

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--TLEMCEEN--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Génie industriel

Spécialité : Management industriel et logistique

Présenté par :

KACEM Hadjer Fatima Zahra
BERKANI Chaimaa Hibat Allah

Thème

**Développement d'une Ruche
Connectée Intelligente pour l'Apiculteur
Moderne**

Soutenu publiquement, le 03/07/2024, devant le jury composé de :

M Akkacha BEKKADOUR	MCB	ESSA. Tlemcen	Président
M Hichem MEGNAFI	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme Amina OUHOUD	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M Mustapha Anwar BRAHAMI	MCA	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
M Mohammed BENNEKROUF	MCA	ESSA. Tlemcen	Examinateur
M Zoheir KARAOUZENE	MAA	ESSA. Tlemcen	Examinateur
M Abdelghafour BENDJILLALI		CAWIT Mansourah. Tlemcen	Partenaire SE

Année universitaire : 2023 /2024

REMERCIEMENT :

Au nom de Dieu le Tout-Puissant, le Clément, le Miséricordieux, qui nous a incités à acquérir le savoir et les sciences, et nous a dotés de toutes les facultés et moyens pour y parvenir. Nous rendons grâce au Tout-Puissant pour la volonté, le courage, la patience et la force qu'il nous a donnés tout au long de ces longues années d'études.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements et notre profond respect à notre encadrante Mme OUHOUD Amina, qui nous a soutenus et fait confiance tout au long de notre projet avec une grande patience. Merci pour vos encouragements dans les moments difficiles et pour être bien plus qu'une professeure, mais un guide exceptionnel. Grâce à votre expérience dans la recherche et l'enseignement, et à vos précieux conseils, nous avons pu découvrir le monde de la recherche scientifique dans le domaine du traitement d'image.

À notre deuxième encadrant, Mr. Hicham MEGNAFI, qui nous a appris que rien n'est impossible, nous vous remercions pour la qualité exceptionnelle de votre encadrement.

À notre co-encadrant, Mr. Mustapha Anwar BRAHAMI, nous vous remercions énormément pour votre patience, votre disponibilité et vos conseils.

À tous les enseignants du département Génie Industriel de l'École Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen, pour tout le savoir qu'ils ont su nous transmettre durant notre cursus universitaire.

Tout mon respect et mon remerciement vont vers toute personne m'a aidé à réaliser ce travail, particulièrement Mr Ramz eddine Abderrazak ADJIM .

Aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre projet en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

DÉDICACE :

Je dédie ce travail, Fruit de nombreuses années d'étude :

À moi-même, pour la persévérance et le dévouement investis tout au long de ce parcours. Grâce à ma détermination et à ma volonté inébranlables, j'ai surmonté des défis ardues et atteint mes objectifs. Bravo à moi-même pour mes accomplissements et ce parcours exceptionnel. Je suis immensément fier de ce que j'ai réalisé.

À la lumière de ma vie, la flamme de mon cœur, la source de ma force, ma joie et mon bonheur, ma chère maman B. DJEBRI, tu incarnes pour moi la beauté de la vie, la source de tendresse et l'exemple de dévouement. Tes prières et tes bénédictions m'ont donné le courage et la volonté de bien mener mes études. Tu es la femme la plus généreuse et courageuse du monde. Te dire je t'aime et merci est bien insuffisant, ma chère maman.

À l'homme de ma vie, mon modèle éternel, mon cher papa Habib KACEM, aucun mot ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eus pour toi. Je tiens à te remercier infiniment pour ton amour, ta compréhension et ta générosité. Ton soutien a été une lumière tout au long de mon parcours.

À mes chers frères Mourad et Mohammed, votre présence constante et votre encouragement indéfectible ont forgé la personne que je suis aujourd'hui. Merci d'être des frères formidables dont je suis si fier.

À ma famille bien-aimée KACEM et DJEBRI, mes oncles, mes tantes et mon grand-père Abdelkarim DJEBRI, merci pour votre soutien sans faille et votre amour constant. Vos encouragements et conseils précieux ont grandement contribué à ma réussite. Votre générosité et votre confiance en mon potentiel ont été d'une aide inestimable tout au long de mon parcours.

Sans oublier ma chère Amani BEKRI, que je considère comme une sœur. Votre aide précieuse et votre soutien constant ont été inestimables. Merci pour votre amitié et votre dévouement.

À mes chères amies, Bouchra BENSOUNA, Nessrine SELLA, Meriem BOUROUBA, Ikram KOUIDER et Ilhem BENOUIS, merci pour votre sincère amitié. Vous êtes des sœurs sur qui je peux compter. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur. À tous ceux que j'aime, je dédie ce travail.

~.~♥Hadjer Fatima Zahra KACEM♥.~.~

DÉDICACE :

À chaque début correspond une fin, à chaque effort sincère correspond une belle récompense, et à chaque personne assidue correspond une part méritée. Avec chaque mot prononcé avec émotion, les mots restent au-delà de la description. C'est avec une grande fierté que je dédie mon travail :

À celui qui m'a appris que la vie est un combat et dont les armes sont le savoir et la connaissance, à celui qui ne m'a rien refusé, à celui qui a œuvré sans relâche pour mon confort et ma réussite, à l'épaule sur laquelle je pose mes fardeaux et à la main qui me reconforte à chaque instant, à mon cher et tendre, que j'aime autant que ce monde et plus encore, à la patrie à laquelle j'appartiens et à la terre qui m'abrite, à l'homme le plus grand et le plus précieux au monde, mon cher père

À la signification de l'amour et du dévouement, à mon sourire de la vie et ma raison d'exister, à la source de sécurité d'où je puise ma force, à la lumière de mes yeux, ma bonne étoile, ma victoire et ma fierté, à celle qui a été mon premier soutien pour réaliser mes ambitions, à celle qui a été mon refuge et ma main droite dans mes études, à celle par qui j'ai trouvé le chemin de ma vie et mon estime de soi, au cœur tendre, à celle dont les prières m'ont toujours entouré, à la précieuse de mon cœur, ma chère mère.

À la prunelle de mes yeux, ma fierté et ma joie, à celui qui a partagé avec moi les moments de bonheur et de tristesse, les succès et les échecs, à celui qui a toujours été le premier à me soutenir et à m'encourager, à mon compagnon de route, mon ami de tous les jours, mon amour et mon mari, à celui que je vois gravé à jamais au centre de mon cœur et de mon être, à mon soutien après Dieu, mon pilier inébranlable.

À mon binôme qui as partagé avec moi chaque étape de ce voyage, qui as été là pour chaque moment de doute et de succès, pour chaque rire et chaque défi. Ton soutien, ta patience et ton travail acharné ont été essentiels pour atteindre ce but. Ensemble, nous avons relevé chaque défi et appris énormément merci pour ta camaraderie, ton professionnalisme et ton amitié.

À tous qui m'ont toujours encouragé et à qui me souhaite de succès.

~.~♥Chaimaa Hibat Allah BERKANI♥.~.~

Résumé

La technologie s'immisce aujourd'hui dans notre train de vie, et aucun secteur n'est épargné, y compris celui de l'apiculture. Les contraintes affrontées par l'apiculteur sont diverses et éprouvantes, et le système de ruche connectée conçu sert à alléger le poids sur ses épaules et lui faciliter son travail.

Notre projet consiste à réaliser un système instrumenté, constitué d'un réseau de capteurs, d'une carte de traitement et d'un dispositif de communication concluant par un suivi instantané des données relatives à l'état de la ruche mis à disposition de l'apiculteur via un dashboard.

Mots clés: Ruche connectée, réseau de capteurs, protocole MQTT, Dashboard.

Abstract

Technology is creeping into our way of life today and no sector is spared, including beekeeping. The constraints faced by the beekeeper are diverse and demanding, and the connected beehive system designed serves to lighten the weight on his shoulders and make his work easier.

Our project consists of realising an instrumented system made up of a sensors network, a treatment card and a communication device, concluding with instantaneous monitoring of data relating to the state of the hive made available to the beekeeper via a dashboard.

Key words: Connected Beehive, sensors network, MQTT protocol, Dashboard.

ملخص

أصبحت التكنولوجيا جزءاً أساسياً من حياتنا اليومية، ولم تسلم منها أي قطاعات بما في ذلك تربية النحل. يواجه مربو النحل تحديات متعددة ومعقدة، ويهدف نظام خلية النحل الذكي الذي قمنا بتطويره إلى تقليل العبء عنهم وتسهيل مهامهم.

مشروعنا يتضمن إنشاء نظام متكامل يشمل شبكة من أجهزة الاستشعار، ووحدة معالجة، وجهاز اتصال، مما يتيح مراقبة فورية لحالة الخلية، مع عرض البيانات على مربو النحل من خلال لوحة قيادة تفاعلية.

الكلمات المفتاحية: خلية نحل ذكية، شبكة أجهزة الاستشعار، بروتوكول MQTT، لوحة قيادة.

Table des matières

Table de figures	12
Liste des tableaux	12
Liste des abréviations	12
Introduction Générale	12
1 Chapitre 01 : Généralités sur les abeilles et l’apiculture	3
1.1 L’abeille	5
1.1.1 Les races d’abeilles	5
1.1.2 Morphologie de l’abeille	6
1.1.3 La classification des abeilles	9
1.1.4 Les castes d’abeille	10
1.1.5 Cycle de vie d’abeille	11
1.1.6 La colonie	12
1.1.7 Le miel	13
1.1.8 La communication entre les abeilles	14
1.2 La ruche	15
1.2.1 La structure de la ruche	16
1.2.2 Les produits de la ruche	16
1.3 L’apiculture	17
1.3.1 L’historique de l’apiculture :	17
1.3.2 L’apiculture en Algérie	18
2 Chapitre 02 : L’internet des Objets (IOT) et son intégration dans l’apiculture	20
2.1 Définition de L’IOT	22

2.2	Les objectifs de l'IOT	22
2.3	L'évolution d'IOT	22
2.4	Objet connecté (OC)	24
2.5	Architecture de l'Internet des Objets	26
2.5.1	Capter :	26
2.5.2	Traiter :	27
2.5.3	Transmettre :	27
2.5.4	Stocker :	27
2.5.5	Représenter :	27
2.6	Technologies de communication des objets connectés	28
2.6.1	Technologies de courte portée	28
2.6.2	Technologies de moyenne portée	29
2.6.3	Technologies de longue portée	29
2.7	Adressage des objets connectés	31
2.7.1	IPv4	31
2.7.2	IPv6	31
2.7.3	IPv6/6LowWPAN	31
2.7.4	Transport de données	32
2.8	Les protocoles de la couche application utilisés dans l'IoT	32
2.8.1	Comparaison des protocoles applicatifs	37
2.9	Caractéristiques de l'Internet des Objets (IoT)	39
2.10	Domaines d'application de l'Internet des Objets	39
2.11	Utilité de l'internet des objets dans l'apiculture	40
2.12	Avantages et inconvénients des systèmes IoT	41
2.13	Les différentes ruches intelligentes et connectées dans le marché mondiale	42
2.13.1	Bee2Bee	42
2.13.2	Flow Hive	43
2.13.3	SmartBee	44
2.13.4	Apiago	45
2.13.5	La ruche Label Abeille	46
3	Chapitre 03 :Problématique et Conception du système de la ruche connectée	49
3.1	Problématiques	50

3.2	Paramètres physiologiques d'une ruche	51
3.2.1	La température	51
3.2.2	L'humidité	51
3.2.3	Le poids	51
3.3	La solution envisagée	52
3.3.1	Surveillance des colonies	52
3.3.2	Traceur GPS	55
3.4	Schémas Fonctionnelle	56
3.5	Matériels	57
3.5.1	Micro-contrôleur	57
3.5.2	Capteurs	58
3.5.3	Actionneurs	66
3.6	Réalisation	69
	Conclusion Générale	85
	A Première annexe	86
A.1	Prototype	86

Table des figures

1.1	Morphologie de l'abeille.	8
1.2	Individus de la société[1].	10
1.3	Les grandes étapes du développement communes aux trois castes.	11
1.4	Structure de la ruche [2].	16
2.1	Représentation schématique d'un objet connecté.	25
2.2	Architecture de l'Internet des objets[23].	26
2.3	Les 5 couches de l'IoT.[23]	28
2.4	Fonctionnement du protocole XMPP[15].	33
2.5	Modèle de communication DDS[15].	34
2.6	Fonctionnement du protocole MQTT[15].	34
2.7	Fonctionnement du protocole CoAP[15].	35
2.8	Fonctionnement de WebSocket[15].	36
2.9	Fonctionnement du protocole AMQP[15].	37
2.10	Les 10 premiers secteurs d'application de l'IOT [20].	40
2.11	Ruche BEE2BEE [3].	42
2.12	ruce Flow Hive [4].	43
2.13	ruce SMARTBEE [5].	44
2.14	RUCHE APIAGO [6].	45
2.15	RUCHE LABEL ABEILLE [7].	46
3.1	Explication d'une courbe de poids typique d'une balance pour ruche [8].	53
3.2	Schémas Fonctionnelle	56
3.3	Caractéristiques de l'ESP-WROOM-32.	58
3.4	castellations.	58
3.5	Sensor DHT 11.	59

3.6	Capteur de Son.	60
3.7	Capteurs de pesage.	61
3.8	Montage de capteur de pesage.	62
3.9	Le Module HX711.	63
3.10	GPS NEO-6M-V2.	64
3.11	Système différentiel pour améliorer la précision de la position.	64
3.12	Capteur de pluie.	65
3.13	Servomoteur 180°.	66
3.14	Ventilateur (FAN).	67
3.15	Module à 4 relais.	69
3.16	Schéma de câblage «DHT11».	70
3.17	La librairie DHT Sensor «DHT11».	70
3.18	Schéma de câblage «DHT11 et FAN».	71
3.19	Schéma de câblage «Capteur de son».	71
3.20	Schéma de câblage «Capteur de poids».	72
3.21	Schéma de câblage «GPS».	72
3.22	Schéma de câblage «Capteur de pluie avec servomoteurs».	73
3.23	Câblage général.	73
3.24	Electric Imp et ThingSpeak IoT.	74
3.25	Organigramme de transmission des données[32].	76
3.26	Canal ThingSpeak.	77
3.27	API Keys.	78
3.28	Visualisation des mesures via un ordinateur.	79
3.29	Visualisation des mesures via un téléphone mobile.	80
3.30	Visualisation de la localisation sur la carte.	81
A.1	Prototype	86
A.2	Dispositif et Ventilateur	87

Liste des tableaux

- 2.1 Comparaison entre les technologies de communication 30
- 2.2 Les différences entre les protocoles IOT 38
- 2.3 Comparatif des ruches intelligentes et connectées. 47

- 3.1 L'humidité de l'air ambiant et l'humidité du miel [9] 54

Liste des abréviations

IOT	Internet of Things
OC	Objets connectés
URL	Uniform Resource Locator
IDO	Internet des Objets
MIT	Massachusetts Institute of Technology
IBSG	Internet Business Solutions Group
LAN	Local Area Network
WAN	Wide Area Network
CCD	Colony Collapse Disorder
NFC	Near Field Communication
RFID	Identification par Radio Fréquence
BLE	Bluetooth Low Energy
GSM	Global System for Mobile
IP_v	Indicateur de Progrès Véritable
MAC	Media Access Control Address
PAN	Personnel Area Network
UDP	User Datagram Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
XMPP	Protocole de Messagerie et de Présence Extensible
IETF	Internet Engineering Task Force
XML	Extensible Markup Language
DDS	Data Distribution Service

MQTT Message Queuing Telemetry Transport

CoAP Constrained Application Protocol

HTTPS Hypertext Transfer Protocol Secure

AMQP Advanced Message Queuing Protocol

SSL Secure Sockets Layer

TLS Transport Layer Security

DTLS Datagram Transport Layer Security

Introduction Générale

Dans le domaine de l'apiculture, l'Internet des Objets (IoT) offre des perspectives révolutionnaires en matière de surveillance et de gestion des ruches. Les apiculteurs font face à plusieurs défis majeurs tels que les maladies, les parasites comme le varroa, la réduction des ressources florales et les effets du changement climatique. Ces facteurs contribuent à la vulnérabilité croissante des colonies d'abeilles et à la diminution de leur productivité, ce qui menace à la fois la sécurité alimentaire et la biodiversité.

L'intégration de technologies IoT dans l'apiculture permet de collecter des données précises et en temps réel sur les conditions environnementales à l'intérieur et autour des ruches. Des capteurs peuvent mesurer des paramètres tels que la température, l'humidité, le poids des ruches, et même détecter des anomalies comportementales des abeilles. Ces informations sont ensuite transmises via des réseaux sans fil à une plate-forme centralisée où elles sont analysées pour fournir aux apiculteurs des insights stratégiques. Cela permet une gestion proactive des ruches, facilitant des interventions rapides et ciblées pour prévenir les pertes et optimiser la santé des abeilles.

Notre mémoire se divise en trois chapitres distincts, chacun explorant un aspect crucial de cette convergence entre tradition apicole et innovation technologique. Le premier chapitre examine en profondeur la biologie des abeilles et l'histoire de l'apiculture, soulignant leur rôle essentiel dans l'équilibre écologique et agricole mondial.

Le deuxième chapitre se concentre sur l'impact transformateur de l'IoT dans l'apiculture, explorant les différents dispositifs et protocoles utilisés pour la surveillance des ruches intelligentes. Nous mettons en évidence les avantages et les défis de ces technologies, ainsi que leurs applications potentielles pour améliorer la gestion des colonies et la productivité apicole.

Enfin, le troisième chapitre présente une solution innovante basée sur l'IoT, spécifiquement conçue pour répondre aux défis contemporains de l'apiculture. Nous détaillons le matériel utilisé, les méthodes de collecte et d'analyse des données, ainsi que les bénéfices attendus pour les apiculteurs en termes de durabilité et de rentabilité.

À travers cette étude, nous visons à fournir une compréhension approfondie des enjeux actuels de l'apiculture et à proposer des solutions technologiques concrètes pour assurer la pérennité de cette pratique vitale pour notre environnement et notre société.

Chapitre 1

Chapitre 01 : Généralités sur les abeilles et l'apiculture

Introduction

Les abeilles, membres de l'ordre des Hyménoptères, sont des insectes fascinants et essentiels à la biodiversité et à l'agriculture mondiale. Leur rôle principal en tant que pollinisatrices les place au cœur des écosystèmes naturels et agricoles, favorisant la reproduction des plantes à fleurs et contribuant à la production de fruits et légumes. En effet, environ 75% des cultures alimentaires mondiales dépendent au moins en partie de la pollinisation par les insectes, dont les abeilles sont les plus efficaces.[30]

L'apiculture, ou l'élevage des abeilles, est une pratique ancienne remontant à plusieurs millénaires. Des traces de domestication des abeilles et de récolte de miel ont été découvertes dans des peintures rupestres datant de plus de 8 000 ans. Les Égyptiens anciens pratiquaient déjà l'apiculture, utilisant la cire d'abeille pour embaumer les morts et le miel comme offrande aux dieux. Au fil des siècles, l'apiculture s'est développée et perfectionnée, passant des simples ruches naturelles aux ruches modernes en bois avec cadres amovibles.[22]

La relation entre l'homme et les abeilles est symbiotique. Les apiculteurs fournissent aux abeilles un habitat sécurisé et protégé, tandis que les abeilles produisent divers produits précieux tels que le miel, la cire, la propolis et la gelée royale. En retour, les abeilles pollinisent les cultures, augmentant les rendements et la qualité des récoltes.

Cependant, les abeilles et l'apiculture font face à de nombreux défis contemporains. Les populations d'abeilles sont menacées par divers facteurs, notamment l'utilisation intensive de pesticides, les maladies, les parasites comme le varroa, la perte d'habitat et le changement climatique. Ces menaces ont des implications non seulement pour les abeilles et les apiculteurs, mais aussi pour la sécurité alimentaire et la biodiversité mondiale.

Ainsi, une compréhension approfondie des abeilles et de l'apiculture est essentielle pour leur préservation et pour garantir la durabilité de nos systèmes agricoles. Ce chapitre propose une exploration détaillée des aspects biologiques des abeilles, de l'histoire de l'apiculture, des techniques modernes apicoles et des produits de la ruche, mettant en lumière l'importance vitale de ces insectes pour notre écosystème et notre société.

1.1 L'abeille

L'abeille est un insecte appartenant à l'ordre des Hyménoptères, elle est apparue il y a 45 millions d'années avant l'homme, certains paléontologues découvrirent leurs fossiles dans les ambres de la Baltique depuis plus de 60 millions d'années. Les mieux connus et les plus utilisés en apiculture sont : *Apis mellifera* comportant plusieurs races qui peuplent actuellement l'Europe, l'Afrique, l'Asie occidentale, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Australie et la Nouvelle Zélande.[37]

1.1.1 Les races d'abeilles

Les abeilles se divisent en deux grandes catégories : les espèces sociales et les espèces solitaires. Les abeilles sociales vivent en colonies, la plus connue étant l'abeille domestique, *Apis mellifera*, également appelée abeille mellifique. Plusieurs autres espèces produisent du miel, notamment les petites abeilles sans aiguillon comme les trigones (*Trigona* spp.) et les mélipones (*Melipona* spp.), courantes en Afrique. Ces abeilles, principalement présentes dans les régions chaudes, se nichent dans les fissures des arbres, des bâtiments ou dans des trous au sol. Elles produisent un miel aqueux et savoureux, très prisé pour ses propriétés médicinales, qu'elles stockent en petites outres de cire juxtaposées.

D'autres espèces d'abeilles ont une vie semi-sociale ou solitaire, comme les grandes abeilles charpentières (*Xylocopa* spp.), souvent visibles sur les fleurs sauvages et qui parfois creusent le bois des charpentes.

Les abeilles domestiques existent naturellement à l'état sauvage dans de nombreuses régions du monde et sont élevées dans des ruches de différents types. En Afrique, il existe plusieurs races d'abeilles domestiques et des variantes locales pour chacune, distinguées par des détails de coloration et de comportement. Les abeilles d'Afrique de l'Est ressemblent beaucoup à celles d'Afrique de l'Ouest, mais présentent des traits distinctifs : *Apis mellifera scutellata* pour les premières et *Apis mellifera adansonii* pour les secondes. Dans certaines zones de haute altitude, comme sur le mont Kilimandjaro, on trouve une autre sous-espèce appelée *Apis mellifera monticola*. Une description plus détaillée des différentes races est disponible dans l'ouvrage de Smith (2003).

Il n'existe pas d'*Apis mellifera* indigène dans les régions pacifique et caribéenne, mais des abeilles de lignées européennes y ont été importées. [37]

1.1.2 Morphologie de l'abeille

Le corps de l'abeille, se divise en trois tagmes : la tête, le thorax et l'abdomen comme c'est dans (la figure 1.1). On y trouve le système circulatoire, le système nerveux, le système respiratoire et le système digestif, un ensemble complexe qui assure leurs fonctions vitales.

1. La tête

En forme de « capsule ovoïde », la tête comprend les yeux, les antennes et le système buccal. Elle est reliée au thorax par un ensemble de muscles au niveau du cou qui lui donne de la mobilité. La tête abrite aussi les glandes hypo pharyngiennes, labiales et mandibulaires dont les fonctions sont diverses.

2. Les yeux

Les abeilles ont deux types d'yeux : les yeux composés (deux grands yeux noirs composés de milliers de facettes qui leur donnent une vision éloignée à l'extérieur de la ruche) et les ocelles (trois petits yeux positionnés en forme de triangle sur le centre de la tête qui leur permettent de voir dans le noir, donc à l'intérieur de la ruche).

3. Les antennes

Les abeilles possèdent deux antennes « hypersensibles » qui sont en fait des organes sensoriels primordiaux. Elles comportent différentes sensilles (organes sensoriels des insectes) qui leur permettent de toucher, de goûter, de sentir, de capter les vibrations et de communiquer. Leur rôle est tellement important que l'amputation d'une seule antenne peut entraîner la mort de l'insecte.

4. La trompe et les mandibules

Le système buccal, que l'on caractérise de « broyeur lécheur », est composé entre autres de deux mandibules et de la trompe. Les mandibules permettent à l'abeille de manipuler, de malaxer et de mastiquer la cire, le pollen et la propolis qu'elle récolte.

5. La trompe

La trompe est composée d'un ensemble de structures dont la langue qui y coulisse vers l'extérieur, et permet à l'abeille d'aspirer le nectar du fond de la corolle de la fleur, de se nourrir de miel et de s'abreuver d'eau. Cette petite langue, dispose d'une pilosité et est munie à l'extrémité d'une petite cuillère spongieuse qui facilite l'aspiration du nectar. C'est aussi grâce à leur langue que les abeilles peuvent échanger de la nourriture entre elles.

6. Le thorax

Partie centrale du corps de l'abeille, le thorax est composé de trois sections. Il est relié à l'abdomen par un segment étroit nommé le « pétiole ». La fonction principale du thorax est la locomotion, car c'est à cet endroit que se trouvent les principaux appendices locomoteurs (pattes locomotrices et ailes).

7. Les pattes

Chacune des sections du thorax est dotée d'une paire de pattes qui ont différentes fonctions. Les pattes antérieures ont pour tâche de nettoyer les antennes et les yeux, alors que les pattes médianes toilettent les flancs et le ventre. Les pattes médianes font aussi office de transitaires au moment où les abeilles s'affairent à amasser les pelotes de pollen. Enfin, les pattes postérieures, aidées par les médianes, servent à déposer le pollen et la propolis dans les corbeilles situées dans les pattes postérieures. Elles permettent aussi de récolter les écailles de cire qui sont produites sous leur abdomen. Toutes sont munies à l'extrémité de griffes et de petites ventouses, qui permettent aux abeilles d'adhérer aux surfaces lisses, mais également de « goûter » à l'aide des tarse.

8. Les ailes

L'abeille possède également deux paires d'ailes membraneuses qui sont fixées sur le thorax et qui fonctionnent à l'aide d'un système complexe. Ce sont des muscles thoraciques puissants qui, activés par le système nerveux, permettent une grande variété de mouvements. Les ailes antérieures sont plus grandes et plus développées que les ailes postérieures. Elles fonctionnent toujours conjointement. Lorsque l'abeille prend son envol, les deux paires d'ailes se fixent ensemble à l'aide d'un système d'accrochage. Ce système est composé d'une vingtaine de petits crochets positionnés sur l'aile postérieure qui viennent se fixer au rebord de l'aile antérieure. Cette fixation permet aux deux ailes de se solidariser pendant le vol en une seule surface portante et ainsi de réduire les phénomènes de turbulence et de trainée. Dès l'arrêt du vol, les ailes « se décrochent » les ailes servent également d'outils de thermorégulation, c'est à dire que les abeilles font battre leurs ailes pour contrôler la température à l'intérieur de la ruche et pour abaisser le taux d'humidité du miel.

