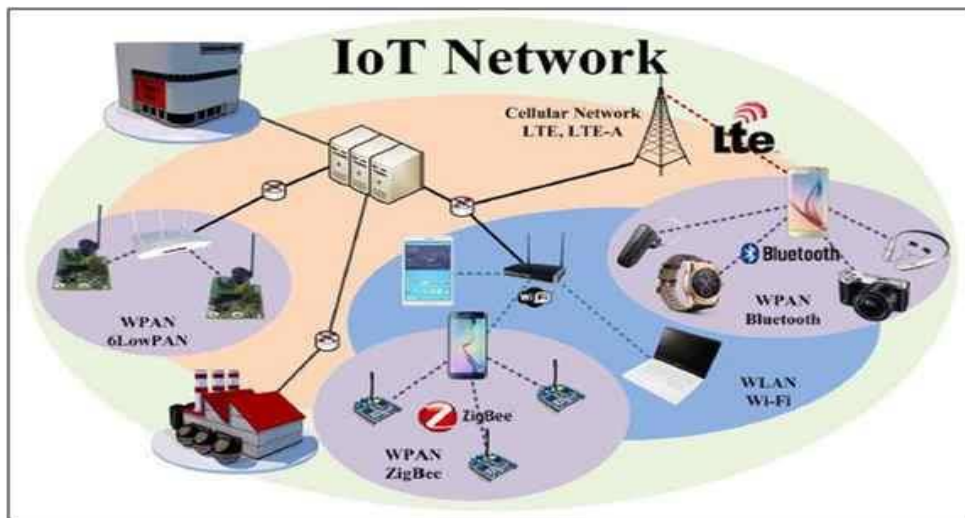
Les réseaux de communication permettent aux objets connectés de transmettre des données vers d'autres dispositifs ou systèmes de gestion. Les options de connectivité incluent le Wi-Fi, qui offre une connexion sans fil à Internet à courte portée, le Bluetooth pour les communications de proximité, le Zigbee et le Z-Wave pour les réseaux à basse consommation utilisés dans les maisons intelligentes, ainsi que les réseaux cellulaires qui offrent une connectivité étendue. Pour comprendre les réseaux IoT, regardons l'image. Dans un réseau IoT, plusieurs technologies sont utilisées pour assurer la connectivité et la communication entre les objets connectés:

- **WPAN (Wireless Personal Area Network):** Zigbee, Bluetooth, and 6LowPAN are used for short-range communications between connected devices within a personal area. They are commonly used in home automation, wireless sensors, and wearable devices.
- **WLAN (Wireless Local Area Network):** WLAN, such as Wi-Fi, enables wireless connectivity on a larger scale within a local area, such as a home, office, or campus. They provide broader coverage than WPAN networks and are commonly used to connect devices like smartphones, tablets, and laptops to the Internet.
- **Cellular Networks:** Mobile communication technologies like 2G, 3G, 4G, and LTE enable connectivity over larger distances. Smartphones and other mobile devices use cellular networks to connect to base stations, which provide connectivity to a wide area network (WAN), including the Internet. Cellular networks enable IoT connectivity on a larger scale, even in mobile environments like vehicles.

On note que les différents types de réseaux peuvent être combinés pour former un réseau IoT complet.

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

**Exemple :** Un smartphone peut agir comme une passerelle en utilisant des technologies WPAN pour se connecter à des objets connectés à proximité, puis utiliser les réseaux cellulaires pour transmettre les données vers le WAN et accéder à Internet.



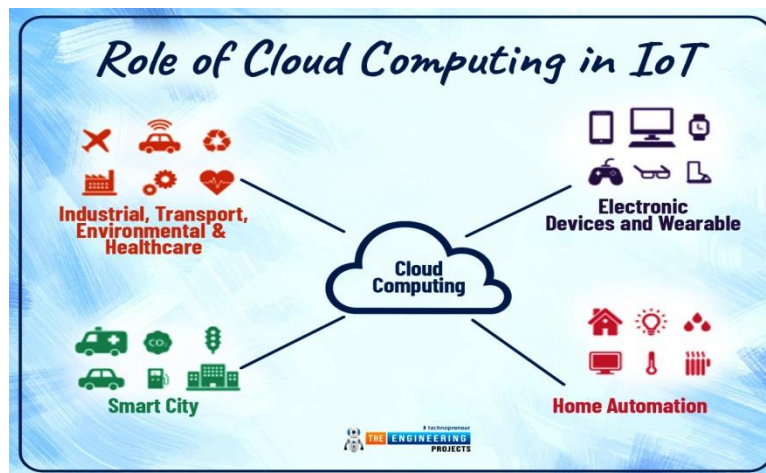
**Figure 1.8** Représentation des différents types de réseaux dans une application IoT.

### 1.7.4. Plateformes IoT

Les plateformes IoT sont des logiciels ou des services cloud qui fournissent des fonctionnalités pour la gestion et le contrôle des objets connectés. Elles permettent de collecter et d'analyser les données, de configurer et de gérer les dispositifs, d'automatiser les processus et de développer des applications IoT. Les plateformes offrent des API, des outils de visualisation, des fonctions de traitement des données et des services de déploiement pour faciliter le développement et la gestion des systèmes IoT.

### 1.7.5. Cloud computing et stockage des données

Le cloud computing joue un rôle essentiel dans les systèmes IoT en offrant des capacités de stockage et de traitement à grande échelle pour les données collectées par les objets connectés. Les services cloud permettent de stocker, de gérer et d'analyser les données IoT, de les intégrer à d'autres sources de données et de fournir des services de calcul intensif pour l'analyse avancée, l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle.



**Figure 1.9** Rôle du cloud computing dans les applications IoT

IBM divise le Cloud Computing en six catégories différentes pour mieux comprendre ses différentes fonctionnalités :

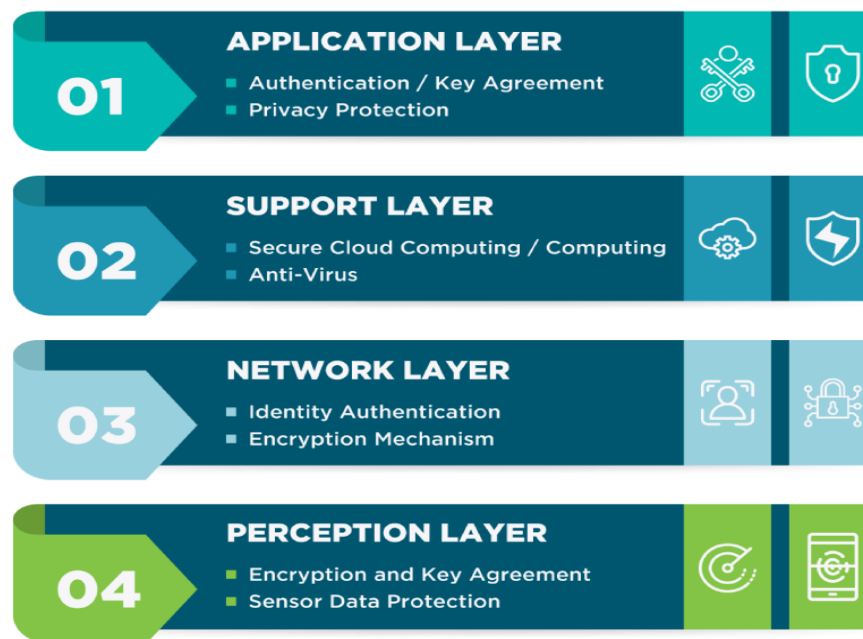
- ✚ **IaaS (Infrastructure as a Service)** : Infrastructure informatique virtuelle à la demande (serveurs, réseaux, stockage).
- ✚ **PaaS (Platform as a Service)** : Plateforme de développement complète pour créer, tester et déployer des applications.
- ✚ **SaaS (Software as a Service)** : Applications logicielles prêtes à l'emploi accessibles via Internet.
- ✚ **FaaS (Function as a Service)** : Exécution de fonctions individuelles à la demande sans se soucier de l'infrastructure sous-jacente.
- ✚ **StaaS (Storage as a Service)** : Services de stockage de données à distance via le Cloud.
- ✚ **DBaaS (Database as a Service)** : Gestion de bases de données via le Cloud, sans se soucier de l'infrastructure sous-jacente.

### 1.7.6. Sécurité

La sécurité est une préoccupation majeure dans les systèmes IoT. Les mesures de sécurité comprennent l'authentification des dispositifs pour garantir l'intégrité du réseau, le chiffrement des données pour protéger la confidentialité des informations, les mécanismes de contrôle d'accès pour restreindre l'accès non autorisé, les protocoles de communication sécurisés et la surveillance constante des menaces potentielles.

### 1.8 Architecture d'IoT

L'architecture d'une application IoT peut être mise sous forme de quatre couches (layer) comme ci-présente dans la figure ci-dessous comporte trois couches, à savoir les couches perception, réseau, cloud et application. Cette architecture en quatre couches de l'IoT fournit une structure conceptuelle pour comprendre les différentes composantes d'un système IoT. Cependant, il convient de noter que les architectures réelles peuvent varier en fonction des exigences spécifiques des applications et des systèmes IoT.



Source: [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com)

**Figure 1.10** Architecture d'une application IoT en quatre couches

### 1.9 Caractéristiques essentielles de l'IoT

#### a. Échelle énorme

Le nombre de nœuds IoT nécessitant une manipulation et une connexion sera beaucoup plus élevé que les nœuds IoT actuellement liés à Internet. Il sera nécessaire de gérer les informations créées par ces nœuds et de les analyser pour des raisons liées à l'application. Cela implique l'utilisation de techniques de sémantique de contenu et de gestion de contenu.

#### b. Changements dynamiques

Les appareils IoT subissent des changements radicaux dans leur état, tels que le passage du mode veille à l'éveil, la connexion et la déconnexion, ainsi que la variation du contenu des nœuds IoT, qui peut inclure

## Chapitre 1 : Concepts de Base sur l'IoT

---

des informations sur la vitesse et la position. De plus, le nombre de nœuds IoT peut fluctuer de manière significative en termes de quantité.

### **c. Hétérogénéité**

Les nœuds IoT se diversifient en fonction des différents réseaux et plates-formes matérielles. Ils doivent être capables de se connecter à d'autres nœuds via une variété de réseaux.

### **d. Connectivité**

Elle permet à l'IoT d'avoir une facilité d'accès et de compatibilité. Facilité d'accès est possible sur le réseau grâce à la compatibilité, présentant les mêmes capacités d'utilisation et de production de contenu.

### **e. Services liés aux objets**

L'Internet des objets (IoT) offre de nombreux services, mais il doit faire face à certaines limitations en termes de capacités des dispositifs et de contraintes des réseaux de communication. Ces limites nécessitent des solutions adaptées pour optimiser les performances et assurer la sécurité des systèmes IoT.

### **f. Inter-connectivité**

En ce qui concerne l'Internet des objets (IoT), l'idée est de connecter toutes sortes d'objets à des données universelles, permettant ainsi d'établir des liens entre les structures organisationnelles et physiques fondamentales de l'IoT. Cela ouvre la voie à de nouvelles opportunités et à des améliorations dans divers domaines, tels que la gestion des ressources, la surveillance en temps réel, l'automatisation des processus et bien d'autres. Grâce à cette interconnexion, l'IoT peut transformer notre façon de vivre et de travailler, en offrant des possibilités d'innovation et d'efficacité accrues [27].

# Chapitre 02

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

### Introduction

Avec la croissance exponentielle des données générées par l'Internet des objets (IoT), la question de la qualité des données devient de plus en plus cruciale. Alors que le nombre d'objets connectés ne cesse d'augmenter, la quantité de données collectées et échangées atteint des niveaux sans précédent. Cependant, la simple accumulation de données massives ne garantit pas leur valeur ou leur utilité. La qualité des données dans l'IoT est étroitement liée à la quantité de données générées. Plus il y a de données, plus il devient essentiel de s'assurer qu'elles sont fiables, précises et pertinentes pour les applications et les décisions prises. Sans une attention particulière à la qualité des données, la croissance massive des données IoT peut conduire à des problèmes tels que des erreurs, des incohérences et des informations trompeuses. La nature distribuée de l'IoT, avec de multiples dispositifs et capteurs interconnectés, ajoute une complexité supplémentaire à la garantie de la qualité des données. Les capteurs peuvent être sujets à des problèmes techniques, des interférences ou des pannes, ce qui peut entraîner des données incorrectes ou corrompues. De plus, la variété des sources de données peut rendre difficile l'assurance de la cohérence et de l'intégrité des données collectées. La qualité des données dans l'IoT est donc une préoccupation majeure pour les entreprises, les chercheurs et les utilisateurs finaux. Des mesures doivent être prises pour garantir que les données collectées sont fiables, précises et pertinentes pour les besoins spécifiques des applications IoT. Cela implique des efforts pour valider et vérifier les données, mettre en place des mécanismes de contrôle de la qualité, améliorer les processus de collecte et de gestion des données, et assurer la sécurité et la confidentialité des informations échangées.

### 2.1. Définitions des types de données

#### 2.1.1 Donnée

- Les données sont des « représentations abstraites de caractéristiques sélectionnées d'objets du monde réel, événements et concepts, exprimés et compris par des conventions explicitement définissables liées à leur signification, leur collecte et leur stockage »
- Une donnée est une valeur brute, non traitée ou non interprétée, qui représente des faits, des mesures ou des observations. Elle peut prendre la forme de chiffres, de textes, d'images, de sons, etc. Les données sont généralement considérées comme la matière première de l'information et peuvent être collectées, stockées et traitées pour en extraire des connaissances.

#### 2.1.2 Information

- Le terme générique d'information est utilisé pour indiquer que l'étude peut porter sur n'importe quel type de données, sans spécifier un type de données particulier.
- L'information est le résultat de la transformation des données brutes en une forme significative et utile. Elle représente une signification ou une compréhension qui peut être utilisée pour prendre des décisions, résoudre des problèmes ou communiquer.



## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

---

L'information est généralement le résultat du traitement, de l'analyse ou de l'interprétation des données, lui conférant une valeur ajoutée.

### 2.1.3 big data

- Le big-data est un volume gigantesque de données numériques produits par les usagers d'internet des objets connectés, etc. Le big Data est au cœur du développement de l'IOT, sans les données, les OC restent des appareils physiques sans lien avec le monde réel.
- Le terme "Big Data" fait référence à de grandes quantités de données complexes, variées et générées à grande vitesse. Les Big Data se caractérisent par les "3V" : le volume (grande quantité de données), la variété (diversité des types et des sources de données) et la vélocité (vitesse à laquelle les données sont générées et doivent être traitées). Les Big Data nécessitent souvent des technologies et des méthodes spécifiques pour les stocker, les gérer et les analyser, car elles dépassent les capacités des outils traditionnels.

Il est important de noter que les données sont la matière première à partir de laquelle l'information est extraite, tandis que l'information représente une connaissance ou une signification qui peut être utilisée pour prendre des décisions ou agir. Les Big Data font référence à des ensembles de données volumineux, complexes et variés, qui nécessitent des approches spécifiques pour leur gestion et leur analyse [28].

### 2.2. Diversité des données IoT

L'Internet des objets (IoT) génère une multitude de données provenant de différentes sources et types. Selon Li, Xu et Zhao (2015) [11], l'IoT peut être défini comme un réseau d'objets physiques interconnectés qui collectent et partagent des données via des technologies de communication. Ces données peuvent être de diverses natures, allant des données environnementales et biométriques aux données de localisation et de comportement des utilisateurs (Atzori, Iera et Morabito, 2010) [3]. L'ampleur et la variété de ces données ont conduit à l'émergence du concept de "big data", qui fait référence à la gestion et à l'analyse de grands ensembles de données complexes et non structurées (Gubbi, Buyya, Marusic et Palaniswami, 2013) [4]. Dans le contexte de l'IoT, les données peuvent être classées en plusieurs catégories. Certaines de ces catégories comprennent les données de capteurs environnementaux, les données biométriques, les données de localisation, les données de consommation énergétique, les données de trafic, les données de santé, et bien d'autres (Perera, Zaslavsky, Christen et Georgakopoulos, 2014) [6]. Ces données variées permettent de comprendre et d'optimiser différents aspects de notre environnement et de nos activités quotidiennes. L'importance de la qualité des données dans l'IoT ne peut être sous-estimée. Les données de mauvaise qualité peuvent compromettre les décisions prises à partir de ces données et entraîner des résultats imprécis ou indésirables. Par conséquent, il est essentiel de mettre en place des mécanismes de collecte, de gestion et de vérification des données pour garantir leur qualité et leur fiabilité (Díaz, Carretero et Cabrera, 2019) [29].

