



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université Abbes Laghrour. Khenchela

Faculté des Sciences et Technologies

Département Mathématique et Informatique

Sujet

---

# Un modèle décisionnel pour l'amélioration de la qualité de production du miel

**Présenté par**

Farida MOUSSAOUI  
Souria CHEKHAB

**Sous la direction**

Mme. Hioual O.

Année Universitaire

2020-2021

قال الله تعالى :

﴿يَخْرُجُ مِنْ بُطُونِهَا شَرَابٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ،  
فِيهِ شِفَاءٌ لِلنَّاسِ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ

يَتَفَكَّرُونَ﴾ ﴿٦٩﴾

سورة النحل

## **REMERCIEMENT**

A l'issue de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame O. HIOUEL, qui a dirigé les travaux de cette thèse. Nous la remercions vivement pour ses conseils, ses lectures et son soutien tout le long de la réalisation de cet ouvrage.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous ceux qui ont aidé à diriger cet humble travail de près ou de loin.

## DÉDICACES

*Je dédie ce travail à mon mari, mes enfants et ma famille élargie.*

*Sans oublier ma directrice au travail*

*Je le dédie aussi à tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu par leur amitié et à leur aimable attention*



**Farida**

*Je suis heureuse de dédier ce modeste travail aux membres de ma petite famille, qui ont contribué à me fournir les conditions adéquates pour reprendre mes études, et je le dédie également à l'âme de mon père, que Dieu ait pitié de lui.*



**Souria**

## RÉSUMÉ

Ce n'est plus un secret que la technologie a envahi tous les aspects de la vie et est contrôlé les détails de la vie quotidienne humaine, et parmi ces détails : la nourriture, y compris le monde des abeilles et la production de miel : l'apiculture.

Il y a eu un intérêt croissant pour l'introduction de l'intelligence artificielle dans les activités agricoles afin de les développer et d'améliorer leurs performances et leurs résultats.

A travers ce mémoire, nous avons cherché à apporter des solutions techniques basées sur l'intelligence artificielle (AI) et les technologies de l'Internet des Objets (IoT), basées sur des algorithmes d'« arbres de décision », afin d'aider l'apiculteur à prendre les bonnes décisions concernant le choix du bon endroit pour placer des ruches, et de surveiller temps, la température et humidité à l'intérieur et à l'extérieur des ruches.

Ainsi qu'une intervention rapide en cas de détérioration ou de vol.

La solution que nous avons proposée était de développer une application qui fonctionne sur les appareils mobiles Android, simulant l'action des collectionneurs et fournissant des données en temps réel qui aident l'apiculteur à prendre des décisions éclairées.

De telles approches techniques sont limitées par le manque de technologie Internet des objets (IoT) généralement dans notre pays.

## ملخص

لم يعد سرا أن التكنولوجيا غزت كل مناحي الحياة، وأصبحت تتحكم في تفاصيل الحياة اليومية للإنسان، ومن بين تلك التفاصيل: الغذاء، ومن بين ذلك عالم النحل وإنتاج العسل.

وقد تزايد الحرص على إدخال الذكاء الصناعي على النشاطات الفلاحية من أجل تطويرها وتحسين أدائها ونتائجها.

وقد سعينا من خلال هذه الأطروحة أن نقدم بعض الحلول التقنية المعتمدة على تقنيات الذكاء الصناعي وتكنولوجيا إنترنت الأشياء، اعتمادا على خوارزميات "أشجار القرار"، وذلك من أجل مساعدة النحال على اتخاذ قرارات مناسبة فيما يخص اختيار المكان المناسب لوضع خلايا النحل، ومراقبة الطقس والرطوبة داخل وخارج خلايا النحل.

وكذا التدخل السريع عند تعرضها للإتلاف أو السرقة.

تمثل الحل الذي اقترحناه في تطوير تطبيق يعمل على أجهزة أندرويد المحمولة، ويحاكي عمل اللواقط ويقدم بيانات فورية تساعد النحال على اتخاذ قرارات مناسبة.