9. L'abdomen

Cette dernière grande partie du corps est composée de sept segments abdominaux reliés entre eux par une membrane inter segmentaire. On y trouve une série de systèmes complexes qui comprend, entre autres, le système respiratoire, le système reproducteur et le système digestif. Situé dans la première partie de l'abdomen, le système digestif joue un rôle important dans la fabrication du miel, car on y retrouve le pharynx, l'œsophage et le jabot. Le pharynx permet le pompage de la nourriture liquide, donc du nectar et de l'eau. L'œsophage relie le pharynx au jabot. Le jabot, la partie la plus importante dans la fabrication du miel, sert à transporter l'eau et à entreposer le nectar pendant le vol de retour. Il s'agit d'une poche extensible où se produisent la digestion et l'absorption des éléments nutritifs contenus dans la nourriture récoltée par les abeilles. L'abdomen abrite également à son extrémité le système de défense des abeilles le dard (ou aiguillon). L'appareil vulnérant est une forme d'épine munie de soies barbelées qui coulissent de l'intérieur vers l'extérieur du corps grâce à une pièce nommée « gorgeret » .[37]

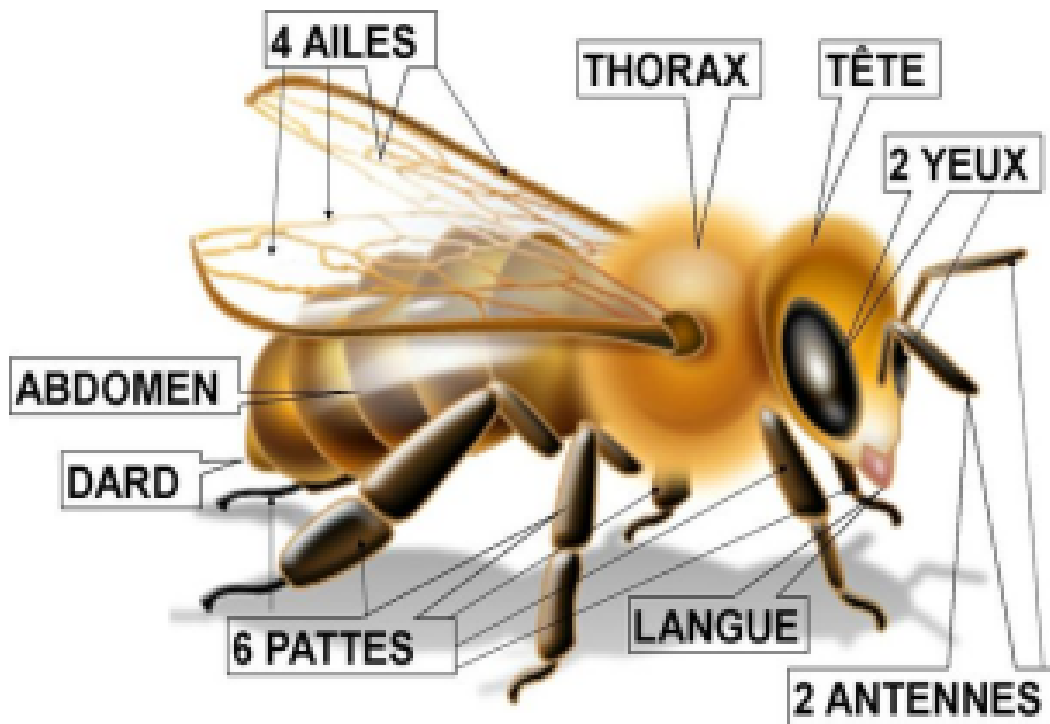


FIGURE 1.1 – Morphologie de l'abeille.

1.1.3 La classification des abeilles

Cette classification permet de situer les abeilles dans le contexte plus large de la diversité animale et de comprendre leurs relations avec d'autres groupes d'insectes et d'arthropodes.[\[37\]](#)

1. **Règne** : Animalia

Les abeilles appartiennent au règne Animalia, qui comprend tous les animaux multicellulaires. Ce règne est caractérisé par des organismes hétérotrophes, capables de se déplacer, qui se développent à partir de tissus embryonnaires distincts.

2. **Embranchement** : Arthropoda

Les abeilles sont des arthropodes, un embranchement qui regroupe les animaux avec un exosquelette, un corps segmenté et des appendices articulés. Les arthropodes comprennent des groupes aussi divers que les insectes, les arachnides, les crustacés et les myriapodes.

3. **Sous-embranchement** : Mandibulata

Les mandibulates sont un sous-embranchement des arthropodes caractérisés par la présence de mandibules, des appendices utilisés principalement pour la mastication des aliments. Ce groupe comprend les crustacés, les myriapodes et les hexapodes.

4. **Classe** : Hexapoda = Insecta

Les abeilles appartiennent à la classe des Hexapodes, souvent appelés Insectes. Les hexapodes se distinguent par leur corps divisé en trois segments principaux (la tête, le thorax et l'abdomen), la présence de trois paires de pattes et généralement une ou deux paires d'ailes.

5. **Super Ordre** : Hymenopteroidea

Le super ordre Hymenopteroidea inclut les abeilles, les guêpes, les fourmis et les autres hyménoptères. Les membres de ce groupe sont caractérisés par des ailes membraneuses et une grande diversité de modes de vie, allant de la solitarité à la socialité complexe.

6. **Ordre** : Hymenoptera (Hyménoptères)

Les hyménoptères sont un ordre d'insectes comprenant environ 150 000 espèces. Ils sont caractérisés par deux paires d'ailes membraneuses, une taille fine reliant le thorax et l'abdomen, et souvent la présence d'un dard chez les femelles.

7. **Sous-Ordre** : Aculeata

Les Aculeata sont un sous-ordre des hyménoptères. Ce groupe comprend les espèces ayant un ovipositeur modifié en aiguillon, utilisé pour injecter du venin. Les aculéates incluent les abeilles, les guêpes et les fourmis.

8. Genre : Apis

Le genre *Apis* regroupe les abeilles mellifères, connues pour leur capacité à produire du miel et à vivre en colonies organisées. Ce genre est parmi les plus étudiés des hyménoptères en raison de son importance écologique et économique.

9. Espèce : mellifera

L'espèce *Apis mellifera*, également appelée abeille domestique ou abeille mellifique, est la plus connue des abeilles mellifères. Elle est domestiquée pour la production de miel et la pollinisation des cultures. *Apis mellifera* est caractérisée par sa capacité à former des colonies pérennes avec une organisation sociale complexe.

1.1.4 Les castes d'abeille

Dans une ruche nous trouvons trois types d'individus (figure 1.2). La reine unique individu qui pond des œufs et assure ainsi la permanence de la société ; les ouvrières qui assurent les multiples travaux de la société ; les faux bourdons qui sont des mâles qui participent essentiellement à la reproduction.



FIGURE 1.2 – Individus de la société[1].

1. La reine

La reine est la même de toutes les abeilles de la colonie. Elle se distingue par des pattes plus longues, ainsi que par un abdomen et un thorax plus développé que ceux des ouvrières. La colonie se reproduisant par essaimage, la reine doit être apte à s'envoler avec le premier essaim, dit primaire.

2. Le faux bourdon

Légèrement plus gros que les femelles, le faux bourdon est beaucoup plus trapu. Il est reconnaissable à ses deux gros yeux composés et à l'extrémité carrée de son abdomen. Chez le faux bourdon, les yeux composés resserrés en haut de la tête, projettent les ocelles vers l'avant. Cette particularité lui offre une vision très panoramique, atout qu'il utilise à profit pour voler vers les lieux de rassemblement et s'accoupler avec les reines vierges.

3. L'ouvrière

Les ouvrières sont des abeilles les plus petites et les plus nombreuses de la colonie. Elles se dis-

tinguent par les corbeilles à pollen qu'elles portent sur leurs pattes postérieures. Sur la face interne des pattes, des rangées de poils rigides servent à broser le pollen sur le reste du corps et à la transférer sur les pattes postérieures. En frottant ses pattes postérieures l'une contre l'autre, l'abeille introduit le pollen dans les corbeilles à pollen à l'aide d'une articulation adaptée à cette fonction. Elle rapporte les pelotes au nid, où le pollen sert à nourrir les larves ou est stocké pour un usage ultérieur. [37]

1.1.5 Cycle de vie d'abeille

La figure (1.3) montre le cycle de vie d'une abeille qui commence par l'œuf. La reine dépose un œuf fécondé ou non fécondé dans une cellule de la ruche. Les œufs fécondés donneront naissance à des ouvrières ou des reines, tandis que les œufs non fécondés donneront naissance à des mâles appelés faux-bourdons. L'œuf est minuscule, de forme ovale et mesure environ 1,5 mm de long. Il reste à ce stade pendant environ trois jours. [37]



FIGURE 1.3 – Les grandes étapes du développement communes aux trois castes.

- **a** Jeune larve issue de l'éclosion d'un œuf.
- **De a à e** Croissance de la larve.
- **En e** Fermeture de l'alvéole dans laquelle se trouve la larve.
- **En f** Nymphe (phase de métamorphose de l'insecte).
- **En g** Imago adulte sortant de l'alvéole.

1. L'œuf

Le cycle de vie d'une abeille commence par l'œuf. La reine dépose un œuf fécondé ou non fécondé dans une cellule de la ruche. Les œufs fécondés donneront naissance à des ouvrières ou des reines, tandis que les œufs non fécondés donneront naissance à des mâles appelés faux-bourdons. L'œuf est minuscule, de forme ovale et mesure environ 1,5 mm de long. Il reste à ce stade pendant environ trois jours

2. La larve

Après trois jours, l'œuf éclot en une larve, également appelée nymphe. Les larves sont nourries par les ouvrières avec de la gelée royale les premiers jours, puis avec un mélange de miel et de pollen. Les larves passent par plusieurs stades de mue, grandissant rapidement et remplissant leur cellule. Ce stade dure environ six jours pour les larves destinées à devenir ouvrières.

3. Le nymphe

Lorsque la larve a atteint sa taille maximale, les ouvrières scellent la cellule avec un opercule de cire, et la larve se transforme en nymphe. À ce stade, la larve filera un cocon et subira une métamorphose complète. Les organes et les structures d'une abeille adulte se forment à l'intérieur du cocon. Ce processus dure environ 12 jours pour les ouvrières.

4. L'abeille adulte

Une fois la métamorphose terminée, l'abeille adulte émerge de sa cellule. Le temps total de développement varie selon le type d'abeille : environ 21 jours pour une ouvrière, 16 jours pour une reine et 24 jours pour un faux-bourdon.

1.1.6 La colonie

Les colonies d'abeilles se développent progressivement, atteignant parfois entre 50 000 et 60 000 individus, voire plus. Lorsqu'une colonie devient surpeuplée, elle se reproduit par essaimage. Pendant l'élevage des larves de plusieurs nouvelles reines dans des cellules spéciales appelées cellules royales, l'essaimage se déclenche.

Une fois ces cellules operculées, la vieille reine quitte la ruche avec un essaim de 10 000 à 12 000 ouvrières pour fonder une nouvelle colonie. L'essaim se pose souvent sur une branche d'arbre en formant un amas dense, tandis que des éclaireuses partent à la recherche d'un site propice, tel qu'un arbre creux, une fissure dans un rocher ou une ruche artificielle. Une fois le site choisi, l'essaim s'y installe et commence immédiatement à construire de nouveaux rayons.

Si la colonie d'origine est très grande, d'autres essaims plus petits peuvent quitter la ruche après le premier, chacun accompagné d'une ou plusieurs reines vierges tout juste émergées. Lorsque la colonie d'origine cesse d'essaimer, une des reines vierges tue les autres larves royales restantes. Si deux reines vierges se rencontrent, elles se battent jusqu'à ce que l'une d'elles meure. La reine survivante quitte alors temporairement la colonie pour s'accoupler avec des faux-bourdons d'autres colonies dans des rassemblements appelés "nuages de mâles". Après s'être accouplée, la reine retourne à sa ruche et ne s'accouple plus jamais.

Elle peut pondre des œufs fécondés (œufs d’ouvrières) ou non fécondés (œufs de faux-bourçons) en fonction des besoins de la colonie et de la zone de la ruche où elle se trouve.

Lorsque la colonie a besoin d’une nouvelle reine, les abeilles construisent entre une et vingt grandes cellules particulières, souvent situées au bord d’un rayon. Les œufs fécondés qui y sont pondus reçoivent une alimentation spéciale, transformant les larves en reines. Si la reine est retirée par l’apiculteur ou meurt subitement, les abeilles sélectionnent une larve d’ouvrière de moins de trois jours et convertissent sa cellule en cellule royale. Elles nourrissent cette larve avec de la gelée royale, obtenant ainsi une nouvelle reine.

Les abeilles construisent les rayons de manière parallèle, avec un espacement régulier d’environ 32 mm chez les races africaines sauvages et de 38 mm chez les races européennes. Cet espacement permet la fabrication de ruches où les rayons peuvent être retirés un par un, facilitant l’inspection et la récolte pour l’apiculteur. Dès que les abeilles commencent à construire le premier rayon, la reine pond dans les nouvelles cellules, tandis que d’autres abeilles collectent du nectar pour nourrir les adultes. Les larves éclosent trois jours après la ponte, nourries de gelée royale pendant trois jours, puis d’un mélange de pollen et de miel. Sept à huit jours après la ponte, les ouvrières scellent les cellules et les larves se transforment en nymphes. Les adultes émergent après 19 à 20 jours chez les abeilles africaines, et environ un jour de plus chez les races européennes.

Les reines émergent après 15 à 16 jours, tandis que le développement des faux-bourçons prend 24 jours. À mesure que la colonie croît, les ouvrières construisent davantage de rayons pour agrandir le nid à couvain et stocker du miel et du pollen en réserve. Le développement de la colonie dépend des abeilles elles-mêmes, des conditions météorologiques et de la floraison des plantes environnantes. Si les conditions sont idéales, une nouvelle colonie peut produire du miel dès la première saison, mais en général, c’est au cours de la deuxième année que la colonie produit suffisamment de miel pour être récolté.[\[36\]](#)

1.1.7 Le miel

Lorsque les abeilles rapportent le nectar des fleurs à la ruche, elles y ajoutent une enzyme appelée invertase, qui décompose le saccharose en lévulose et en dextrose. En ventilant la ruche avec leurs ailes, les abeilles créent des courants d’air qui permettent l’évaporation de l’eau du nectar, réduisant ainsi sa teneur en eau de 80 % à environ 17 %. Une fois le miel mûr, il est scellé dans chaque cellule par un opercule de cire.

Naturellement, les abeilles stockent le pollen dans les rayons situés juste au-dessus ou à côté de la zone du couvain. Le miel est mis en réserve dans des rayons distincts, placés au-dessus des rayons à pollen et plus loin du nid à couvain et de l'entrée de la ruche. Le miel et le pollen sont généralement stockés dans des cellules d'ouvrières, les plus petites, mais il arrive que du miel soit également entreposé dans les cellules plus grandes des faux-bourçons. Parfois, les abeilles recouvrent les cellules remplies de pollen avec une couche de miel, ces cellules étant soit laissées ouvertes, soit operculées.

L'organisation du stockage du miel dépend de la structure de la ruche. Les abeilles commencent toujours par le rayon à couvain, puis construisent les rayons à miel là où l'espace est disponible. Si de la place est disponible au-dessus du nid à couvain, comme dans les ruches à hausses (extensions placées au-dessus de la zone du couvain), les abeilles y construisent leurs rayons à miel. Sinon, dans une ruche horizontale, elles construisent les rayons à miel sur les côtés, de part et d'autre du nid à couvain. Il semble que les abeilles n'aient pas de préférence particulière en la matière, et les colonies sauvages organisent leurs rayons de mille façons différentes. En subdivisant la ruche en plusieurs parties, les apiculteurs peuvent récolter le miel sans trop déranger la colonie.

Les abeilles adaptent leurs activités d'élevage du couvain en fonction des saisons et des ressources de miellée disponibles. Lorsque les plantes ne sont pas en fleur ou que le temps est froid, les abeilles réduisent leurs activités à l'extérieur de la ruche. L'élevage du couvain peut même s'interrompre complètement lorsque les conditions météorologiques sont défavorables. Les abeilles apprennent à quelle saison et à quel moment de la journée les différentes espèces de plantes produisent le plus de nectar. Ainsi, elles peuvent être plus actives sur certaines espèces de fleurs tôt le matin, tandis qu'elles préfèrent d'autres à midi ou le soir. Dans les régions à climat très chaud, elles tendent à ne sortir qu'aux heures les plus fraîches.[36]

1.1.8 La communication entre les abeilles

Lorsque les abeilles rapportent le nectar des fleurs à la ruche, elles y ajoutent une enzyme appelée invertase, qui décompose le saccharose en lévulose et en dextrose. En ventilant la ruche avec leurs ailes, les abeilles créent des courants d'air qui permettent l'évaporation de l'eau du nectar, réduisant ainsi sa teneur en eau de 80 % à environ 17 %. Une fois le miel mûr, il est scellé dans chaque cellule par un opercule de cire.

Naturellement, les abeilles stockent le pollen dans les rayons situés juste au-dessus ou à côté de la zone du couvain. Le miel est mis en réserve dans des rayons distincts, placés au-dessus des rayons à pollen et plus loin du nid à couvain et de l'entrée de la ruche. Le miel et le pollen sont généralement stockés dans des cellules d'ouvrières, les plus petites, mais il arrive que du miel soit également entreposé dans les cellules plus grandes des faux-bourçons. Parfois, les abeilles recouvrent les cellules remplies de pollen avec une couche de miel, ces cellules étant soit laissées ouvertes, soit operculées.

L'organisation du stockage du miel dépend de la structure de la ruche. Les abeilles commencent toujours par le rayon à couvain, puis construisent les rayons à miel là où l'espace est disponible. Si de la place est disponible au-dessus du nid à couvain, comme dans les ruches à hausses (extensions placées au-dessus de la zone du couvain), les abeilles y construisent leurs rayons à miel. Sinon, dans une ruche horizontale, elles construisent les rayons à miel sur les côtés, de part et d'autre du nid à couvain. Il semble que les abeilles n'aient pas de préférence particulière en la matière, et les colonies sauvages organisent leurs rayons de mille façons différentes. En subdivisant la ruche en plusieurs parties, les apiculteurs peuvent récolter le miel sans trop déranger la colonie. Les abeilles adaptent leurs activités d'élevage du couvain en fonction des saisons et des ressources de miellée disponibles. Lorsque les plantes ne sont pas en fleur ou que le temps est froid, les abeilles réduisent leurs activités à l'extérieur de la ruche. L'élevage du couvain peut même s'interrompre complètement lorsque les conditions météorologiques sont défavorables. Les abeilles apprennent à quelle saison et à quel moment de la journée les différentes espèces de plantes produisent le plus de nectar. Ainsi, elles peuvent être plus actives sur certaines espèces de fleurs tôt le matin, tandis qu'elles préfèrent d'autres à midi ou le soir. Dans les régions à climat très chaud, elles tendent à ne sortir qu'aux heures les plus fraîches.[36]

1.2 La ruche

Les abeilles domestiques vivent dans une ruche où bien les abeilles sauvages dans les arbres abeilles sauvages. Une seule ruche peut abriter jusqu'à cinquante mille abeilles. Les apiculteurs installent des ruches dans un verger ou dans leur jardin. Dans la ruche, avec de la cire qu'elles produisent elles-mêmes, les abeilles fabriquent des rayons qui serviront à loger les œufs et à emmagasiner le miel. Les rayons sont composés de nombreuses petites logettes appelées aussi alvéoles. Certaines sont ouvertes, d'autres sont fermées avec un peu de cire. [37]

1.2.1 La structure de la ruche

Une ruche se compose d'une planche d'envol (fond), d'un corps, des cadres, de hausse, couvre cadres et d'un toit comme illustré dans la figure (1.4) . [37]

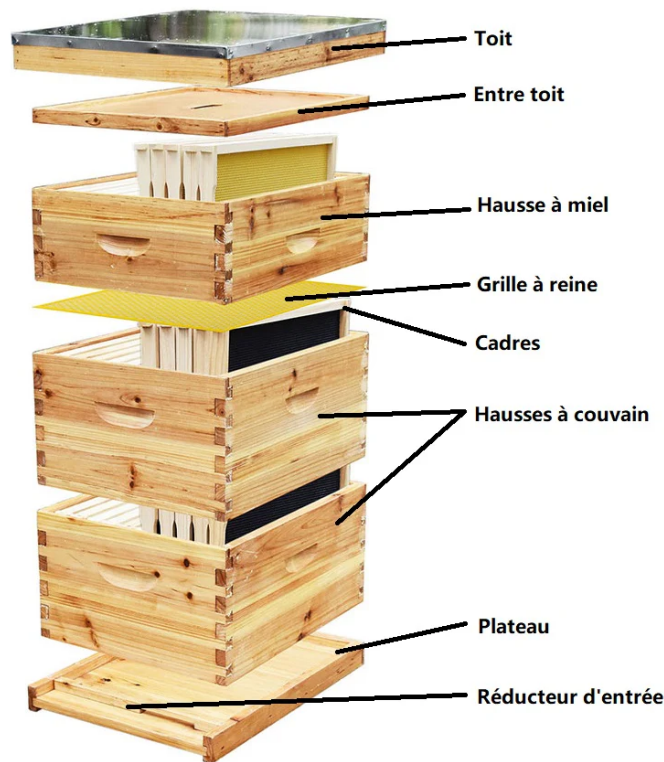


FIGURE 1.4 – Structure de la ruche [2].

1.2.2 Les produits de la ruche

Les produits de la ruche regorgent de substances précieuses et diversifiées, chacune jouant un rôle essentiel dans la vie et la survie de la colonie d'abeilles. Chaque produit, qu'il s'agisse de nourriture, de matériau de construction ou de défense, contribue à la dynamique complexe de la ruche. Découvrons en détail les différentes merveilles que les abeilles produisent pour assurer leur bien-être et leur fonctionnement harmonieux.

1. La gelée royale

La gelée royale est une substance produite par des ouvrières âgées de 5 à 14 jours, elle se présente sous la forme d'une matière visqueuse, d'une couleur blanchâtre et d'une odeur phénolique et acide. Elle constitue la nourriture de toutes les larves jusqu'au 3ème jour et de la reine durant toute sa vie. Elle se compose de 12% de protides, 12% de glucides, 5% de lipides et 65% d'eau, elle apporte 140 calories aux 100g.

2. Le pollen

Le pollen est l'aliment fécondant male d'une fleur qui se trouve sur les anthères des étamines. Parfois appelé « pain d'abeille », il constitue la seule source de protéines de la colonie. Les apiculteurs le récoltent en « piégeant » les abeilles dans des chicanes à la rentrée dans la ruche. Il se compose de 41% de glucides, 30% de protides, 5% de lipides. Il apporte 320 calories aux 100g.

3. La cire

La cire est le produit de sécrétion des glandes cirières de l'abeille ouvrière, du 13^{ème} au 18^{ème} jours de son existence, c'est une matière grasse qui se solidifie sous forme de fines lamelles presque transparente sert de matériaux de construction des cellules ou alvéoles hexagonales dont sont faits les rayons de la ruche, véritables merveilles d'architecture. Cette substance est inoxydable et insoluble dans l'eau.

4. La propolise

Substance jaunâtre que les abeilles utilisent pour colmater les fissures, possède des propriétés antimicrobiennes, fongicides et antibiotiques remarquables).

5. Le venin

Le venin est sécrété par deux glandes situées dans l'abdomen et est conservé dans un réservoir à venin. Lorsqu'une abeille pique, le venin est pompé dans la victime à l'aide d'aiguillon.

6. Le miellat

Le miellat est un liquide sucré produit par les insectes piqueurs suceurs, principalement les pucerons, à partir de la sève contenue dans les feuilles ou les rameaux des arbres.[\[30\]](#)

1.3 L'apiculture

1.3.1 L'historique de l'apiculture :

Le miel est depuis longtemps l'un des aliments les plus prisés. Pour les sociétés de chasseurs-cueilleurs, il constitue encore aujourd'hui la seule source sucrante facilement accessible. D'autres produits dérivés des abeilles ont également été exploités par l'homme depuis des siècles. Le couvain (les stades larvaires des abeilles se développant dans des rayons de cire au sein de la ruche) est traditionnellement consommé pour sa richesse en protéines, tandis que la cire d'abeille est utilisée pour fabriquer des bougies, réaliser des moulages à la cire perdue et servir de monnaie d'échange.

En Afrique, la récolte du miel sauvage est une activité traditionnelle qui reste viable tant que la densité de population est faible et que la flore naturelle est abondante. Cependant, cette pratique a été largement supplantée par l'apiculture, l'élevage des abeilles. Une solide tradition apicole existe dans de nombreuses campagnes africaines, où elle joue un rôle crucial dans l'économie rurale. Au cours du dernier siècle, les méthodes d'apiculture se sont considérablement améliorées grâce à la diffusion croissante des connaissances sur le sujet. Parallèlement, la croissance démographique et l'exode rural ont conduit à la dégradation de la végétation naturelle et au déclin de l'apiculture traditionnelle. Aux Caraïbes et dans le Pacifique, les abeilles domestiques ont été introduites relativement récemment. [36]

1.3.2 L'apiculture en Algérie

L'apiculture en Algérie est une activité ancienne et importante qui joue un rôle crucial dans l'agriculture et l'économie locale. Les apiculteurs algériens produisent une variété de miels, notamment le miel d'euphorbe, de thym, de jujubier, et de lavande, grâce à la diversité florale du pays qui va des zones côtières aux régions montagneuses et désertiques. L'apiculture est souvent pratiquée à petite échelle, mais elle connaît une croissance significative avec l'augmentation de la demande de produits naturels et biologiques.

Les apiculteurs algériens font face à plusieurs défis. Les changements climatiques affectent les cycles de floraison et la disponibilité des ressources pour les abeilles. L'utilisation de pesticides dans l'agriculture représente une menace pour la santé des colonies. De plus, le manque de formation et de soutien technique constitue un obstacle pour de nombreux apiculteurs, bien que des initiatives gouvernementales et des associations locales travaillent à améliorer cette situation. L'Algérie compte 51.539 apiculteurs déclarés et 1,6 millions de colonies apicoles réparties à travers les régions mentionnées précédemment [10] et 46 Associations et 39 coopératives [26].

Conclusion

Les abeilles et l'apiculture jouent un rôle fondamental dans la préservation de l'écosystème et dans l'économie mondiale. Les abeilles, par leur action de pollinisation, soutiennent non seulement la biodiversité mais aussi la production alimentaire, indispensable à la survie de nombreuses espèces, y compris la nôtre. L'apiculture, à la fois ancrée dans la tradition et tournée vers l'avenir, produit des ressources précieuses comme le miel et la cire, tout en reflétant la richesse des comportements sociaux des abeilles. Cependant, les apiculteurs sont confrontés à des défis majeurs, tels que les maladies, les parasites, l'utilisation de pesticides et les effets du changement climatique. Pour protéger ces pollinisateurs essentiels et assurer la pérennité de l'apiculture, il est crucial de mettre en place des initiatives de conservation, de soutenir la recherche scientifique et de promouvoir des politiques agricoles respectueuses de l'environnement. En augmentant nos connaissances en apiculture et en préservant les habitats naturels des abeilles, nous pouvons garantir un avenir prospère pour ces insectes indispensables. Pour renforcer cette approche, le chapitre suivant se penchera sur l'Internet des objets (IoT), une technologie révolutionnaire qui peut également bénéficier à l'apiculture. En connectant les ruches à Internet, l'IoT permet une surveillance en temps réel de la santé des colonies, des conditions environnementales et de la production de miel. Nous explorerons ses applications dans divers domaines tels que la santé, l'agriculture, la maison intelligente et l'industrie, en examinant également les défis liés à la sécurité et à la confidentialité, ainsi que les perspectives d'avenir offertes par cette innovation technologique, y compris son impact potentiel sur la gestion apicole.

Chapitre 2

Chapitre 02 : L'internet des Objets (IOT) et son intégration dans l'apiculture

Introduction

Dans un monde de plus en plus interconnecté, les objets connectés (OC) et l'Internet des Objets (IoT) se sont imposés comme des éléments clés de la transformation numérique. Ces technologies permettent une communication sans précédent entre les dispositifs, facilitant une multitude d'applications allant de la domotique à l'industrie 4.0. Cette interconnexion transforme non seulement la manière dont nous interagissons avec notre environnement, mais aussi la façon dont les entreprises et les industries opèrent, offrant de nouvelles opportunités d'efficacité et d'innovation.

Ce chapitre explore en profondeur l'univers des OC et de l'IoT. Nous commencerons par définir ces concepts, en examinant leurs composants essentiels et leur évolution actuelle. Nous étudierons ensuite l'architecture de l'IoT, en mettant en lumière ses caractéristiques distinctives, ses avantages, ses inconvénients, ainsi que ses divers domaines d'application.