Les données générées par les IoTs peuvent être extrêmement diverses en termes de types et de formats. Voici quelques exemples de variétés de données IoT [1,2,3] :

- **Données structurées** : Il s'agit de données organisées et formatées selon un schéma défini. Par exemple, les données provenant de capteurs de température qui fournissent des valeurs numériques à des intervalles réguliers.
- **Données non structurées** : Ces données ne suivent pas de structure fixe et peuvent inclure du texte, des images, des vidéos, des fichiers audio, etc. Par exemple, les flux de médias provenant de caméras de surveillance ou les commentaires des utilisateurs sur les réseaux sociaux.
- **Données géo spatiales** : Ces données incluent des informations sur la localisation géographique des objets connectés. Elles peuvent être utilisées pour la cartographie, la surveillance des véhicules ou la gestion des ressources.

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

- **Données temporelles** : Ces données sont associées à des horodatages, ce qui permet de suivre l'évolution des événements dans le temps. Par exemple, les données de suivi des capteurs de mouvement dans un système de surveillance de bâtiment.
- **Données comportementales** : Il s'agit de données qui décrivent les habitudes, les préférences et les modèles de comportement des utilisateurs. Par exemple, les données de navigation et d'interaction des utilisateurs avec des applications IoT.
- **Données de santé** : Ces données sont liées à des paramètres médicaux tels que la fréquence cardiaque, la pression artérielle, les niveaux de glucose, etc. Elles sont généralement collectées à partir de dispositifs portables ou d'appareils médicaux connectés.

### 2.3. L'enjeu de du big data pour les systèmes IoT

Les enjeux du big data dans les systèmes IoT est de gérer et d'exploiter efficacement les immenses volumes de données générés par les dispositifs connectés. Ces données massives présentent des défis importants en termes de collecte, de stockage, de traitement, d'analyse et de sécurité. Les technologies et techniques de big data sont utilisées pour extraire des informations significatives à partir de ces données et prendre des décisions éclairées. Les enjeux du big data dans les systèmes IoT sont nombreux et complexes.

- Les données IoT sont générées en continu et en grande quantité, ce qui nécessite des capacités d'analyse en temps réel pour extraire rapidement des informations utiles [4] De plus, les données IoT proviennent de diverses sources, ce qui pose des défis en termes de gestion de la variété des formats, des structures et des protocoles[6].
- La confidentialité et la sécurité des données IoT sont également des enjeux critiques, étant donné que ces données peuvent contenir des informations sensibles. Il est essentiel de mettre en place des mesures de sécurité et de confidentialité appropriées pour protéger ces données [30]
- Le stockage et le traitement des données IoT à grande échelle nécessitent des capacités massives. Il est crucial de disposer de solutions de stockage et de traitements adaptés pour gérer efficacement ces données [31].
- Le traitement des données en périphérie (edgecomputing) gagne en importance dans les systèmes IoT. Il permet de réduire la latence, d'économiser la bande passante et d'améliorer la réactivité des applications [32].
- Les données IoT jouent un rôle clé dans le développement des villes intelligentes. Elles permettent l'optimisation des services urbains et l'amélioration de la qualité de vie des citoyens [33].

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

Les enjeux du big data dans les systèmes IoT nécessitent des solutions innovantes pour la collecte, le stockage, le traitement, l'analyse et la sécurité des données. Il est essentiel de développer des architectures et des techniques spécifiques pour exploiter pleinement le potentiel des données massives générées par les objets connectés dans le contexte de l'IoT

### 2.3.1 Importance du big data

Le big data revêt une grande importance dans de nombreux domaines en raison de son potentiel à fournir des informations précieuses et exploitables. Le big data offre des opportunités significatives pour les organisations, qu'il s'agisse d'améliorer leurs opérations, de mieux comprendre leurs clients, d'innover ou de gérer les risques. En exploitant pleinement le potentiel du big data, les entreprises peuvent obtenir un avantage concurrentiel et stimuler leur croissance. Voici quelques points clés sur l'importance du big data :

- a) **Prise de décision éclairée** : Le big data permet de collecter, stocker et analyser de vastes quantités de données provenant de diverses sources. Cela permet aux organisations de prendre des décisions plus éclairées, basées sur des données concrètes plutôt que sur des conjectures ou des intuitions [34].
- b) **Découverte de tendances et de modèles** : L'analyse des données volumineuses permet de détecter des tendances, des schémas et des corrélations cachés dans les données. Cela peut aider les entreprises à identifier de nouvelles opportunités, à optimiser leurs opérations et à anticiper les changements du marché [35]
- c) **Personnalisation et expérience client améliorées** : En exploitant les données sur les préférences, les comportements et les besoins des clients, les entreprises peuvent offrir des expériences plus personnalisées et ciblées. Cela peut conduire à une meilleure satisfaction client, à une fidélisation accrue et à une croissance des revenus [36].
- d) **Innovation et développement de nouveaux produits/services** : Le big data peut stimuler l'innovation en fournissant des informations sur les besoins des clients, les lacunes du marché et les opportunités émergentes. Les entreprises peuvent utiliser ces informations pour développer de nouveaux produits et services répondant aux demandes du marché [37].
- e) **Amélioration des opérations et de l'efficacité** : L'analyse des données volumineuses peut aider les organisations à optimiser leurs processus, à identifier les inefficacités et à prendre des mesures correctives. Cela peut conduire à une amélioration de l'efficacité opérationnelle, à des économies de coûts et à une utilisation plus judicieuse des ressources [38].
- f) **Prévision et gestion des risques** : En analysant les données historiques et en utilisant des modèles prédictifs, le big data peut aider à prévoir les tendances, à anticiper les risques et à

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

prendre des mesures proactives pour les atténuer. Cela est particulièrement important dans des domaines tels que la finance, l'assurance et la gestion des catastrophes [39].

### 2.3.2 Caractéristiques du Big Data

Le Big Data présente plusieurs caractéristiques clés qui en font un domaine d'une importance cruciale. Selon Chen, Mao et Liu (2014) [40], le Big Data est caractérisé par le volume, la variété, la vélocité, la variabilité, la valeur, la véracité et la complexité des données. Les caractéristiques citées ci-dessous soulignent l'importance de développer des capacités de gestion et d'analyse adéquates pour tirer pleinement parti de la valeur potentielle des données massives. Les avancées technologiques telles que le Cloud Computing, les systèmes distribués et l'intelligence artificielle jouent un rôle crucial dans la gestion et l'analyse efficaces du Big Data [41].

- Le volume se réfère à la quantité massive de données générées et collectées à partir de différentes sources. Selon une étude récente d'IDC, il est prévu que le volume mondial de données atteigne 175 zettaoctets d'ici 2025 [42].
- La variété fait référence à la diversité des types de données, y compris les données structurées, semi-structurées et non structurées. Par exemple, les données IoT peuvent inclure des textes, des images, des vidéos, des enregistrements audio et des données géospatiales [43].
- La vélocité se réfère à la vitesse à laquelle les données sont générées, collectées et traitées. Avec l'expansion de l'IoT et d'autres sources de données en temps réel, la vélocité des données devient de plus en plus rapide [44].
- La variabilité concerne la fluctuation dans les modèles de données et les taux de génération. Les données peuvent provenir de différentes sources avec des schémas et des formats différents, ce qui nécessite des approches flexibles de collecte et de gestion des données [41].
- La valeur réside dans la capacité à extraire des informations précieuses et exploitables à partir des données. L'analyse avancée du Big Data permet de découvrir des tendances, des modèles et des insights précieux pour la prise de décisions stratégiques [35].
- La véracité concerne la qualité et la fiabilité des données. Étant donné la diversité des sources et la vitesse de génération des données, il est essentiel de garantir l'exactitude et l'intégrité des données pour une prise de décision fiable [45].
- La complexité reflète la nature multidimensionnelle du Big Data. Les données massives sont souvent caractérisées par des relations complexes, des interdépendances et des structures non linéaires, ce qui nécessite des approches analytiques avancées pour en extraire des connaissances utiles [46].

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

Les caractéristiques du big data peuvent être résumées en 3 caractéristiques fondamentales dites les 3V comme le montre la figure 2.1.

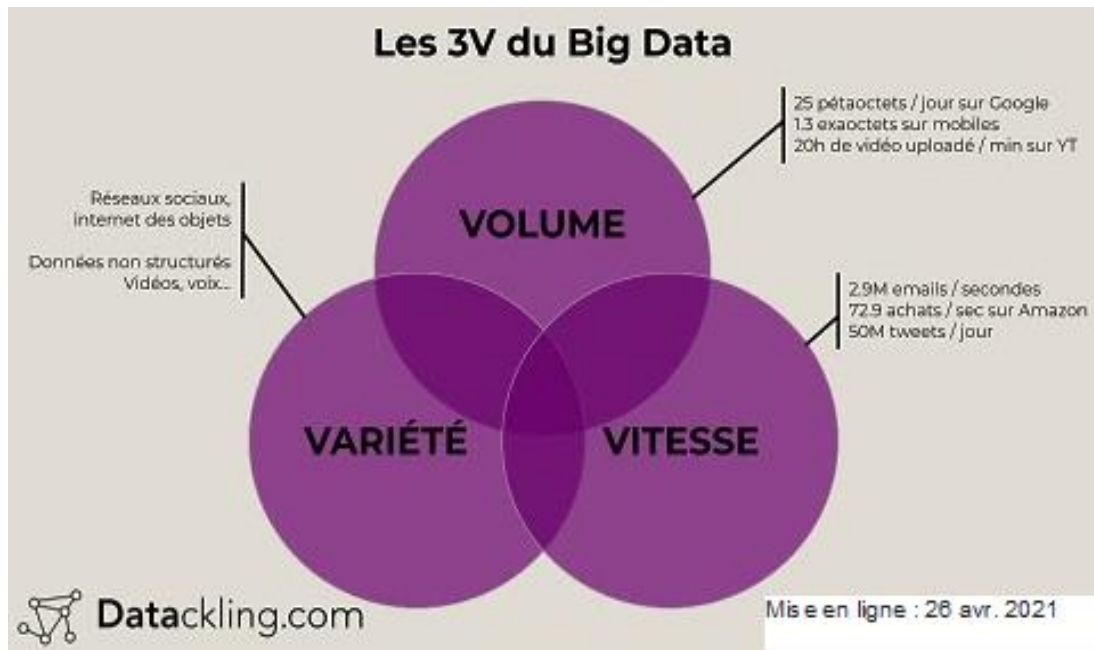


Figure 2.1. Les 3V du big data

### 2.4. Qualité de donnée d'un système IoT

La qualité des données dans les systèmes IoT est un aspect essentiel à prendre en compte. Les données générées par les objets connectés sont souvent massives et diverses, ce qui présente des défis en termes de gestion et de qualité. Les données IoT peuvent provenir de différentes sources telles que des capteurs, des appareils mobiles et des dispositifs intelligents, et elles peuvent varier en termes de format, de structure et de précision [40]. La qualité des données dans l'IoT est cruciale pour garantir la fiabilité et l'exactitude des informations utilisées dans les applications et les processus décisionnels. Les données de mauvaise qualité peuvent entraîner des erreurs, des décisions incorrectes et une perte de confiance dans les systèmes IoT [46]. Il est donc essentiel de mettre en place des méthodes et des technologies pour évaluer, assurer et améliorer la qualité des données dans les systèmes IoT, en tenant compte de ces caractéristiques et défis spécifiques. Ces caractéristiques sont :

- ✚ **Exactitude** : Les données IoT doivent être précises et exemptes d'erreurs [40].
- ✚ **Cohérence** : Les données provenant de différentes sources IoT doivent être cohérentes et compatibles entre elles [46].
- ✚ **Intégrité** : Les données IoT doivent être protégées contre les altérations ou les manipulations non autorisées [47].
- ✚ **Pertinence** : Les données doivent être pertinentes pour les besoins spécifiques des applications IoT [6].

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

- ✚ **Fiabilité** : Les données IoT doivent être fiables et fournir une représentation précise de l'état des objets connectés [3].
- ✚ **Disponibilité** : Les données IoT doivent être accessibles et disponibles au moment où elles sont nécessaires [48].

Néanmoins la QD peut être affectée par certains défis spécifiques :

- ✚ **Volume massif** : Les systèmes IoT génèrent une quantité énorme de données, ce qui nécessite des mécanismes efficaces de stockage, de traitement et d'analyse à grande échelle [4].
- ✚ **Hétérogénéité** : Les données IoT proviennent de différentes sources et formats, ce qui nécessite des techniques de gestion de la qualité des données adaptées [49].
- ✚ **Variabilité temporelle** : Les données IoT peuvent varier dans le temps en raison de la fréquence d'échantillonnage ou de la disponibilité intermittente des capteurs [50].
- ✚ **Sécurité et confidentialité** : Les données IoT peuvent contenir des informations sensibles, ce qui nécessite des mesures de sécurité et de confidentialité appropriées pour préserver la qualité des données [51].

### 2.5. Critères d'évaluation de la QD

#### 2.5.1 But d'évaluation

L'évaluation de la qualité des données (DQA) est un processus scientifique et statistique qui vise à déterminer si les données répondent aux normes de qualité requises pour les projets ou les processus commerciaux. Elle implique de vérifier si les données sont appropriées en termes de type et de quantité pour soutenir efficacement leur utilisation prévue. La DQA comprend un ensemble de directives et de techniques utilisées pour décrire les données dans un contexte d'application, ainsi que pour appliquer des processus visant à évaluer et améliorer leur qualité. De plus, l'évaluation de la qualité des applications est tout aussi importante. Elle permet aux concepteurs d'applications IoT de développer des applications résilientes et robustes, et de prendre des décisions d'actionnement basées sur la qualité des données provenant des capteurs sous-jacents. L'évaluation de la QD dans un système IoT vise à garantir la fiabilité, la pertinence et l'utilisabilité des informations générées. Voici quelques objectifs clés des évaluations de la qualité des données dans un contexte IoT :

- **Assurer la précision des données** : L'objectif principal est de vérifier que les données collectées sont exactes, cohérentes et conformes aux valeurs réelles du monde physique. Cela permet de s'assurer que les informations générées sont fiables et qu'elles peuvent être utilisées en toute confiance pour prendre des décisions.

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

---

- **Identifier et corriger les erreurs et les incohérences** : L'évaluation de la qualité des données permet de détecter les erreurs, les incohérences ou les valeurs aberrantes présentes dans les données. En identifiant ces problèmes, des mesures correctives peuvent être prises pour les résoudre, ce qui améliore la qualité des données et la confiance dans les résultats.
- **Évaluer l'intégrité des données** : L'intégrité des données est essentielle pour s'assurer qu'elles sont complètes, non altérées et qu'elles n'ont pas été manipulées de manière indue. L'évaluation de l'intégrité des données permet de s'assurer que les mécanismes de sécurité et de contrôle sont en place pour préserver l'intégrité des données tout au long de leur cycle de vie.
- **Vérifier la disponibilité des données** : L'évaluation inclut également la vérification de la disponibilité des données. Cela implique de s'assurer que les données sont accessibles de manière fiable et continue, sans problème de connectivité, de latence excessive ou de perte de données.
- **Évaluer la pertinence contextuelle des données** : Afin de mieux interpréter et comprendre les données dans leur contexte approprié, il faut prendre en compte la pertinence contextuelle. Elle consiste à évaluer si les données sont contextualisées avec des informations supplémentaires telles que des métadonnées, des informations environnementales, des informations de localisation, etc.



## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

---

### 2.5.2 Critères d'évaluation

Les critères et méthodes d'évaluation de la qualité des données dans le contexte de l'IoT peuvent varier en fonction des spécificités des applications et des exigences du domaine. Voici quelques critères et méthodes couramment utilisés pour évaluer la qualité des données dans les systèmes IoT :

- **Fiabilité** : La fiabilité évalue la confiance dans la précision et la cohérence des données IoT. Les données doivent provenir de capteurs et de dispositifs fiables et être transmises de manière fiable à travers le réseau IoT.
- **Pertinence** : La pertinence concerne l'adéquation des données IoT aux besoins spécifiques de l'application ou du processus en cours. Les données doivent être pertinentes et utiles pour prendre des décisions ou générer des informations significatives.
- **Précision** : La précision évalue la justesse des données IoT par rapport à la réalité ou à une référence de qualité. Il est essentiel de vérifier la précision des données en utilisant des techniques de validation, de comparaison ou de corrélation avec des sources de référence.
- **Intégrité** : L'intégrité des données IoT concerne la sécurité et la protection contre toute altération, manipulation ou corruption non autorisée des données. Des mécanismes de sécurité, tels que le chiffrement et les signatures numériques, peuvent être utilisés pour garantir l'intégrité des données.
- **Tempestivité** : La tempestivité évalue la disponibilité et la mise à jour des données IoT dans les délais requis. Les données doivent être collectées, traitées et transmises en temps opportun pour prendre des décisions en temps réel ou pour répondre aux exigences opérationnelles.
- **Granularité** : La granularité concerne le niveau de détail ou de finesse des données IoT. Il est important de s'assurer que les données sont suffisamment granulaires pour répondre aux besoins d'analyse et de prise de décision.
- **Consommation d'énergie** : La consommation d'énergie est un critère important dans les systèmes IoT alimentés par batterie. Les capteurs et les dispositifs IoT doivent consommer une quantité raisonnable d'énergie pour collecter et transmettre les données, afin de prolonger la durée de vie de la batterie.