وتبقى مثل هذه المقاربات التقنية محدودة بسبب عدم توفر تكنولوجيا إنترنت الأشياء على صعيد واسع في بلادنا.

## **ABSTRAT**

It is no longer a secret that technology has invaded all aspects of life and is controlling the details of human daily life, and among these details: food, including the world of bees and the production of honey: 1 'beekeeping.

There has been a growing interest in introducing artificial intelligence into agricultural activities in order to develop them and improve their performance and bottom line.

Through this thesis, we sought to provide technical solutions based on artificial intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) technologies, based on "decision tree" algorithms, in order to help the beekeeper make the right decisions about choosing the right place to place hives, and monitor weather, temperature and humidity inside and outside the hives.

As well as rapid intervention in the event of damage or theft.

The solution we came up with was to develop an app that works on Android mobile devices, simulating the action of collectors and providing real-time data that helps the beekeeper make informed decisions.

Such technical approaches are limited by the lack of Internet of Things (IoT) technology generally in our country.

## TABLE DES MATIÈRES

Remerciement .....	I
Dédicaces .....	II
Résumé .....	III
ملخص .....	IV
Abstrat .....	V
Table des matières .....	I
Table des figures .....	IV
Liste des tableaux.....	V
Introduction générale .....	1
Problématique .....	3
Justification du choix du sujet .....	3
<b>Chapitre I. Utilisations de l'intelligence artificielle en apiculture .....</b>	<b>5</b>
I.1 Introduction .....	5
I.2 Définition de l'apiculture .....	5
I.3 Historique de l'apiculture.....	5
I.4 L'apiculture en Algérie .....	7
I.5 Comment les techniques d'intelligence artificielle peuvent-elles aider en apiculture ?.....	8
I.5.1 Optimisez les opérations .....	8
I.5.2 Sécurisez les ruches .....	8
I.5.3 Aide à prendre des décisions informées .....	8
I.5.4 Imputabilité 24/7 .....	9
I.6 Principe et matériel .....	9
I.6.1 Principe de fonctionnement .....	9
I.6.2 Les appareils utilisés.....	10
I.7 Fonctionnalités logicielles.....	11
I.7.1 Statut de la reine.....	12
I.7.2 Détection de mort.....	12
I.7.3 Carte des ruchers.....	12
I.7.4 Tendance de population.....	12
I.7.5 Météo du rucher .....	12

I.7.6	Sécurité des ruches.....	13
I.7.7	Suivi du transport.....	13
I.7.8	Rapport d'inspection.....	13
I.8	Le signal sans fil de l'appareil affectera-t-il les abeilles?.....	13
I.9	Conclusion.....	14
<b>Chapitre II. Internet des Objets (IoT).....</b>		<b>16</b>
II.1	Introduction .....	16
II.2	Origine et historique.....	16
II.2.1	D'où vient le terme « Internet des objets » ? .....	16
II.2.2	L'historique de la connectivité de la technologie des objets. ....	17
II.2.3	La première application IoT .....	18
II.3	« Internet des objets » c'est quoi exactement ?.....	18
II.4	Les objets connectés.....	19
II.4.1	Qu'est-ce qu'un objet connecté ?.....	19
II.4.2	L'apparition des objets connectés.....	20
II.4.3	Caractéristiques de la nouvelle vague des objets connectés.....	20
II.5	Pourquoi l'Internet of Things (IoT) est-il si important ? .....	20
II.6	Domaines d'applications.....	21
II.6.1	Les systèmes industriels.....	21
II.6.2	Les bâtiments intelligents .....	21
II.6.3	Les villes intelligentes.....	21
II.6.4	Les véhicules.....	21
II.6.5	Les systèmes médicaux.....	22
II.7	Caractéristiques fondamentales de l'IoT.....	22
II.8	Composants systèmes.....	23
II.9	Bases de données utilisé dans l'IoT .....	24
II.9.1	Quelques exemples .....	25
II.10	Bases de temps .....	25
II.11	Communication et protocoles .....	25
II.11.1	Protocoles.....	25
II.11.2	Infrastructures réseaux .....	26
II.12	Fiabilité et disponibilité.....	27
II.13	Sécurité et confidentialité.....	27