En outre, nous aborderons les technologies de communication spécifiques aux objets connectés, en nous concentrant sur les protocoles applicatifs et les méthodes de connectivité. Une comparaison détaillée des protocoles applicatifs couramment utilisés dans l'IoT nous permettra de comprendre leurs performances et leurs cas d'utilisation spécifiques.

Pour illustrer concrètement l'impact de l'IoT, nous examinerons les ruches intelligentes et connectées. Cet exemple démontrera comment l'IoT peut révolutionner des secteurs traditionnels tels que l'apiculture, en améliorant la gestion des ruches et la production de miel.

À travers ce chapitre, nous offrirons une vue d'ensemble complète de la richesse et de la diversité de l'IoT, soulignant son importance croissante dans notre monde moderne en constante évolution.

2.1 Définition de L'IOT

L'Internet des objets (IoT) constitue un réseau mondial doté d'une infrastructure dynamique qui facilite l'interconnexion d'objets, qu'ils soient physiques ou virtuels. Ces objets peuvent échanger des données et communiquer entre eux grâce aux technologies de l'information et à des protocoles de communication interopérables.

Schématiquement, l'IoT représente une extension de l'Internet actuel à tous les objets capables de communiquer directement ou indirectement avec des équipements électroniques connectés à Internet. Les technologies telles que les puces RFID (identification par radiofréquence) permettent cette extension en associant ces puces à des objets, ce qui permet à un dispositif (mobile ou non) de les lire et de récupérer des informations relatives à l'objet grâce à Internet. Un autre exemple de technologie facilitant l'IoT est le réseau de capteurs sans fil (WSN). Les WSNs utilisent de nombreux capteurs interconnectés pour surveiller et collecter des données sur des conditions environnementales ou physiques, telles que la température, l'humidité ou les vibrations, et transmettent ces informations à travers le réseau pour une analyse en temps réel [23].

2.2 Les objectifs de l'IOT

Le principal objectif de l'Internet des objets est d'étendre les fonctionnalités offertes par l'Internet aux "objets", qu'ils soient des entités matérielles ou logicielles, afin de leur permettre d'échanger diverses informations ou données entre elles ou avec des humains. Comme pour le succès de l'Internet traditionnel, deux facteurs clés sont essentiels dans le domaine de l'IoT : l'adressage, qui permet d'identifier un utilisateur par son adresse IP ou son adresse Web (URL), et l'interopérabilité, qui permet à différents utilisateurs de communiquer et d'échanger des données et des services grâce à un ensemble de protocoles standardisés qui se sont développés dans le monde de l'Internet[23].

2.3 L'évolution d'IOT

L'Internet des objets (IdO), ou Internet of Things (IoT) en anglais, transformera la société dans son ensemble, y compris nos vies personnelles. Bien que cela puisse sembler exagéré, l'impact d'Internet sur l'éducation, les communications, les entreprises, la science, les services publics et les individus est déjà immense. Internet est sans doute l'une des inventions les plus importantes de l'histoire de l'humanité. L'IoT représente la prochaine étape de l'évolution d'Internet. Il permettra d'améliorer considérablement

la capacité de l'Internet à collecter, analyser et restituer des données, que nous pourrions transformer en informations, connaissances, et enfin en savoir. L'importance de l'IoT est donc évidente.

Des projets IoT en cours visent à réduire les inégalités de richesse, améliorer la distribution des ressources mondiales aux populations défavorisées, et approfondir notre compréhension de la planète, permettant ainsi des actions proactives plutôt que réactives. Cependant, plusieurs obstacles, comme la transition vers le protocole IPv6, la mise en place de normes communes et le développement de sources d'énergie pour des millions, voire des milliards de petits capteurs, pourraient ralentir le développement de l'IoT. Le concept de l'IoT est attribué au Massachusetts Institute of Technology (MIT), et plus particulièrement au groupe Auto-ID Center, formé en 1999. Ce groupe travaillait sur l'identification par radiofréquence (RFID) en réseau et sur les technologies de détection émergentes. Il était composé de sept universités de recherche réparties sur quatre continents et sélectionnées par l'Auto-ID Center pour concevoir l'architecture de l'IoT.

Selon le Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), l'IoT se définit par le moment où il y a plus "de choses ou d'objets" connectés à Internet que de personnes. En 2003, la population mondiale était d'environ 6,3 milliards d'individus, avec 500 millions d'appareils connectés à Internet. Le ratio d'appareils par personne était alors de 0,08, indiquant que l'IoT n'existait pas encore. Les smartphones, aujourd'hui omniprésents, faisaient tout juste leur apparition. Par exemple, Steve Jobs a présenté l'iPhone le 9 janvier 2007 lors de la conférence Macworld.

Avec l'explosion des smartphones et des tablettes, le nombre d'appareils connectés a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards, dépassant pour la première fois un appareil connecté par personne (1,84 pour être précis).

En janvier 2009, une équipe de chercheurs en Chine a étudié les données circulant sur Internet sur plusieurs intervalles de six mois entre décembre 2001 et décembre 2006. Les résultats ont montré que la taille d'Internet doublait tous les 5,32 ans, selon une tendance similaire à la loi de Moore. En combinant ces résultats avec les données de 2003 et les estimations de la population mondiale, Cisco IBSG a évalué le nombre d'appareils connectés par personne, situant l'apparition de l'IoT entre 2008 et 2009. Aujourd'hui, l'IoT prend de l'ampleur grâce à des initiatives telles que la plate-forme Planetary Skin de Cisco et les réseaux intelligents. En 2015, Cisco IBSG estimait que 25 milliards d'appareils sont connectés, et 50 milliards en 2020.

1. Perspectives d'avenir

Le nombre d'appareils connectés par personne peut sembler faible, mais il faut considérer que ce calcul inclut toute la population mondiale, dont une grande partie n'est pas encore connectée. Parmi les deux milliards de personnes utilisant Internet, le nombre d'appareils par personne était de 6,25 en 2010, au lieu de 1,84.

Avec des projets tels que Planetary Skin de Cisco, CeNSE d'HP, et les systèmes smartdust, le nombre de capteurs connectés pourrait atteindre des millions, voire des milliards. Aujourd'hui, tout peut être connecté : animaux, conduites d'eau, personnes, chaussures, arbres, etc., ce qui pourrait améliorer notre monde.

Peter Hartwell résume ainsi : « L'intégration de mille milliards de capteurs dans l'environnement, tous connectés à l'aide de systèmes informatiques, de logiciels et de services, nous permettra d'entendre battre le cœur de la Terre. L'impact de cette avancée sur l'interaction entre l'humain et la planète sera comparable à l'effet qu'a eu Internet sur la communication. » [24]

2.4 Objet connecté (OC)

Les objets connectés sont des dispositifs équipés de composants physiques (mécaniques, électroniques), de composants intelligents (capteurs et actionneurs) et de composants de connectivité (systèmes de transmission de données). Ils permettent d'accéder à Internet ou de communiquer avec d'autres objets, analysant et utilisant des données pour effectuer des actions, comme une montre connectée qui envoie des alertes comme illustré dans la figure (2.1).

Ces objets transforment la vie des consommateurs dans divers domaines, tels que le *quantified-self*, la domotique et les transports intelligents, et répondent aux attentes d'un consommateur hyper-connecté et ubiquitaire. Entre 2015 et 2019, la consommation d'énergie mondiale du secteur numérique a augmenté de 6,2% par an. En 2010, on comptait environ 1 milliard d'objets connectés dans le monde, chiffre qui passera à 50 milliards en 2025 et à 100 milliards en 2030.

Cependant, malgré les avantages pratiques, énergétiques et de services qu'ils offrent, les objets connectés posent des défis en matière de sécurité et de vie privée, essentiels pour leur acceptabilité. Les consommateurs expriment des préoccupations sur leur utilité et leur aspect intrusif, avec des enquêtes montrant qu'une part importante de la population ne voit pas l'intérêt d'en posséder. La résistance à ces objets se manifeste surtout dans les communautés virtuelles, où les consommateurs discutent et développent des stratégies pour se protéger des objets connectés.

Les entreprises collectant des informations sensibles, exercent une forme de pouvoir perçue par les consommateurs, qui ressentent une dépendance accrue aux machines. Certains consommateurs tentent de contrer cette influence, par exemple en rejoignant des communautés en ligne proposant des moyens de se protéger.

Pour les entreprises, comprendre et anticiper les raisons de la résistance aux objets connectés est crucial pour leur développement. Le web 2.0 joue un rôle clé dans la cyber-résistance, ce qui nécessite une vigilance accrue des entreprises envers les manifestations de résistance en ligne. [21]

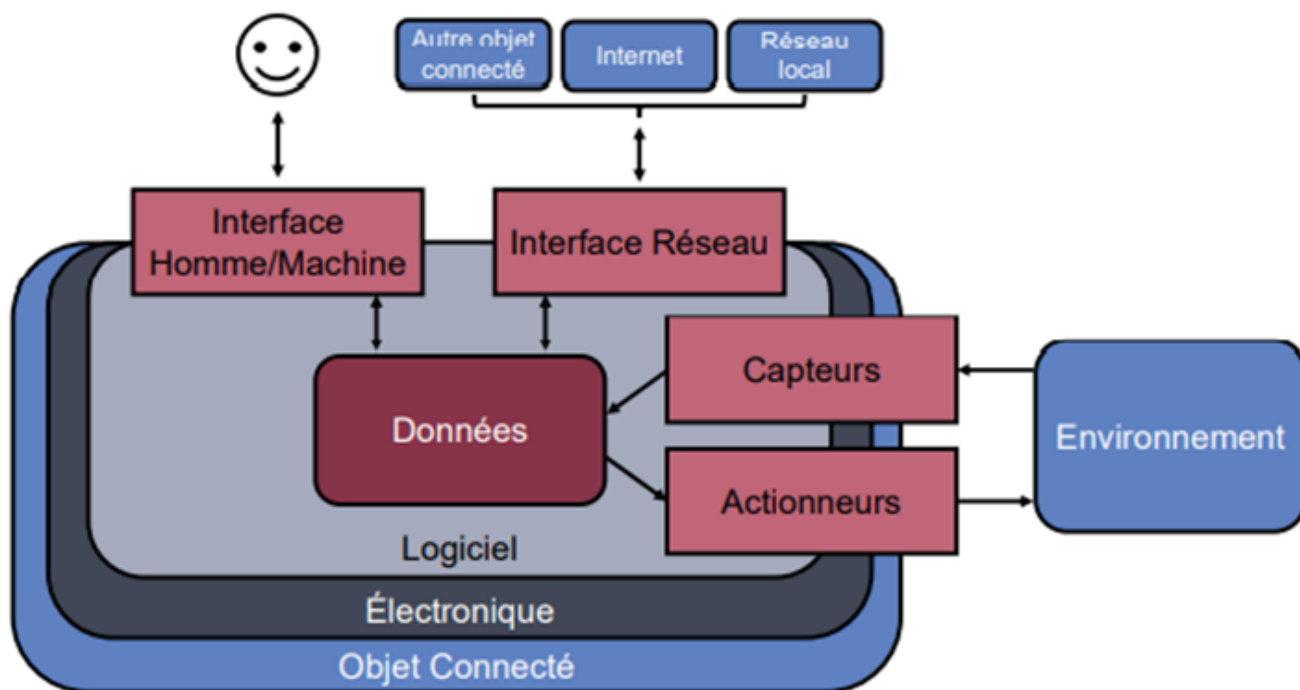


FIGURE 2.1 – Représentation schématique d'un objet connecté.

2.5 Architecture de l'Internet des Objets

Les objets connectés dans l'Internet des objets (IoT) offrent la possibilité de collecter, stocker, traiter, communiquer et transmettre des données et des informations. Ces informations sont recueillies à partir de l'environnement physique. Chaque objet possède un identifiant unique, permettant de le distinguer parmi des milliers d'autres sur le réseau Internet. [23] **Les objets peuvent être classés en deux catégories :**

- **Objets actifs :** Équipés de plusieurs capteurs et ou actionneurs, ils ont une grande capacité de stockage, peuvent effectuer des calculs et sont capables de communiquer sur un réseau.
- **Objets passifs :** Dotés de faibles capacités de stockage (de l'ordre des kilo-octets) et de calcul, ils utilisent généralement un tag (comme une puce RFID ou un code à barres 2D) et servent principalement à l'identification.

Les données peuvent être captées, traitées, communiquées, stockées et représentées Voir la figure (2.2).

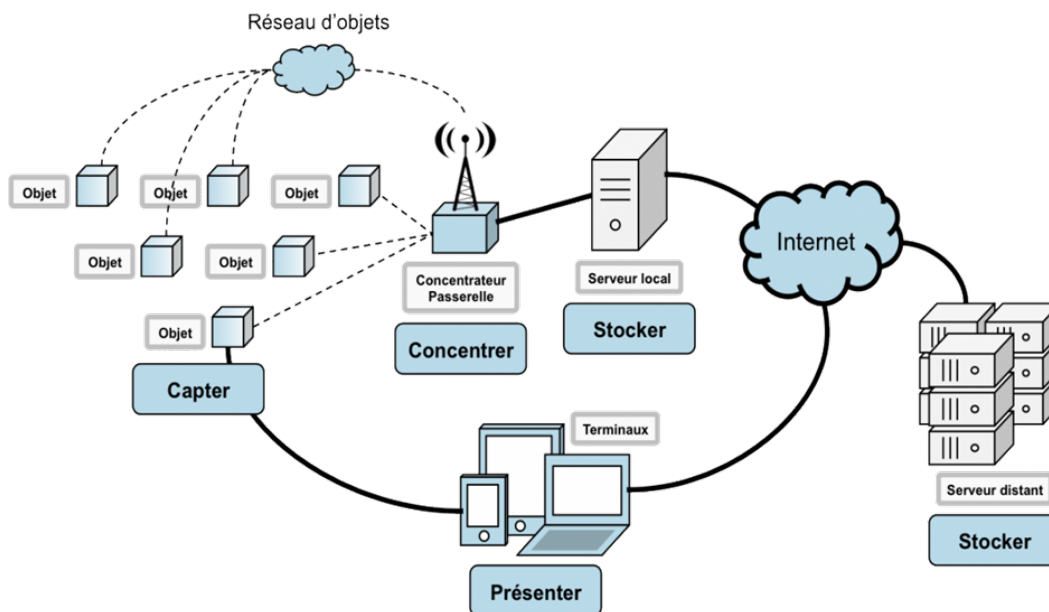


FIGURE 2.2 – Architecture de l'Internet des objets[23].

2.5.1 Capter :

Transformation des grandeurs physiques analogiques (signaux, pression, température, etc.) en signaux numériques[17]

- **Couche Perception :** Cette couche gère l'identification des appareils et la collecte de données physiques.

2.5.2 Traiter :

Conversion des données brutes captées par les objets en informations utiles exploitables par les utilisateurs ou d'autres équipements, permettant ainsi de réagir de manière appropriée. Ce processus peut intervenir à tous les niveaux de la chaîne, de la capture de l'information à sa restitution.

2.5.3 Transmettre :

Les données sont transmises via deux types de réseaux : un réseau local (LAN) de concentration (comme Bluetooth ou ZigBee) et un réseau plus étendu (WAN), qui permet de transférer les données des concentrateurs vers les serveurs locaux et les serveurs Internet (cloud).

- **Couche réseau** : Envoie en toute sécurité les données des appareils à un système de traitement de données de manière filaire ou sans fil.

2.5.4 Stocker :

Rassemblement et stockage des données brutes captées, produites en temps réel et arrivant de manière imprévue.

2.5.5 Représenter :

Présentation des informations de manière compréhensible pour l'homme, lui offrant ainsi les moyens de réagir et d'interagir.

- **Couche Middleware** : Gère les services et une base de données, reçoit les données de la couche réseau et les enregistre dans la base de données, puis les traite pour prendre des décisions correspondantes.
- **Couche Application** : Offre la gestion des applications basées sur les données traitées dans la couche middleware et fournit les services demandés par les clients.

Couche Business : Gère le système IoT global, y compris les applications et les services. Elle aide les entreprises à créer des modèles commerciaux, à obtenir des résultats d'analyse et à déterminer les stratégies futures.

Voir la figure (2.3).

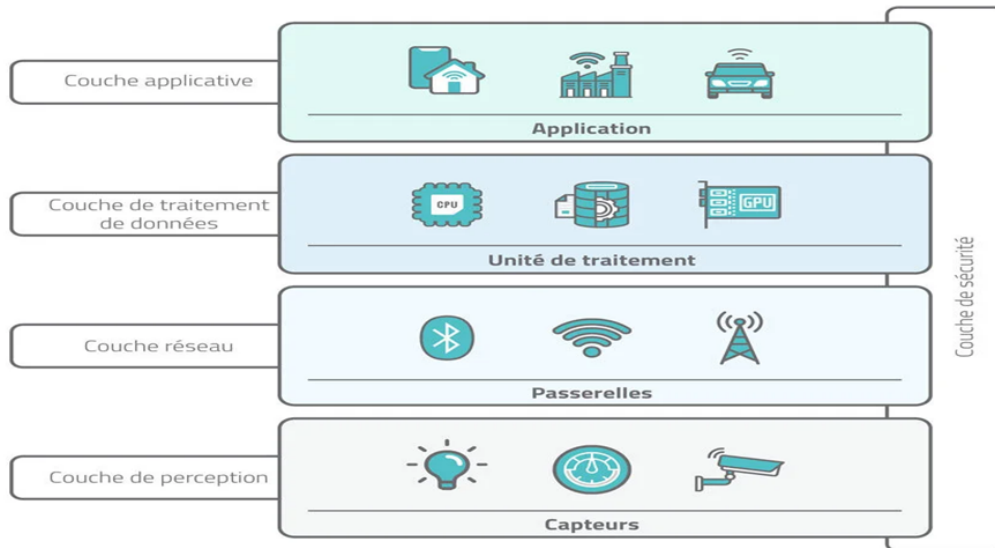


FIGURE 2.3 – Les 5 couches de l’IoT.[23]

2.6 Technologies de communication des objets connectés

Les objets connectés utilisent diverses technologies de communication pour échanger des données. Ces technologies peuvent être classées en fonction de leur portée, allant des communications de courte portée aux communications à longue portée.[13]

2.6.1 Technologies de courte portée

Les technologies de courte portée sont essentielles pour des communications efficaces et économes en énergie sur de courtes distances.

1. Protocole NFC

Les protocoles Near Field Communication (NFC) reposent sur la technologie RFID (Identification par Radio Fréquence). Les objets dotés de puces RFID sont automatiquement identifiés par radio-fréquence lorsqu’ils sont à proximité d’un lecteur. Le protocole NFC permet une communication sans contact sur de très courtes distances, généralement quelques centimètres. Il est utilisé dans diverses applications telles que les badges d’accès ou les abonnements aux transports en commun.

2. Bluetooth

Inventé en 1994 par Ericsson, le Bluetooth est un standard de transfert de données sans fil. Il offre une faible bande passante et est peu énergivore, ce qui le rend adapté aux transferts de données sur de courtes distances. Il est largement intégré dans les téléphones mobiles et utilisé pour divers appareils comme les écouteurs sans fil, les montres intelligentes, etc.

3. Zigue

Zigue est un protocole de communication radio conçu spécifiquement pour la domotique. Il a une portée moyenne d'environ 10 mètres et utilise une bande passante faible, ce qui le rend adapté au transfert de données à faible volume.

Zigue est peu énergivore, ce qui le rend idéal pour les appareils alimentés par batterie, notamment les capteurs. Il fonctionne en réseau maillé, chaque nœud pouvant recevoir, envoyer et relayer des données.

2.6.2 Technologies de moyenne portée

Pour des communications sur des distances intermédiaires, plusieurs technologies de moyenne portée sont disponibles, offrant un bon équilibre entre portée, consommation d'énergie et débit de données.

1. Z-Wave

Z-Wave est un protocole de communication sans fil principalement utilisé dans la domotique. Il permet le transfert de données sur des distances allant jusqu'à 100 mètres en plein air. Z-Wave fonctionne en réseau maillé, ce qui lui permet d'étendre sa portée en relayant les informations entre les appareils connectés.

2. Wi-Fi

Le Wi-Fi est un ensemble de protocoles de communication sans fil permettant des connexions à haut débit sur des distances de 20 à 100 mètres. Il est très énergivore et convient principalement aux appareils connectés au secteur ou disposant d'une alimentation électrique fréquente.

3. **Bluetooth Low Energy (BLE)** Le BLE, également appelé Wibree, est un protocole de réseau personnel sans fil à très faible consommation d'énergie. Il permet le transfert de données sur de courtes distances, jusqu'à environ 60 mètres. Comparé au Bluetooth classique, le BLE offre une consommation électrique dix fois inférieure.

2.6.3 Technologies de longue portée

Pour des communications couvrant de grandes distances, les technologies de longue portée sont cruciales, notamment dans les contextes nécessitant la connectivité à grande échelle.

1. Réseaux cellulaires mobiles

Les réseaux cellulaires mobiles, basés sur la technologie GSM, permettent le transfert de grandes

quantités de données sur de longues distances.[27] Nous pouvons citer entre autres la 4G et la 5G qui offrent une communication mobile à très haut débit.[33]

2. Réseaux radio bas-débit

Sigfox : Réseau radio bas débit à faible fréquence, adapté aux appareils peu énergivores avec une portée moyenne de 10 kilomètres en milieu urbain. LoRa : Protocole de communication radio à très basse consommation avec une portée pouvant atteindre jusqu'à 45 kilomètres en milieu urbain, adapté aux équipements peu énergivores.[12]

3. Réseaux propriétaires

Certaines grandes entreprises déploient leurs propres réseaux de communication pour connecter des appareils à grande échelle, notamment dans les domaines du comptage intelligent des compteurs d'eau ou de gaz. Ces réseaux privés ou propriétaires offrent une solution adaptée pour les déploiements à grande échelle d'appareils communicants.

Voici un tableau comparatif des différentes technologies de communication utilisées dans les systèmes IoT tableau(2.1).

Technologie	Courte portée			Moyenne portée			Longue portée	
	NFC	Bluetooth	Zigbee	Z-Wave	Wi-Fi	BLE	SigFox	LoRa
Portée moyenne (en intérieur)	<10 cm	10 m	10 m	50 m	50 m	50 m	>2 km	2 km
Débit (Mbit/s)	1.10^{-3}	1.10^{-3}	1.10^{-2}	1.10^{-2}	1.10^{-2}	1.10^{-3}	1.10^{-3}	1.10^{-3}
Autonomie	Mois	Jours	Années	Années	Jours	Mois	Années	Années
Fréquence	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz 868 MHz	868 MHz	2,4 GHz 5 GHz	2,4 GHz	868 MHz	868 MHz
Usages	Téléphonie Cartes de paiement	Périphériques informatiques et multimédia	Domotique		Navigation Internet Transferts conséquents de données	Périphériques informatiques et multimédia	Prévention d'incidents Collecte de données Gestion de réseaux	

Tableau 2.1 Comparaison entre les technologies de communication[13].

2.7 Adressage des objets connectés

2.7.1 IPv4

L'Internet of Things basé sur IP comprendra des milliards d'appareils connectés. Cette ambition sans précédent a été prise en compte dans la conception d'un réseau mondial d'objets intelligents. D'une part, il est nécessaire d'identifier chaque objet intelligent individuellement (et globalement). D'autre part, l'utilisation d'IPv4 ne peut pas être une solution durable. L'épuisement des adresses IPv4 rend impossible l'attribution d'adresses IPv4 publiques aux objets. L'utilisation d'IPv4 nécessiterait l'introduction de techniques NAT pour fournir un espace d'adressage étendu aux objets intelligents, ce qui impliquerait une gestion complexe de la configuration pour assurer l'accessibilité des objets intelligents. Par conséquent, l'évolutivité, la gérabilité et la facilité de déploiement des objets intelligents seraient compromises[19]

2.7.2 IPv6

À partir de ces considérations, la seule solution viable pour créer un IoT global, durable et évolutif est d'adopter IPv6 au niveau de la couche réseau. En particulier, IPv6 offre plusieurs fonctionnalités avantageuses qui facilitent son adoption :

- Les adresses font 128 bits, permettant d'attribuer environ $3,4 \times 10^{38}$ adresses IP uniques.
- Intégration d'IPSec pour la sécurité.
- Fourniture d'adresses de liaison locale et globale, dérivées de l'adresse MAC de l'appareil, avec un préfixe fe80 ::/10, ou fournies par le routeur du réseau.

2.7.3 IPv6/6LowWPAN

Grâce à son vaste espace d'adressage, IPv6 permet l'extension d'Internet à n'importe quel appareil et service. Des expériences ont démontré l'utilisation réussie d'adresses IPv6 pour des déploiements à grande échelle de capteurs dans des bâtiments intelligents, des villes intelligentes et même avec du bétail. IPv6 offre d'autres avantages en plus d'un espace d'adressage plus grand, comme la possibilité d'utiliser des techniques d'allocation d'adresses hiérarchiques qui limitent l'expansion des tables de routage, un adressage multidiffusion simplifié et étendu, et une optimisation de la prestation de services. La mobilité, la sécurité et la configuration des périphériques ont été intégrées dans la conception d'IPv6, offrant ainsi un schéma d'adresses hautement évolutif.

6LowWPAN représente IPv6 sur un réseau personnel sans fil à faible puissance. IPv6 est considéré comme le meilleur protocole de communication dans le domaine de l’IoT en raison de son évolutivité et de sa stabilité.

2.7.4 Transport de données

Les scénarios IoT nécessitent généralement des approches de communication économes en énergie, légères et peu gourmandes en ressources processeur, en raison des capacités limitées des objets intelligents. Pour ces raisons, UDP est le choix typique pour la communication de couche transport dans l’IoT. Bien sûr, ce choix implique de renoncer aux fonctionnalités intéressantes fournies par TCP telles que la retransmission, la commande et le contrôle de la congestion, qui doivent être implémentées dans une couche supérieure si une application en a besoin.[28]

2.8 Les protocoles de la couche application utilisés dans l’IoT

Un protocole applicatif est un ensemble de règles définissant le mode de communication entre deux applications informatiques. Ils s’appuient sur les protocoles de transport (TCP/UDP) pour établir des routes et échanger des données selon l’ensemble des règles du protocole applicatif.[18] Les principaux protocoles utilisés applicatifs dans les IoT sont les suivants :

1. XMPP (Protocole de messagerie et de présence extensible)

XMPP est un ensemble de protocoles standards ouverts définis par l’Internet Engineering Task Force (IETF) pour la messagerie instantanée et, plus généralement, pour une architecture décentralisée d’échange de données. XMPP est également un système de collaboration en quasi-temps-réel et d’échange multimédia via son extension Jingle, utilisée pour la voix sur IP (téléphonie sur Internet), la visioconférence, et l’échange de fichiers. [15]

XMPP est basé sur une architecture client-serveur utilisant le protocole TCP/IP pour permettre les échanges décentralisés de messages instantanés ou non, entre clients, au format Extensible Markup Language XML .

- **Fonctionnement** Le protocole XMPP prend en charge les modèles de requêtes/réponses et de publication/abonnement. Le modèle de requêtes/réponses permet des communications bidirectionnelles, tandis que le modèle de publication/abonnement permet une communication multidirectionnelle (push et pull des données). Une évolutivité élevée dans XMPP est assurée par son architecture décentralisée. Il existe de nombreuses extensions pour le protocole XMPP, ce qui lui permet de fonctionner dans des environnements sans infrastructure. Comme illustré à la figure (2.4).