### 2.5.3 Méthodes d'évaluation et détection d'erreur

Il existe plusieurs méthodes pour détecter et quantifier les erreurs dans les données des capteurs des applications IoT. Elles peuvent être utilisées individuellement ou en combinaison, en fonction des besoins et des spécificités de chaque application IoT. L'objectif est d'assurer que les données collectées sont fiables, pertinentes et conformes aux exigences de qualité établies et attendues. Ci-dessous quelques méthodes appliquées :

- a) **Calibration** : La calibration est le processus de vérification et d'ajustement des capteurs IoT pour garantir leur précision et leur conformité aux normes de mesure. Il est important de s'assurer que les capteurs sont correctement étalonnés pour fournir des mesures précises et fiables. Cela peut impliquer l'utilisation d'étalons de référence ou de techniques d'ajustement pour corriger les erreurs de mesure.
- b) **Analyse statistique**: L'analyse statistique est utilisée pour évaluer la distribution, la corrélation et la cohérence des données IoT. Des techniques telles que l'analyse de la variance, la régression, les tests d'hypothèse ou les méthodes d'estimation peuvent être utilisées pour détecter les variations anormales, les tendances ou les écarts par rapport aux modèles attendus.
- c) **Vérification croisée**: Cette méthode consiste à comparer les données provenant de différents capteurs ou sources pour détecter les incohérences ou les erreurs potentielles. En comparant les mesures similaires provenant de capteurs différents, on peut identifier les écarts significatifs et prendre des mesures pour résoudre les problèmes de qualité des données.
- d) **Vérification de la provenance**: Cette méthode vise à vérifier l'authenticité et la source des données IoT pour garantir leur fiabilité et leur intégrité. En utilisant des techniques de sécurité et de cryptographie, on peut s'assurer que les données proviennent bien des capteurs ou des dispositifs IoT autorisés, et qu'elles n'ont pas été altérées ou manipulées en transit.
- e) **Surveillance continue** : La surveillance continue des données IoT est essentielle pour détecter les déviations, les anomalies ou les valeurs aberrantes. Des techniques telles que le suivi en temps réel, les alertes basées sur des seuils ou les modèles d'apprentissage automatique peuvent être utilisées pour détecter les schémas anormaux ou les comportements inattendus des données IoT.

## Chapitre 2 : La qualité de données et méthodes d'évaluation

---

- f) **Feedback utilisateur** : Il est également important de recueillir les retours et les commentaires des utilisateurs finaux sur la qualité des données IoT. Les utilisateurs peuvent fournir des informations précieuses sur la pertinence, l'utilisabilité et la fiabilité des données pour les applications spécifiques. Ces retours peuvent aider à améliorer et à affiner les processus de collecte, de traitement et de gestion des données IoT.
- g) **Les méthodes statistiques** : Ces méthodes impliquent l'utilisation de techniques statistiques telles que la moyenne, la variance, l'écart type et l'analyse de corrélation pour identifier les valeurs aberrantes et les anomalies dans les données des capteurs. Les diagrammes statistiques de contrôle des processus, tels que les diagrammes de contrôle et les diagrammes de Shewhart, peuvent être utilisés pour surveiller les données des capteurs et détecter toute variation inhabituelle.
- h) **Méthodes d'apprentissage automatique** : Les algorithmes d'apprentissage automatique tels que les arbres de décision, les forêts aléatoires et les réseaux neuronaux peuvent être entraînés sur des données historiques afin de détecter des modèles et des anomalies dans les données des capteurs.
- i) **Méthodes de traitement du signal** : Les techniques de traitement du signal telles que la transformée de Fourier, la transformée en ondelettes et le filtrage de Kalman peuvent être utilisées pour éliminer le bruit et identifier des modèles dans les données des capteurs.
- j) **Méthodes de fusion des données** : Les techniques de fusion de données consistent à combiner des données provenant de plusieurs capteurs afin d'améliorer la précision et la fiabilité des mesures. Elles peuvent faire appel à des techniques telles que l'inférence bayésienne, la théorie de Dempster-Shafer et la logique floue.
- k) **Systèmes experts** : Les systèmes experts impliquent l'utilisation de connaissances spécifiques à un domaine pour détecter et diagnostiquer les erreurs dans les données des capteurs. Ces systèmes peuvent être conçus pour intégrer les connaissances d'experts du domaine afin de fournir une détection précise et fiable des erreurs.

# Chapitre 03

### Introduction

Dans ce chapitre nous allons détailler la procédure adoptée pour évaluer de la qualité de donnée de notre système IoT à savoir l'analyse statistique. Ce type d'analyse est une méthode essentielle pour évaluer la qualité des données IoT. Elle permet d'extraire des informations utiles à partir des données collectées et d'identifier les problèmes potentiels liés à la qualité. Il permet ainsi de prendre des décisions éclairées et de mettre en place des mesures d'amélioration de la qualité des données IoT. Ci-après quelques techniques couramment utilisées dans ce type d'analyse. Ces techniques peuvent être appliquées aux données IoT pour évaluer leur cohérence, leur distribution, leur corrélation et leur adéquation aux modèles ou aux attentes spécifiques. Elles peuvent aussi aider à identifier les problèmes tels que les valeurs aberrantes, les incohérences ou les tendances inattendues. Nous décrivons dans cette section les techniques d'analyse statistique utilisées pour évaluer la qualité de donnée des applications IoT. Les descriptions et les définitions seront suivies par des exemples d'application en considérant le cas d'une application IoT de mesure de température à partir de trois capteurs.

### 3.1 Techniques d'analyse statistique [52, 53,54]

**3.1.1 Analyse descriptive :** L'analyse descriptive consiste à calculer des mesures statistiques telles que la moyenne, la médiane, l'écart-type, le minimum et le maximum des données IoT. Ces mesures permettent de comprendre la distribution et la variabilité des données, et d'identifier les valeurs aberrantes ou les données manquantes.

- a. **Moyenne :** La moyenne est une mesure de tendance centrale qui permet de calculer la valeur moyenne des mesures. Elle est obtenue en additionnant toutes les valeurs et en les divisant par le nombre total de mesures.

$$\bar{X} = \sum (x_i/n) \quad (3.1)$$

$x_i$  : la mesure du rang  $i$

$n$  : le nombre totale de mesure

- b. **Écart-type :** L'écart-type est une mesure de dispersion qui permet d'évaluer à quel point les mesures sont éloignées de la moyenne. Un écart-type faible indique une faible dispersion, tandis qu'un écart-type élevé indique une dispersion plus importante.

$$\text{Variance} = \sum (x_i - \bar{X})^2 / n \quad (3.2)$$

## Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée

$$\text{Écart – type} = \sqrt{(\text{variance})} \quad (3.3)$$

- c. **La médiane** : est une autre mesure de tendance centrale utilisée en statistiques. Elle représente la valeur qui divise l'échantillon en deux parties égales, où la moitié des observations sont inférieures à la médiane et l'autre moitié sont supérieures à la médiane.

$$\text{Médiane} = L_0 + \frac{a_i(\frac{n}{2} - N_{i-1})}{n_i} \quad (3.4)$$

$L_0$  = limite inférieure de la classe médiane

$L_0$  = Amplitude de la classe médiane

$n$  = Nombre totale d'observation

$N_{i-1}$  = effectif cumulé croissant de la classe inférieure à la classe médiane

Il convient de noter que d'autres analyses statistiques peuvent être utilisées en fonction des besoins spécifiques de l'application. Par exemple, des analyses telles que le coefficient de variation, les quartiles ou les tests d'hypothèse peuvent également fournir des informations complémentaires sur les données et aider à une évaluation plus approfondie de la qualité des mesures de température dans un contexte IoT.

### Exemple :

Prenons en compte un exemple où les capteurs de température IoT mesurent la température ambiante pendant trois jours consécutifs. Voici les mesures de température obtenues par chaque capteur pour chaque jour. Les résultats de chaque capteur sont exposés dans le tableau ci-dessous :

<b>Jour 01</b>			
<b>Capteur 01</b>	25.5	25.2	25.4
<b>Capteur 02</b>	25.3	25.1	25.5
<b>Capteur 03</b>	25.4	25.3	25.6
<b>Jour 02</b>			
<b>Capteur 01</b>	25.3	25.6	25.2
<b>Capteur 02</b>	25.2	25.4	25.3
<b>Capteur 03</b>	25.1	25.5	25.4
<b>Jour 03</b>			
<b>Capteur 01</b>	25.7	25.3	25.5
<b>Capteur 02</b>	25.6	25.2	25.4
<b>Capteur 03</b>	25.4	25.7	25.3

À partir de ces résultats nous pouvons effectuer une analyse statistique pour évaluer la qualité des données sur ces trois jours :

- **Moyenne** : Calculons la moyenne des mesures pour chaque capteur sur les trois jours :
  - Capteur 1 :

## Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée

**Moyenne 01** =  $(25.5 + 25.2 + 25.4 + 25.3 + 25.6 + 25.2 + 25.7 + 25.3 + 25.5) / 9 \approx 25.4^{\circ}\text{C}$

- Capteur 2 :

**Moyenne 02** =  $(25.3 + 25.1 + 25.5 + 25.2 + 25.4 + 25.3 + 25.6 + 25.2 + 25.4) / 9 \approx 25.3^{\circ}\text{C}$

- Capteur 3 :

**Moyenne 03** =  $(25.4 + 25.3 + 25.6 + 25.1 + 25.5 + 25.4 + 25.4 + 25.7 + 25.3) / 9 \approx 25.4^{\circ}\text{C}$

- **Écart-type** : Calculons l'écart-type pour mesurer la dispersion des mesures autour de la moyenne sur les trois jours :

- Capteur 1 : Écart-type  $\approx 0.18^{\circ}\text{C}$
- Capteur 2 : Écart-type  $\approx 0.16^{\circ}\text{C}$
- Capteur 3 : Écart-type  $\approx 0.18^{\circ}\text{C}$

En analysant les résultats de cet exemple nous constatons que la moyenne des mesures de température pour chaque capteur sur les trois jours est d'environ  $25.4^{\circ}\text{C}$ . Cela indique que la température moyenne mesurée par chaque capteur est proche et relativement stable au cours de la période observée. La similarité des moyennes suggère une cohérence générale dans les mesures de température effectuées par les capteurs. Pour l'écart-type, il est d'environ  $0.18^{\circ}\text{C}$  pour chaque capteur. Alors un écart-type faible indique une faible dispersion des mesures autour de la moyenne. Cela signifie que les mesures de température pour chaque capteur sont cohérentes et présentent une stabilité relative au cours des trois jours. La faible dispersion des mesures renforce la fiabilité et la qualité des données de température obtenues par les capteurs.

- **La médiane** : Calculons la médiane des mesures de température suivantes :

- Capteur 1 :  $25.5^{\circ}\text{C}$ ,  $25.2^{\circ}\text{C}$ ,  $25.4^{\circ}\text{C}$ ,  $25.3^{\circ}\text{C}$ ,  $25.6^{\circ}\text{C}$
- Capteur 2 :  $25.3^{\circ}\text{C}$ ,  $25.1^{\circ}\text{C}$ ,  $25.5^{\circ}\text{C}$ ,  $25.2^{\circ}\text{C}$ ,  $25.4^{\circ}\text{C}$
- Capteur 3 :  $25.4^{\circ}\text{C}$ ,  $25.3^{\circ}\text{C}$ ,  $25.6^{\circ}\text{C}$ ,  $25.1^{\circ}\text{C}$ ,  $25.5^{\circ}\text{C}$

A partir des résultats nous identifions la valeur du milieu de l'échantillon. Puisque le nombre des mesure est impair (5 mesures), la médiane sera simplement la valeur du milieu, une fois les mesures triées. On aura :

- Capteur 1 : Médiane :  $25.4^{\circ}\text{C}$
- Capteur 2 : Médiane :  $25.3^{\circ}\text{C}$
- Capteur 3 : Médiane :  $25.4^{\circ}\text{C}$

La médiane nous donne une valeur représentative de la moitié centrale des mesures de température. Elle est moins sensible aux valeurs extrêmes que la moyenne et peut être utile pour résumer la tendance centrale lorsque les données présentent des valeurs aberrantes.

## Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée

En incluant l'analyse de la médiane avec les autres mesures statistiques telles que la moyenne et l'écart-type, nous pouvons obtenir une vision plus complète de la distribution et de la cohérence des mesures de température dans notre exemple d'application IoT.

- 3.1.2 Analyse de la variance (ANOVA) :** L'ANOVA est utilisée pour évaluer les différences entre les moyennes de plusieurs groupes de données IoT. Cela permet de déterminer si les variations observées sont statistiquement significatives et si elles sont liées à des facteurs spécifiques.

Nous considérons l'exemple des mesures de température pour trois capteurs pendant trois jours :

- Capteur 1 : 25.5°C, 25.2°C, 25.4°C
- Capteur 2 : 25.3°C, 25.1°C, 25.5°C
- Capteur 3 : 25.4°C, 25.3°C, 25.6°C

Pour appliquer l'ANOVA à ces données, nous allons suivre les étapes suivantes :

- **Étape 1 :** Calcul des moyennes
  - Moyenne Capteur 1 =  $(25.5 + 25.2 + 25.4) / 3 = 25.37^{\circ}\text{C}$
  - Moyenne Capteur 2 =  $(25.3 + 25.1 + 25.5) / 3 = 25.30^{\circ}\text{C}$
  - Moyenne Capteur 3 =  $(25.4 + 25.3 + 25.6) / 3 = 25.43^{\circ}\text{C}$
- **Étape 2 :** Calcul de la moyenne globale de toutes les mesures :

Moyenne globale =  $(25.37 + 25.30 + 25.43) / 3 = 25.37^{\circ}\text{C}$

- **Étape 3 :** Calcul des écarts à la moyenne:
  - Écart pour Capteur 1 =  $25.37 - 25.37 = 0^{\circ}\text{C}$
  - Écart pour Capteur 2 =  $25.30 - 25.37 = -0.07^{\circ}\text{C}$
  - Écart pour Capteur 3 =  $25.43 - 25.37 = 0.06^{\circ}\text{C}$
- **Étape 4 :** Calcul des sommes de carrés (SC) :
  - SC intergroupes =  $(3 * ((0)^2 + (-0.07)^2 + (0.06)^2)) = 0.00349^{\circ}\text{C}^2$
  - SC intragroupes =  $((3 - 1) * ((0)^2 + (-0.07)^2 + (0.06)^2)) = 0.00698^{\circ}\text{C}^2$
- **Étape 5 :** Calcul des carrés moyens (CM) :
  - CM intergroupes =  $\text{SC intergroupes} / (3-1) = 0.00349 / 2 = 0.00174^{\circ}\text{C}^2$
  - CM intragroupes =  $\text{SC intragroupes} / (9 - 3) = 0.00698 / 6 = 0.00116^{\circ}\text{C}^2$

- **Étape 6 :** Calcul de la valeur F qui indique le rapport des variances entre les groupes et la variance à l'intérieur des groupes. Plus la valeur F est élevée, plus la variation entre les groupes est grande par rapport à la variation à l'intérieur des groupes.



## Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée

$$F = \text{CM intergroupes} / \text{CM intragroupes} = 0.00174 / 0.00116 = \mathbf{1.50}$$

- **Étape 7** : Calcul de la valeur **p** qui indique la probabilité d'obtenir des différences de moyennes aussi extrêmes que celles observées si l'hypothèse nulle est vraie. Une valeur **p** inférieure au seuil de signification choisi (par exemple, 0,05) suggère une différence significative entre les moyennes des capteurs.

Pour obtenir la valeur **p** associée à la valeur **F** de 1.50, nous devons consulter une table de distribution de **F** ou utiliser un logiciel statistique approprié. La valeur **p** correspondante nous donnera une indication de la significativité statistique des différences entre les capteurs. En appliquant ces calculs, vous pouvez obtenir les valeurs **F** et **p** pour l'ANOVA dans cet exemple spécifique. La valeur **F** évalue la variation entre les groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes, tandis que la valeur **p** indique si les différences observées entre les capteurs sont statistiquement significatives.