II.14 Coût de possession et consommation électrique.....	28
II.15 Quels sont les secteurs d'activité qui peuvent bénéficier de l'IoT ? ....	28
II.15.1 Production .....	28
II.15.2 Automobile .....	29
II.15.3 Transport et logistique .....	29
II.15.4 Retail .....	29
II.15.5 Secteur public.....	30
II.15.6 Santé.....	30
II.15.7 Sécurité générale.....	30
II.16 Conclusion.....	31
<b>Chapitre III. Conception et Implémentation du Système Proposé.....</b>	<b>33</b>
III.1 Introduction .....	33
III.2 Présentation générale du système .....	33
III.3 Sources de données utilisées .....	33
III.3.1 A l'intérieur de la ruche .....	33
III.3.2 Le butinage.....	34
III.3.3 Hivernage .....	34
III.3.4 Ponte des œufs .....	34
III.4 Arbre de décision proposé.....	35
III.4.1 Construction de l'arbre de décision .....	35
III.4.2 Explication de l'arbre de décision .....	36
III.5 Implémentation du système proposé.....	37
III.5.1 Architecture générale du système proposé .....	37
III.6 Exemple d'installation du matériel .....	38
III.7 Environnement du travail.....	39
III.7.1 Environnement matériel et logiciel.....	39
III.7.2 Outils de développement .....	39
III.8 Présentation de l'interface de l'application.....	44
III.9 Difficultés techniques.....	49
III.10 Conclusion .....	49
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>50</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>51</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure I-1. Une « cueillette » de miel à l'époque préhistorique (grotte de l'Araignée, Bicorp, Espagne.....	6
Figure I-2. Nombre de colonies d'abeilles en Algérie de 2002 à 2010.....	8
Figure I-3 Principe de fonctionnement d'un système IA utilisant des capteurs en apiculture.....	9
Figure I-4. I.3.2 Les appareils utilisés. ....	10
Figure I-5. Fonctionnalités logicielles .....	12
Figure II-1. Kevin Ashton a inventé le terme « Internet des objets » en 1999..	17
Figure II-2. Historique de la technologie de la connectivité des objets. ....	18
Figure II-3. Différents aspects de l'Internet des objets. ....	22
Figure II-4. Organisation d'un système IoT. ....	26
Figure III-1. Arbre de décision proposé .....	35
Figure III-2. Architecture générale du système proposé .....	37
Figure III-3. Exemple d'installation d'un capteur dans une ruche.....	38
Figure III-4. Environnement matériel.....	39
Figure III-5. Approche Flutter .....	40
Figure III-6. Interface de Visual Studio V 1.60.0 avec un émulateur Android. ....	42
Figure III-7. Capture 1: Inscription au système.....	44
Figure III-8. Capture 2: Login à l'application.....	45
Figure III-8. Capture 3: Liste des ruches connectées. ....	46
Figure III-9. Capture 4: Etat normale d'une ruche.....	47
Figure III-10. Capture 4: Etat de température > 50°. ....	48

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau II-1. Composant d'un système IoT. ....	23
Tableau III-1. Influence de la température sur le butinage chez les abeilles. ...	34
Tableau III-2. Valeurs idéales pour la température et humidité des ruches pendant l'hivernage .....	34
Tableau III-3. Des valeurs appropriées de température et d'humidité pour inciter la reine à pondre.....	34
Tableau III-4. Informations sur « Dart ». ....	40
Tableau III-5. Informations sur SDK « Flutter ».....	41
Tableau III-6. Informations sur Visual Studio Code. ....	42

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

L'intelligence artificielle et l'exploitation des données offrent des perspectives inédites. Beaucoup de sociétés les exploitent pour la bonne cause.