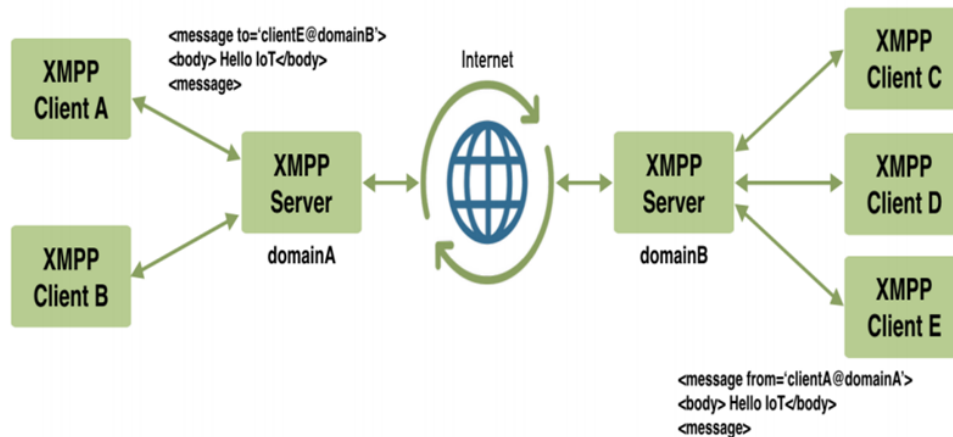


FIGURE 2.4 – Fonctionnement du protocole XMPP[15].

2. DDS (Data Distribution Service)

DDS est un protocole de communication pair à pair polyvalent qui s'étend de l'exécution de petits appareils à la connexion de réseaux à haute performance. DDS simplifie le déploiement, améliore la fiabilité et réduit la complexité. [15]

- **Fonctionnement**

DDS transmet des données entre un éditeur et un abonné sous forme de sujets.

Les données relatives à un sujet sont générées par un «DataReader» chez l'abonné et un «DataWriter» chez l'éditeur. Comme illustré à la figure 2.5.



FIGURE 2.5 – Modèle de communication DDS[15].

3. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT est un protocole de messagerie conçu pour une communication légère entre machines, principalement utilisé pour les connexions à faible bande passante vers des emplacements distants. MQTT utilise un modèle éditeur-abonné et est idéal pour les petits appareils qui nécessitent une utilisation efficace de la bande passante et de la batterie. [15][34]

- **Fonctionnement**

Un client, appelé éditeur (publisher), établit d'abord une connexion de type 'publish' avec le serveur MQTT, appelé courtier (broker). Ensuite, l'éditeur transmet les messages au courtier sur un canal spécifique, appelé sujet (topic). Comme illustré à la figure (2.6).

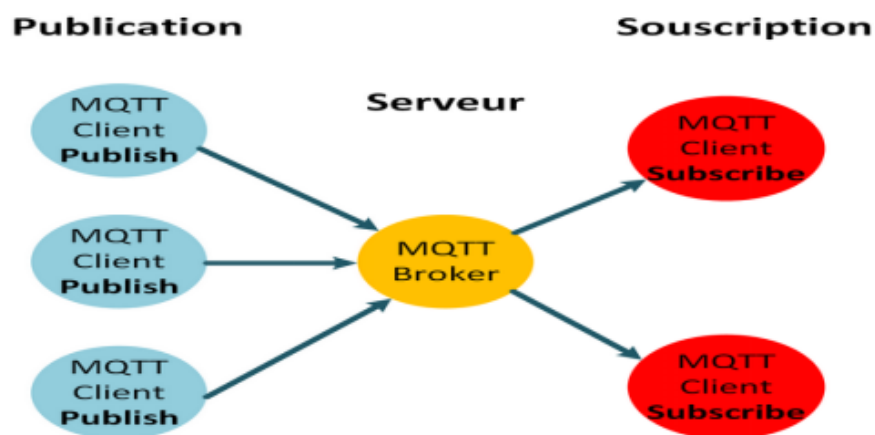


FIGURE 2.6 – Fonctionnement du protocole MQTT[15].

4. CoAP (Constrained Application Protocol)

CoAP est un protocole optimisé pour les bandes passantes et les réseaux contraints, conçu pour les appareils à capacité de connexion limitée dans le cadre de la communication machine à machine. CoAP est également un protocole de transfert de documents qui fonctionne sur le protocole UDP [15]

- **Fonctionnement**

Pour transmettre des données, un client envoie une requête CoAP à un serveur. Cette requête inclut le type de message, l'identifiant du message (mid) et une action (GET, POST, PUT ou DELETE). Le serveur répond ensuite avec une réponse correspondante. Comme illustré à la figure (2.7).

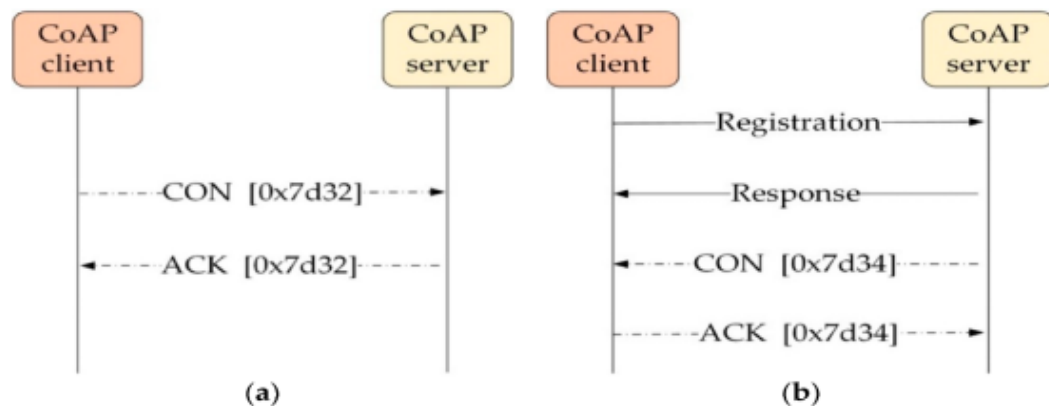


FIGURE 2.7 – Fonctionnement du protocole CoAP[15].

5. WebSocket

Le protocole WebSocket offre deux méthodes de communication entre les clients et un serveur distant. Il fournit une sécurité similaire à celle du modèle utilisé par le protocole HTTPS. WebSocket fonctionne au niveau de la couche de transport TCP, permettant l'interaction et la communication avec des hôtes distants. Il est un protocole web qui opère sur un seul canal TCP et fournit des communications full-duplex. Contrairement aux protocoles précédents, WebSocket ne démarre pas la session avec des modèles de publication/abonnement ou de requête/réponse.[15]

- **Fonctionnement**

Le protocole WebSocket permet d'établir un canal de communication full-duplex en une seule connexion TCP entre un client et un serveur. Il comporte trois principales phases :

- * La phase de connexion, appelée « Handshake », initiée par le client.
- * La phase d'échange bidirectionnel de messages.
- * La phase de clôture du canal, initiée par l'une des deux parties.

Voir la figure (2.8).

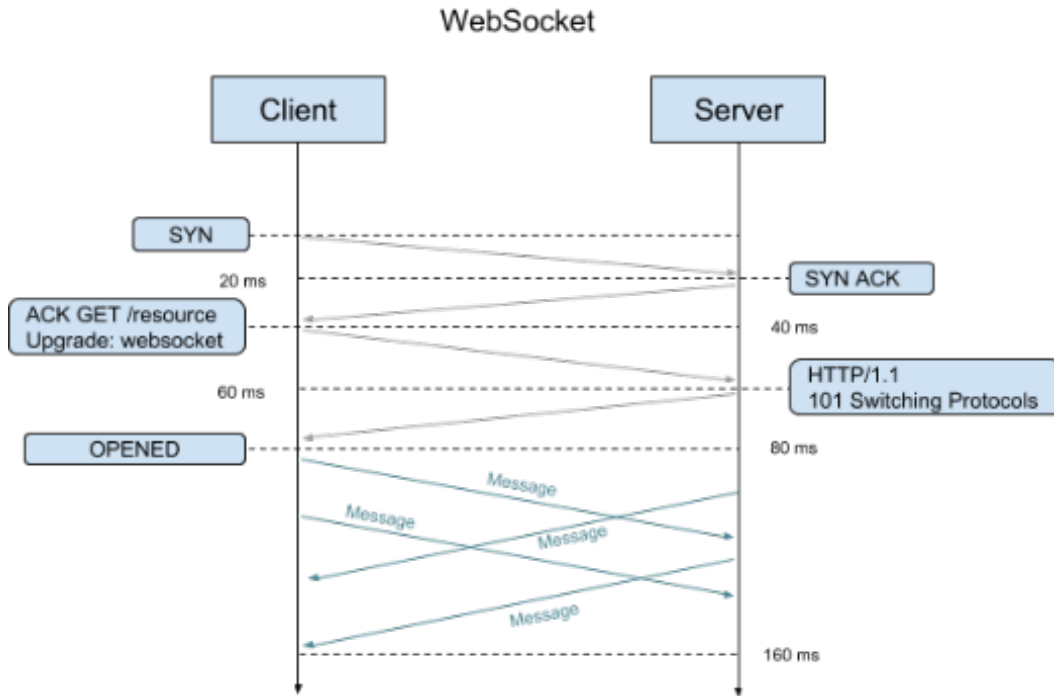


FIGURE 2.8 – Fonctionnement de WebSocket[15].

6. AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)

AMQP est un protocole destiné au secteur financier, avec la sécurité gérée par les protocoles TLS/SSL. Il repose sur TCP et suit le modèle de communication de publication/abonnement.[15]

- **Fonctionnement**

Le fonctionnement du protocole AMQP est similaire à celui de MQTT, mais avec des notions de producteur/consommateur (producer/consumer) remplaçant celles de éditeur/abonné (publisher/subscriber). Grâce à un mécanisme interne appelé « exchange », AMQP permet de router un message d'un producteur vers plusieurs sujets (topics). Les critères de routage peuvent inclure l'inspection du contenu, des en-têtes, des clés de routage, etc. Ainsi, un même message peut être consommé par différents consommateurs via plusieurs sujets. Comme illustré à la figure (2.9).

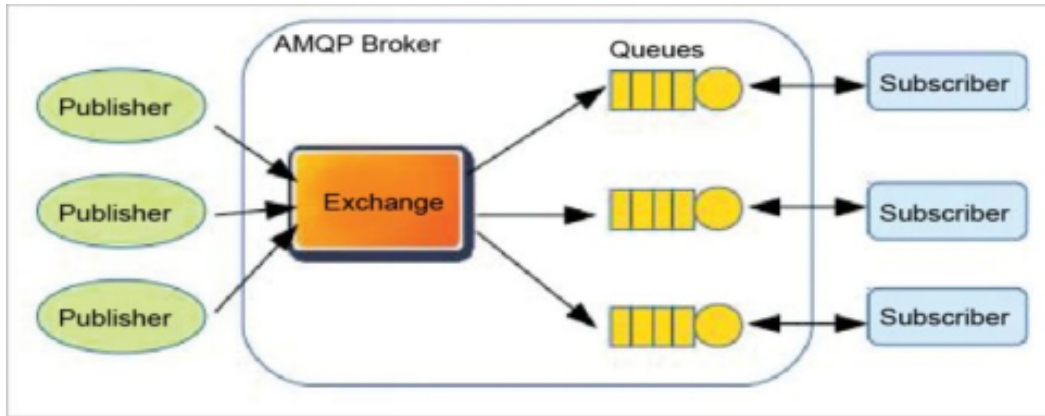


FIGURE 2.9 – Fonctionnement du protocole AMQP[15].

2.8.1 Comparaison des protocoles applicatifs

Dans cette partie, nous allons comparer les protocoles applicatifs mentionnés précédemment selon différents critères [15] :

1. Le standard du protocole

2. Le modèle de communication

- Communication publication/abonnement : Les utilisateurs peuvent s'abonner à un contenu spécifique.
- Communication requête/réponse : Les utilisateurs peuvent obtenir des données via des messages de requêtes personnalisés.

3. Le protocole de transport

- TCP : Connexion nécessaire.
- UDP : Connexion non nécessaire.

4. La sécurité

- SSL (Secure Sockets Layer) / TLS (Transport Layer Security) : Protocoles sécurisant les échanges sur les réseaux informatiques, notamment sur Internet.
- DTLS (Datagram Transport Layer Security) : Protocole basé sur TLS, conçu pour sécuriser les données en prévenant la falsification, les écoutes et la contrefaçon dans les communications.

5. Les principaux frameworks

6. Le type de protocole

- Protocole de messagerie
- Protocole de transfert web
- Protocole réseau

Le tableau (2.2) présente les différences entre les protocoles IoT selon les caractéristiques mentionnées :

	XMPP	DDS	MQTT	COAP	AMQP	WebSocket
Standard	L'Internet Engineering Task Force (IETF)	Object Management Group (OMG)	Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)	L'Internet Engineering Task Force (IETF)	Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)[51]	L'Internet Engineering Task Force (IETF)
Modèle de communication	Requête/ Réponse Publication/ Abonnement	Publication/ Abonnement	Publication/ Abonnement	Requête/ Réponse	Publication/ Abonnement	bidirectionnel
Protocole de transport	TCP	TCP/UDP	TCP	UDP	TCP	TCP
Sécurité	TLS/SSL	DTLS/SSL	TLS/SSL	DTLS	TLS/SSL	TLS/SSL
Framwork	Jabber, XMPPFramework		Emqtt, HiveMQ, Mosquitto, Eclipse Paho	Eclipse Californium, nCoAP	RabbitMQ, StormMQ	jetty websocket, Apache Tomcat
Type de protocole	Messagerie	Messagerie	Messagerie	Transfert web	Messagerie	Réseau

Tableau 2.2 Les différences entre les protocoles IOT[15].

Après avoir examiné divers protocoles IoT de la couche applicative et identifié quelques différences entre eux, il est clair que chaque protocole possède des caractéristiques uniques répondant à différents besoins dans le domaine de l'IoT. Parmi eux, CoAP et MQTT ont suscité un intérêt particulier en raison de leurs performances distinctes.

CoAP est reconnu pour sa rapidité et son efficacité grâce à son utilisation d'UDP, ce qui en fait un choix attrayant pour les dispositifs à faible coût. En revanche, MQTT offre une architecture basée sur un courtier (broker) qui simplifie la gestion, et ses options de qualité de service basées sur TCP permettent une distribution robuste des messages.

Chaque protocole présente des avantages spécifiques adaptés à des scénarios d'utilisation différents. Le choix entre CoAP et MQTT dépendra donc des besoins et des contraintes spécifiques de chaque projet IoT. [15]

2.9 Caractéristiques de l’Internet des Objets (IoT)

Dans cette section, nous examinons les caractéristiques fondamentales de l’Internet des Objets [20] :

1. Interconnectivité

Dans l’IoT, chaque objet peut être connecté à l’infrastructure mondiale de l’information et de la communication.

2. Hétérogénéité

Les appareils utilisés dans l’IoT sont divers, car ils ne reposent pas sur les mêmes plates-formes matérielles ou les mêmes réseaux. Ils peuvent interagir avec d’autres dispositifs ou plates-formes de service via différents réseaux.

3. Très grande échelle

Le nombre de dispositifs à gérer et à faire communiquer entre eux dans l’IoT sera au moins dix fois supérieur à celui des appareils connectés à l’Internet actuel. La gestion des données générées et leur interprétation pour les besoins des applications deviendront donc des enjeux critiques.

4. Changements dynamiques

L’état des dispositifs, tel que leur mise en veille ou en éveil, leur connexion ou leur déconnexion, change de manière dynamique, tout comme le contexte dans lequel ces dispositifs fonctionnent, comme leur emplacement, leur vitesse, leur nombre, etc.

2.10 Domaines d’application de l’Internet des Objets

L’Internet des Objets (IoT) présente des opportunités considérables pour le développement de nouvelles applications intelligentes dans pratiquement tous les secteurs. Ce concept prévoit une évolution vers des environnements enrichis, tels que les villes intelligentes, les domiciles connectés, les réseaux électriques intelligents, la santé numérique et la surveillance automatisée de la pollution environnementale (Gubbi et al., 2013).

Une diversité de domaines bénéficient des applications de l’IoT. Une étude menée par IoT Analytics a identifié les 10 principaux secteurs d’application de l’Internet des Objets, comme le montre la figure (2.10) à venir [20] :

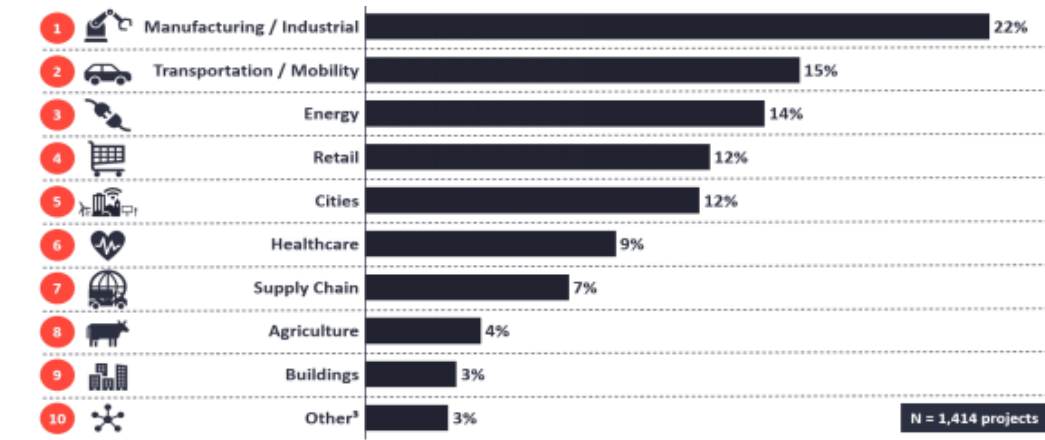


FIGURE 2.10 – Les 10 premiers secteurs d’application de l’IOT [20].

2.11 Utilité de l’internet des objets dans l’apiculture

Depuis le début des années 2000, les abeilles sont menacées par la pression Anthropique exercée sur leur environnement. Aux États-Unis, près de 25 % du cheptel a disparu au cours de l’hiver 2006-2007. (“Les abeilles malades de l’homme,” 2007) Ce phénomène a un nom. On parle de syndrome d’effondrement des colonies d’abeilles (en anglais, « Colony Collapse Disorder » : CCD). Malgré la mobilisation de la communauté internationale ce sujet fait polémique. Pesticides, parasites, prédateurs, changement climatique ou tout à la fois, la cause de cet effondrement n’a pour le moment pas trouvé de consensus au sein de la communauté scientifique. Ces interrogations ont mené le monde de la recherche à imaginer des moyens de mesure de l’activité des ruches pour tenter de découvrir la ou les causes exactes de la préoccupante situation des abeilles. Des balances, des thermomètres et autres accéléromètres ont été employés afin de renseigner au mieux les chercheurs.

Dans les années 2010, la démocratisation d'internet et la montée en puissance des équipements a permis le déploiement du Cloud Computing. Une technologie informatique permettant le stockage décentralisé des données et par conséquent ouvrant la voie à l'Internet des Objets (IOT). Tous les dispositifs de mesure se sont ainsi transformés peu à peu en objets connectés permettant de suivre les ruches à distance.

L'apiculture est une discipline présentant les critères parfaits pour élaborer les objets communicants de demain en répondant à des contraintes fortes. Les ruches sont déployées en milieu hostile à l'électronique. De par les conditions météorologiques mais aussi par la nécessité de rendre les instruments de mesure autonomes en énergie, fiables et consultables à distance. Des paramètres qui soulèvent de nombreuses problématiques techniques. [11]

2.12 Avantages et inconvénients des systèmes IoT

Les dispositifs IoT offrent de nombreux avantages aux utilisateurs, principalement en simplifiant leur quotidien. Par exemple, dans le domaine de la santé, les patients peuvent éviter certains déplacements vers les établissements de santé en utilisant des objets connectés pour transmettre des informations permettant de diagnostiquer leur état. Dans le domaine de la domotique, les objets connectés améliorent considérablement la sécurité et le contrôle des domiciles en augmentant le nombre de détecteurs d'anomalies dans une maison et en automatisant l'envoi d'alertes aux autorités en cas d'intrusion.

Cependant, les utilisateurs des objets connectés sont préoccupés par la sécurité de leurs informations, car tout objet connecté implique un échange d'informations et donc une nécessité de sécuriser les données personnelles confidentielles. Il existe un risque d'interception ou de détournement de ces données. Certains craignent également que l'omniprésence des objets connectés ne rende les individus dépendants et paresseux. La gestion des informations peut également être complexe, ce qui incite les développeurs et concepteurs à continuer à concentrer leurs efforts sur l'innovation et la sécurité.[23]

2.13 Les différentes ruches intelligentes et connectées dans le marché mondiale

Les solutions de ruches intelligentes et connectées disponibles sur le marché mondial offrent des fonctionnalités avancées pour améliorer la surveillance, la gestion et la maintenance des colonies d'abeilles.

2.13.1 Bee2Bee

La ruche Bee2Bee est une solution intelligente conçue pour surveiller les colonies d'abeilles de manière proactive et fournir des données en temps réel sur l'environnement interne de la ruche. Elle est équipée de capteurs de température et d'humidité, permettant aux apiculteurs de suivre de près les conditions internes et de réagir rapidement aux changements climatiques ou environnementaux voir la figure (2.11).[3]



FIGURE 2.11 – Ruche BEE2BEE [3].

- **Fonctionnalités** Surveillance en temps réel : Les capteurs intégrés fournissent des données en temps réel sur la température et l'humidité à l'intérieur de la ruche. Alertes climatiques : La ruche peut générer des alertes automatiques en cas de variations significatives des conditions environnementales, aidant ainsi les apiculteurs à prendre des mesures préventives. Connectivité Bluetooth et Wi-Fi : Permet aux apiculteurs de surveiller la ruche à distance via une application mobile dédiée, offrant ainsi une gestion pratique et personnalisée.

2.13.2 Flow Hive

La Flow Hive est une ruche innovante qui révolutionne le processus de récolte du miel en rendant cette tâche plus facile et moins intrusive pour les abeilles. Elle utilise une technologie brevetée qui permet aux apiculteurs d'extraire le miel directement des cadres de la ruche sans avoir besoin de perturber la colonie. Outre sa fonction de récolte automatisée, la Flow Hive est également équipée de capteurs de poids et de température pour surveiller les conditions internes de la ruche voir la figure (2.12). [4]



FIGURE 2.12 – ruche Flow Hive [4].

- **Fonctionnalités** Récolte automatisée du miel : La technologie brevetée de la Flow Hive permet aux apiculteurs d'extraire le miel sans ouvrir la ruche ni déranger les abeilles, offrant ainsi une méthode plus douce et moins stressante pour les colonies. Contrôle à distance : Grâce à sa connectivité Wi-Fi, les apiculteurs peuvent surveiller et contrôler le processus de récolte à distance via une application mobile dédiée, offrant ainsi une gestion pratique et flexible de leurs ruches. Gestion facile : La Flow Hive est conçue pour être facile à utiliser, avec des cadres de ruche amovibles et une conception ergonomique qui simplifie la manipulation et l'entretien .

2.13.3 SmartBee

La ruche Beekeeper au SmartBee est une solution complète de gestion des colonies d'abeilles, intégrant des technologies IoT et de cloud computing pour offrir une surveillance avancée et une analyse des données en temps réel. Elle est équipée de capteurs de poids, d'humidité et de température, permettant aux apiculteurs de suivre de près la santé et le comportement de leurs colonies, même à distance voir la figure (2.13).[5]



FIGURE 2.13 – ruche SMARTBEE [5].

- **Fonctionnalités** Surveillance avancée des colonies : Les capteurs intégrés fournissent des données précises sur le poids, l'humidité et la température à l'intérieur de la ruche, permettant aux apiculteurs de surveiller activement la santé de leurs colonies. Analyse des données en temps réel : Grâce au cloud computing, les données collectées par la Beekeeper sont traitées et analysées en temps réel, offrant ainsi aux apiculteurs des insights approfondis sur le comportement des abeilles et les conditions de la ruche. Alimentation solaire : La Beekeeper est alimentée par l'énergie solaire, ce qui prolonge la durée de vie de la batterie jusqu'à 36 mois et réduit les besoins en maintenance, offrant ainsi une solution durable et économique pour les apiculteurs.

2.13.4 Apiago

Apiago est une ruche intelligente qui se distingue par son approche innovante de la gestion des ressources et de l'optimisation de l'environnement pour les colonies d'abeilles. Elle est équipée de capteurs de force, de poids, de température et d'humidité, ce qui lui permet de fournir un suivi environnemental avancé et des prévisions de récoltes précises. Conçue avec l'IoT et l'informatique en périphérie (Edge Computing), Apiago offre une solution complète pour surveiller et gérer les colonies d'abeilles de manière efficace et durable voir la figure (2.14).[6]



FIGURE 2.14 – RUCHE APIAGO [6].

- **Fonctionnalités** Gestion intelligente des ressources : Les capteurs de force et de poids permettent à Apiago de surveiller de manière précise les conditions de la ruche, y compris la quantité de miel récolté et la force de la colonie, ce qui aide les apiculteurs à prendre des décisions éclairées pour optimiser les ressources. Suivi environnemental avancé : Les capteurs de température et d'humidité fournissent des données précises sur les conditions environnementales à l'intérieur et à l'extérieur de la ruche, permettant aux apiculteurs de surveiller et d'ajuster l'environnement pour assurer le bien-être des abeilles. Connectivité Wi-Fi et cellulaire : Apiago est équipée d'une connectivité Wi-Fi et cellulaire, ce qui permet aux apiculteurs de surveiller à distance les colonies d'abeilles et de recevoir des alertes en temps réel via une application mobile dédiée, offrant ainsi une gestion pratique et flexible des ruches.

2.13.5 La ruche Label Abeille

La ruche Label Abeille est une ruche connectée qui permet aux apiculteurs de suivre à distance la santé et la production de leurs colonies. La ruche est équipée de capteurs qui collectent des données sur la température, l'humidité, le poids et le son de la ruche. Ces données sont ensuite transmises à un serveur Web, où elles peuvent être consultées par l'apiculteur via une application mobile ou un ordinateur voir la figure (2.15).[7]



FIGURE 2.15 – RUCHE LABEL ABEILLE [7].

- **Fonctionnalités** Suivi de la température et de l'humidité : Cela permet à l'apiculteur de s'assurer que la ruche est maintenue à une température et une humidité optimale pour les abeilles. Suivi du poids de la ruche : Cela permet à l'apiculteur de surveiller la production de miel de la colonie et de savoir quand il est temps de récolter le miel. Suivi du son de la ruche : Cela permet à l'apiculteur de détecter les problèmes potentiels de la colonie, tels que la présence de parasites ou de maladies.

Voici un tableau comparatif des ruches intelligentes et connectées (2.3).

Types de Ruche	Les capteurs	La technologie	La valeur ajoutée	Fonctionnalités principales	Connectivité	Durée de vie de la batterie/Durabilité
BEE2BEE	Température Humidité	IoT	Surveillance en temps réel, alertes climatique	Suivi environnemental, notifications personnalisées	Wi-Fi Bluetooth	12 mois/matériaux recyclables
Label Abeille	La masse Température Humidité Géolocalisation Luminosité Orientation	IoT	Analyse du comportement des abeilles, prédiction des essaims	Suivi de l'activité, gestion automatisée des conditions	Wi-Fi	Jusqu'à 24 mois Matériaux respectueux de l'environnement
Flow Hive (Icko)	Poids Température	Technologie brevetée	Récolte automatisée du miel, contrôle à distance	Extraction de miel sans perturber les abeilles, gestion facile	Wi-Fi	24 mois/bois certifié FSC
BeeKeeper	Poids Humidité Température	IoT Cloud computing	Gestion de colonies, analyse de données avancées	Suivi de la santé des colonies, conseils personnalisés	Wi-Fi Cellular	36 mois/système d'alimentation solaire
Apiago	Poids Humidité Température	IoT Edge computing	Suivi environnemental avancé, prédiction des récoltes	Gestion intelligente des ressources, optimisation de l'environnement	Wi-Fi Cellular	24 mois/matériaux durables, recyclables

Tableau 2.3 Comparatif des ruches intelligentes et connectées.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré en profondeur le domaine des objets connectés (OC), en commençant par une définition de ce qu'est l'IoT (Internet des Objets) et en examinant son évolution actuelle. Nous avons également analysé les composants des objets connectés et leur architecture, ainsi que leurs caractéristiques et leur utilité dans divers domaines d'application, notamment l'apiculture.