**Remarque** : Il est important de souligner que la valeur **p** seuil doit être prédéterminée en fonction du niveau de significativité souhaité. Par exemple, un seuil communément utilisé est  $p < 0.05$ , ce qui indique un niveau de confiance de 95%. Si la valeur **p** calculée est inférieure à ce seuil, on peut conclure qu'il existe des différences significatives entre les capteurs de température.

Cependant, pour plus de précision dans le calcul de la valeur **P**, des informations supplémentaires sont nécessaires telles que la taille de l'échantillon, les degrés de liberté ainsi que la distribution de probabilité spécifique. Dans la pratique et pour obtenir la valeur réelle de **P**, il est recommandé d'utiliser des logiciels statistiques tels que R, Python qui fournissent des résultats précis pour les tests d'ANOVA.

**3.1.3 Analyse de corrélation** : L'analyse de corrélation examine la relation entre deux ou plusieurs variables dans les données IoT. Elle permet de déterminer si les variables sont liées et si elles varient de manière cohérente.

Considérons les données ci-dessous collectées pendant trois jours pour trois capteurs de température:

<b>Premier capteur</b>	22	23	21
<b>Deuxième capteur</b>	20	19	18
<b>Troisième capteur</b>	25	24	26

L'analyse de corrélation peut être effectuée par le biais de coefficients de corrélation de Pearson comme suit:

a. Calcul des moyennes:

$$\mathbf{\text{Moyenne capteur 01}} \quad (22 + 23 + 21) / 3 = 22$$

## Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée

$$\text{Moyenne capteur 02} \quad (20 + 19 + 18) / 3 = 19$$

$$\text{Moyenne capteur 03} \quad (25 + 24 + 26) / 3 = 25$$

b. Calcul des écarts par rapport à la moyenne:

$$\text{Ecart capteur 01} \quad [22 - 22, 23 - 22, 21 - 22] = [0, 1, -1]$$

$$\text{Ecart capteur 02} \quad [20 - 19, 19 - 19, 18 - 19] = [1, 0, -1]$$

$$\text{Ecart capteur 03} \quad [25 - 25, 24 - 25, 26 - 25] = [0, -1, 1]$$

c. Calcul du coefficient de corrélation de Pearson

Nous calculons maintenant les coefficients de corrélation entre capteur 01 et capteur 02 puis entre capteur 01 et capteur 03 et en dernier entre capteur 02 et capteur 03 :

✚ Entre capteur 01 et capteur 02

La somme des produits des écarts par rapport à la moyenne est égale à :

$$(0*1) + (1*0) + ((-1)*(-1)) = 1$$

$$\bullet \text{ Écart-type pour capteur 01 : } \sqrt{\frac{(0)^2+(1)^2+(-1)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\bullet \text{ Écart-type pour Capteur 02 : } \sqrt{\frac{(1)^2+(0)^2+(-1)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\text{Le coefficient de corrélation de Pearson est alors : } \frac{1}{(\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}})} = \mathbf{1.5}$$

✚ Entre Capteur 1 et Capteur 3 :

La somme des produits des écarts par rapport à la moyenne est égale à :

$$(0*0) + (1*(-1)) + ((-1)*1) = -2$$

$$\bullet \text{ Écart-type pour capteur 01 : } \sqrt{\frac{(0)^2+(1)^2+(-1)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\bullet \text{ Écart-type pour capteur 03 : } \sqrt{\frac{(0)^2+(-1)^2+(1)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\text{Le coefficient de corrélation de Pearson est alors : } \frac{-2}{(\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}})} = \mathbf{-3}$$

✚ Entre capteur 02 et Capteur 03 :

La somme des produits des écarts par rapport à la moyenne est égale à :

$$(1*0) + (0*(-1)) + ((-1)*1) = -1$$

## Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée

- Écart-type pour Capteur 2 :  $\sqrt{\frac{(1)^2+(0)^2+(-1)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$
- Écart-type pour Capteur 3 :  $\sqrt{\frac{(0)^2+(-1)^2+(1)^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$

Le coefficient de corrélation de Pearson est alors :  $\frac{-1}{(\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}})} = -1.5$

Les coefficients de corrélation obtenus indiquent la force et la direction de la relation linéaire entre les capteurs de température.

**3.1.4 Analyse par régression**[55] : La régression est utilisée pour modéliser la relation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes dans les données IoT. Elle permet de prédire la valeur d'une variable en fonction des autres variables et d'évaluer la force et la direction de la relation.

**3.1.5 Méthodes d'estimation**[56 ,57]: Les méthodes d'estimation permettent de déduire des caractéristiques ou des paramètres des données IoT à partir d'un échantillon. Cela peut inclure l'estimation de la moyenne, de la variance, d'une proportion ou d'autres paramètres statistiques.

Nous citons quelques méthodes d'estimation couramment utilisées:

- **Méthode des moindres carrés** : Minimise les écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées.
- **Moyenne mobile** : Calcule la moyenne des valeurs récentes pour lisser les données.
- **Régression** : Estime la relation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes.
- **Interpolation** : Estime les valeurs manquantes en se basant sur les valeurs disponibles.
- **Extrapolation** : Estime les valeurs au-delà de la plage des données existantes en utilisant des tendances ou des modèles identifiés.
- **Régression non linéaire** : Estime les paramètres et les valeurs en utilisant des fonctions non linéaires [58].

Les méthodes d'estimation citées ci-dessous permettent d'estimer les valeurs en fonction des données disponibles et des objectifs spécifiques de l'estimation.

**3.1.6 Tests d'hypothèse** [59]: Les tests d'hypothèse permettent de déterminer si une affirmation concernant les données IoT est statistiquement valide ou non. Par exemple, on peut tester si la moyenne d'un échantillon de données IoT diffère significativement de la moyenne d'une

### **Chapitre 3 : L'analyse statistique pour l'évaluation de la qualité de donnée**

---

population de référence. Le choix du test dépendra de la nature des données, des hypothèses de recherche et des objectifs de l'analyse statistique. Ci-dessous quelques tests couramment appliqués :

- **Test t de Student** : Utilisé pour comparer les moyennes de deux échantillons et déterminer s'il y a une différence significative entre eux.
- **Test de chi-carré ( $\chi^2$ )** : Évalué pour déterminer si une relation significative existe entre deux variables catégorielles.
- **Test de Fisher** : Utilisé pour comparer les variances de deux échantillons et déterminer s'il y a une différence significative entre elles.

Dans le chapitre suivant nous allons appliquer quelques techniques statistiques pour évaluer la qualité de la donnée d'un système IoT pour mesure de température.

# Chapitre 04

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

### Introduction

Dans le domaine de l'Internet des Objets (IoT), la simulation joue un rôle essentiel pour évaluer les performances et prédire le comportement des systèmes IoT avant leur déploiement réel. La simulation permet de modéliser différents scénarios et de mesurer l'impact des paramètres sur les résultats. L'utilisation de l'expérimentation, en particulier l'exploitation des microcontrôleurs comme l'Arduino, joue un rôle fondamental dans le développement et l'optimisation des systèmes IoT. Cette approche permet de réaliser des tests réels sur des dispositifs embarqués, de collecter des données en conditions réelles et d'évaluer les performances des solutions proposées. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur l'utilisation de l'expérimentation par la carte Arduino et l'ESP 32, visant à améliorer la qualité de donnée. Nous présentons aussi les résultats obtenus et analysant les mesures recueillies et d'en tirer des conclusions pertinentes. Nous examinerons de même les différentes phases de l'expérimentation, depuis la configuration des tests jusqu'à l'analyse des résultats obtenus. Nous mettrons en évidence les avantages de l'expérimentation, tels que la possibilité de contrôler précisément les conditions de test et de collecter des données en temps réel.

### 4.1. Présentation du matériel utilisé

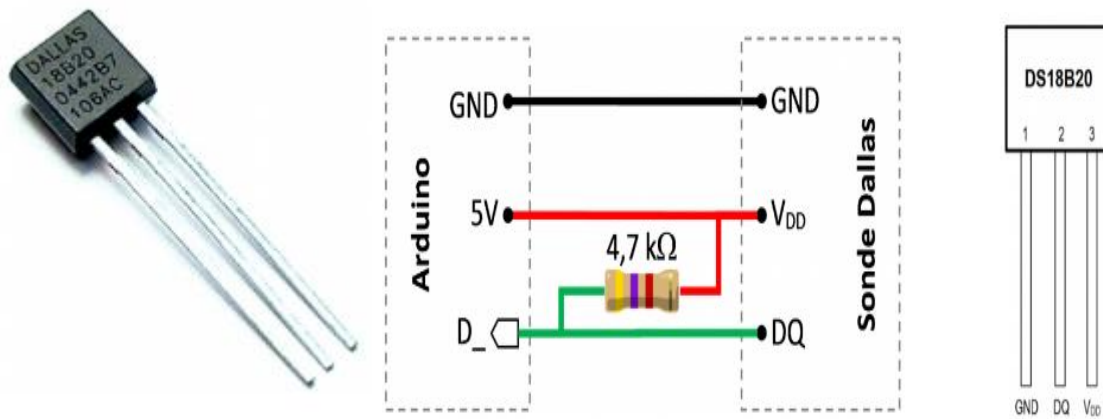
Dans notre système IoT de contrôle de température, nous avons utilisé un ensemble de matériel essentiel pour collecter et traiter les données :

#### 4.1.1 Capteur de température

Nous avons intégré des capteurs de température de haute précision dans notre système. Ces capteurs sont conçus pour mesurer avec précision les variations de température et fournissent des données fiables. Ils permettent par la suite une surveillance continue et en temps réel de la température. Ces capteurs sont Dallas DS18B20 et LM35

##### a. Capteur de température Dallas DS18B20

Ce capteur est un capteur numérique capable de mesurer la température en degrés Celsius avec une résolution de 9 à 12 bits. Il est conçu pour fonctionner dans une plage de température allant de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $+125^{\circ}\text{C}$ , offrant une précision de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Le capteur de température DS18B20 peut être alimenté par une tension de fonctionnement comprise entre 3,0 et 5,5 V, ce qui le rend compatible avec des plates-formes telles que l'Arduino (fonctionnant à 5 V) ainsi que des appareils comme l'ESP32 et le Raspberry Pi, qui disposent de broches GPIO de 3,3 V.



**Figure 4.1** Présentation du capteur DS18B20 et son câblage avec la carte Arduino

L'un des principaux avantages de ce capteur sont :

- Il nécessite uniquement une seule broche numérique de l'Arduino pour la communication.
- Le capteur utilise le protocole de communication de Dallas Semiconductor, qui est similaire à l'I2C mais avec des débits de données plus bas et une portée plus étendue.
- Chaque capteur DS18B20 possède un identifiant unique de 64 bits, ce qui permet à plusieurs capteurs d'être connectés sur le même bus 1-Wire. Par conséquent, il est possible de lire les données de plusieurs capteurs en utilisant une seule broche de l'Arduino (des exemples de code sont disponibles ci-dessous).

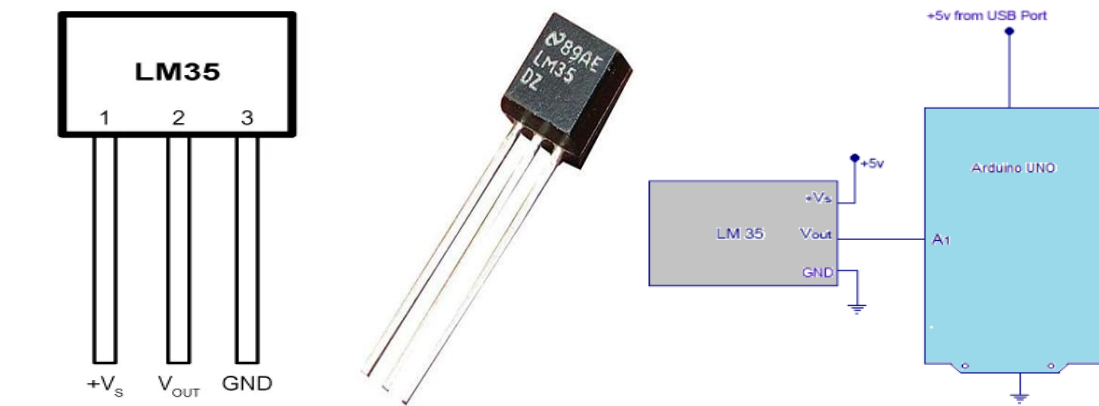
La résolution du capteur peut être programmée pour être de 9, 10, 11 ou 12 bits, ce qui correspond à des incréments de température de 0,5°C, 0,25°C, 0,125°C et 0,0635°C respectivement. La résolution par défaut lors de la mise sous tension est de 12 bits.

### **b. Capteur de température LM35**

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température fabriqué par Texas Instruments. C'est un capteur de température analogique intégré dont la sortie électrique est proportionnelle au degré centigrade. Ce capteur est largement utilisé dans le domaine de l'électronique en raison de ses caractéristiques, telles que sa précision, son faible coût, sa facilité d'utilisation et sa fiabilité. Le capteur de température LM35 est capable de mesurer des températures dans une plage allant de -55°C à +150°C. Il produit une tension analogique en sortie qui est directement

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

proportionnelle à la température mesurée. Il suffit de mesurer cette tension de sortie pour déterminer la température correspondante. Selon la relation d'entrée/sortie du capteur, chaque degré Celsius est équivalent à une variation de tension de +10mV.



**Figure 4.2** Présentation du capteur LM35 et son câblage avec la carte Arduino

### 4.1.2 Carte Arduino et ESP32

En ce qui concerne le contrôleur principal, nous avons opté pour l'utilisation de l'Arduino et de l'ESP32.

#### a. Carte Arduino

L'Arduino est une plateforme de développement open-source largement utilisée pour les projets IoT en raison de sa facilité d'utilisation et de sa flexibilité. Il offre une interface conviviale pour la programmation et dispose de nombreuses bibliothèques disponibles, ce qui simplifie l'intégration des capteurs et la communication avec d'autres périphériques. L'Arduino est une plateforme de prototypage destinée à la création d'objets interactifs. Elle se compose d'une carte électronique dotée de divers composants intégrés et est accompagnée d'un environnement de programmation convivial. Cette combinaison permet aux utilisateurs de développer et de réaliser des projets créatifs mettant en œuvre des fonctionnalités interactives et personnalisées. En effet, l'environnement matériel et logiciel d'Arduino offre une approche accessible même aux utilisateurs n'ayant pas une connaissance approfondie de l'électronique. Il permet à l'utilisateur d'exprimer ses idées de projet en expérimentant directement avec le matériel, tout en bénéficiant d'une abondance de ressources en ligne pour obtenir de l'aide et des informations supplémentaires. Cela permet aux utilisateurs de réaliser leurs projets en s'appuyant sur des exemples de code, des tutoriels, des forums de discussion et une communauté active prête à partager son expertise.



## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température



carte électronique



environnement de programmation



<http://arduino.cc/>

La carte est « open source » c-à-d qu'on peut le copier, le fabriquer et le modifier librement.

L'environnement de programmation est libre qu'on peut l'utiliser et le modifier librement.

Sur Internet, on trouve :

- Une communauté d'utilisateurs.
- Des guides d'utilisation.
- Des exemples.
- Des forums d'entraide.

Figure 4.3 Présentation des fonctionnalités de la carte Arduino

Il existe différents carte d'Arduino tels que :

- ✓ **Arduino** Uno (R3)
- ✓ **Arduino** Nano.
- ✓ **Arduino** Micro.
- ✓ **Arduino** Due.
- ✓ LilyPad **Arduino** Board.
- ✓ **Arduino** Bluetooth.
- ✓ **Arduino** Diecimila.
- ✓ RedBoard **Arduino** Board.