La discipline biologique et agricole et leur environnement, processus et systèmes/sous-systèmes associés sont très cruciaux pour une vie meilleure, durable et de qualité des êtres humains. Ainsi, des enquêtes et des études continues ont été entreprises dans le passé, se poursuivent dans le présent et se poursuivront à l'avenir pour comprendre, explorer et résoudre différents problèmes associés à divers systèmes/sous-systèmes de la discipline biologique et agricole. Cependant, les caractéristiques intrinsèquement complexes, dynamiques et non linéaires des systèmes biologiques/agricoles ont toujours exigé des solutions basées sur des techniques et des technologies avancées pour fournir des précisions plus élevées, de meilleures compréhensions et des solutions appropriées. Ces dernières années, l'avènement de la technologie d'intelligence artificielle (c'est-à-dire reconnaissance et traitement automatique d'image, robotique et systèmes de contrôle, systèmes experts/systèmes d'aide à la décision, traitement du langage naturel, etc.) et d'autres formes avancées de technologies de l'information (réseaux de neurones, logique floue et algorithmes génétiques) se sont révélées prometteuses pour trouver des solutions à différents systèmes biologiques/agricoles. Les progrès des technologies avec leur coût décroissant catalysent des recherches supplémentaires sur les applications de différentes formes de technologies d'IA dans ces disciplines.

Par conséquent, ce mémoire intitulé « Un modèle décisionnel pour l'amélioration de la qualité de production du miel » a été développé pour rendre compte d'un échantillon de recherches visant à résoudre différents problèmes dans l'apiculture ; il vient dans le but de développer un système qui aide l'apiculteur à surveiller l'état des ruches en termes de conditions naturelles internes et externes afin d'intervenir au moment et de manière appropriée.

Ce présent mémoire a été divisée en une Introduction Générale et trois chapitres :

Chapitre 1 : Où nous présentons une introduction à l'emploi de l'intelligence artificielle en apiculture, avec une présentation de quelques modèles et expériences mondiale.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de l'Internet des objets, et ses utilisations dans divers domaines de la vie.

Chapitre trois : Il sera consacré au côté pratique, où nous présenterons le système que nous avons développé pour aider l'apiculteur à prendre les décisions appropriées et l'accompagner pendant le processus de production des abeilles.

Bien entendu, nous terminerons par une conclusion générale.

## **PROBLÉMATIQUE**

Peut-on rendre le monde un peu meilleur avec l'Intelligence Artificielle ? Si c'est le cas, tout le monde devrait en profiter et pas uniquement les humains. Pourquoi pas les abeilles ?

De ce point de vue, on peut poser le problème suivant :

« Dans quelle mesure les techniques d'intelligence artificielle peuvent-elles aider à améliorer la productivité et la qualité du miel d'abeille ? »

C'est ce à quoi nous tenterons de répondre dans cette note.

## **JUSTIFICATION DU CHOIX DU SUJET**

L'agriculture moderne dépend des abeilles. En fait, tout notre écosystème, y compris la nourriture que nous mangeons et l'air que nous respirons, compte sur les pollinisateurs. Mais la population de pollinisateurs est en déclin<sup>1</sup>. Mais, dans une collaboration intrigante avec des grandes firmes informatiques telles que Google, Oracle, et autres, et en mettant l'intelligence artificielle (AI), l'Internet des objets (Internet of things IoT) et les mégadonnées (Big Data) au travail sur le problème, ils espèrent inverser la tendance.

A noter que l'apiculture dans notre pays est encore majoritairement pratiquée par des méthodes et des moyens traditionnels, dans ce contexte, notre travail vise à fournir un outil technologique simple pour aider les apiculteurs locaux à identifier l'état des ruches et les problèmes qui se produisent à l'intérieur ou autour d'elles, ainsi que de suggérer des solutions possibles et de fournir des conseils utiles.

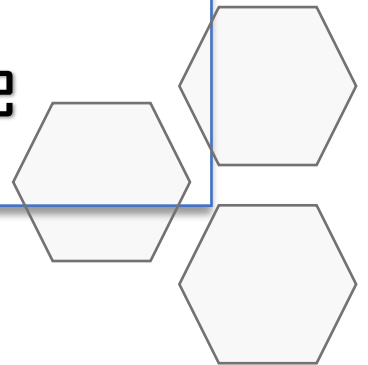
---

<sup>1</sup> Selon Sabiha Rumani Malik, fondatrice et présidente exécutive du « World Bee Project ».