Nous avons examiné les avantages et les inconvénients des systèmes IoT, ainsi que les différentes technologies de communication utilisées pour connecter les objets. L'adressage des objets connectés et les protocoles de la couche application ont été présentés en détail, avec une comparaison entre les protocoles applicatifs les plus couramment utilisés.

Enfin, nous avons exploré les différentes ruches intelligentes et connectées disponibles sur le marché mondial, mettant en lumière les innovations et les tendances dans ce domaine en plein essor. En somme, ce chapitre offre une vue d'ensemble complète de l'IoT et de son impact sur des secteurs tels que l'apiculture, tout en mettant en évidence les défis et les opportunités liés à cette technologie en constante évolution.

Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur les problématiques rencontrées par les apiculteurs et sur notre solution innovante, Tech Hive. Nous détaillerons le matériel utilisé pour réaliser cette solution, ainsi que la programmation et le câblage des capteurs. En somme, nous décrirons la conception d'une ruche intelligente et connectée, intégrant les services de ThingSpeak pour la collecte et l'analyse des données.

Chapitre 3

Chapitre 03 :Problématique et Conception du système de la ruche connectée

Introduction

L'apiculture, une activité traditionnelle essentielle à la pollinisation des cultures et à la production de miel, fait face à de nombreux défis dans le monde moderne. Les apiculteurs doivent gérer des colonies de plus en plus vulnérables aux maladies, aux parasites, aux changements climatiques et à la réduction des ressources florales. La surveillance et la gestion efficaces des ruches sont cruciales pour assurer la santé des abeilles et la productivité des ruchers.

Pour répondre à ces défis, nous proposons une solution innovante intégrant des technologies de l'Internet des Objets (IoT) pour faciliter le travail des apiculteurs. En utilisant des capteurs connectés, des outils de communication avancés et une plate-forme de visualisation des données, notre solution offre une surveillance en temps réel et des analyses détaillées des conditions des ruches.

Ce chapitre explore les principaux problèmes rencontrés par les apiculteurs et présente notre solution technologique conçue pour améliorer la gestion des ruches. Nous détaillons également le matériel utilisé, incluant les capteurs et les dispositifs de communication, ainsi que la plate-forme qui permet de visualiser et d'analyser les données captées. Grâce à cette approche, les apiculteurs peuvent prendre des décisions informées et proactives pour maintenir la santé et la productivité de leurs ruches, transformant ainsi la pratique de l'apiculture à l'ère numérique.

3.1 Problématiques

Le métier d'apiculteur dépend fortement des conditions climatiques, ce qui expose cette activité à divers aléas naturels. Les abeilles sont extrêmement sensibles aux variations météorologiques, et des événements comme la sécheresse, les pluies diluviennes ou les vagues de froid peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les colonies. Un climat défavorable peut réduire la disponibilité des fleurs, privant les abeilles de leur source de nectar et de pollen, et affectant ainsi leur alimentation et leur capacité à produire du miel. Les variations soudaines de température peuvent également perturber la régulation thermique des ruches, compromettant la survie des larves et affaiblissant les colonies. Par ailleurs, les conditions météorologiques extrêmes favorisent la prolifération de parasites et de maladies, exacerbant les risques pour les abeilles. En raison de cette dépendance aux conditions climatiques, les apiculteurs doivent constamment surveiller les prévisions météorologiques et adapter leurs pratiques pour protéger leurs ruches et minimiser les pertes, rendant leur travail à la fois complexe et incertain.

Les apiculteurs algériens, ces derniers ont confirmé ces difficultés apiclimatiques et ajouté qu'il est par-

ticulièrement difficile de se déplacer fréquemment pour surveiller leurs ruches, car celles-ci sont souvent situées dans des zones isolées. De plus, ils ont souligné le problème du vol de ruches, ce qui complique encore davantage leur travail et la sécurité de leurs exploitations apicoles.

3.2 Paramètres physiologiques d'une ruche

3.2.1 La température

La température idéale à l'intérieur de la ruche est de 34-35°C et ne doit jamais dépasser ces seuils. Le couvain, ou corps de la ruche, doit rester chaud pour se développer correctement. Pour générer de la chaleur, les abeilles utilisent les muscles de leurs ailes sans les bouger, ce qui permet de réchauffer la zone dédiée au couvain. En cas de surchauffe, les abeilles régulent la température en évaporant de l'eau et en ventilant la ruche, faisant circuler l'air de l'intérieur vers l'extérieur pour rafraîchir l'atmosphère. [16]

3.2.2 L'humidité

L'humidité au sein de la ruche est aussi cruciale que la température et doit être maintenue entre 50 et 70%. Si ce taux varie, les abeilles, tout comme pour la température, ajustent l'humidité par évaporation ou ventilation, assurant ainsi la survie de la colonie. Il est important de noter que ce taux d'humidité est distinct de celui nécessaire à la conservation du miel dans la ruche. [19]

3.2.3 Le poids

La variation de poids d'une ruche reflète l'interaction des abeilles avec leur environnement. Les apiculteurs utilisent cette mesure pour anticiper les périodes de miellée ou de disette. Comprendre le poids d'une colonie aide à surveiller les activités telles que la récolte d'eau, de nectar et de pollen par les ouvrières. Ces apports sont essentiels pour la nutrition, la régulation thermique et le maintien du couvain. L'évolution de la masse d'une colonie indique ainsi l'équilibre entre les entrées et les sorties. [16]

3.3 La solution envisagée

Notre solution TECH HIVE utilise la technologie IoT pour la surveillance en temps réel des ruches, offrant ainsi de nombreuses possibilités pour surveiller et gérer les ruches de manière plus efficace. L'intégration de l'IoT dans l'apiculture permet à l'apiculteur averti de détecter divers phénomènes pour mieux comprendre la vie à l'intérieur de la colonie. Nous allons énumérer comment accéder à ces informations et par quels instruments de mesure :

3.3.1 Surveillance des colonies

TECH HIVE utilise la technologie IoT pour la surveillance en temps réel des ruches, permettant aux apiculteurs de suivre de près l'état de leurs colonies et de détecter rapidement tout problème potentiel. Les capteurs IoT surveillent divers paramètres au sein des ruches, tels que la température, l'humidité, le poids de la ruche, les niveaux de bruit.

1. Balance connectée

TECH HIVE intègre une balance connectée qui permet de surveiller le poids de la ruche en temps réel et d'envoyer tous les paramètres nécessaires aux apiculteurs. La variation du poids au cours du temps donne une idée rapide de l'état de santé de la colonie. Une tendance à la hausse indique que la colonie se développe, permettant à l'apiculteur de repérer le début de la miellée, de prévoir l'installation de nouvelles hausses et de noter la fin de la miellée pour organiser la récolte. Inversement, une tendance à la baisse indique une récession de la colonie, nécessitant de prévoir de nourrir les abeilles. Ces dernières années, les printemps précoces et les gelées tardives ont souvent privé les abeilles de nourriture, comme l'a illustré l'éveil de la Haute-Loire en 2021.

Voir la figure (3.1)

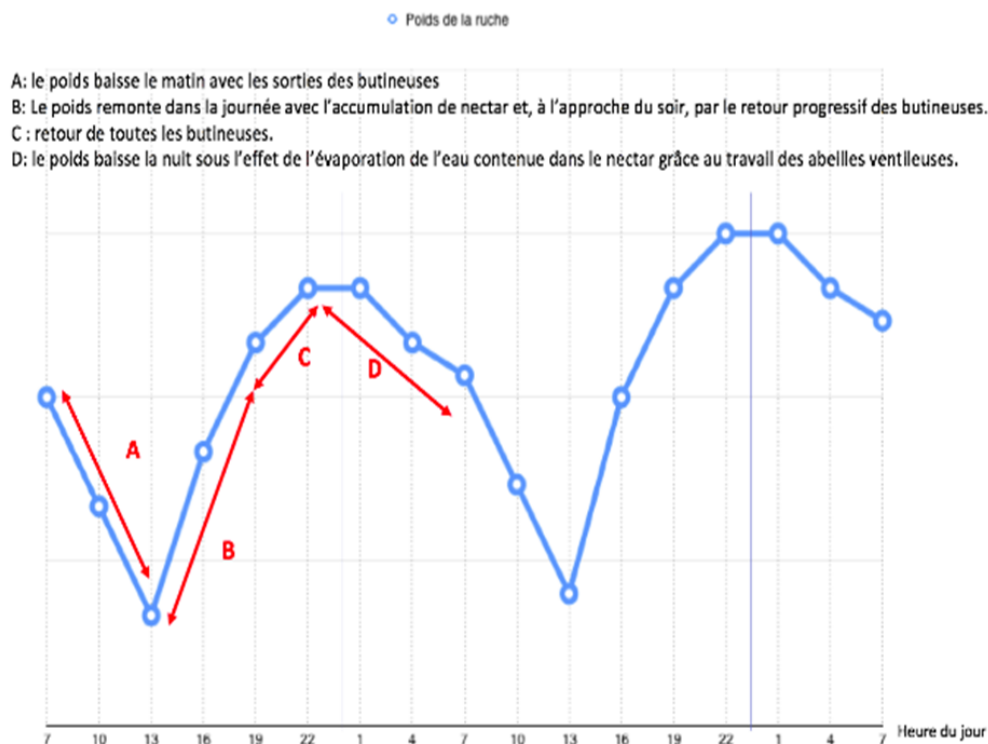


FIGURE 3.1 – Explication d’une courbe de poids typique d’une balance pour ruche [8].

Des mouvements de poids irréguliers peuvent également signaler un essaimage, permettant à l’apiculteur d’intervenir pour récupérer la nouvelle reine ou d’agir pour empêcher l’essaimage.

2. Température

Les abeilles pratiquent la thermorégulation pour maintenir une température constante de 35°C à l’intérieur du couvain. En hiver, les abeilles se regroupent en grappe pour maintenir la chaleur. Si la température descend trop brutalement sans préparation, la colonie risque de s’épuiser en essayant de maintenir la température nécessaire. En été, une température interne dépassant 38°C ralentit l’activité de la colonie.

TECH HIVE est équipé d’un système de ventilation automatique qui se déclenche si la température augmente trop, régulant ainsi le climat interne de la ruche. La surveillance de la température est cruciale, surtout dans les régions à fortes variations climatiques. Des fluctuations de la température du couvain au printemps peuvent indiquer un essaimage imminent, permettant aux apiculteurs de réagir à temps.

3. L'humidité

L'humidité dans la ruche, contrôlée par les abeilles elles-mêmes, est cruciale pour la qualité des œufs pondus par la reine et pour la conservation du miel. Un taux d'humidité inférieur à 50% empêche les œufs de parvenir à maturité, tandis qu'un taux d'humidité trop élevé peut faire fermenter le miel. La réglementation française impose un taux maximum de 20% d'humidité dans le miel. Pour garantir un miel de qualité optimale, il doit contenir entre 16,5% et 18,5% d'eau. TECH HIVE permet de surveiller en temps réel ces paramètres pour assurer la qualité du miel et la santé de la colonie.

Un équilibre s'établit entre l'humidité de l'air ambiant et l'humidité du miel. Voici quelques valeurs pour se donner un ordre d'idée :

Humidité relative de l'air en %	Teneur en eau d'équilibre du miel en %
50	15.9
55	16.8
60	18.3
65	20.9
70	24.2
75	28.8

Tableau 3.1 L'humidité de l'air ambiant et l'humidité du miel.

4. Voile Anti-Intempéries

La gestion des ruches est particulièrement complexe face aux conditions météorologiques extrêmes. La pluie, la neige et le vent peuvent causer des dommages significatifs aux ruches et menacer la survie des colonies d'abeilles. Ces conditions peuvent provoquer la pourriture des cellules, compromettre la qualité du couvain, et affaiblir la colonie en général. Pour répondre à ces défis, TECH HIVE propose une solution innovante avec son voile anti-intempéries. Ce dispositif se déploie automatiquement pour couvrir la ruche en cas de pluie, de neige ou de vents forts, offrant une protection essentielle contre les intempéries.

Lors des périodes de forte pluie, les ruches peuvent être exposées à l'humidité excessive, ce qui favorise la prolifération de moisissures et de parasites. En hiver, la neige peut bloquer les entrées des ruches, perturbant la ventilation et augmentant les risques de condensation interne, conduisant à des conditions propices à la pourriture. Le vent fort peut également causer des dommages structurels aux ruches et augmenter le stress sur les abeilles.

Le voile anti-intempéries de TECH HIVE agit comme une barrière protectrice, minimisant ces risques et maintenant un environnement stable et sec à l'intérieur de la ruche. Cette protection améliore la résilience des colonies face aux variations climatiques, réduisant les pertes et augmentant la productivité.

5. Surveillance Acoustique Avancée

TECH HIVE intègre également un module sonore avancé qui envoie des signaux sinusoïdaux à une plateforme de surveillance dédiée. Ce dispositif permet de détecter et d'analyser les variations de bruit à l'intérieur de la ruche. Les changements dans les fréquences et les motifs sonores peuvent fournir des indications précieuses sur l'état de la colonie, comme l'activité des abeilles, la présence de la reine, ou même des signes précurseurs d'essaimage. Cette technologie permet aux apiculteurs de suivre de près la santé et le comportement des abeilles, facilitant ainsi une intervention rapide en cas de besoin.

3.3.2 Traceur GPS

Le vol de ruches est un problème croissant, surtout dans les zones isolées. Avec le prix élevé du miel, les ruches deviennent des cibles pour les voleurs. TECH HIVE intègre des traceurs GPS dans les cadres des ruches, alertant les apiculteurs en cas de mouvement suspect. Ces traceurs discrets permettent de protéger les ruches et de minimiser les pertes dues aux vols.

Grâce à ces technologies, TECH HIVE offre une solution innovante et efficace pour la surveillance et la gestion des ruches, aidant les apiculteurs à protéger leurs colonies, à assurer une production de miel de haute qualité, et à intervenir rapidement en cas de problème.

3.4 Schémas Fonctionnelle

Nous avons conçu un système intégré utilisant un microcontrôleur ESP32 pour collecter des données à partir de divers capteurs et contrôler des actionneurs en conséquence. Le système est divisé en trois parties : application, électronique, et commande. La partie application comprend une interface utilisateur pour afficher les données stockées dans une base de données. La partie électronique inclut l'ESP32, qui interagit avec des capteurs (poids, son, pluie, température et humidité, GPS) et des actionneurs (ventilateurs, servomoteurs). La partie commande permet à l'utilisateur d'envoyer des instructions via l'application, que l'ESP32 exécute en fonction des données reçues des capteurs comme il est illustré dans la figure (3.2) .

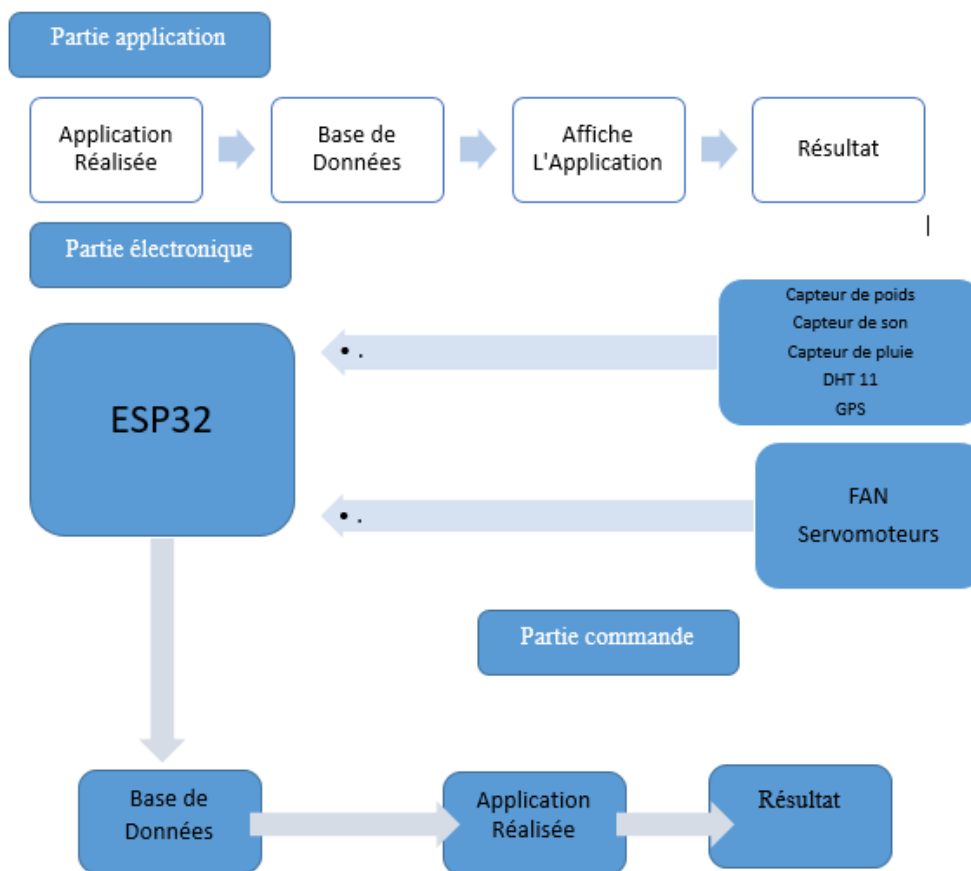


FIGURE 3.2 – Schémas Fonctionnelle

3.5 Matériels

La sélection des matériels est une étape cruciale pour le développement de tout projet électronique. Les composants choisis doivent non seulement répondre aux spécifications techniques du projet mais également être compatibles entre eux pour garantir un fonctionnement optimal. Voici les principaux matériels utilisés dans notre projet :

3.5.1 Micro-contrôleur

1. ESP32

L'ESP32 est un micro-contrôleur 32 bits qui contient des périphériques : Wi-fi, Bluetooth, SPI, I2C, UART, SDIO, CAN, ETH (Ethernet), IR (infrarouge), PWM (modulateur par largeur d'impulsions), température sensor (sonde de température), Touch température (sonde de toucher), DAC, ADC, et un ensemble de ports GPIO multiplexés avec ces périphériques.[25]

Son point fort est qu'il contient ce qu'il faut pour utiliser le Bluetooth standard et la Wi-Fi basband. Il contient les mécanismes cryptographiques pour faire de la Wifi sécurisée, Il utilise un microcontrôleur qui est un dual core. Il intègre une mémoire de type SRAM et ROM en plus d'une mémoire flash ainsi qu'une horloge temps réel, ce qui fait de lui un microcontrôleur assez complet. La compagnie Espressif a aussi fabriqué des mini-modules ESP-wroom-32 qui contient un micro-contrôleur ESP32 mais aussi l'antenne Wifi pour interfacer directement avec le monde extérieur en plus de la puce ESP32. Dans le cadre de notre projet, nous allons utiliser ESP-wroom-32

(a) Caractéristiques de l'ESP-WROOM-32

Le dispositif utilise la norme de 802,11b/g/n permettant un débit allant jusqu'à 150 Mbps, pour le Bluetooth, la norme utilisée est 4.2. Il dispose d'un capteur Hall et un capteur de température. L'alimentation doit être entre 2,7 et 3,6 Volt. Le courant moyen est de 80 mA, et il supporte la pile de protocole TCP/IPv4, v6 avec SSL. Il dispose 520 Kb de RAM dont 8Kb réservée pour le module RTC et 8Ko de mémoire EEPROM pour stocker des données durant le fonctionnement.

Le module ESP32-WROOM contient 4Mo de mémoire flash pour le programme accessible par le code. Il existe différents modèles.

Le module ESP32WROOM est soudé sur la plaquette de développement. On appelle ce que l'on voit sur les côté castellation (Voir la figure 3.4) c'est essentiellement la bordure de la plaquette de PCB du module qui est faite des demi trous plaqués et on soude chacun de ces petites trous par la plaquette principale, on nomme ça des castellations.

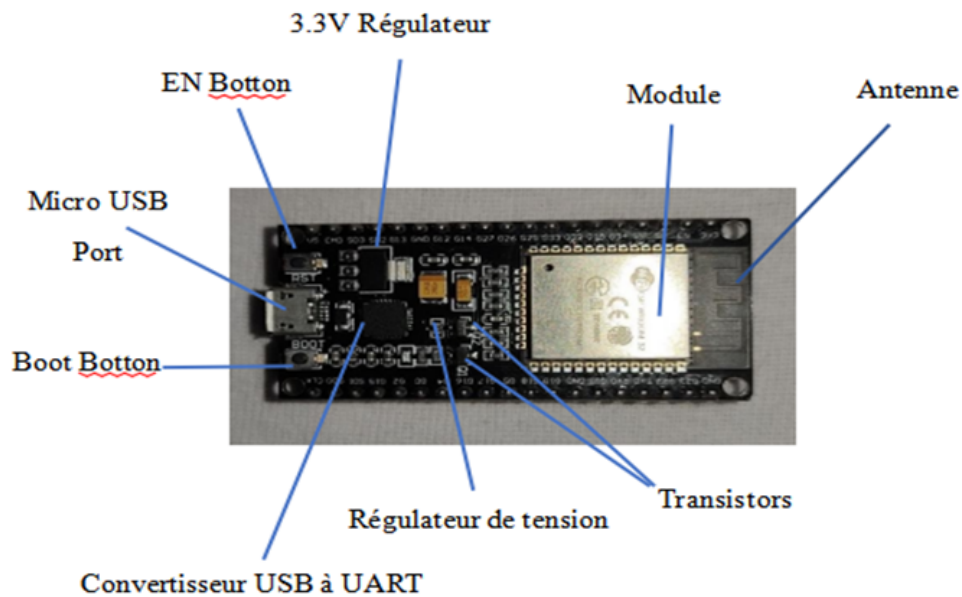


FIGURE 3.3 – Caractéristiques de l’ESP-WROOM-32.

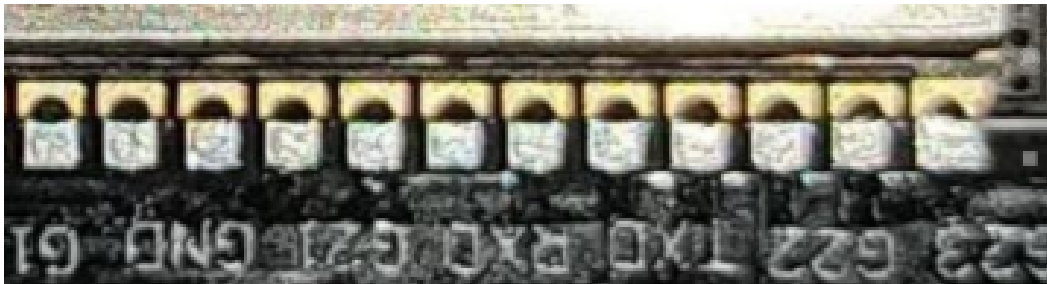


FIGURE 3.4 – castellations.

C’est le module avec son antenne wi-fi. Il n’y a aucun cuivre sur l’endroit de la plaquette (l’autre face de la plaquette) pour ne pas interférer avec l’antenne Wi-fi. Pour communiquer avec l’ordinateur de développement, la carte est équipée d’un convertisseur USB à UART. Un régulateur de tension convertit le 5 volt venant de l’USB en 3,3 allant vers le module. La carte dispose de deux boutons ; EN (enable) permet de réinitialiser le module et boot pour flasher le micro-contrôleur. La plaquette est livrée avec 2 bandelettes de broches soudées sur la plaquette et un micro USB. Pour plus d’informations sur l’ESP32 consultez le site www.doit.am. Il est possible de faire du développement pour l’ESP32 avec l’environnement Arduino IDE, il y a plusieurs sketches (codes) utilisant la Wi-fi et le Bluetooth.

3.5.2 Capteurs

Les capteurs jouent un rôle vital en fournissant les données nécessaires pour que le micro-contrôleur puisse prendre des décisions informées. Ils permettent de mesurer divers paramètres environnementaux ou physiques tels que la température, l’humidité, la pression, la lumière, et bien d’autres. Le choix des

capteurs dépend des besoins spécifiques du projet et des conditions dans lesquelles ils seront utilisés. Une attention particulière doit être portée à la précision, la gamme de mesure, et la robustesse des capteurs pour garantir des performances fiables voici une présentation des différents capteurs utilisés dans notre système :

1. Sensor DHT11

Le module DHT11 fournit une sortie numérique proportionnelle à la température et à l'humidité qu'il mesure. Grâce à la technologie avancée utilisée dans le DHT11, ce capteur offre une grande fiabilité, une excellente stabilité à long terme et un temps de réponse très rapide.[40]

Le capteur DHT11 peut mesurer des températures allant de 0 à +50°C avec une précision de +/- 2°C et des taux d'humidité relative allant de 20 à 80% avec une précision de +/- 5%. Une mesure peut être réalisée toutes les secondes. Le module comporte trois broches comme c'est montré dans la figure(3.5)



FIGURE 3.5 – Sensor DHT 11.

(a) Caractéristiques de DHT11

- Alimentation : 5V
- Consommation : 0.5 mA en nominal / 2.5 mA maximum
- Etendue de mesure température : 0°C à 50°C \pm 2°C
- Etendue de mesure humidité : 20-90%RH \pm 5%RH
- Taille :15 mm x 12 mm x 5,5 mm
- Poids : 3 g

2. Capteur sonore

Ce capteur sonore pédagogique, composé d'un microphone à électret et d'un amplificateur, délivre un signal analogique et un signal numérique en fonction de l'intensité sonore perçue. Le seuil de déclenchement du signal numérique est ajustable grâce à un potentiomètre. Il peut être raccordé à une entrée analogique ou numérique d'une carte compatible Arduino. La sortie analogique A0 est directement connectée à la sortie du microphone via la résistance R3 de 150 ohms et au pin (-) du premier comparateur. La résistance variable VR1 est utilisée pour ajuster l'offset ainsi que le seuil du premier comparateur. En revanche, le deuxième comparateur dispose d'un seuil fixe d'environ $VCC/2$ voir la figure (3.6).[31]

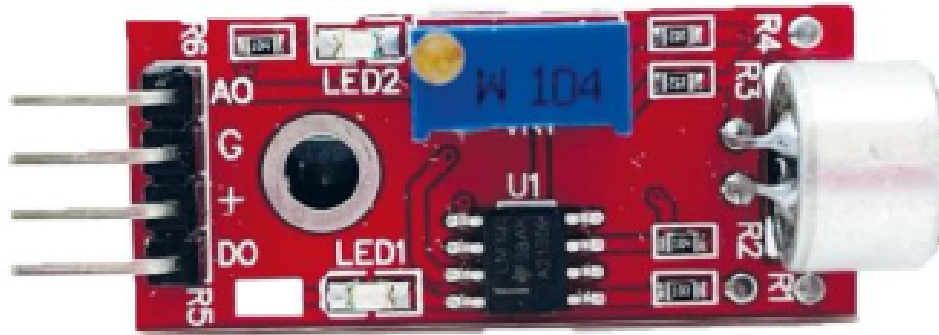


FIGURE 3.6 – Capteur de Son.

(a) **Caractéristiques de Capteur sonore** - Alimentation : 3,3 ou 5 Vcc

- Micro à électret
- Sorties : AO, Gnd, + et DO
- Plage de mesure : 50 Hz à 20 kHz
- T° de service : -40 à 85 °C
- Dimensions : 36 x 15 x 13 mm

3. Capteur de poids

Capteur à jauge de contrainte conçu pour mesurer des forces dans une seule direction, fourni avec un amplificateur intégré basé sur un convertisseur analogique-numérique 24 bits HX711. Disponible en versions de 20 kg ou 50 kg comme illustré dans la figure (3.7), ce capteur de force à cisaillement est capable de peser des objets sans se détériorer. Il contient deux jauges de contrainte et est utilisé dans divers dispositifs, comme une balance interactive à objets. Sensible aux impacts et aux mouvements dynamiques, il réagit lorsqu'un objet tombe et se stabilise ensuite pour fournir une mesure de poids fixe si l'objet reste en place.[39] La figure (3.8) montre que le capteur doit



FIGURE 3.7 – Capteurs de pesage.