Dans notre application nous allons servir de la carte ArduinoUno. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- ✓ Microcontrôleur : ATmega328
- ✓ Tension d'alimentation interne = 5V
- ✓ Tension d'alimentation (recommandée)= 7 à 12V, limites =6 à 20 V
- ✓ Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM
- ✓ Entrées analogiques = 6 (avec une résolution de 10 bits => 1024 valeurs différentes)
- ✓ Courant max par broches E/S = 40 mA
- ✓ Courant max sur sortie 3,3V = 50mA
- ✓ Mémoire Flash 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le bootloader
- ✓ Mémoire SRAM 2KB

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

- ✓ Mémoire EEPROM 1 KB
- ✓ Fréquence horloge = 16 MHz
- ✓ Dimensions = 68.6mm x 53.3mm

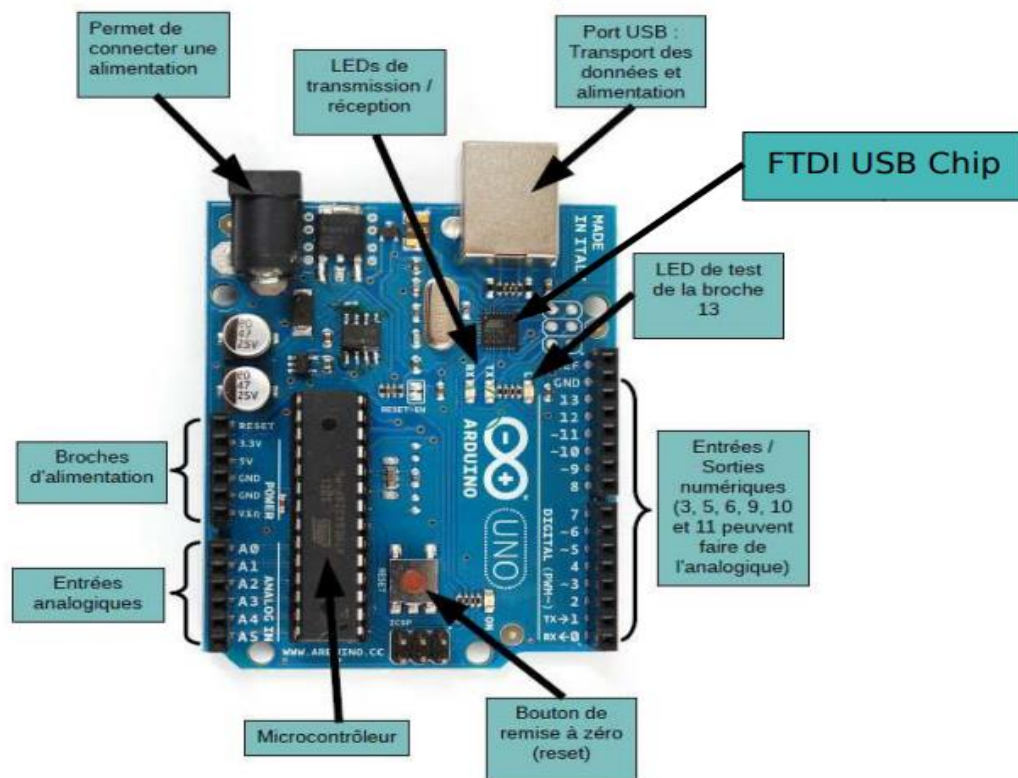


Figure 4.4 Description des différentes parties de la carte Arduino Uno

### b. Carte ESP32

L'ESP32, quant à lui, est un microcontrôleur puissant et polyvalent qui offre une connectivité sans fil Wi-Fi et Bluetooth. Il permet la transmission des données collectées vers un système centralisé ou un serveur cloud pour un traitement ultérieur. L'ESP32 offre également une grande capacité de stockage, ce qui permet de stocker les données localement en cas de perte de connectivité. L'ESP32 est une série de microcontrôleurs de type système sur une puce (SoC) développée par Espressif Systems. Ces microcontrôleurs sont basés sur l'architecture Xtensa LX6 de Tensilica. L'ESP32 offre une combinaison de performances élevées, de connectivité sans fil intégrée, et d'une grande variété de fonctionnalités périphériques, ce qui en fait un choix populaire pour de nombreuses applications IoT (Internet des objets) et embarquées. Grâce à sa polyvalence et à sa puissance de traitement, l'ESP32 est capable de gérer des tâches complexes et de prendre en charge diverses interfaces de communication, telles que le Wi-Fi, le Bluetooth et l'Ethernet, entre autres. L'ESP32 est spécifiquement conçu pour offrir une fiabilité élevée

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

même dans des environnements industriels exigeants. Il est capable de fonctionner de manière stable sur une large plage de température, allant de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Grâce à des circuits d'étalonnage avancés, l'ESP32 peut détecter et compenser les imperfections du circuit externe, assurant ainsi des performances cohérentes et fiables. Il est également conçu pour s'adapter de manière dynamique aux variations des conditions externes, garantissant ainsi une fonctionnalité optimale même face à des changements environnementaux. Cette capacité d'adaptation permet à l'ESP32 de maintenir des performances stables et fiables dans des environnements industriels exigeants.



Figure 4.5 ESP32 devkit WROOM

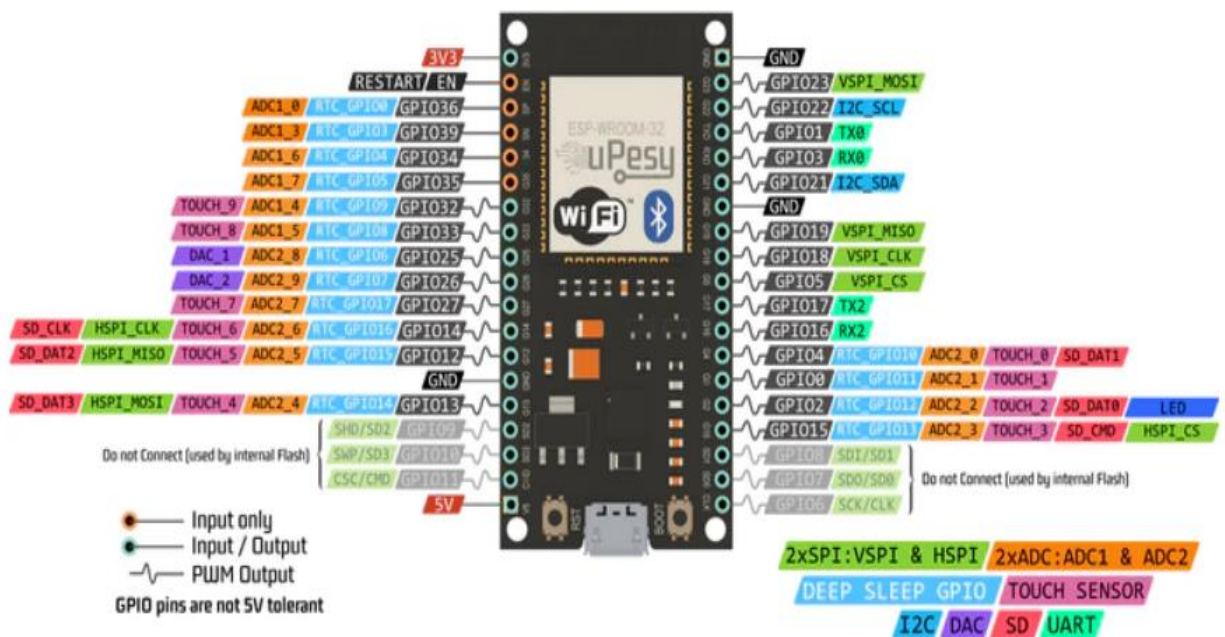


Figure 4.6 Les broches de la carte ESP32 DevKit générique

Pour interagir avec les modules, capteurs ou circuits électroniques, l'ESP32 comme tout microcontrôleur possède une multitude de périphériques. Ils sont d'ailleurs beaucoup plus nombreux que sur une carte ArduinoUno classique. L'ESP32 possède les périphériques suivants :

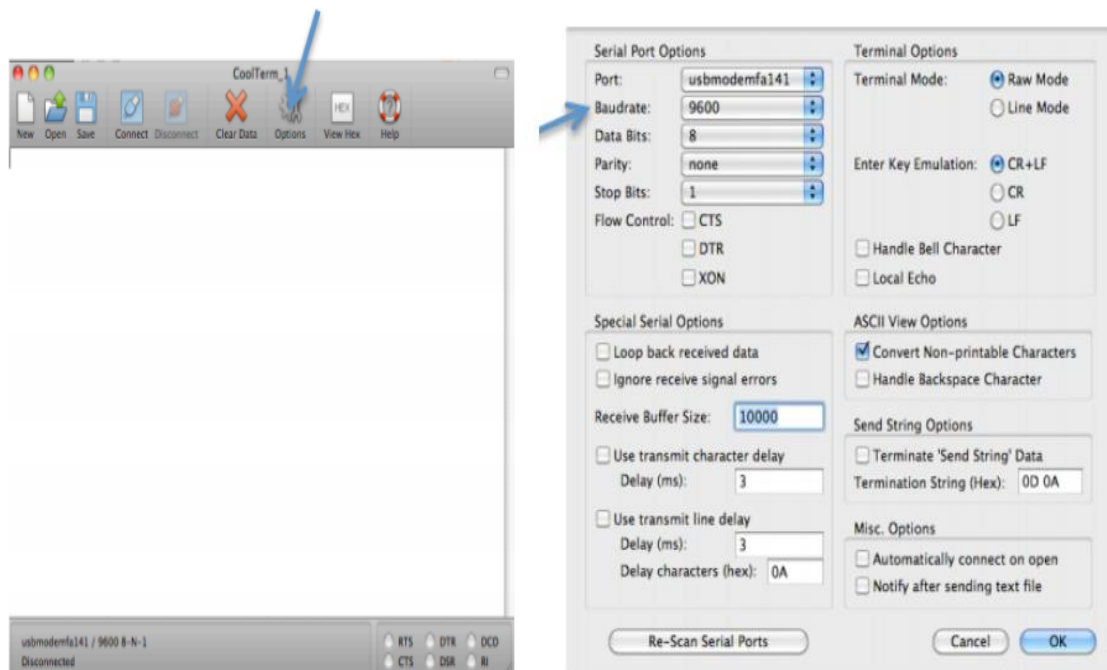
## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

- ✚ 3 interfaces UART
- ✚ 2 interfaces I2C
- ✚ 3 interfaces SPI
- ✚ 16 sorties PWM
- ✚ 10 capteurs capacitifs
- ✚ 18 entrées analogiques (ADC)
- ✚ 2 sorties DAC

En combinant les capteurs de température avec l'Arduino et l'ESP32, nous avons pu créer un système robuste et fiable de surveillance environnementale. Les capteurs mesurent la température ambiante, les données sont traitées et analysées par l'Arduino, puis transmises à l'aide de l'ESP32 vers un serveur ou une plateforme de gestion. Cette combinaison de matériel nous a permis d'obtenir des mesures précises et de garantir la connectivité et la disponibilité des données.

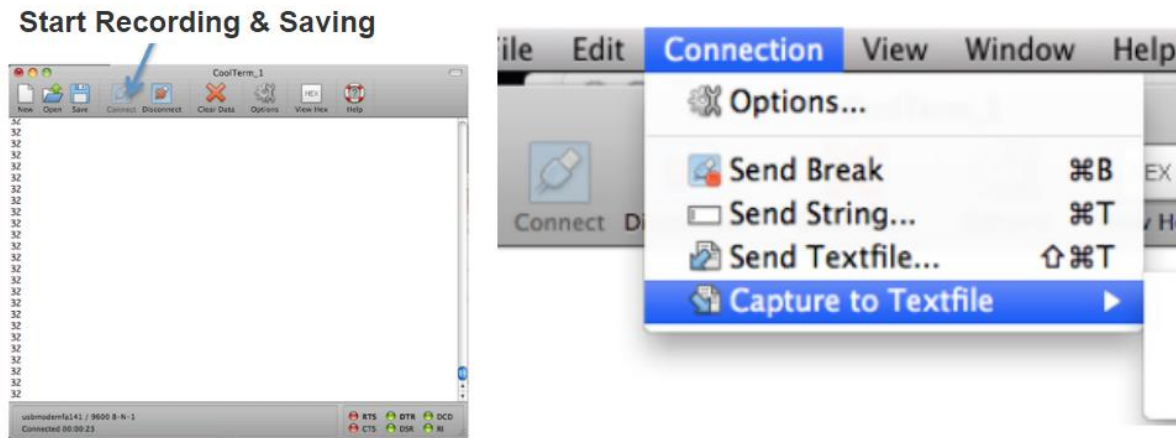
### 4.2. Méthodologie de l'expérimentation

En se servant de la carte Arduino et l'ESP 32 nous avons réalisé notre système de mesure de température. La carte ESP32devkit est utilisée pour connecter notre système à Internet. Pour le bon fonctionnement de la carte nous devons télécharger la bibliothèque avec le logiciel Arduino IDE. La collecte des données est effectuée en ligne (via le protocole HTTP) et à travers le logiciel CoolTerm.



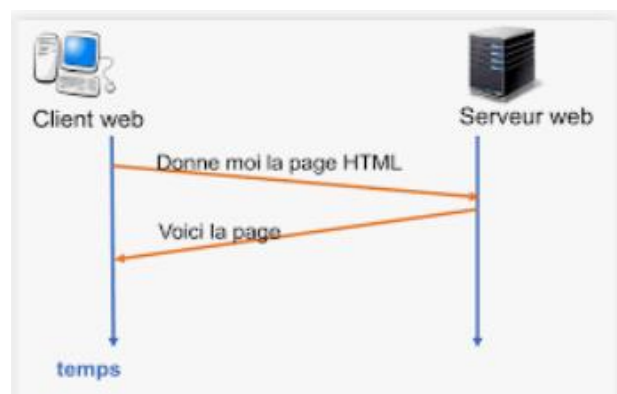


## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température



**Figure 4.7** Interface du CheTerm pour la collecte des données.

Pour que les objets connectés entre eux il faut des infrastructures de télécommunication en particulier la technologie WiFi. Le module ESP32 DevKit est un composant essentiel pour mettre en œuvre cette fonctionnalité. Il offre une connectivité Wi-Fi intégrée, ce qui permet aux objets de se connecter à des réseaux sans fil et d'échanger des données avec d'autres appareils connectés. Nous avons programmé ESP32 afin de publier des données sur un serveur en ligne comme une application Web, pour créer des objets connectés que l'on pourra piloter depuis un serveur domotique ou une application mobile. De plus, il faut un protocole de communication entre les objets dans le contexte du web, pour cela nous avons utilisé le protocole http. L'Hypertext Transfer Protocol (HTTP) est un protocole de communication client-serveur développé pour le World Wide Web. HTTPS est la variante sécurisée par l'usage des protocoles Transport Layer Security. HTTP est un protocole de la couche application. Inventé dans les années 1990 par Tim Berners-Lee, le protocole http établit une liaison entre un ordinateur (client) et un serveur Web. Le premier, via un navigateur Web, envoie une requête au second qui lui apporte une réponse presque instantanée. Autrement dit, le protocole de communication http est ce qui permet à un internaute d'accéder à un contenu (une page Web, un fichier CSS, etc.), en commandant au serveur d'effectuer une action. Le protocole définit le format et l'enchaînement des messages qui doivent être échangés, ainsi que les actions à réaliser lors de la réception de ces messages, la figure suivante donne un simple protocole de communication.



## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

---

### Figure 4.8. Protocole de communication

Le protocole HTTP prend en charge les Uniform Resource Identifiers (URI) [34], ce qui permet de spécifier la cible en utilisant un nom d'hôte, un port, un chemin et un paramètre de requête. Toutes les méthodes et opérations du protocole HTTP reposent sur les URI. HTTP propose plusieurs méthodes, voici les plus couramment utilisées :

- La méthode "GET" : Cette méthode permet de récupérer la représentation de l'information correspondant à la ressource identifiée par l'URI de la requête.
- La méthode "POST" : Cette méthode demande le traitement de la représentation jointe à la ressource identifiée par l'URI de la requête. Normalement, cela aboutit à la création d'une nouvelle ressource ou à sa mise à jour.
- La méthode "PUT" : Cette méthode demande que la ressource identifiée par l'URI de la requête soit mise à jour avec la représentation jointe. Le format de la représentation est spécifié par le type de média et le codage contenu dans l'option Content-Format, si elle est fournie.
- La méthode "DELETE" : Cette méthode demande que la ressource identifiée par l'URI de la requête soit supprimée.

La figure présente un exemple de programme utilisant les capteurs Dallas DS18B20 et LM35 avec l'ESP32 sur une application web.