CH. 1

Utilisations de l'intelligence  
artificielle en apiculture



## **CHAPITRE I UTILISATIONS DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN APICULTURE**

### **I.1 Introduction**

Les pesticides, mais aussi le mauvais temps provoquent une combinaison de facteurs qui affectent négativement la qualité du miel, également responsables de la disparition des abeilles, mais aussi des apiculteurs. En connectant les ruches (par des capteurs, caméras connectées à l'IA etc.) les apiculteurs peuvent suivre en temps réel les colonies, découvrir les causes spécifiques de leur disparition et l'ampleur du phénomène pour trouver la solution adaptée.

Dans ce chapitre, nous aborderons certaines des techniques d'intelligence artificielle utilisées dans le domaine de l'apiculture.

### **I.2 Définition de l'apiculture**

L'apiculture est, par définition, « l'art d'élever et de soigner les abeilles en vue d'obtenir de leur travail dirigé le miel, la cire et les autres produits du rucher »<sup>1</sup>.

L'apiculture de point de vue pratique diffère d'une région à une autre, d'un pays à un autre et d'un continent à un autre. Cela à cause du climat, de la flore et aussi des conditions techniques et organisationnelles dans lequel on pratique l'apiculture.

### **I.3 Historique de l'apiculture**

L'apiculture est une préoccupation très ancienne. La présence de l'abeille, chez les populations agricoles et pastorales de l'antiquité, est mise en évidence par des dessins peints, tissés ou gravés, trouvés dans les tombeaux Egyptiens, dans les églises, les couvents de diverses confessions religieuses. Des scientifiques ont évoqué une peinture rupestre, qui représente la récolte de miel à l'époque mésolithique (20.000 à 5.000 ans avant Jésus-Christ), trouvée dans les grottes de l'Arama en Espagne. Ces mêmes auteurs nous informent de la présence, dans le tombeau du pharaon

---

<sup>1</sup> Larousse.

Mènes, de dessins représentant la conduite et les travaux apicoles datant depuis 5.000 ans avant J. C.

Aussi, la pratique de l'apiculture par l'homme primitif consiste en l'extraction de miel des creux des arbres, et la construction de ruches à base d'argile et de paille.

Plusieurs travaux, datant de l'antiquité, évoquent la vie des abeilles. Parmi ces derniers, figurent ceux de PLINIUS, d'ARISTOTE et de VIRGILE auxquels il faut ajouter certains livres homériques et bibliques.



*Figure I-1. Une « cueillette » de miel à l'époque préhistorique (grotte de l'Araignée, Bicorp, Espagne).*

Dans le CORAN, l'abeille a fait l'objet d'amples commentaires sur l'existence de la communauté animale (Sourate 16, Versets 68 et 69 de la Sourate n°16 d'Ennahal et dans lesquels Dieu dit :

" وَأَوْحَىٰ رَبُّكَ إِلَى النَّحْلِ أَنْ اتَّخِذِي مِنَ الْجِبَالِ بُيُوتًا وَمِنَ الشَّجَرِ وَمِمَّا يَعْرِشُونَ (68) ثُمَّ كُلِي مِن كُلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِي سُبُلَ رَبِّكِ ذُلًّا يَخْرُجُ مِنْ بُطُونِهَا شَرَابٌ مُّخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ فِيهِ شِفَاءٌ لِلنَّاسِ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ (69). سورة النحل الأيتان 68-69."

*« Prends demeure dans les montagnes et dans les arbres et dans ce que (les hommes) construisent (pour toi), manges de tout fruit et suis humblement les chemins de ton seigneur. Il sort de l'intérieur de son corps*

*une liqueur de couleurs différentes où se trouve un remède pour les hommes* »<sup>1</sup>.

#### I.4 L'apiculture en Algérie

Les potentialités de l'Algérie pour développer la filière sont énormes, à ce jour (2020), le pays compte 51.539 apiculteurs déclarés et 1,6 millions de colonies apicoles réparties à travers les régions du Nord, au niveau des montagnes, des steppes mais aussi dans les régions du sud, selon les derniers chiffres du ministère de l'Agriculture et du développement rural.