être placé entre deux surfaces, lesquelles ne doivent pas entrer en contact avec les zones sensibles du capteur. De plus, ces surfaces ne doivent pas être fixées du même côté.

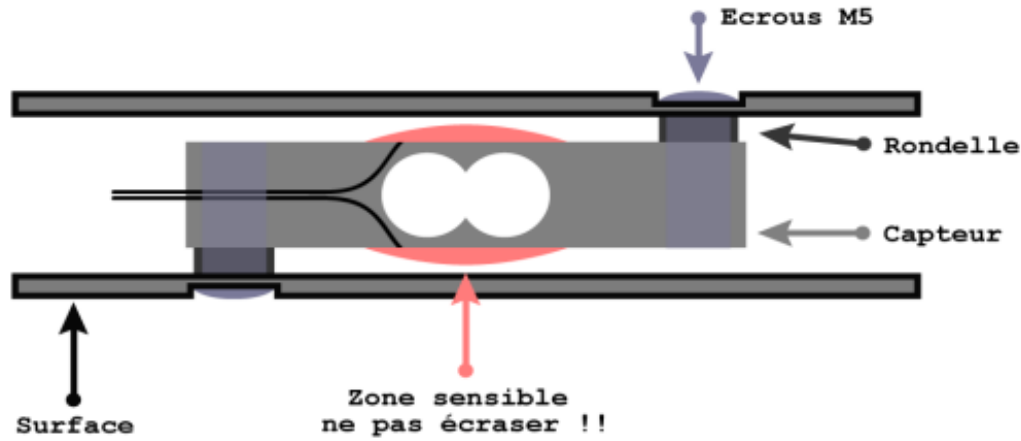


FIGURE 3.8 – Montage de capteur de pesage.

(a) **Caractéristiques de Capteur de poids**

- Matériau : Bloc d'aluminium
- Jauges de contrainte : Équipé de deux jauges de contrainte
- Fixation : Doté de pas de vis pour une fixation facile sur des supports
- Carte électronique intégrée : Comprend des potentiomètres ajustables
- potentiomètre de valeur de repos : Permet de régler la valeur de repos du capteur
- potentiomètre de gain/sensibilité : Ajuste le gain ou la sensibilité du capteur
- Transmission des données : Varie en fonction du poids mesuré
- Valeur de repos : Le capteur se trouve à sa valeur de repos lorsque aucun poids n'est appliqué
- Réponse à la pression : Les données augmentent proportionnellement à l'augmentation de la pression exercée sur le capteur

(b) **HX711**

Le module amplificateur pour capteurs de force à pont de Wheatstone est équipé d'un convertisseur analogique-numérique HX711. Il facilite la lecture des variations de résistance des capteurs de force, permettant ainsi des mesures précises après calibration.[39]

Le HX711 utilise une interface à 2 fils pour être compatible avec différents types de cartes à microcontrôleur ayant des entrées/sorties numériques comme illustré dans la figure(3.9). Son fonctionnement est supporté par une bibliothèque fournie dans sa documentation technique.

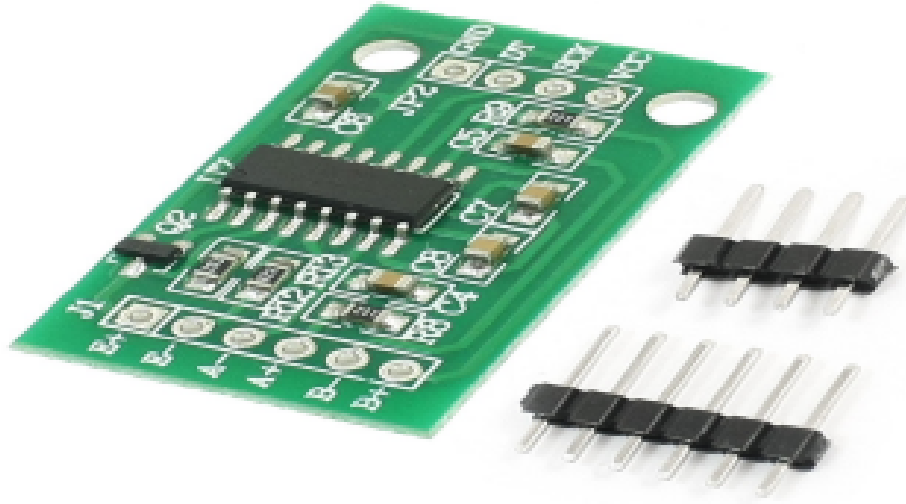


FIGURE 3.9 – Le Module HX711.

- **Caractéristiques de module HX711**

- Alimentation : 2,7 à 5 Vcc
- Consommation : < 1,5 mA
- Fréquence : 10 ou 80 mesures/sec
- T° de service : -40 à +85 °C
- Dimensions : 31 x 23 x 15 mm

4. GPS

Le système de positionnement global (GPS) est une technologie de navigation largement utilisée dans le monde entier. Il permet de déterminer avec précision la position, la vitesse et le temps grâce à un réseau de satellites en orbite autour de la Terre Voir la figure (3.10).[\[29\]](#)

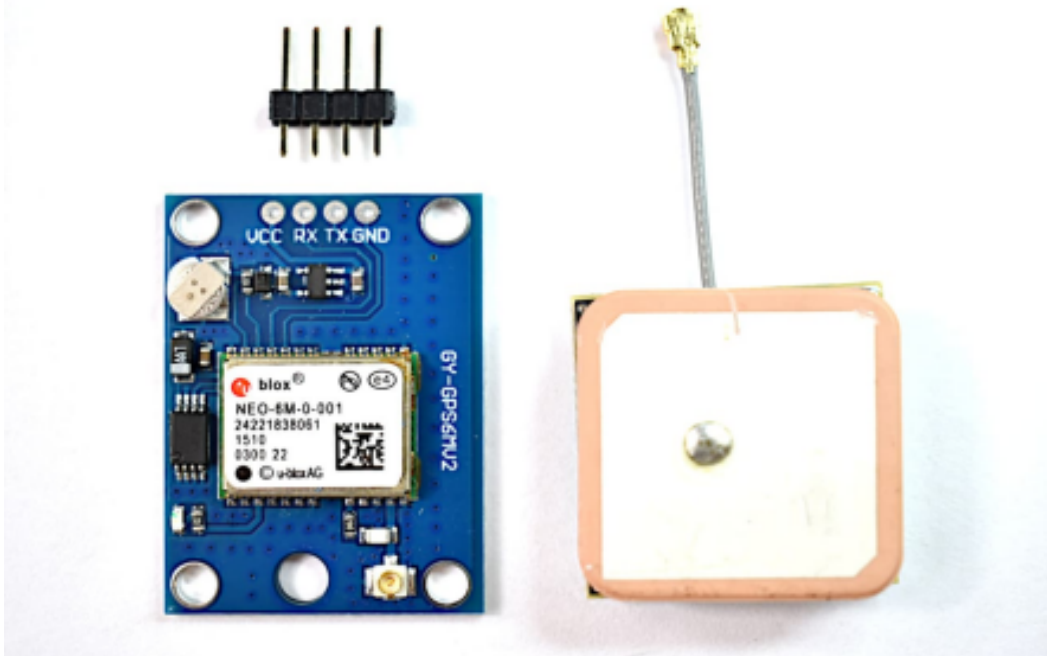


FIGURE 3.10 – GPS NEO-6M-V2.

Le GPS est composé d'une constellation de satellites en orbite autour de la Terre. Ces satellites transmettent des signaux radio contenant des informations de position et d'horloge précises. Les récepteurs GPS, tels que ceux intégrés dans les smartphones et les appareils de navigation, reçoivent ces signaux et calculent leur position en utilisant la méthode de la triangulation comme c'est montré dans la figure(3.11) .

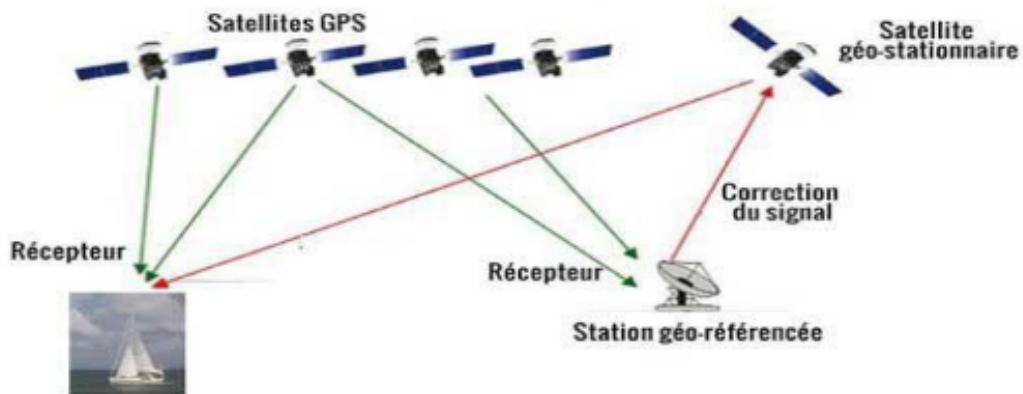


FIGURE 3.11 – Système différentiel pour améliorer la précision de la position.

(a) **Les composants du GPS**

Le système GPS est constitué de trois segments principaux :

- Segment spatial : Il comprend les satellites GPS en orbite, qui transmettent les signaux vers la Terre.
- Segment de contrôle : Il se compose de stations de contrôle au sol qui surveillent les satellites, corrigent leurs orbites et mettent à jour les données de navigation.
- Segment utilisateur : Ce sont les récepteurs GPS utilisés par les consommateurs et les professionnels pour recevoir et interpréter les signaux des satellites.

(b) **Caractéristiques du GPS**

- Précision de localisation : 2,5 mètre
- Taux de mise à jour : 5 Hz
- Alimentation : 3.3V à 5V
- Antenne : Céramique intégrée
- Connectivité : UART

5. **Capteur de pluie**

Le détecteur possède une grande surface sensible qui réagit à la pluie et à la neige, avec une sensibilité et une polarité de commutation ajustables comme illustré dans la figure(3.12). Il est équipé d'un dispositif de chauffage qui empêche la formation de glace ou de condensation et accélère le séchage. À son réglage le plus sensible, le capteur peut également détecter le brouillard.[14]



FIGURE 3.12 – Capteur de pluie.

6. Les caractéristiques du capteur de pluie

- Fiabilité, principe de mesure électrolytique
- Reconnaît les précipitations telles que pluie et neige
- Tension de service 12 V AC/DC
- Grand détecteur chauffé, facilitant un séchage rapide pour une utilisation en hiver.
- Sortie de commutation sans potentiel (relais) 30V/4A
- Sensibilité et comportement/système du commutateur réglables
- Accessoire : Fixation murale/ ou sur poteau

3.5.3 Actionneurs

Les actionneurs sont des dispositifs qui convertissent l'énergie (électrique, pneumatique, hydraulique) en mouvement. Ils sont essentiels pour effectuer des actions physiques dans le système en réponse aux signaux de contrôle du micro-contrôleur. Voici une présentation des différents actionneurs utilisés dans notre système :

1. Servomoteur MG995 180°

Le servomoteur MG995 180° est un moteur à engrenages métalliques apprécié pour ses performances robustes et sa précision de contrôle sur un angle de rotation de 180°. Il offre un couple de décrochage pouvant atteindre 11 kg.cm, ce qui en fait le choix optimal pour les projets nécessitant un fort couple et une précision élevée dans le positionnement du servomoteur voir la figure (3.13).[\[38\]](#)



FIGURE 3.13 – Servomoteur 180°.

(a) **Caractéristiques du Servomoteur**

- Angle de rotation : 0 -180°
- Vitesse de fonctionnement : 0,20 sec/60 degrés (4,8 V sans charge)
- Vitesse de fonctionnement : 0,17 sec/60 degrés (6.0V sans charge)
- Couple de décrochage : 9 kg/cm (4.8V)
- Couple de décrochage : 11k/-cm (6V)
- Tension d'opération : 4.8 - 7.2Volts
- Température de fonctionnement : 0 °C- 55 °C
- Matériel d'engrenage : Métal
- Poids :60,5g
- Dimension :55mm x 19mm x 38mm

2. **Ventilateur (FAN)**

Un ventilateur de 12V est un dispositif électromécanique conçu pour produire un flux d'air en utilisant une tension de 12 volts comme source d'alimentation comme c'est montré dans la figure (3.14).



FIGURE 3.14 – Ventilateur (FAN).

(a) **Caractéristiques du ventilateur**

- Nom du produit : Ventilateur de refroidissement 4010
- Matériau : plastique
- Dimensions : 40x40x10 mm
- Connecteur : 2P (2.0) PH2.0-2P
- Tension nominale : DC : 12 V
- Courant nominal : $0,09 \pm 10 \%$
- Vitesse nominale : $5500 \pm 10 \%$ tr/min
- Débit d'air : 7,9CFM
- Bruit : $26 \pm 10\%$ dBA
- Type de roulement : coulissant
- Durée de vie : 35000 heures

3. **Relais**

Le module à 4 relais 5 Vcc permet de commuter quatre relais de puissance directement depuis une carte Arduino comme c'est illustré dans la figure (3.15). Cette carte est dotée de plusieurs LED qui indiquent l'état de chaque relais. Un relais est un interrupteur commandé qui permet d'isoler la partie commande de la partie puissance. Il est couramment utilisé pour interfacer l'électronique avec l'électricité. En fonction d'un signal de commande de 0 à 5V, il permet d'ouvrir ou de fermer un contacteur sur un circuit de puissance.

Le relais comprend un électroaimant et un contacteur mécanique. Lorsque le courant est suffisant sur les bornes d'entrée, le solénoïde se magnétise, ce qui force le contacteur à fermer le circuit de puissance. Étant donné qu'il n'y a pas de liaison mécanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance (actionnement magnétique), il existe une isolation galvanique entre les deux circuits, assurant ainsi la protection du circuit de commande.



FIGURE 3.15 – Module à 4 relais.

(a) **Caractéristiques du Relais**

- Alimentation à prévoir : 5 Vcc
- Tension de commande : 5 Vcc
- Pouvoir de coupure : 30 Vcc/10 A
- Dimensions : 75 x 55 x 20 mm
- Poids : 61 gr

3.6 Réalisation

1. **Programmation de la carte ESP32** Nous allons décrire la méthode de connexion individuelle des capteurs et des actionneurs à l'ESP32, ainsi que leur intégration ensemble comme illustré dans les schémas à suivre.

(a) DHT11 lié avec ESP32

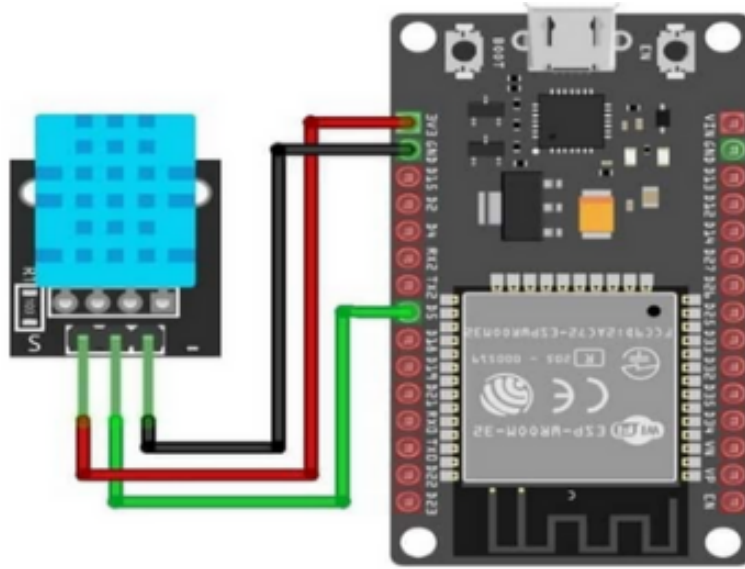


FIGURE 3.16 – Schéma de câblage «DHT11».

Nous avons utilisé la librairie DHT Sensor d'Adafruit pour communiquer efficacement avec le capteur DHT11 comme c'est montré dans la figure (3.17), étant donné que ce dernier utilise un protocole propriétaire. Cette librairie est bien compatible avec l'ESP32 et assure un fonctionnement fiable du capteur.

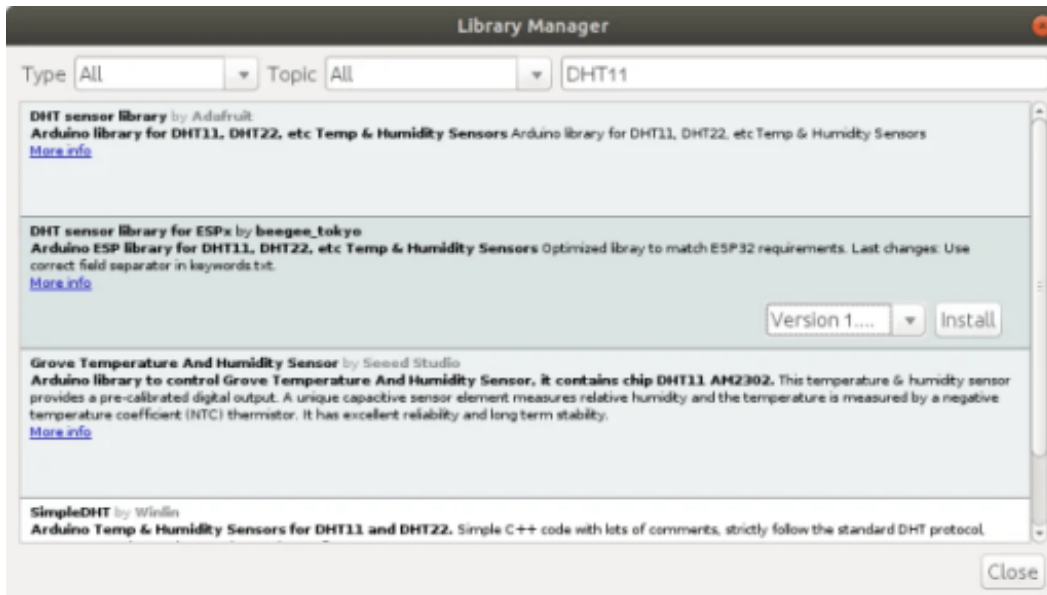


FIGURE 3.17 – La librairie DHT Sensor «DHT11».

(b) DHT11 lié avec ESP32 et FAN

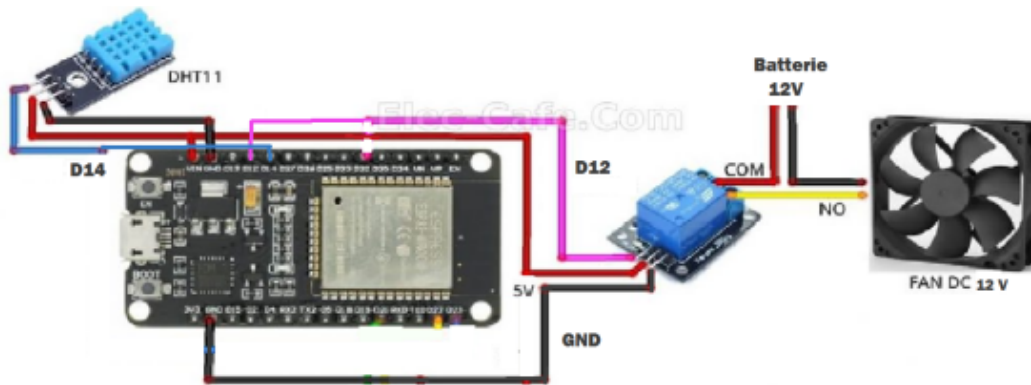


FIGURE 3.18 – Schéma de câblage «DHT11 et FAN».

(c) Capteur de son lié avec ESP32

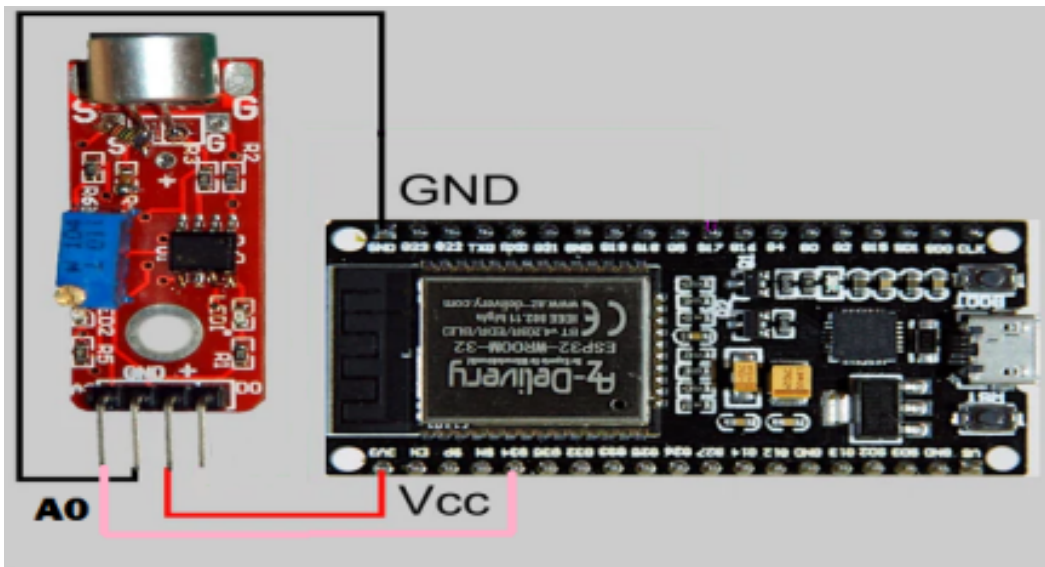


FIGURE 3.19 – Schéma de câblage «Capteur de son».

(d) Capteur de Poids de 10kg lié avec HX711 et ESP32

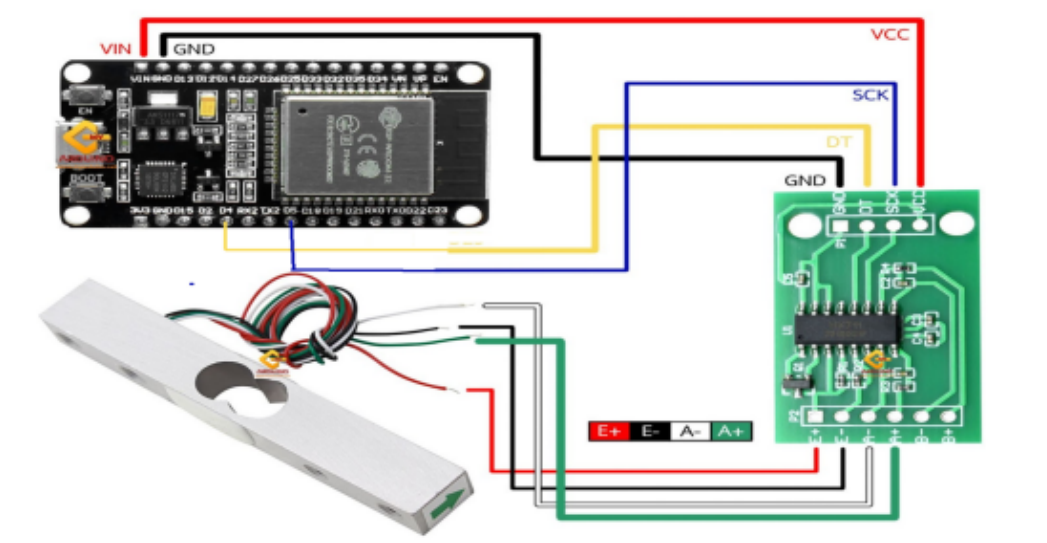


FIGURE 3.20 – Schéma de câblage «Capteur de poids».

(e) GPS lié avec ESP32

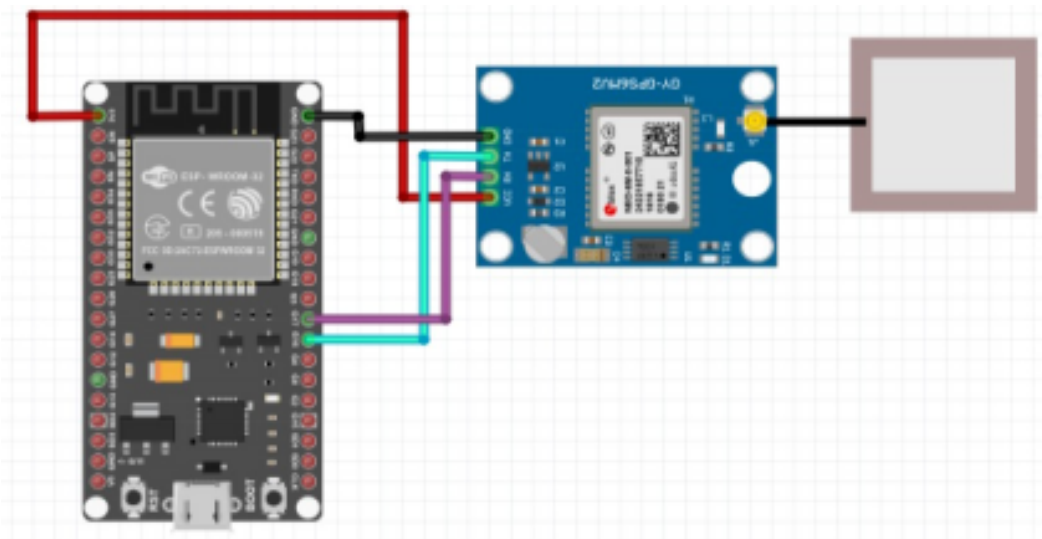


FIGURE 3.21 – Schéma de câblage «GPS».

(f) Capteur de pluie et servomoteurs lié avec ESP32

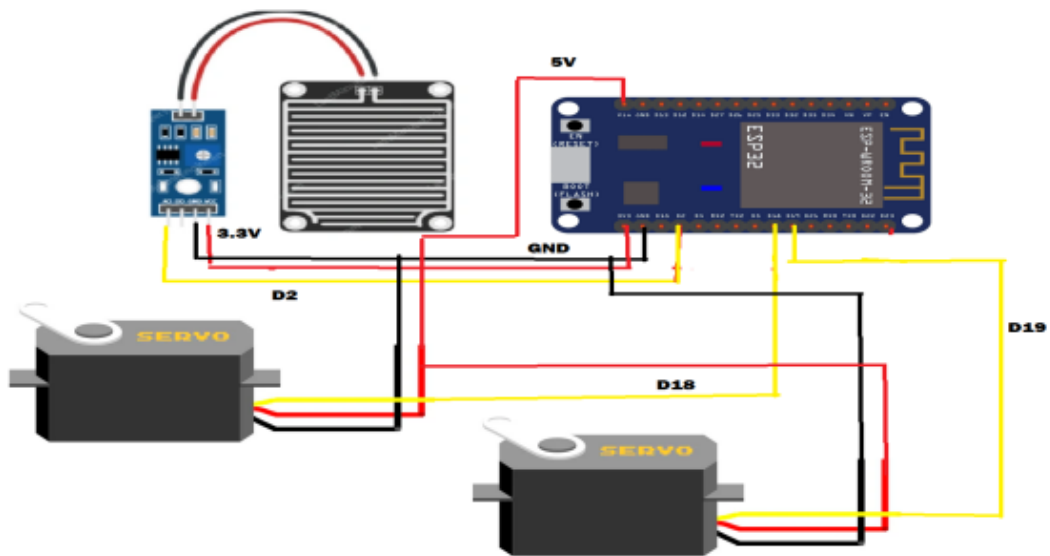


FIGURE 3.22 – Schéma de câblage «Capteur de pluie avec servomoteurs».