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température



```
Fichier Édition Croquis Outils Aide
SimpleWiFiServer2
/*
 * modifier le 06/06/2023
 */
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <WiFiAP.h>

// Set these to your desired credentials.
const char *ssid = "departementGEL";
const char *password = "yourPassword";

WiFiServer server(80);

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(2, OUTPUT);    //

  Serial.println();
  Serial.println("Configuring access point...");

  // You can remove the password parameter if you want the AP to be open.
  WiFi.softAP(ssid, password);
  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(myIP);
  server.begin();

  Serial.println("Server started");
}

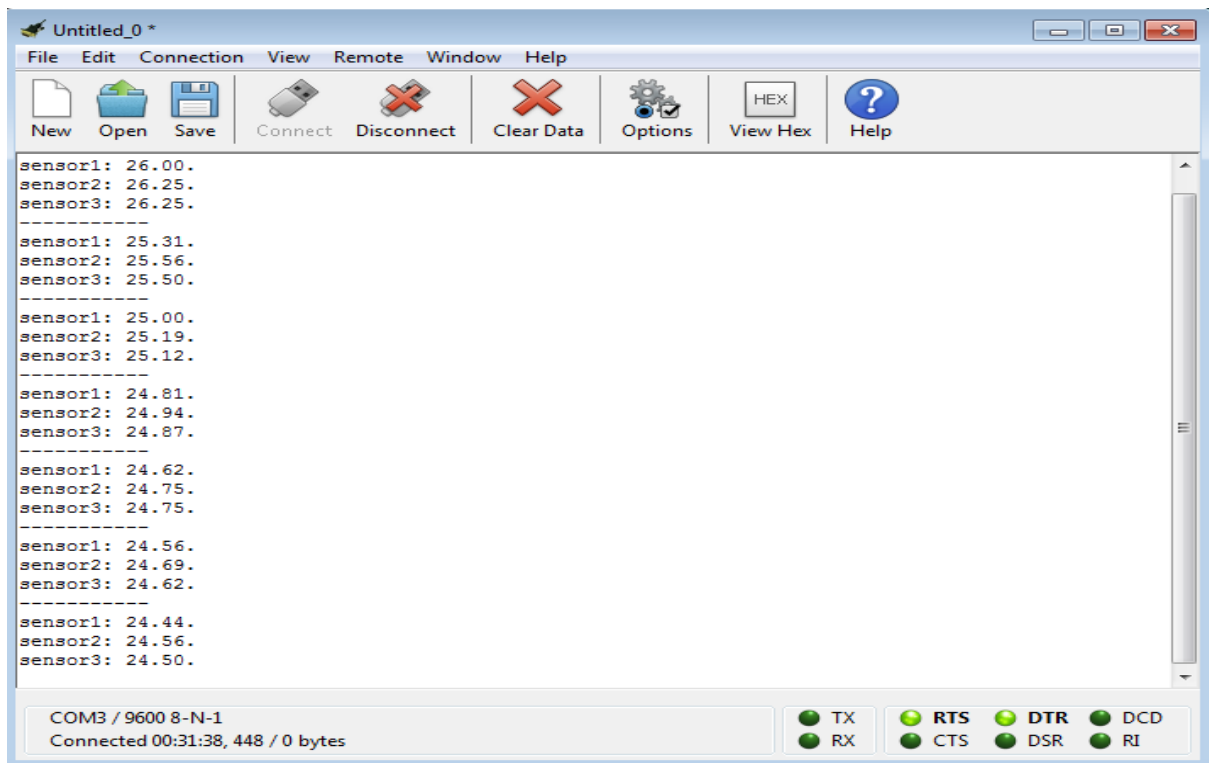
int value = 0;

void loop() {
  WiFiClient client = server.available();  // listen for incoming clients
```

**Figure 4.9.** Programme de collecte de température avec DS18B20, LM35 et l'ESP32 sur une application web.

En incluant un serveur web dans le code Arduino pour ESP32 on peut facilement afficher des données collectées ou stockée dans la mémoire flash de ESP32 et d'interagir depuis une interface WEB. Nous avons utilisé le protocole HTTP pour visualiser les informations des capteurs connectés. la figure suivant présente la visualisation des valeurs mesure de Température pour trois capteurs.

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température



**Figure 4.10.**La visualisation des valeurs mesure de Température via le web(HTML)

La procédure de mesure a été réalisée selon les scénarios suivants :

- **Essai simple** : dans un premier temps, les mesures ont été réalisés en utilisant un seul capteur DS18B20, puis le capteur LM35.
- **Essais multiples** : les mesures ont été effectuées en utilisant trois capteurs DS18B20, puis trois capteurs LM35.
- **Essai combiné** : les mesures ont été conduits en utilisant simultanément deux capteurs DS18B20 et LM35.

Les différentes mesures ont été répétées sur une période de 01 mois et demi, fractionnée en des intervalles de 05 jours chacune. Les relevés de température ont été réalisés en trois phases distinctes au cours de la même journée, avec chaque phase d'une durée d'une heure. Durant chaque heure nous avons relevé 15 mesures.

- Durant la première heure le prélèvement est effectué dans les conditions normales (température de l'environnement),
- Durant la deuxième heure le prélèvement est effectué dans sous l'effet d'une source de chaleur,
- Durant la troisième heure le prélèvement est effectué dans milieu froid (placé dans un réfrigérateur).



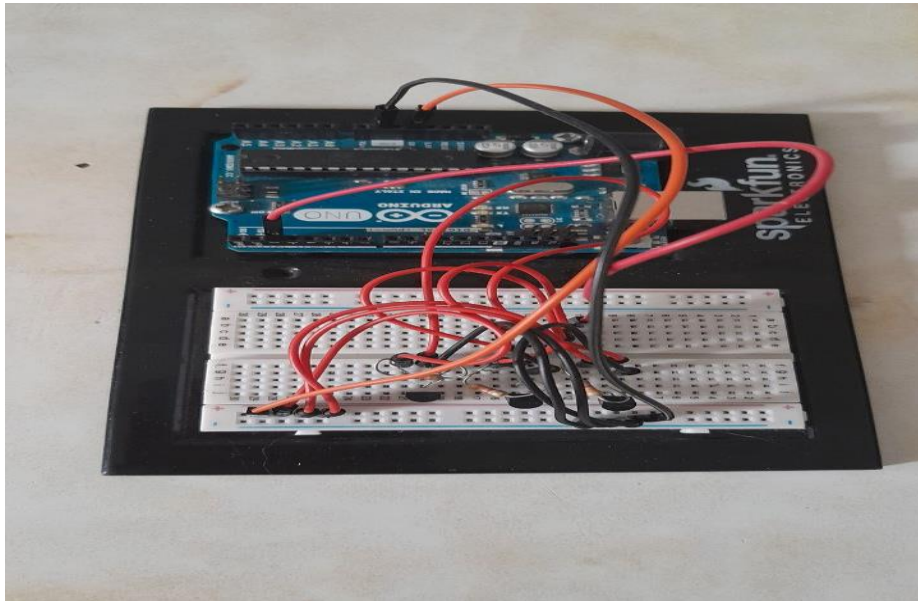


Figure 4.11. Présentation du montage à trois capteurs ainsi que les deux essais froid et chaud

### 4.3. Analyse et Interprétation des résultats

Les résultats obtenus lors des expériences de mesure fournissent des données précieuses pour évaluer les performances des capteurs utilisés notamment : **la précision**. Dans cette section, nous présenterons les résultats obtenus pour chaque scénario de mesure, en mettant l'accent sur les variations de température enregistrées dans les différentes phases de la journée. De même, nous procéderons à une analyse statistique de ces résultats, en calculant la moyenne, l'écart-type et la variance afin d'évaluer la qualité des données du système, de comprendre les implications et d'extraire des informations clés sur les performances des capteurs DS18B20 et LM35 dans les conditions d'opérations considérées.

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

### 4.3.1. Essai simple : avec un seul capteur

Les mesures de température obtenue pour cet essai sont données dans les tableaux ci-dessous :

#### a. Les mesures de température par Dallas DS18B20

Pas de temps (min)	Température C° 1 <sup>ère</sup> heure				
	1 <sup>er</sup> jour	2 <sup>ème</sup> jour	3 <sup>ème</sup> jour	4 <sup>ème</sup> jour	5 <sup>ème</sup> jour
0	22,56	23,94	22,44	21,81	25,25
4	22,69	23,94	22,44	21,81	25,19
8	22,69	23,94	22,44	21,87	25,12
12	22,81	23,94	22,5	21,87	25,12
16	22,87	23,94	22,44	21,87	25,12
20	22,81	23,94	22,5	21,81	25,12
24	22,81	23,94	22,5	21,81	25,12
28	22,75	24,37	22,44	21,87	25,19
32	22,75	24	22,5	21,81	25,06
36	22,81	24	22,5	21,87	25,12
40	22,81	24	22,56	21,87	25,06
44	22,81	24	22,5	21,87	25,06
48	22,87	24	22,5	21,87	25,12
52	22,87	24	22,56	21,87	25,12

**Tableau 4.1.** Les températures enregistrées durant la première heure pendant 05 jours

Pas de temps (min)	Température C° 2 <sup>ème</sup> heure				
	1 <sup>er</sup> jour	2 <sup>ème</sup> jour	3 <sup>ème</sup> jour	4 <sup>ème</sup> jour	5 <sup>ème</sup> jour
0	22,62	25	24,06	22,81	25,69
4	22,62	25	24,06	22,94	25,69
8	22,69	25,06	24,12	22,94	25,62
12	22,69	25,06	24,06	23,06	25,69
16	22,69	25,06	24,12	23,06	25,75
20	22,81	25,12	24,19	23	25,87
24	22,69	25,12	24,19	23,12	25,94
28	22,69	25,12	24,25	23,12	25,94
32	22,69	25,12	24,31	23,19	25,87
36	22,81	25,19	24,31	23,25	26,06
40	22,81	25,25	24,31	23,31	26
44	22,81	25,25	24,37	23,37	25,94
48	22,81	25,25	24,44	23,37	26
52	22,81	25,31	24,37	23,44	26
56	22,75	25,25	24,56	23,44	25,94
60	22,69	25,31	24,56	23,44	25,87

**Tableau 4.2.** Les températures enregistrées durant la deuxième heure pendant 05 jours

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

Pas de temps (min)	Température C°				
	1 <sup>er</sup> jour	2 <sup>ème</sup> jour	3 <sup>ème</sup> jour	4 <sup>ème</sup> jour	5 <sup>ème</sup> jour
0	24,19	27,25	27,31	27,69	28,19
4	24,12	27,25	27,37	27,69	28,12
8	24,25	27,19	27,37	27,69	28,25
12	24,19	27,12	27,5	27,69	28,12
16	24,25	27,12	27,5	27,69	28,25
20	24,25	27,25	27,44	27,75	28,25
24	24,37	27,19	27,37	27,81	28,25
28	24,25	27,06	27,31	27,81	28,31
32	24,37	27,12	27,37	27,87	28,37
36	24,19	27,19	27,31	27,81	28,37
40	24,25	27,12	27,44	27,94	28,37
44	24,25	27,06	27,37	27,87	28,44
48	24,12	27,06	27,37	27,81	28,5
52	24,25	27,12	27,44	27,94	28,44
56	24,06	27,06	27,37	27,94	28,44
60	24,19	27,12	27,56	28	28,5

Tableau 4.3. Les températures enregistrées durant la troisième heure pendant 05 jours

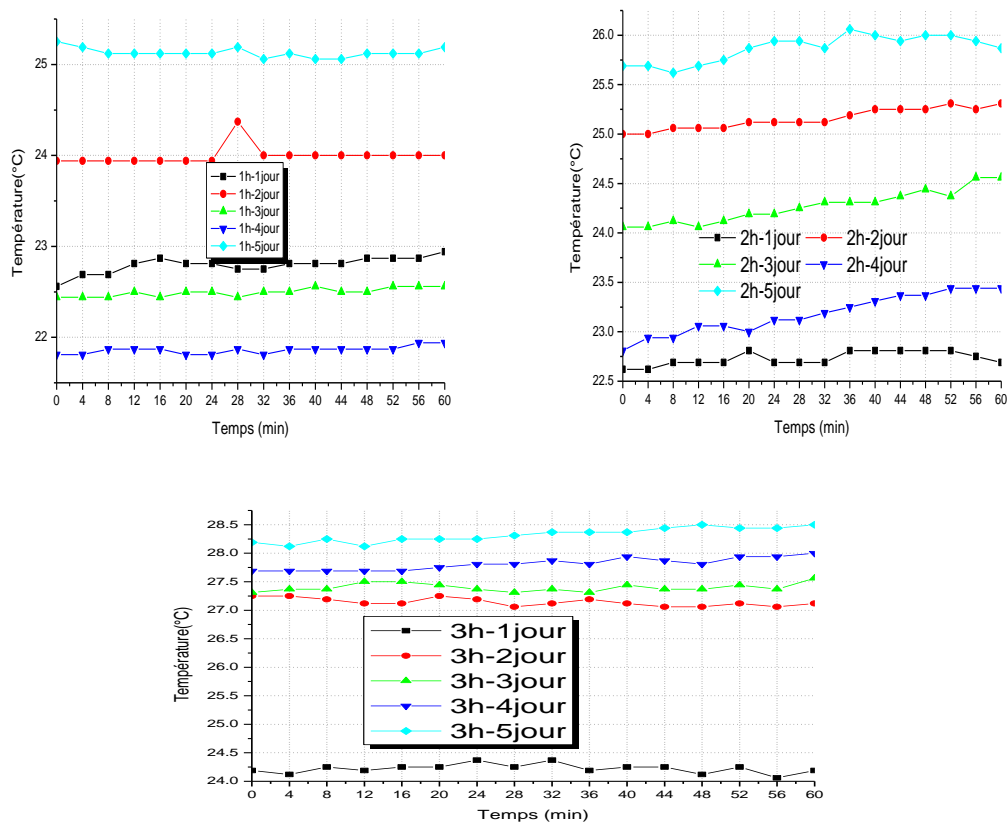


Figure 4.12. Représentation graphique des températures enregistrées durant les 05 jours.

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

L'analyse statistique des résultats fournit une compréhension approfondie des données collectées et de tirer des conclusions significatives à partir de ces données. L'analyse statistique permet d'identifier les tendances, les relations et les modèles présents dans les données, et d'évaluer la significativité des résultats. Il permet de quantifier et de caractériser les variations, les écarts, les corrélations et les différences significatives entre les différentes variables étudiées. Elle permet également de tester des hypothèses, de mesurer l'incertitude et de déterminer la fiabilité des résultats. Les calculs des moyennes, de variances et des écart-type sont donnée ci-après. D'après les calculs des moyennes, des variances et des écarts-types étaient proches et suit la même allure d'évolution avec une différence remarquable d'une phase à une autre. Pour les moyennes des trois phases de mesure étaient avoisinant pendant les trois premiers jours. Par la suite un écart de 2 à 3 °C a été observé et qui peut être expliqué par l'influence de l'environnement induisant un changement des conditions de mesure.

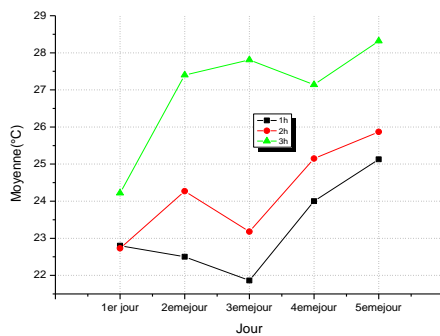


Figure 4.13. Représentation des moyennes pendant 05 jours

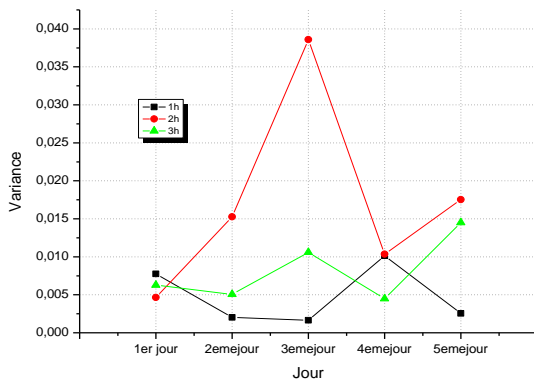


Figure 4.14. Représentation des variances pendant 05 jours

Les jours	Moyenne sur tous les jours		
	1h	2h	3h
1 <sup>er</sup> jour	22,8	22,73	24,22
2 <sup>ème</sup> jour	22,5	24,27	27,4
3 <sup>ème</sup> jour	21,86	23,18	27,81
4 <sup>ème</sup> jour	24	25,15	27,14
5 <sup>ème</sup> jour	25,13	25,87	28,32

Tableau 4.4. Les moyennes de températures pendant 05 jours

Les jours	Variance sur tous les jours		
	1h	2h	3h
1 <sup>er</sup> jour	0,00776	0,00464	0,00628
2 <sup>ème</sup> jour	0,00202	0,01526	0,00506
3 <sup>ème</sup> jour	0,00164	0,03859	0,0106
4 <sup>ème</sup> jour	0,01013	0,01036	0,00449
5 <sup>ème</sup> jour	0,00255	0,01753	0,01451