Il reste encore des régions mellifères à identifier, citons les forêts avec une superficie de 4.082.455 d'hectare, les prairies naturelles qui s'étendent sur 47.556 hectares, ainsi que les 934.984 hectares de plantations fruitières dont les agrumes (60.579 ha), les espèces à noyaux et/ou pépins (231.917 ha) et les cultures maraîchères (501.869 ha).

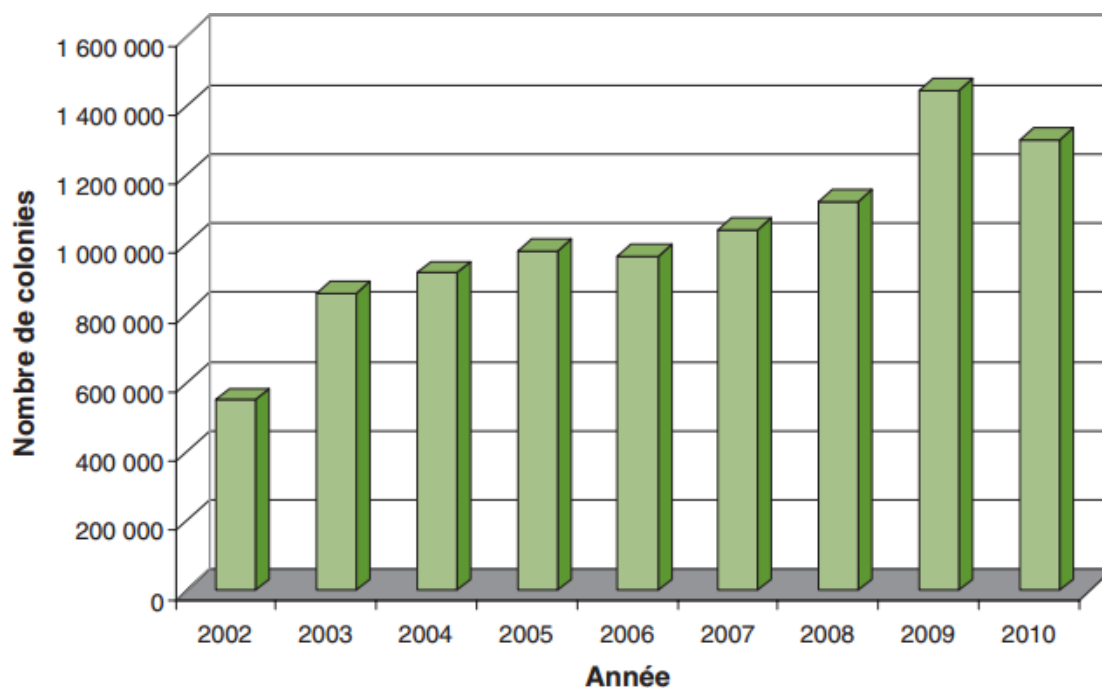
Différentes variétés de miel sont produites en Algérie, en énumérant pas moins de 13 recensés par le ministère de l'Agriculture (miel d'agrumes, d'eucalyptus, de romarin, de lavande, de jujubier, d'euphorbe, d'arbousier, de la carotte sauvage, de romarin, de thym, d'origan, de peganum (harmel), de caroubier, de chardon en plus du miel de toutes les fleurs du printemps).

Concernant la production nationale de miel, elle a presque doublé au cours des dix dernières années (+85%), pour atteindre 74.420 quintaux/an actuellement, alors que la consommation par habitant n'excède pas les 176 grammes/an<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Traduits par BUCAILLE en 1978

<sup>2</sup> Source : L'institut technique des élevages (ITELV).



*Figure I-2. Nombre de colonies d'abeilles en Algérie de 2002 à 2010.*

Source : ministère de l'Agriculture et du Développement rural : MADR (2009-2010)

## 1.5 Comment les techniques d'intelligence artificielle peuvent-elles aider en apiculture ?

Aperçu des solutions proposées par certaines firmes :

### 1.5.1 Optimisez les opérations

Inspectez les ruches à distance pour détecter les anomalies et optimiser l'efficacité des opérations.