En collectant Tous les capteurs , nous obtenons le Câblage général (3.23) :

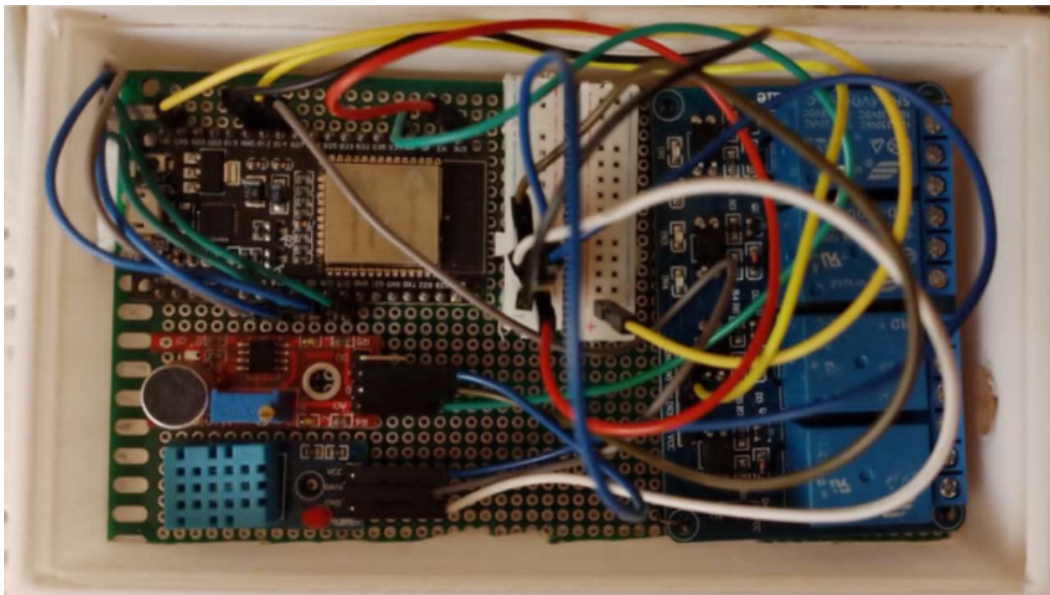


FIGURE 3.23 – Câblage général.

2. Thingspeak

ThingSpeak est une plate-forme d'applications pour le développement de systèmes IoT, permettant de créer des applications basées sur les données collectées par les capteurs. ThingSpeak est une plate-forme de développement d'applications IoT en open data, idéale pour compléter un système d'entreprise existant et exploiter l'Internet des objets. Elle offre l'intégration de vos données avec divers systèmes tiers et plates-formes IoT populaires comme ioBridge et Arduino.

Un canal ThingSpeak permet l'envoi et le stockage des données. Chaque canal comprend huit champs pour tout type de données, trois champs de localisation et un champ de statut. Après avoir créé un canal ThingSpeak, il est possible de publier des données sur ce canal, de traiter ces données, et de les récupérer pour l'application.

La plate-forme ThingSpeak offre les fonctionnalités suivantes pour supporter les systèmes IoT :

- Collecter : Envoie les données des capteurs et des appareils vers le cloud pour une analyse détaillée.
- Analyser : Analyse les données reçues des capteurs ou des appareils et génère une représentation virtuelle des données.
- Agir : En fonction de l'analyse, déclenche des actions pour permettre le fonctionnement du système IoT et de l'application.

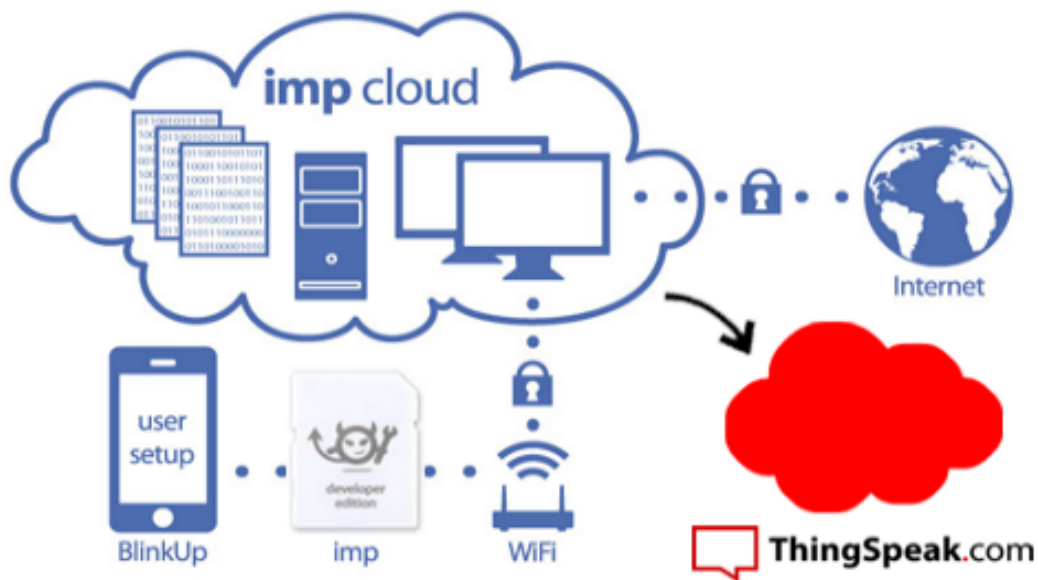


FIGURE 3.24 – Electric Imp et ThingSpeak IoT.

La figure (3.24) illustre l'intégration de ThingSpeak IoT avec la plate-forme Electric Imp. Electric Imp est une plate-forme qui offre la connectivité Wi-Fi des appareils aux services cloud, facilitant l'accès aux modules Electric Imp. Une fois la connectivité établie via le cloud Electric Imp, les services de données de ThingSpeak sont utilisés pour créer une expérience IoT complète[35].

(a) **Transfert des données au site ThingSpeak**

Le transfert des données entre la carte Arduino et l'ordinateur se fait via le site ThingSpeak, une plateforme web dédiée à l'internet des objets. ThingSpeak est un logiciel open-source doté d'une interface de programmation (API) permettant de connecter un logiciel à des services pour collecter, stocker et analyser des données[32].

Pour recueillir des informations météorologiques à partir de la carte Arduino et les envoyer à distance, le module Wi-Fi ESP32 est utilisé pour transmettre ces données à ThingSpeak. La configuration du module Wi-Fi nécessite les étapes suivantes :

- Configurer le module Wi-Fi ESP32 en mode client.
- Attribuer un nom et un mot de passe pour l'accès à Internet.
- Configurer le canal d'état ThingSpeak en introduisant son adresse IP dans le programme.
- Insérer la clé d'écriture dans le programme.

(b) **Transmission à distance des données**

Le fonctionnement du système de mesure repose sur un programme développé et exécuté par le microcontrôleur de l'Arduino, lequel effectue des mesures toutes les 30 secondes. Ensuite, les données collectées sont envoyées via Wi-Fi au site ThingSpeak, où elles sont enregistrées et affichées sous forme de graphiques. La figure (3.25) illustre l'organigramme de la transmission des données de la carte Arduino vers l'ordinateur[32].

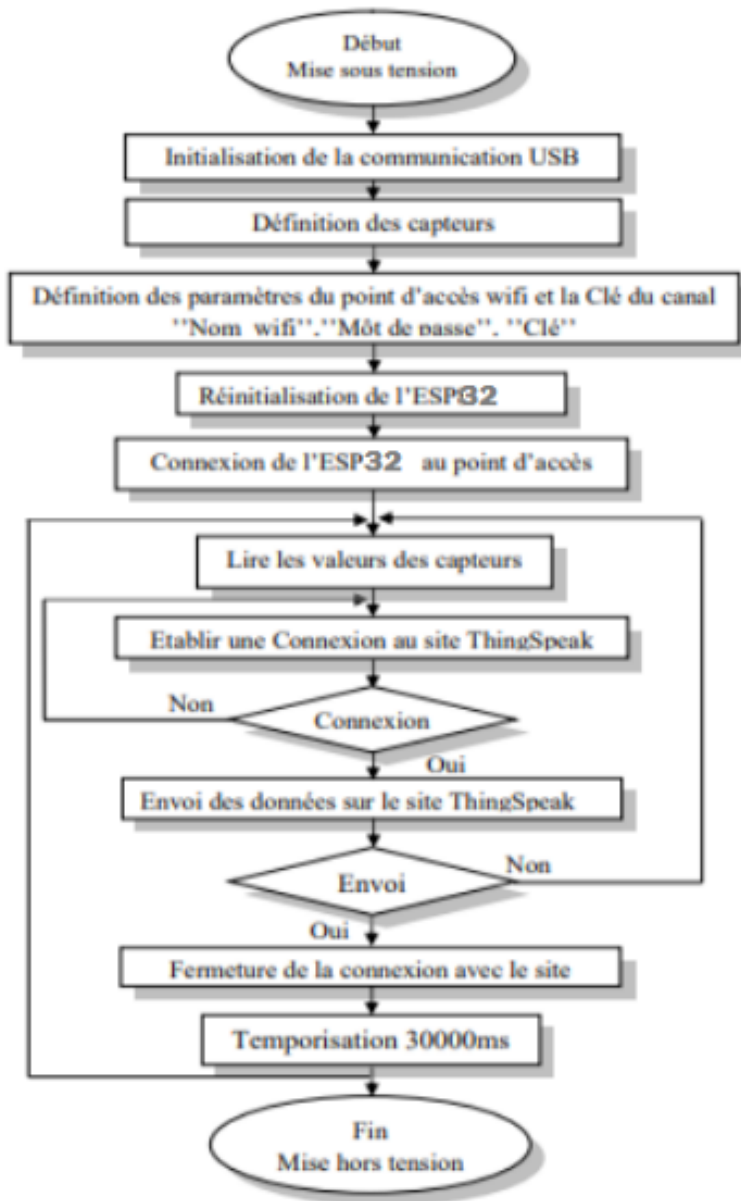


FIGURE 3.25 – Organigramme de transmission des données[32].

(c) Canal ThingSpeak et clé d'écriture

Pour configurer la partie cloud, nous commençons par créer un canal sur le serveur ThingSpeak et récupérons la clé d'écriture (Write API Key) nécessaire pour le programme à téléverser sur la carte NodeMCU. Voici les étapes que nous avons suivies :

- Nous avons accédé au site [ThingSpeak](https://thingspeak.com/) et nous avons créé un compte . Ensuite, nous nous sommes connectés à notre compte.
- Nous avons créé une nouvelle chaîne nommée «TECH HIVE» comme c'est montré dans la figure (3.26) en cliquant sur le bouton "Channels", puis sur "My Channels", et enfin sur "New Channel".
- Nous avons rempli le formulaire avec les détails de base de notre canal de transmission. Chaque canal créé possède une clé d'écriture et une clé de lecteur, assurant que les données du cloud sont accessibles uniquement aux personnes autorisées.
- Nous avons fait défiler vers le bas et avons enregistré les paramètres de notre canal en cliquant sur "Save Channel" comme c'est montré dans la figure (3.26) .

The image shows the 'New Channel' form in the ThingSpeak web interface. The form is set against a dark background with a blue header. The header includes the ThingSpeak logo and navigation menus for Channels, Apps, Devices, and Support. The main heading is 'New Channel'. The form contains several input fields and checkboxes. The 'Name' field is filled with 'TECH HIVE'. The 'Description' field is empty. There are four 'Field' sections, each with a label input and a checkbox. 'Field 1' has the label 'Field Label 1' and its checkbox is checked. 'Fields 2, 3, and 4' have empty labels and their checkboxes are unchecked. Below these are 'Elevation', 'Show Channel Location', 'Latitude', and 'Longitude' fields, all with '0.0' entered. The 'Show Video' section has an unchecked checkbox and two radio buttons for 'YouTube' (selected) and 'Vimeo'. The 'Video URL' field contains 'http://'. The 'Show Status' checkbox is unchecked. A prominent green 'Save Channel' button is located at the bottom of the form.

FIGURE 3.26 – Canal ThingSpeak.

- Nous avons récupéré la clé "Write API Key" dans l'onglet "API Keys" comme c'est illustré dans la figure (3.27).

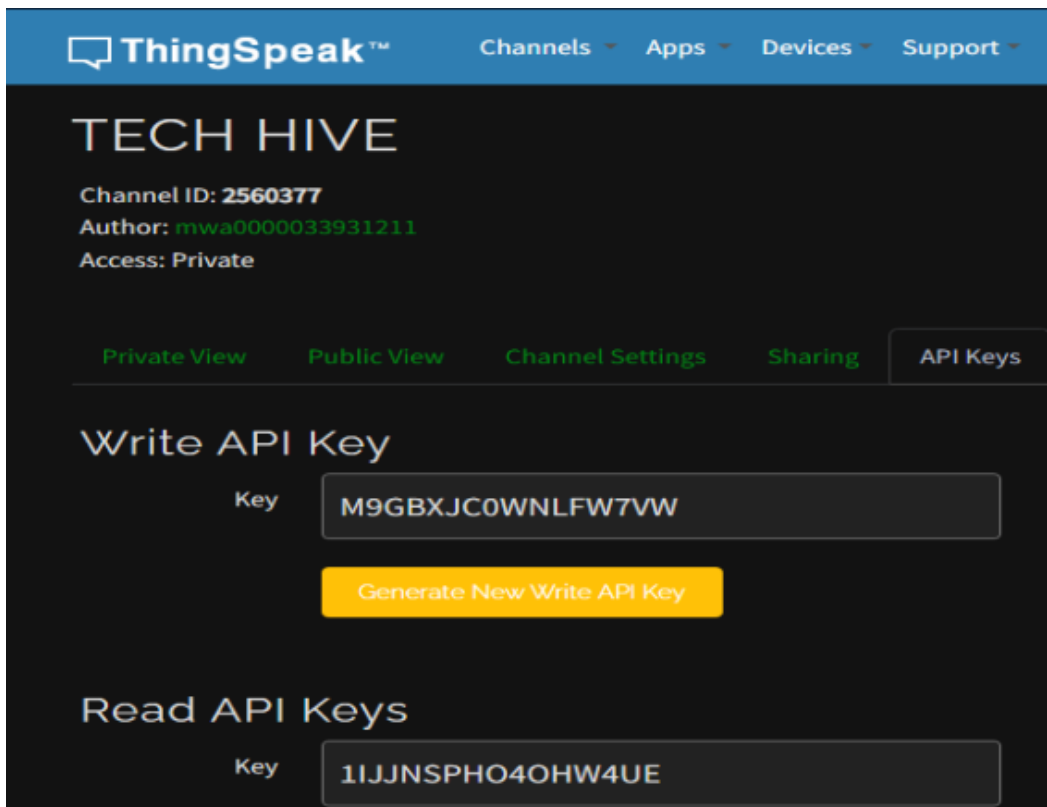


FIGURE 3.27 – API Keys.

(d) **Visualisation des mesures**

Une fois le canal créé sur la plateforme ThingSpeak et la carte programmée, le cloud offre la possibilité de visualiser facilement les mesures captées et envoyées par tout objet connecté en utilisant la clé de lecture appropriée. En utilisant cette clé, il suffit de se connecter au site ThingSpeak via un ordinateur, comme illustré à la figure (??), ou via un téléphone mobile, comme illustré à la figure (3.29), pour accéder aux données transmises telles que les changements climatiques et les coordonnées GPS spécifiques au domicile concerné.



FIGURE 3.28 – Visualisation des mesures via un ordinateur.



FIGURE 3.29 – Visualisation des mesures via un téléphone mobile.
80

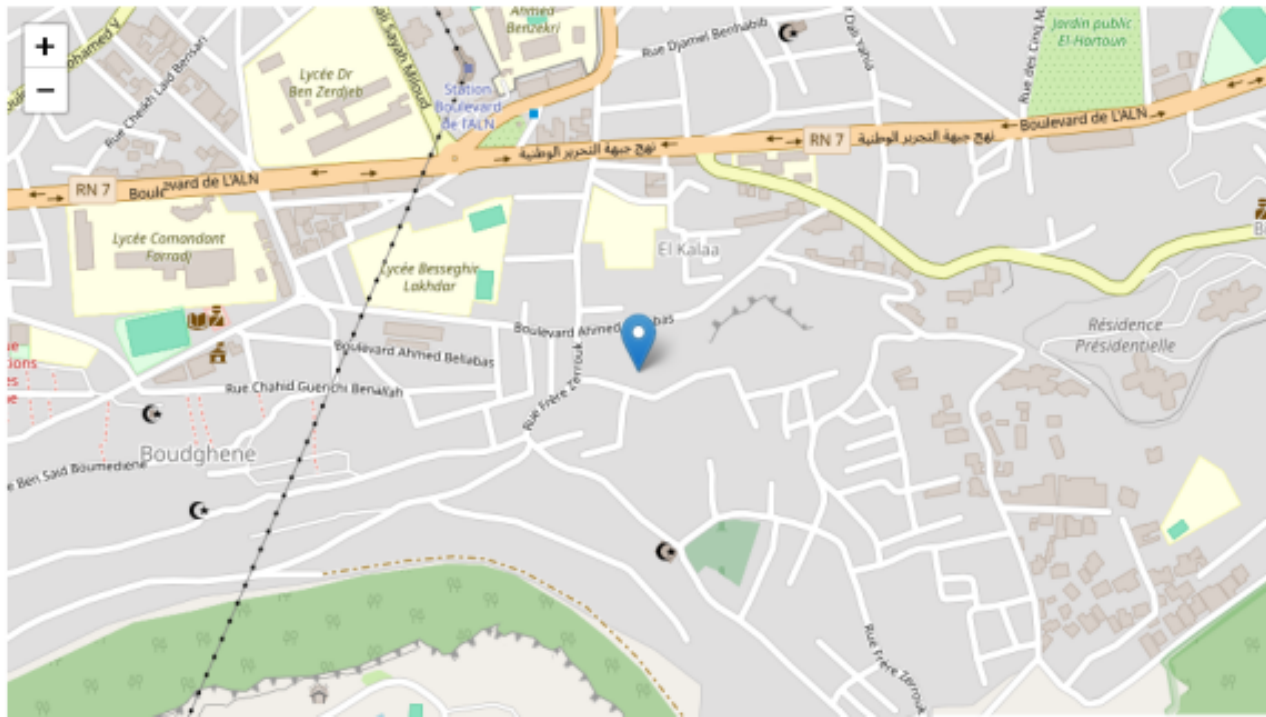


FIGURE 3.30 – Visualisation de la localisation sur la carte.

Conclusion

Les apiculteurs modernes sont confrontés à des défis critiques tels que les parasites, les changements climatiques et la réduction des ressources florales. Ces problématiques nécessitent une gestion plus rigoureuse et proactive des ruches, une tâche devenue de plus en plus complexe dans le contexte actuel.

Pour répondre à ces défis, nous avons présenté notre solution innovante, TECH HIVE, qui permet une surveillance en temps réel des ruches à distance. Cette solution repose sur l'utilisation de capteurs sophistiqués qui mesurent des paramètres clés tels que la température, l'humidité, le poids, l'activité des abeilles, ainsi que la détection de pluie et la localisation GPS. Le matériel inclut des capteurs de haute précision, des modules de communication sans fil pour la transmission des données, et un système de câblage conçu pour une installation fiable et durable dans les ruches.

Les données collectées par ces capteurs sont transmises à la plateforme ThingSpeak, où elles sont stockées, visualisées et analysées. Cette plateforme permet aux apiculteurs de surveiller les conditions de leurs ruches en temps réel, de détecter rapidement les anomalies et de prendre des mesures correctives immédiates. L'analyse des données via ThingSpeak offre également des insights précieux pour optimiser la gestion des ruches et maximiser leur productivité.

En intégrant cette technologie avancée, TECH HIVE apporte une solution pratique et efficace pour améliorer la survie et la santé des colonies d'abeilles.

Conclusion Générale

Cette étude approfondie sur l'apiculture et l'Internet des Objets (IoT) met en lumière les défis actuels auxquels sont confrontés les apiculteurs et explore les technologies innovantes prometteuses pour soutenir cette pratique essentielle. Les abeilles, en tant que pollinisateurs clés, jouent un rôle fondamental dans la préservation de la biodiversité et la sécurité alimentaire mondiale. Cependant, elles font face à des menaces croissantes telles que les maladies, les parasites, les pesticides et les impacts du changement climatique.

Dans le premier chapitre, nous avons exploré en profondeur la biologie des abeilles ainsi que l'histoire riche de l'apiculture, mettant en évidence leur importance écologique et économique. Le deuxième chapitre a examiné comment l'IoT transforme la gestion des ruches à travers des dispositifs connectés, offrant une surveillance en temps réel pour améliorer la santé des colonies et optimiser la production de miel. Enfin, le troisième chapitre a présenté TECH HIVE, une solution innovante intégrant des capteurs avancés et une plateforme de données pour une gestion proactive et efficace des ruches.

Pour perspectives, il est impératif de continuer à développer ces technologies tout en renforçant les initiatives de conservation des abeilles et en soutenant la recherche scientifique. En fusionnant les connaissances traditionnelles avec les innovations technologiques, nous pouvons garantir un avenir durable pour l'apiculture et renforcer la résilience des écosystèmes agricoles face aux défis globaux. Nous développons actuellement notre propre application avec Node-RED, InfluxDB et Grafana, qui affichera toutes les données, enverra des alertes et permettra d'effectuer des actions à distance. Nous prévoyons également d'intégrer un module GSM pour améliorer la connectivité et la réactivité de notre système. Ensemble, ces efforts visent à préserver la vitalité des abeilles et à promouvoir une coexistence harmonieuse entre l'humanité et la nature.

En conclusion, l'intégration de la tradition apicole avec les avancées technologiques de l'IoT représente non seulement une opportunité pour améliorer la productivité et la durabilité de l'apiculture, mais aussi un engagement ferme envers la conservation environnementale à l'échelle mondiale.

Bibliographie

- [1] <http://www.vivelesabeilles.be>. Consulté le : 20 MARS 2024, à 12 :00.
- [2] <https://apinico.com/blogs/lapiculture-au-quebec/les-bases-de-la-base>. Consulté le : 30 mars 2024, à 20 :00.
- [3] <https://bee2beep.com>. Consulté le : 14 mai 2024, à 00 :00.
- [4] <https://www.honeyflow.com>. Consulté le : 14 mai 2024, à 00 :30.
- [5] <https://fr.smartbeekeeper.com>. Consulté le : 14 mai 2024, à 01 :30.
- [6] <https://www.apiago.fr/>. Consulté le : 14 mai 2024, à 02 :30.
- [7] <https://label-abeille.org/>. Consulté le : 14 mai 2024, à 11 :30.
- [8] <https://asapistra.fr/?q=node/1360>. Consulté le : 03 Juin 2024, à 12 :00.
- [9] <http://abeilleduforez.tetraconcept.com/dossiers-techniques/pratique-apicole-a-la-miellerie/lhumidite-du-miel-des-techniques-a-maitriser>. Consulté le : 14 mai 2024, à 00 :00.
- [10] <https://www.aps.dz/ar/economie/82238-2020-01-11-12-27-5>. Consulté le : 2024-06-02, à 15 :15.
- [11] <https://www.openstudio.fr/2022/02/03/internetdes-objets-comment-la-revolution-de-linternet-des-objets-a>. Consulté le : 15 Avril 2024, à 03 :15.
- [12] Ghouthi ABDELLAOUI, Hicham MEGNAFI, and Fethi Tarik BENDIMERAD. A novel model using reo for iot self-configuration systems. In *2020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*, pages 1–5. IEEE, 2020.
- [13] Mouloud Amrouche. *La 5G pour l'Internet des Objets (IoT) : une révolution pour une nouvelle ère. Défis et challenges*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2020.
- [14] Sabrina Yamna BECHERIF. Réalisation d'une station météorologique dans plateforme arduino avec nodemcu 8266 wi-fi. 2021.
- [15] Rayane BENCHOULA and Nour Elhouda HANACHI. *Etude comparative de protocoles de communication dans l'IOT*. PhD thesis, UNIVERSITY OF KASDI MERBAH OUARGLA.

- [16] Yousra BOUCHEFER and Lilia ROUIZI. Etude et conception d'un système de ruche connectée, 2021.
- [17] Mustapha Anwar Brahami, Sidi Mohammed Abdi, Sarah Hamdi Cherif, and Asmae Bendahmane. Optimization of a pipelines leak detection method based on inverse transient analysis using a genetic algorithm. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(2) :1451–1460, 2023.
- [18] Mustapha Anwar Brahami, Mohammed Dahane, Mehdi Souier, and M'hammed Sahnoun. Sustainable capacitated facility location/network design problem : a non-dominated sorting genetic algorithm based multiobjective approach. *Annals of Operations Research*, 311(2) :821–852, 2022.
- [19] Mustapha Anwar Brahami and Hicham Megnafi. Polycopie tp réseaux et protocoles. 2022.
- [20] Mme Yahiaoui Chafiaa, Mr MEDJIAH Samir, Tarek DJAHEL, and Smail LOUNES. Contribution à la conception et l'implémentation d'un intergiciel générique pour l'iot avec une qos garantie.
- [21] Inès Chouk and Zied Mani 1. Les objets connectés peuvent-ils susciter une résistance de la part des consommateurs? une étude netnographique. *Décision Marketing*, (4) :19–41, 2016.
- [22] Eva Crane. *The world history of beekeeping and honey hunting*. Routledge, 1999.
- [23] Lamine DJEBRI and Mourad LAMRAOUI. Mémoire de fin d'étude, <année>. Éventuellement d'autres détails comme le type de document, le numéro de rapport, etc.
- [24] Dave Evans. L'internet des objets. *The Internet of Things. The Cisco White, April*, 2011.
- [25] SOY Hakki. Esp8266 and esp32 series of soc microcontrollers. *Programmable Smart Microcontroller Cards*, 110, 2021.
- [26] Institut Technique Des élevages (ITELV). Suivi des apiculteurs dans le processus d'amélioration du potential génétique des abeilles locales, 2016.
- [27] Zoheir Karaouzene, Hicham Megnafi, Lotfi Merad, and Sidi Mohammed Meriah. Artificial intelligence in 5g planning : Optimization of enodeb planning based on 4g kpis. In *2023 IEEE International Workshop on Mechatronic Systems Supervision (IW_MSS)*, pages 1–5. IEEE, 2023.
- [28] Mr Moussi Karim. Détecteur de gaz toxique en utilisant l'iot, 2020. Mémoire de fin d'étude.
- [29] Prateek Khatri and Manas Yadav. Cloud based data acquisition using embedded devices (iot).
- [30] Alexandra-Maria Klein, Bernard E Vaissière, James H Cane, Ingolf Steffan-Dewenter, Saul A Cunningham, Claire Kremen, and Teja Tscharntke. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B : biological sciences*, 274(1608) :303–313, 2007.
- [31] Alejandro Lezcano Sirre. Iot environmental monitoring system using arduino and node mcu esp8266. B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2024.

- [32] Kara Lydia and GUELLAL Sofiane. *Conception et réalisation d'un système de mesure et transmission de paramètres météorologiques*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [33] Hicham Megnafi, Khayra Haddouche, and Zoheir Karaouzene. Creation of an application under mapbasic for the drive test reports automation in cellular networks. In *2022 7th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- [34] Hicham Megnafi, Zoheir Karaouzene, Lotfi Merad, Imen Souhila Bousmaha, Djamel Bennacer, Adel Roztane, and Weam Ali Merina. Internet of things technology for efficient fire hydrant management. In *2023 IEEE International Workshop on Mechatronic Systems Supervision (IW_MSS)*, pages 1–6. IEEE, 2023.
- [35] Bhumi Nakhuva and Tushar Champaneria. Study of various internet of things platforms. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, 6(6) :61–74, 2015.
- [36] Bernard Nkengfac. Compte rendu de peter d. paterson : «l'apiculture». *Revue des questions scientifiques*, 179(3) :351–352, 2008.
- [37] Khadidja Safraoui. Conception et dimensionnement d'une chaine de production du miel, 29 2022. Mémoire.
- [38] Luiz Manoel Santos Santana, Marcos ROA Maximo, and Luiz Carlos Sandoval Góes. Cob-2021-0636 physical modeling and parameters identification of the mg995 servomotor.
- [39] Dahmouh Sonia and Bouabbache Assia. *Conception et réalisation d'un système robotisé d'un lit de malade*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [40] Emre Ünsal, Mehmet Milli, and Yalçın Çebi. Low cost wireless sensor networks for environment monitoring. *TOJSAT*, 6(2) :61–67, 2016.