Tableau 4.5. Les variances calculées pendant 05 jours

## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

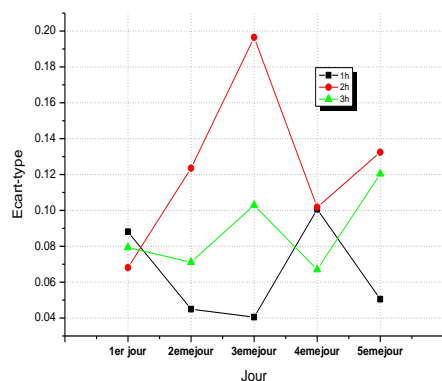


Figure 4.15. Représentation des écarts-type pendant 05 jours

Les jours	Ecart-type sur tous les jours		
	1h	2h	3h
1 <sup>er</sup> jour	0,08807	0,0681	0,07925
2 <sup>ème</sup> jour	0,045	0,12354	0,07115
3 <sup>ème</sup> jour	0,04047	0,19644	0,10296
4 <sup>ème</sup> jour	0,10065	0,10177	0,06699
5 <sup>ème</sup> jour	0,0505	0,13241	0,12044

Tableau 4.6. Les écarts-type calculées pendant 05 jours

### b. Les mesures de température par LM35

Pas de temps (min)	Température C°				
	1 <sup>er</sup> jour	2 <sup>ème</sup> jour	3 <sup>ème</sup> jour	4 <sup>ème</sup> jour	5 <sup>ème</sup> jour
0	0.00	42.03	43.99	15.15	0.00
4	0.00	0.00	44.48	43.99	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	51.32
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	48.88	0.00
20	0.00	47.41	47.90	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	49.85
28	0.00	41.54	0.00	0.00	0.00
32	0.00	2.44	0.00	49.85	0.00
36	0.00	0.00	0.00	39.10	0.00
40	0.00	42.03	0.00	0.00	0.00
44	42.52	41.54	40.57	49.36	0.00
48	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00
52	0.00	17.60	2.93	39.10	0.00
56	0.00	43.50	0.00	42.03	44.97

Tableau 4.7. Les températures enregistrées durant la première heure pendant 05 jours

Pas de temps (min)	Température C°				
	1 <sup>er</sup> jour	2 <sup>ème</sup> jour	3 <sup>ème</sup> jour	4 <sup>ème</sup> jour	5 <sup>ème</sup> jour
0	30.30	30.30	56.70	23.95	32.75
4	31.28	33.24	0.00	25.42	33.24
8	32.75	33.72	53.76	25.42	33.24
12	33.72	32.75	0.00	25.90	32.75
16	32.75	33.24	57.67	26.39	33.72
20	31.77	34.21	0.00	25.90	32.26
24	34.21	32.26	57.18	26.39	34.70
28	34.70	33.72	21.51	26.39	34.21
32	33.72	35.68	0.00	26.39	32.75
36	34.70	33.24	0.00	26.39	32.26
40	34.21	33.72	0.00	25.90	31.28
44	33.72	34.21	0.00	25.90	31.77
48	34.21	33.72	0.00	25.90	30.79
52	31.77	32.26	57.18	25.90	31.77
56	34.70	32.75	0.00	25.42	65.98

Tableau 4.8. Les températures enregistrées durant la première heure pendant 05 jours

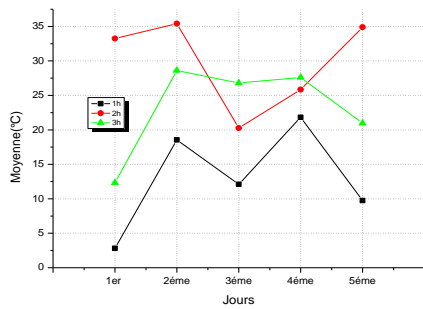
## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

Pas de temps (min)	Température C°				
	1 <sup>er</sup> jour	2 <sup>ème</sup> jour	3 <sup>ème</sup> jour	4 <sup>ème</sup> jour	5 <sup>ème</sup> jour
0	6.35	28.84	29.33	27.86	21.51
4	12.22	28.35	19.06	27.86	21.02
8	0.49	28.84	30.79	27.86	21.99
12	33.24	28.35	25.90	27.37	21.02
16	12.22	27.86	27.37	27.86	21.51
20	18.08	27.86	28.35	27.37	20.53
24	22.97	28.35	26.88	27.86	20.53
28	0.00	27.86	28.84	27.86	20.53
32	0.00	27.86	26.39	27.86	21.02
36	9.29	27.86	26.39	27.86	21.51
40	22.97	27.86	26.39	27.37	20.53
44	0.00	27.37	25.42	26.88	20.53
48	36.66	27.37	27.86	27.37	20.04
52	10.26	18.57	30.79	27.37	21.02
56	0.00	45.94	21.99	27.37	21.02

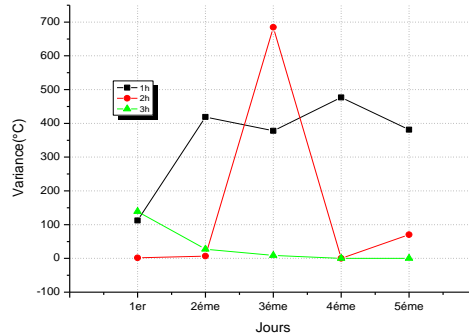
**Tableau 4.9.** Les températures enregistrées durant la 3<sup>ème</sup> heure pendant 05 jours (LM35)

En analysant les mesures enregistrées on peut comparer les deux capteurs : Dallas DS18B20 et LM35. Le LM35 présente un nombre significatif de valeurs nulles (environ 5 à 10) au cours des 5 jours, notamment durant la première heure. En conséquence, le nombre réel de mesures enregistrées est inférieur au nombre attendu, qui est de 15, nous pouvons conclure que le DS18B20 est plus approprié. De plus, on peut constater que le LM35 a été grandement influencé par les conditions environnementales, notamment durant la première heure, par rapport au DS18B20. De plus, le calcul de la moyenne, de l'écart-type et de la variance offre des informations essentielles sur la tendance centrale, la dispersion et la variabilité des données. Ces mesures statistiques permettent de résumer les données, de détecter les tendances, de comparer les ensembles de données et aussi d'évaluer la précision des mesures. Ces calculs constituent des outils importants pour l'analyse et l'interprétation des résultats dans de nombreux domaines, y compris la recherche scientifique, l'analyse de données et la prise de décisions.

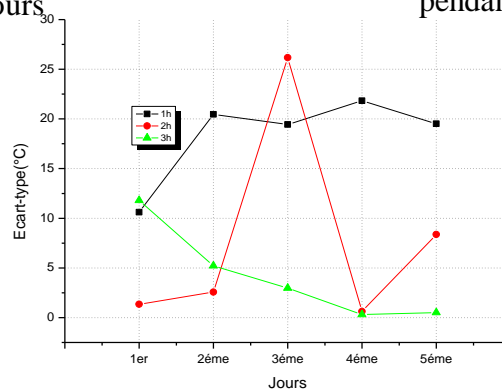
## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température



**Figure 4.16.** Représentation des moyennes pendant 05 jours



**Figure 4.17.** Représentation des variances pendant 05 jours



**Figure 4.18.** Représentation des écarts-types pendant 05 jours

Dans notre scénario d'expérience avec les capteurs de température DS18B20 et LM35, nous avons collecté des données au cours de différentes phases de la journée. Pour analyser ces données, nous avons utilisé des méthodes statistiques telles que l'analyse des écarts-types et les comparaisons de moyennes. Les résultats ont révélé des différences significatives de température entre les différentes phases de la journée. Plus précisément, nous avons observé une augmentation significative de la température lors de la deuxième heure, lorsque le prélèvement a été effectué sous l'effet d'une source de chaleur, par rapport à la première heure dans des conditions normales. De même, nous avons constaté une diminution significative de la température lors de la troisième heure, lorsque le prélèvement a été effectué dans un milieu froid (réfrigérateur), par rapport à la première heure. De plus, nous avons comparé les performances des capteurs DS18B20 et LM35 dans chaque scénario de mesure. L'analyse statistique a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux capteurs dans les conditions normales et lors du prélèvement dans un milieu froid. Cependant, lors de la mesure sous l'effet d'une source de chaleur, nous avons observé une différence significative entre les capteurs, avec le capteur DS18B20 affichant des variations de température plus marquées par rapport au capteur LM35. Ces résultats soulignent l'importance de l'analyse statistique pour mettre en évidence les variations significatives et les différences entre les conditions expérimentales et les capteurs utilisés. Ils fournissent des informations essentielles pour comprendre les performances des capteurs dans des conditions spécifiques.

## 4.3.2. Essai multiple

### a) Avec trois capteurs DS18B20

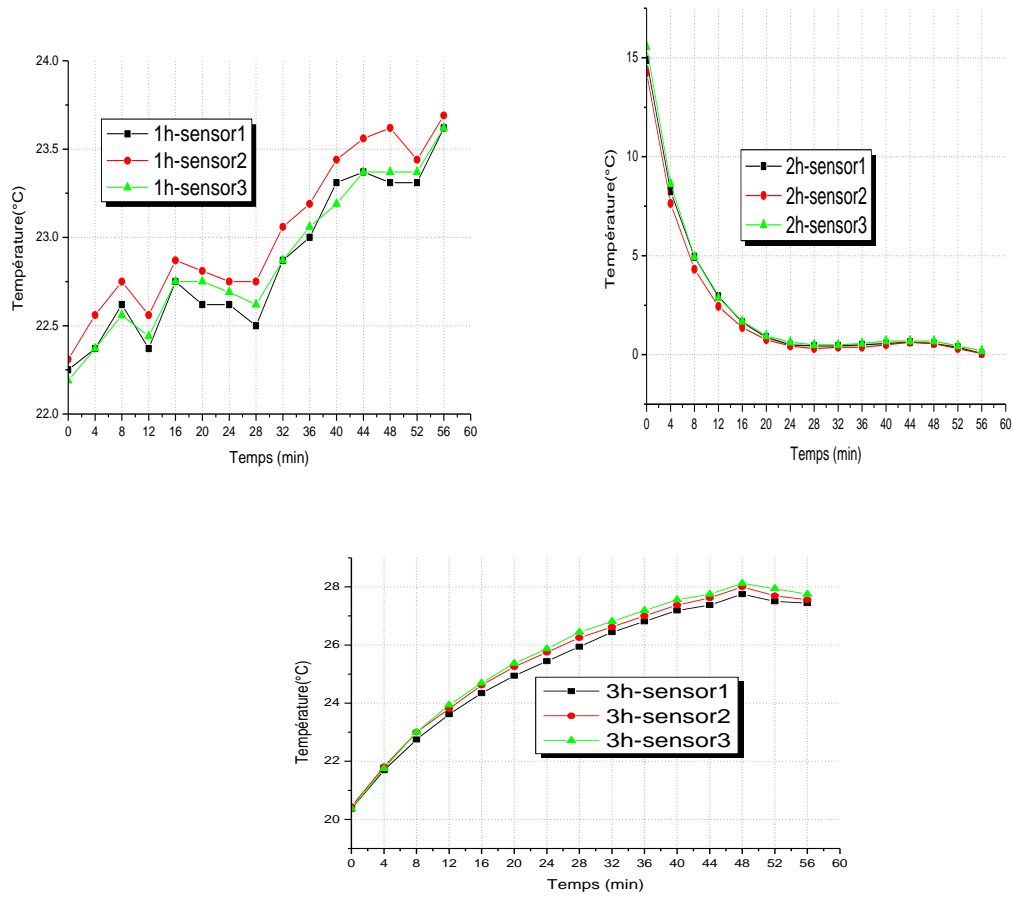


Figure 4.19. L'allure des températures enregistrées durant la première journée-Montage multiple(DS18B20)



# Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température

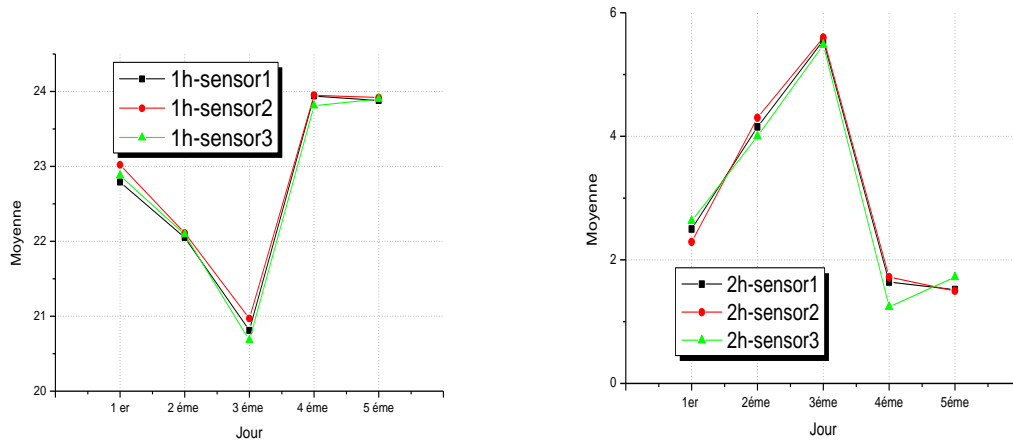


Figure 4.20. L'allure des moyennes de températures durant la première et la deuxième heure

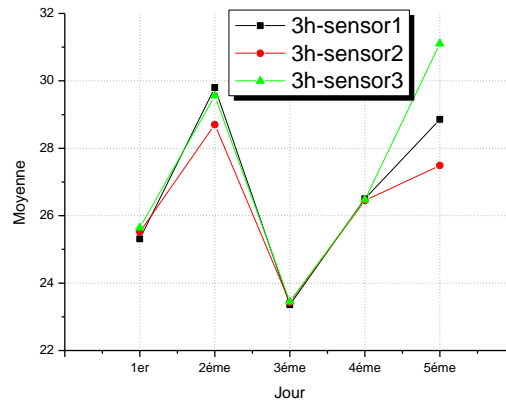
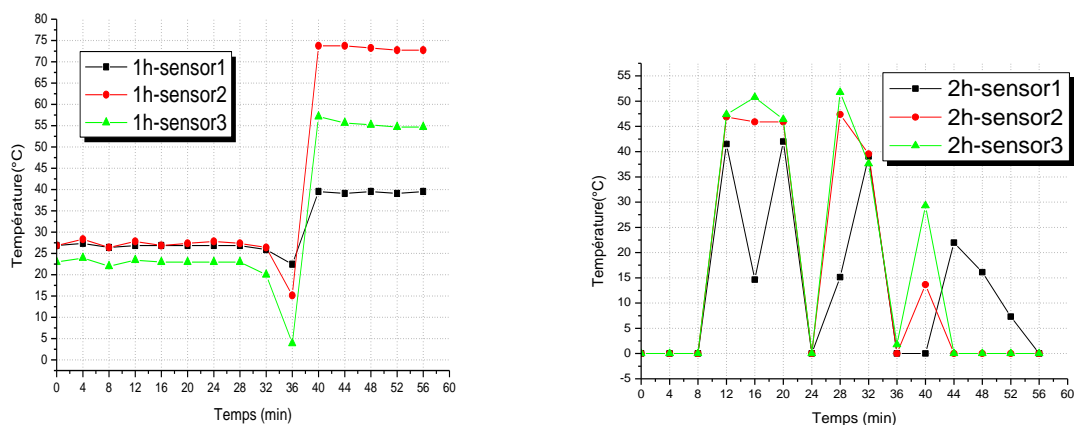
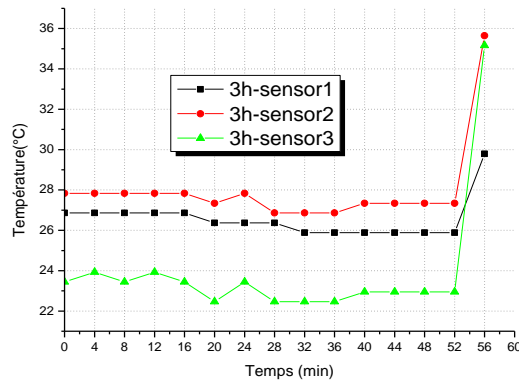


Figure 4.21. L'allure des moyennes de températures durant la troisième heure

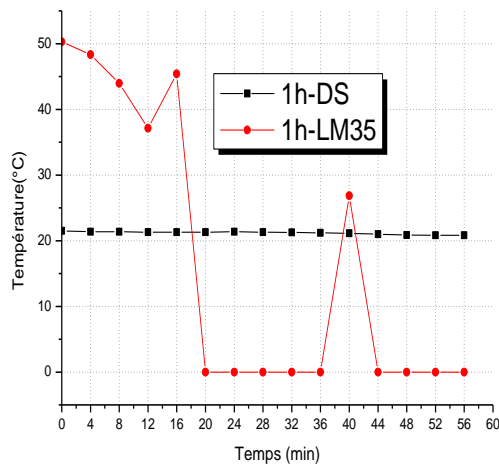
## b) Avec trois capteurs LM35





**Figure 4.22.** L'allure des températures enregistrées durant la première journée-Montage multiple (LM35)

### 4.3.2. Essai Combiné : DS18B20 + LM35



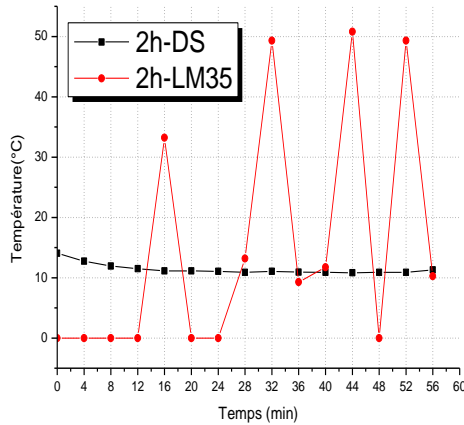
**Figure 4.23.** Allure des températures enregistrées durant la première heure

Pas de temps (min)	Température(°C)	
	1h-DS18B20	1h-LM35
0	21,5	50,29
4	21,37	48,34
8	21,37	43,95
12	21,31	37,11
16	21,31	45,41
20	21,31	0
24	21,37	0
28	21,31	0
32	21,25	0
36	21,19	0
40	21,12	26,86
44	21	0
48	20,87	0
52	20,81	0
56	20,81	0

**Tableau 4.10.** Les températures enregistrées durant la première heure.

En comparant les mesures obtenues avec le capteur Dallas et LM35, nous remarquons une différence remarquable entre les mesures obtenus durant la première et la deuxième heure tandis qu'elles sont du même ordre de grandeur durant les troisièmes essais sous l'effet de la chaleur. Donc le DS18B20 reste le plus précis pour notre système de mesure. Aussi en regardant les résultats enregistrés une moyenne de 7/10 valeurs nulles a été remarquée pour le LM35 au cours des essais de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> heure.