Annexe A

Première annexe

A.1 Prototype

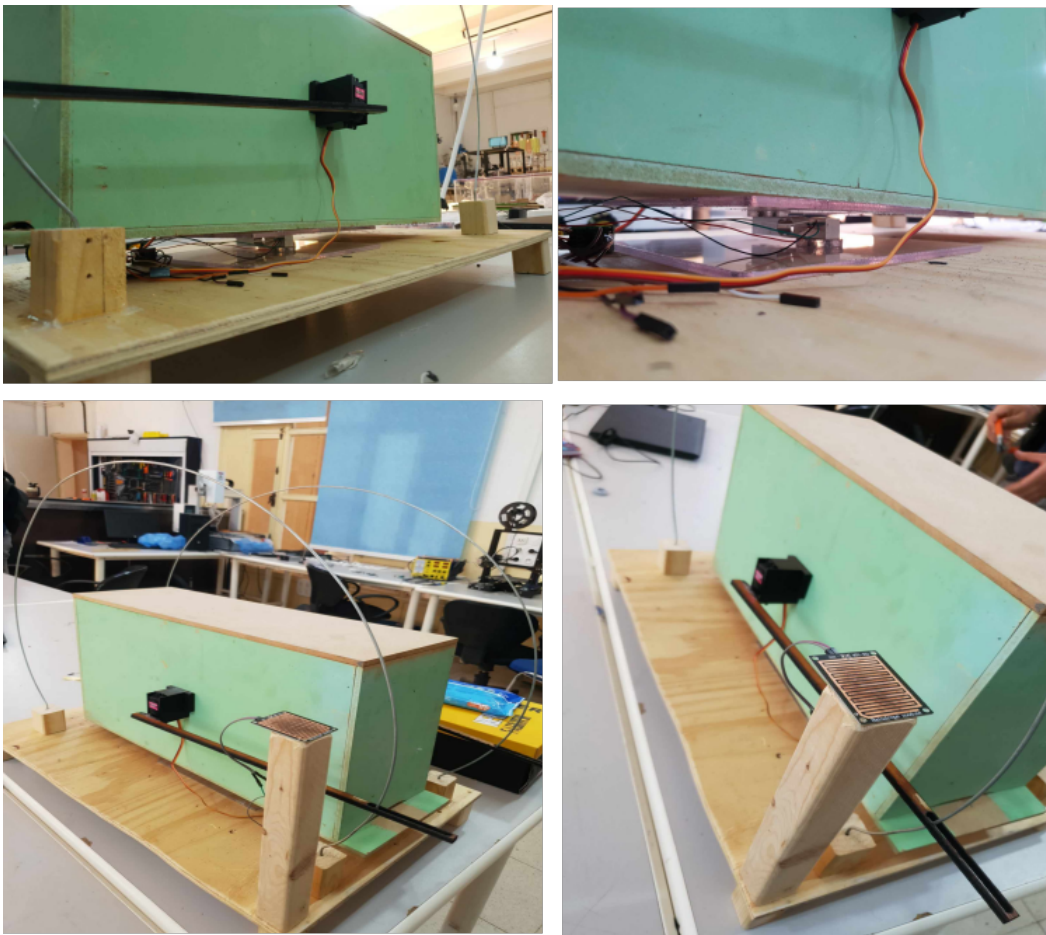


FIGURE A.1 – Prototype

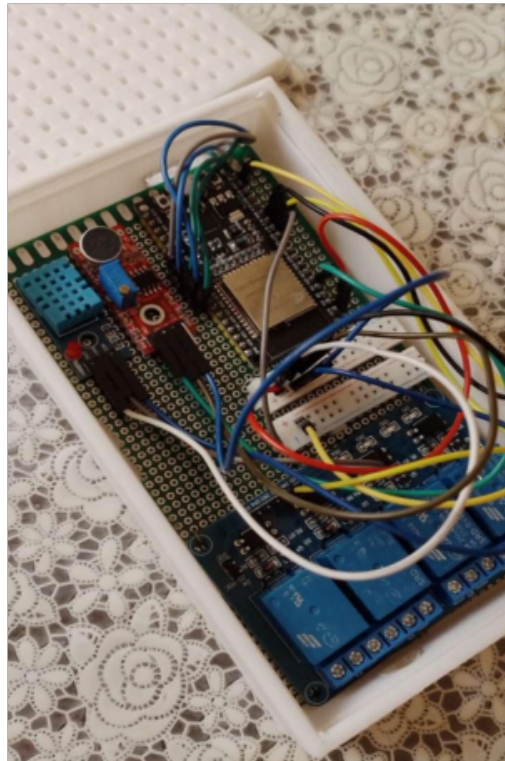


FIGURE A.2 – Dispositif et Ventilateur

Business Model Canva

Fiche technique

Nome et prenome	BERKANI chaima hibat allah KACEM hadjer fatima zahra
Spécialité	Génie industrielle option : Management industriel et logistique
Titre du Project	Ruche connectée intelligente
Numéro téléphone	06 68 60 63 98 05 54 55 25 62
Emails	Berhiba5@gmail.com Kacemfzk@gmail.com
Ville d'activité	Tlemcen

Problématique

Le métier d'apiculteur est étroitement lié aux conditions climatiques, exposant les colonies d'abeilles à des risques comme la diminution des ressources florales et les fluctuations de température, qui compromettent la production de miel et la santé des colonies. Les variations météorologiques extrêmes favorisent également la propagation de maladies et de parasites. En réponse à ces défis, les apiculteurs doivent surveiller les prévisions météorologiques, ajuster leurs pratiques pour protéger leurs ruches et minimiser les pertes. De plus, la gestion des déplacements fréquents pour surveiller les ruches dans des zones isolées et la prévention du vol de ruches constituent des défis supplémentaires, impactant la sécurité et la rentabilité des exploitations apicoles.

Ce résumé capture les principaux enjeux rencontrés par les apiculteurs, notamment la vulnérabilité des abeilles aux conditions climatiques, la gestion des maladies, ainsi que les défis logistiques et sécuritaires liés à leur activité.

1- Value proposition :



Une ruche intelligente connectée est une innovation technologique visant à améliorer la gestion des ruches et la santé des abeilles grâce à des capteurs et à des outils de surveillance avancés. Voici une explication détaillée des différentes caractéristiques et avantages de cette solution :

1. Surveillance en temps réel des paramètres

Paramètres surveillés :

- **Température** : Les capteurs de température mesurent la chaleur interne de la ruche, essentielle pour maintenir des conditions optimales pour les abeilles. Une température trop élevée ou trop basse peut indiquer un problème potentiel.
- **Humidité** : Le taux d'humidité est crucial pour le bien-être des abeilles et la conservation du miel. Une humidité inadéquate peut entraîner des maladies ou la dégradation du miel.
- **Poids** : Le poids de la ruche permet de surveiller la quantité de miel et de pollen stockés, ainsi que la population d'abeilles. Des fluctuations anormales peuvent signaler un problème, comme un vol de miel ou une perte de population.
- **Localisation en temps réel** : Un dispositif GPS intégré dans la ruche permet de connaître sa position exacte en temps réel. Cela est particulièrement utile pour les apiculteurs qui possèdent des ruches dispersées sur une vaste zone.
- **Son** : Les capteurs de son analysent les bruits produits à l'intérieur de la ruche. Des variations ou des anomalies sonores peuvent indiquer des perturbations ou des problèmes de santé chez les abeilles, permettant une intervention rapide.
- **Surveillance des maladies** : Une caméra et un algorithme d'apprentissage profond peuvent identifier des signes de maladies courantes chez les abeilles, comme le varroa ou la loque américaine, permettant une intervention rapide.
- **Comportement anormal** : L'analyse des données recueillies peut révéler des changements de comportement indicatifs de stress ou de problèmes environnementaux.
- **Interventions rapides** : En détectant les problèmes de santé à un stade précoce, les apiculteurs peuvent intervenir avant que la situation ne se détériore, réduisant ainsi le risque de pertes importantes de colonies.
- **Diminution des déplacements inutiles des apiculteurs** : Grâce à la surveillance en temps réel et aux alertes automatiques fournies par les capteurs de température, d'humidité, de poids et de son, les apiculteurs peuvent éviter les déplacements inutiles. Ils peuvent se rendre sur place uniquement lorsque les données indiquent un problème nécessitant une intervention, réduisant ainsi leurs déplacements jusqu'à 80%.

Une ruche intelligente connectée offre une multitude d'avantages pour les apiculteurs, notamment une surveillance précise et en temps réel des conditions internes de la ruche, une détection précoce des problèmes de santé des abeilles, et une réduction significative des déplacements nécessaires. Ces avantages contribuent non seulement à améliorer l'efficacité de la gestion des ruches mais aussi à maintenir la santé et la productivité des colonies d'abeilles.

2. Customer segments:

B2b:

Coopératives agricoles (46 Coopératives)[25]
associations apicoles (39 associations) [25]

B2c:

En Algérie Il y'a 52 000 apiculteurs [10], Parmi ceux-ci il y a :

- Apiculteurs Professionnels: Cherchant à maximiser la production de miel et réduire les pertes.
- Apiculteurs Amateurs: Intéressés par des solutions pratiques et faciles à utiliser.

Agriculteurs Bio: Soucieux de la pollinisation naturelle et de la santé des abeilles.

3. Customer relationships:

- Une assistance technique disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, permettant aux apiculteurs de recevoir des réponses rapides et efficaces à toutes leurs questions techniques et problèmes éventuels.
- Service après-vente assure un suivi continu après l'achat, aidant les clients à installer correctement et à utiliser de manière optimale les kits.
- L'engagement communautaire à travers des forums, des réseaux sociaux et des événements apicoles, où les utilisateurs peuvent échanger des expériences et des conseils.
- Récompenser la fidélité des clients par des offres spéciales et des programmes de récompense

4. Channels :

1. Vente en ligne:

- Site Web Officiel: Créez un site web attrayant et informatif où les clients peuvent acheter des smart ruches et accéder à des informations sur les produits don't le but de faciliter les achats en ligne et fournir une ressource centralisée pour les informations sur notre produits.
- Marketplace: Vendez vos produits sur des plateformes populaires comme Amazon, eBay ou Etsy pour accroître la visibilité et atteindre un public plus large.

2. Vente directe aux entreprises apicoles

- Démarche Commerciale Directe : Approchez directement les entreprises apicoles et les exploitations agricoles pour leur proposer notre kits pour établir des partenariats durables et vendre en gros.
- Partenariats Institutionnels : Collaborez avec des institutions agricoles, des centres de recherche et des universités pour intégrer vos produits dans leurs programmes pour la validation scientifique et promotion par des institutions crédibles.

3. Magasins spécialisés en apiculture

Vente en Magasin : Distribuez vos smart ruches dans des magasins spécialisés en apiculture et jardineries dont le but d'offrir un point de vente physique où les clients peuvent voir et toucher les produits avant de les acheter.

4. Partenariats avec des associations apicoles

- Événements et Conférences : Participez à des événements, conférences et foires dédiées à l'apiculture pour présenter nos produits directement aux apiculteurs et aux passionnés.

5. Publicité et Marketing en Ligne

- Marketing des Réseaux Sociaux : Utilisez des plateformes comme Facebook, Instagram, Twitter et LinkedIn pour promouvoir vos smart ruches pour augmenter la notoriété de la marque et interagir avec la communauté apicole.

Campagnes de Courriel : Envoyez des newsletters et des offres spéciales aux abonnés pour maintenir l'engagement des clients et stimuler les ventes répétées

5. partners:

1. Fournisseurs de Composants Technologiques :

- Capteurs et Électronique : Fournisseurs de capteurs de température, d'humidité, de poids et de dispositifs acoustiques. Ces composants sont essentiels pour la surveillance en temps réel de la ruche.

- Modules IoT : Partenaires spécialisés dans les technologies IoT pour assurer une connectivité fiable et sécurisée des ruches.

2. Distributeurs et Revendeurs :

- Distribution : Partenaires logistiques et distributeurs spécialisés dans la vente de matériel apicole, permettant de rendre nos produits accessibles à un large public.
- Revendeurs : Magasins spécialisés, plateformes e-commerce (comme Amazon) et coopératives agricoles qui commercialisent nos ruches intelligentes.

3. Investisseurs et Partenaires Financiers

4. Associations apicoles et organisations environnementales

6.Key activities :

1. Recherche et Développement (R&D)

- Conception du Kit : Développer et affiner la conception du kit
- Amélioration Continue : Améliorer constamment les fonctionnalités et les performances du kit
- Tests et Validation : Tester les prototypes et les produits finis pour s'assurer de leur fiabilité et de leur performance.

2. Fabrication et Assemblage: sourcer les composants nécessaires et les assembler les composants pour créer le produit final

3. Déploiement Logistique

- Gestion des Stocks : Gérer les stocks de composants et de produits finis pour assurer la disponibilité et minimiser les coûts pour maintenir un équilibre entre l'offre et la demande.
- Distribution : Organiser la distribution des smart ruches aux clients finaux pour assurer une livraison rapide et fiable.

- Support Après-Vente : Fournir un support technique et un service après-vente aux clients pour assurer la satisfaction et la fidélisation des clients.

4. Marketing et Ventes

- Stratégie de Marketing : Développer et mettre en œuvre des stratégies de marketing pour promouvoir les kits pour augmenter la notoriété de la marque et générer des leads qualifiés.
- Développement Commercial : Identifier et exploiter de nouvelles opportunités de marché pour élargir la base de clients et augmenter les ventes.
- Ventes et Support Client : Gérer le processus de vente et offrir un support client de haute qualité pour convertir les leads en clients et assurer leur satisfaction continue.

7.Key Ressources

- Composants électronique
- des outils
- Bureau
- équipement informatique (2 ordinateurs, imprimante, modem, logiciel ... ;

1. Ressources Humaines

- BERKANI chaima hibat allah tant que ingénieur
KACEM Hadjer fatima zahra tant que ingénieur
Administrateur
- Comptable
- Opérateur

2. Ressources Financières

Argent pour investissement initial

8. Cost structure

Investissement initial

		Montant		Amortissements		Plan annuel d'amortissements								
		Montant	Nombre	Montants	Durée	Dotation	1	2	3	4	5	6	7	8
Immobilisations corporelles	Mobilier de bureau	200 000	1	200 000	8	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Immobilisations corporelles	Travaux d'aménagement	100 000	1	100 000	8	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500
Immobilisations corporelles	Machines	200 000	1	200 000	8	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Immobilisations corporelles	Informatique	150 000	1	150 000	8	18 750	18 750	18 750	18 750	18 750	18 750	18 750	18 750	18 750
Immobilisations corporelles	Véhicule		0		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				650 000			81 250	81 250	81 250	81 250	81 250	81 250	81 250	81 250

Figure 1 investissement initial

Charges d'exploitation Personnel

Mapping	Charges	Montant	Fréquence	Montant annuel
Charges locatives	Loyer			0
Charges locatives	Frais de location externe	10 000	Mensuel	120 000
Charges locatives	Autres locations (ex : Véhicule)			0
Energie, Eau	Electricité	10 000	Trimestriel	40 000
Energie, Eau	Gaz	10 000	Trimestriel	40 000
Energie, Eau	Eau			0
Télécommunication	Téléphonie mobile	4 000	Mensuel	48 000
Télécommunication	Internet	10 000	Mensuel	120 000
Télécommunication	Téléphone fixe	700	Bimensuel	4 200
Abonnements	Cloud + Hébergement site			0
Abonnements	Antivirus	2 000	Mensuel	24 000
Abonnements	Logiciels			0
Marketing	Publicité (FB, Instagram)	15 000	Mensuel	180 000
Marketing	Evenements	20 000	Quadrimestrie	60 000
Marketing	Influenceurs			0
Autres charges	Installation d'équipement	10 000	Mensuel	120 000
Autres charges	maintenance	20 000	Annuel	20 000
Autres charges	[Changer le titre...]			0
Personnel	Charges du personnel			2 592 000
				3 368 200

Figure 2 charges d' exploitation persone

	Intitulé du poste	Salaire net	Nombre	Salaires mensuels	Salaires Annuels
Employé 1	Directeur et ingénieur (HIBA)	50 000	1	50 000	600 000
Employé 2	ingénieur (Hadjer)	40 000	1	40 000	480 000
Employé 3	administrateur	40 000	1	40 000	480 000
Employé 4	opérateur	30 000	1	30 000	360 000
Employé 5				0	0
Employé 6				0	0
Employé 7				0	0
Employé 8				0	0
Employé 9				0	0
Employé 10				0	0
Employé 11				0	0
Employé 12				0	0
Employé 13				0	0
Employé 14				0	0
Employé 15				0	0
Total salaires annuels				160 000	1 920 000
Charges sociales				56 000	672 000
Charges du personnel				216 000	2 592 000

Figure 3 charges d' exploitation personel

d'après une étude du marché on a trouver que il y a 52000 apiculteurs en algérie[10], donc pour la première année on a siblié 5% du marché et apres chaque année on augmente le percentage à 10%

Revenue streams:

- Vente des kits
- Abonnement mensuel pour l'analyse de donnés

Cas optimiste :

Consommation ou production

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Consommations	52 000 000	156 000 000	260 000 000	364 000 000	468 000 000
Coût P1	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Coût	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Quantité	2 600	7 800	13 000	18 200	23 400
Consommation	52 000 000	156 000 000	260 000 000	364 000 000	468 000 000

Figure 4 cout de production (cas optimiste)

Chiffre d'affaire

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
C.A Total	65 000 000	195 000 000	325 000 000	455 000 000	585 000 000
kit ruche	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Prix	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Quantité	2 600	7 800	13 000	18 200	23 400
C.A	65 000 000	195 000 000	325 000 000	455 000 000	585 000 000

Figure 5 chiffre d'affaire (cas optimiste)

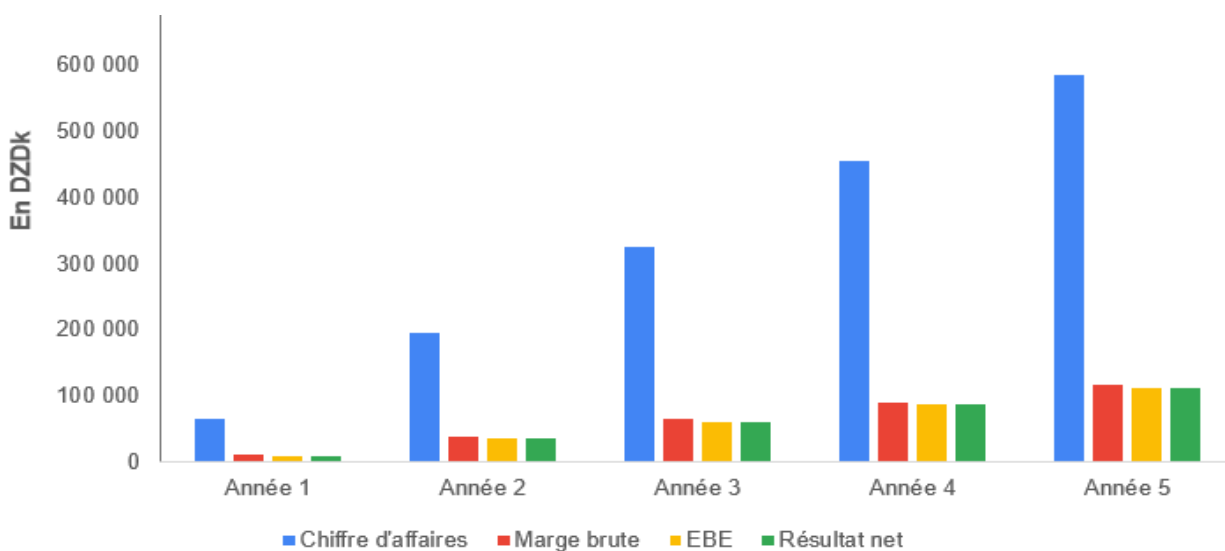


Figure 6 évolution des indicateurs financiers (cas optimiste)

La figure 6 montre l'évolution de plusieurs indicateurs financiers sur une période de cinq ans pour notre futur star-up, exprimés en milliers de dinars algériens (DZD). Les indicateurs inclus sont le chiffre d'affaires (en bleu), la marge brute (en rouge), l'EBE (excédent brut d'exploitation, en jaune), et le résultat net (en vert). On observe une forte croissance du chiffre d'affaires chaque année, atteignant son maximum en Année 5, ce qui reflète une performance commerciale très positive. Les autres indicateurs, bien que moins impressionnants en valeur absolue comparés au chiffre d'affaires, montrent une progression stable. Cette constance des marges et du résultat net suggère que l'entreprise parvient à maîtriser ses coûts malgré l'augmentation rapide des ventes, illustrant un scénario optimiste de rentabilité croissante et de gestion efficace des ressources.

Cas pessimiste

Consommation ou production

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Consommations	32 000 000	100 000 000	160 000 000	200 000 000	300 000 000
Coût P1	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Coût	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Quantité	1 600	5 000	8 000	10 000	15 000
Consommation	32 000 000	100 000 000	160 000 000	200 000 000	300 000 000

Figure 7 cout de production (cas pessimiste)

Chiffre d'affaire

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
C.A Total	40 000 000	125 000 000	200 000 000	250 000 000	375 000 000
kit ruche	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Prix	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Quantité	1 600	5 000	8 000	10 000	15 000
C.A	40 000 000	125 000 000	200 000 000	250 000 000	375 000 000

Figure 8 chiffre d'affaire (cas pessimiste)

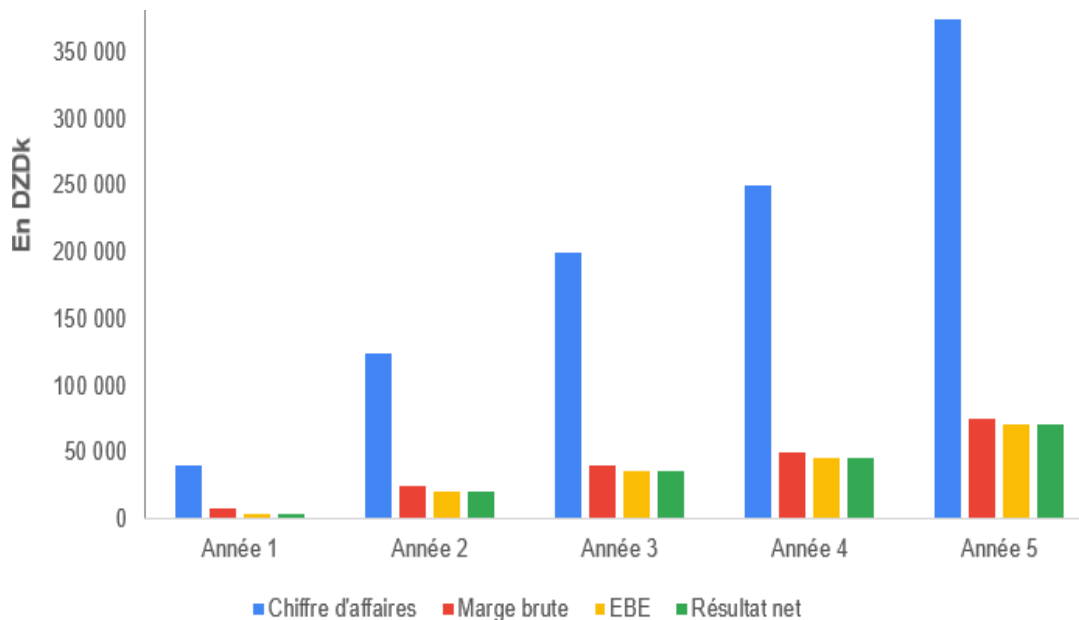


Figure 9 croissance modérée du chiffre d'affaires sur cinq ans (cas pessimiste)

La figure montre, dans un scénario pessimiste, une croissance modérée du chiffre d'affaires sur cinq ans. Cependant, la marge brute, l'EBE et le résultat net restent faibles et stables, ne suivant pas la même tendance de croissance. Cela indique que l'augmentation des ventes ne se traduit pas par une amélioration de la rentabilité, suggérant des difficultés à maîtriser les coûts ou à améliorer les marges bénéficiaires. Les indicateurs financiers demeurent bas malgré des ventes croissantes, signalant des problèmes potentiels dans l'efficacité opérationnelle et la gestion des coûts.

Comparaison entre les deux cas coefficient de croissance :

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Coefficient de croissance% cas optimiste	0.00	0.60	0.62	0.63	0.64
Coefficient de croissance% cas pessimiste	0.01	0.43	0.46	0.49	0.54

Figure 10 Comparaison entre les deux cas coefficient de croissance

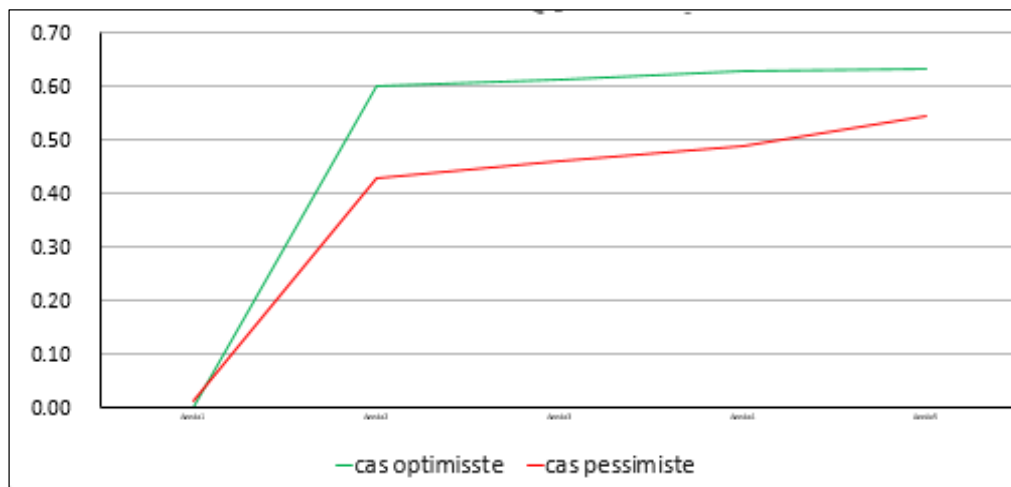


Figure 11 graphe de comparaison entre les deux cas coefficient de croissance

La comparaison des coefficients de croissance dans les deux scénarios montre des dynamiques distinctes au fil des années.

Pour le cas optimiste:

- La croissance commence à 0.60 en Année 2 et augmente légèrement chaque année pour atteindre 0.64 en Année 5.

Pour le cas pessimiste:

- La croissance débute plus bas, à 0.43 en Année 2, mais augmente de manière plus significative chaque année, atteignant 0.54 en Année 5.

Le graphique illustre ces tendances (figure 11). La courbe verte (cas optimiste) montre une croissance initiale forte et une stabilisation progressive, tandis que la courbe rouge (cas pessimiste) montre une progression plus lente mais continue. Cela signifie que, bien que le cas optimiste présente une croissance initiale plus élevée, le cas pessimiste montre une amélioration constante, réduisant l'écart au fil du temps.

9. Revenue streams:



- Vente de kits de smart ruche
- Abonnement au service de surveillance en temps réel
- Vente de données et d'analyses environnementales