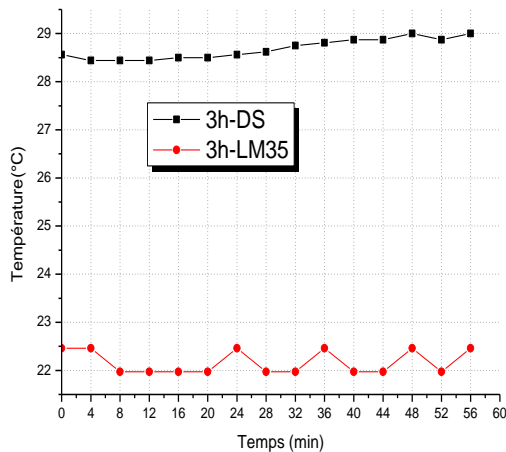
## Chapitre 4 : Etude de cas : Système IoT pour mesure de Température



**Figure 4.24.** Allure des températures enregistrées durant la deuxième heure

Pas de temps (min)	Température(°C)	
	2h-DS18B20	2h-LM35
0	14,06	0
4	12,75	0
8	11,94	0
12	11,5	0
16	11,13	33,2
20	11,13	0
24	11,06	0
28	10,88	13,18
32	11,06	49,32
36	10,94	9,28
40	10,88	11,72
44	10,81	50,78
48	10,88	0
52	10,88	49,32
56	11,31	10,25

**Tableau 4.11.** Les températures enregistrées durant la deuxième heure.



**Figure 4.25.** Allure des températures enregistrées durant la troisième heure

Pas de temps (min)	Température(°C)	
	3h-DS18B20	3h-LM35
0	28,56	22,46
4	28,44	22,46
8	28,44	21,97
12	28,44	21,97
16	28,44	21,97
20	28,5	21,97
24	28,56	22,46
28	28,62	21,97
32	28,75	21,97
36	28,81	22,46
40	28,87	21,97
44	28,87	21,97
48	29	22,46
52	28,87	21,97
56	29	22,46

**Tableau 4.12.** Les températures enregistrées durant la troisième heure

Au court de chapitre nous avons réalisé notre système IoT pour mesure de température et collecté des données par le biais du protocole HTTP selon le scénario proposé. L'analyse statistique des différents résultats nous a permis d'évaluer la qualité de donnée de notre système.

# Conclusion générale

## Conclusion Générale

---

En conclusion de notre étude sur le système IoT et l'évaluation de la qualité des données, nous avons réalisé avec succès la mise en place de notre système IoT pour la mesure de la température, en utilisant le protocole HTTP conformément au scénario proposé. Grâce à une analyse statistique approfondie des résultats obtenus, nous avons pu évaluer la qualité des données générées par notre système. Cette évaluation nous a fourni des informations précieuses sur la fiabilité et la précision de notre système IoT.

En se basant sur cette analyse, nous sommes désormais en mesure de prendre des décisions éclairées et de tirer des conclusions pertinentes en utilisant les données collectées. Ces résultats renforcent notre confiance dans l'efficacité et la performance de notre système IoT pour la mesure de la température. De plus, cela nous permet d'envisager des améliorations potentielles pour optimiser davantage la qualité des données collectées et la précision de notre système. Cette étude de la qualité des données constitue une étape cruciale dans le développement et l'utilisation d'un système IoT fiable et précis. En évaluant la qualité des données, nous pouvons garantir la validité et la pertinence des informations générées par notre système, ce qui est essentiel pour prendre des décisions éclairées et développer des solutions basées sur les données dans le contexte de l'IoT. Cette étude nous a permis de mieux comprendre la qualité des données générées par notre système IoT pour la mesure de la température, et ouvre la voie à des améliorations futures pour garantir des mesures encore plus précises et fiables dans nos applications IoT.

Ce travail nous a permis d'enrichir nos connaissances dans le domaine de l'internet des objets et les systèmes embarqués. Aussi, il ouvre la porte à plusieurs perspectives intéressantes telles que:

- La continuation de développement de l'application afin de bien maîtriser les concepts d'un système IoT, particulièrement dans la phase de la collecte, de traitement et l'interprétation des données. Aussi d'utiliser d'autre protocole de communication et l'échange des informations entre les objets connectés comme le protocole MQTT.
- L'optimisation de la transmission, la sécurité et confidentialité des données

## Références Bibliographiques

- [1] [Cisco IBSG © 2011 Cisco et/ou ses filiales. Tous droits réservés]
- [2] [RFID vs Iot : lequel est le meilleur pour vous ? - Xinyetong (asiarfid.com) ]
- [3]Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- [4] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- [5] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- [6] Perera, C., Liu, C. H., Jayawardena, S., Chen, M., & Vasilakos, A. V. (2014). A survey on Internet of Things from industrial market perspective. *IEEE Access*, 2, 1660-1679.
- [7] Internet of things: information processing in an increasingly connected world. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2019.
- [8] Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*. [En ligne] Disponible sur : <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [9] Zorzi, Gluhak, & Lange, 2010
- [10]Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31.
- [10] Li, S., Da Xu, L., et Zhao, S. (2015). The Internet of Things: A survey of enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- [11]Dijkman, R. M., Sprenkels, B., Peeters, T., et Janssen, A. (2015). Business models for the Internet of Things. *International Journal of Information Management*, 35(6), 672-678.
- [12] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., et Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516
- [13] Dohr, A., Modre-Osprian, R., Drobics, M., et Hayn, D. (2010). The Internet of Things for Ambient Assisted Living. In *Proceedings of the 7th International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*, 804-809.
- [14]Jara, A. J., Zamora, M. A., et Skarmeta, A. F. (2014). An Internet of Things-based personal device for diabetes therapy management in ambient assisted living. *Future Generation Computer Systems*, 32, 54-64.
- [15]Perera, C., et Zaslavsky, A. (2014). Sensor networks for sustainable development.

IEEE Internet Computing, 18(2), 8-17.

- [16]Bandyopadhyay, D, et Sen, J. (2011). Internet of Things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49-69.
- [17] Gubbi, J., et al. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- [18]Palattella, M. R., et al. (2016). Internet of Things in the 5G era: Enablers, architecture, and business models. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3), 510-527.
- [19] Riazul Islam, S. M., et al. (2015). The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678-708.
- [20] Vermesan, O., et Friess, P. (Eds.). (2014). *Internet of Things: Converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. River Publishers.
- [21] Yi, S, et al. (2015). Fog computing: Platform and applications. *Proceedings of the IEEE*, 103(12), 2334-2354.
- [22] Botta, A., de Donato, W., et Persico, V. (2016). Integration of cloud computing and Internet of Things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684-700.
- [23]Roman, R., et al. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed Internet of Things. *Computer Networks*, 57(10), 2266-2279.
- [24] Alaba, F. A., et al. (2017). Internet of Things security: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 10-28.
- [25]Wang, L., et al. (2020). Internet of Things (IoT) security: Current status, challenges and future directions. *Internet of Things*, 11, 100222.
- [26]Li, S., et al. (2018). A survey on fog computing in IoT environments: Security, privacy and trust. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 631-645.
- [27] Ramasamy, Lakshmana Kumar, et Seifedine Kadry. *Blockchain in the Industrial Internet of Things*. IOP Publishing, 2021. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-3663-5>.
- [28] Zhang, Lina, Dongwon Jeong, et Sukhoon Lee. « Data Quality Management in the Internet of Things ». *Sensors* 21, n° 17 (30 août 2021): 5834. <https://doi.org/10.3390/s21175834>.
- [29]Díaz, V., Carretero, J., & Cabrera, L. (2019). Big Data Analytics for Internet of Things Applications. *Future Internet*, 11(3), 63.
- [30] Guo, S., & Wang, X. (2016). A survey of Internet of Things security challenges and solutions. In *Proceedings of 2016 IEEE 3rd International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)* (pp. 85-90). IEEE.
- [31] Jiang, P., & Liang, X. (2016). Internet of Things: A security point of view. In

Proceedings of 2016 IEEE 3rd International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud) (pp. 97-101). IEEE.

- [32] Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1), 30-39.
- [33] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- [34] Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- [35] McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). *Big data: The management revolution*. Harvard Business Review, 90(10), 60-68.
- [36] Davenport, T. H., Harris, J. G., & Shapiro, J. (2010). *Competing on analytics: The new science of winning*. Harvard Business Press.
- [37] Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165-1188.
- [38] Bughin, J., Chui, M., & Manyika, J. (2010). Clouds, big data, and smart assets: Ten tech-enabled business trends to watch. *McKinsey Quarterly*, 56(1), 75-86.
- [39] Fan, W., & Bifet, A. (2013). Mining big data: Current status, and forecast to the future. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 14(2), 1-5.
- [40] Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big Data: A Survey. *Mobile Networks and Applications*, 19(2), 171-209.
- [41] Hassan, S., Lloret, J., & Kumar, S. (2019). Big Data Analytics Frameworks for the Internet of Things: A Literature Review and Classification. *Journal of Network and Computer Applications*, 135, 62-81.
- [42] IDC. (2020). *Data Age 2025: The Digitization of the World from Edge to Core*. Retrieved from <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>
- [43] Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The Rise of “Big Data” on Cloud Computing: Review and Open Research Issues. *Information Systems*, 47, 98-115.
- [44] Laney, D. (2001). *3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety*. META Group Research Note, 6(70).
- [45] Fan, W., Wallace, L., Rich, S., & Zhang, Z. (2014). Tapping the Power of Big Data: Smarter Marketing with Analytics. *Journal of Business Forecasting*, 33(2), 24-29.



- [46] Zikopoulos, P., Eaton, C., deRoos, D., Deutsch, T., & Lapis, G. (2011). *Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*. McGraw-Hill Osborne Media.
  - [47] Hassan, M. M., Hossain, M., & Alamri, A. (2015). A survey on communication architectures for IoT. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 17(1), 188-202. [Source](<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6973562>)
  - [48] Mukherjee, S., & Kumar, N. (2014). Internet of things: Challenges and opportunities. In *Advanced Computing, Networking and Informatics-Volume 2* (pp. 871-881). Springer, New Delhi. [Source]([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-1602-5\\_79](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-1602-5_79))
  - [49] Dey, N., Ashour, A. S., Hassaniien, A. E., & Bhatt, C. (Eds.). (2017). *Internet of things and big data analytics toward next-generation intelligence*. CRC Press.
  - [50] Zaslavsky, A., Perera, C., & Georgakopoulos, D. (2013). Sensing as a service and big data. In *Mobile big data* (pp. 221-258). Springer, New York, NY. [Source]([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-8990-6\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-8990-6_8))
  - [51] Kambatla, K., Kollias, G., Kumar, V., & Grama, A. (2014). Trends in big data analytics. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 74(7), 2561-2573. [Source](<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0743731514000101>)
  - [52] Ott, R.L., Longnecker, M.T., & Bakken, G.A. (2015). *Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*. Cengage Learning.
  - [53] Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. SAGE Publications.
  - [54] Agresti, A., & Finlay, B. (2018). *Statistical Methods for the Social Sciences*. Pearson.
  - [55] Montgomery, D.C., Peck, E.A., & Vining, G.G. (2018). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley.
  - [56] Box, G.E.P., Hunter, W.G., & Hunter, J.S. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*. Wiley
  - [57] Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer.
  - [58] Hogg, R.V., McKean, J.W., & Craig, A.T. (2018). *Introduction to Mathematical Statistics*. Pearson.
  - [59] Lehmann, E.L., & Romano, J.P. (2005). *Testing Statistical Hypotheses*. Springer
- [1]
- T. K. Kim, 'T test as a parametric statistic', *Korean J Anesthesiol*, vol. 68, no. 6, p. 540, 2015, doi: [10.4097/kjae.2015.68.6.540](https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540).

- M. Sarhan, S. Layeghy and M. Portmann, "Feature analysis for machine learning-based IoT intrusion detection", *arXiv:2108.12732*, 2021
- **S. Rajeswari, K. Suthendran** 'Feature Selection Method based on Fisher's Exact Test for Agricultural Data', *IJRTE*, vol. 8, no. 4S2, pp. 558–564, Dec. 2019, doi: [10.35940/ijrte.D1104.1284S219](https://doi.org/10.35940/ijrte.D1104.1284S219).

## الملخص

تكنولوجيا انترنت الأشياء (IdO) أو ما يعرف بـ (IoT) قد تم دمجها في حياتنا اليومية في العديد من التطبيقات مثل المباني الذكية والسيارات والسوبر ماركت والزراعة وسلاسل الإنتاج، الخ. أصبحت انترنت الأشياء واحدة من أهم التقنيات في القرن الحادي والعشرين. فهي تمثل أصلاً لتغيير التكنولوجي وتطوير خدمات ومنتجات جديدة منخلاً لتحويل العمليات وأساليب العمل. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه التقنية تعتمد بشكل كبير على جودة البيانات التي يتم جمعها من أجهزة الانترنت الذكية لتقييم جودة البيانات المجمعة، يتم تطبيق معايير محددة. في هذا العمل، نقترح دراسة معايير تقييم أداء هذه التقنية بناء على معايير جودة البيانات وعوامل أخرى، من أجل اقتراح نموذج تقييم يساعد المستخدمين والمطورين والمصممين في تقييم أنظمتها للانترنت الذكي

**الكلمات المفتاحية: DS18B20, LM35, ESP32, انترنت الأشياء, جودة البيانات.**

### • Abstract

The technology of the Internet of Things (IoT) has been integrated into our daily lives in numerous applications such as smart buildings, cars, supermarkets, agriculture, production chains, etc. IoT has become one of the most important technologies of the 21st century. It represents the origin of technological change and the development of new services and products by transforming operations and working methods. Additionally, this IoT technology heavily relies on the quality of data collected by IoT devices. To evaluate the quality of gathered data, certain criteria are applied. In this study, we propose to examine the performance evaluation criteria of this technology based on data quality criteria and other factors, in order to propose an evaluation model that assists users, developers, and designers in assessing their IoT systems.

**Keywords: DS18B20, LM35, ESP32, IoT, data quality.**

### • Résumé

La technologie d'internet des objets (IdO) ou Internet of Things (IoT) a été intégré dans notre vie quotidienne dans de nombreuses applications comme les bâtiments intelligents, les voitures, les supermarchés, l'agriculture, les chaine de production, etc. L'IoT est devenu l'une des technologies les plus importantes du 21<sup>ème</sup> siècle. Elle constitue l'origine du changement technologique et le développement de nouveaux services et produits en transformant les opérations et les méthodes de travail. Aussi, cette technologie d'IoT dépend fortement de la qualité des données collectées par les IoT. Pour évaluer la qualité des données rassemblées certains critères sont appliqués. Dans ce travail, nous proposons d'étudier les critères d'évaluation des performances de cette technologie suivant le critère de qualité de données et d'autre critère afin de proposer un modèle d'évaluation qui sert à aider les utilisateur, les développeurs et les concepteurs pour évaluer leurs systèmes d'IoT.

**Mots Clés : DS18B20, LM35, ESP32, IoT, qualité des données.**