### 1.5.2 Sécurisez les ruches

Garder une trace de tout mouvement des ruches, ce qui assure qu'elles sont surveillées 24 h/24 et recevoir des avertissements immédiats en cas de vol ou de vandalisme.

### 1.5.3 Aide à prendre des décisions informées

La surveillance de l'évolution de chaque colonie d'une saison à l'autre pour évaluer l'impact des décisions.

### 1.5.4 Imputabilité 24/7

L'usage de techniques de l'IA permet de Surveiller les abeilles, que ce soit lors de la production de miel, la pollinisation, l'hivernage ou le transport.

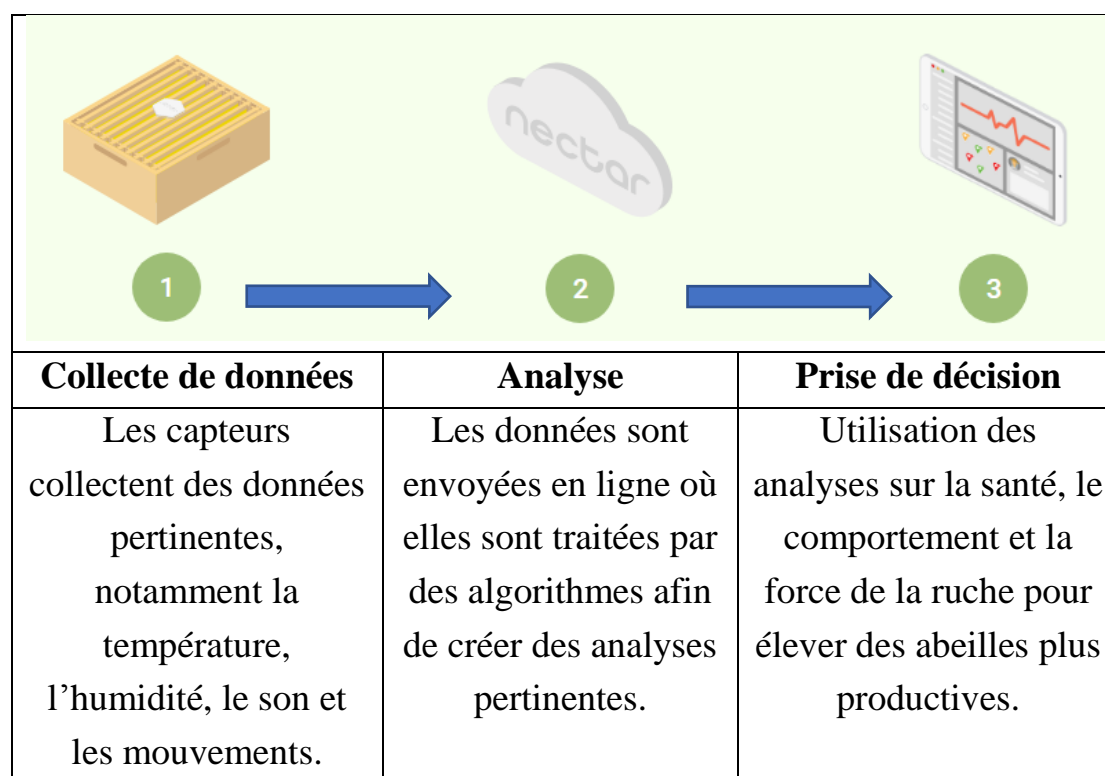
## 1.6 Principe et matériel

Le matériel utilisé diffère d'une entreprise à l'autre, mais le principe de son fonctionnement est similaire, nous avons donc pris quelques exemples dans notre étude, et nous nous sommes concentrés sur l'entreprise leader Nectar dans ce domaine.

### 1.6.1 Principe de fonctionnement

Les moniteurs Beehive fonctionnent selon des principes généraux similaires malgré la variété des technologies et des appareils utilisés.

La Figure I-3 ci-dessous résume le principe générale de fonctionnement.



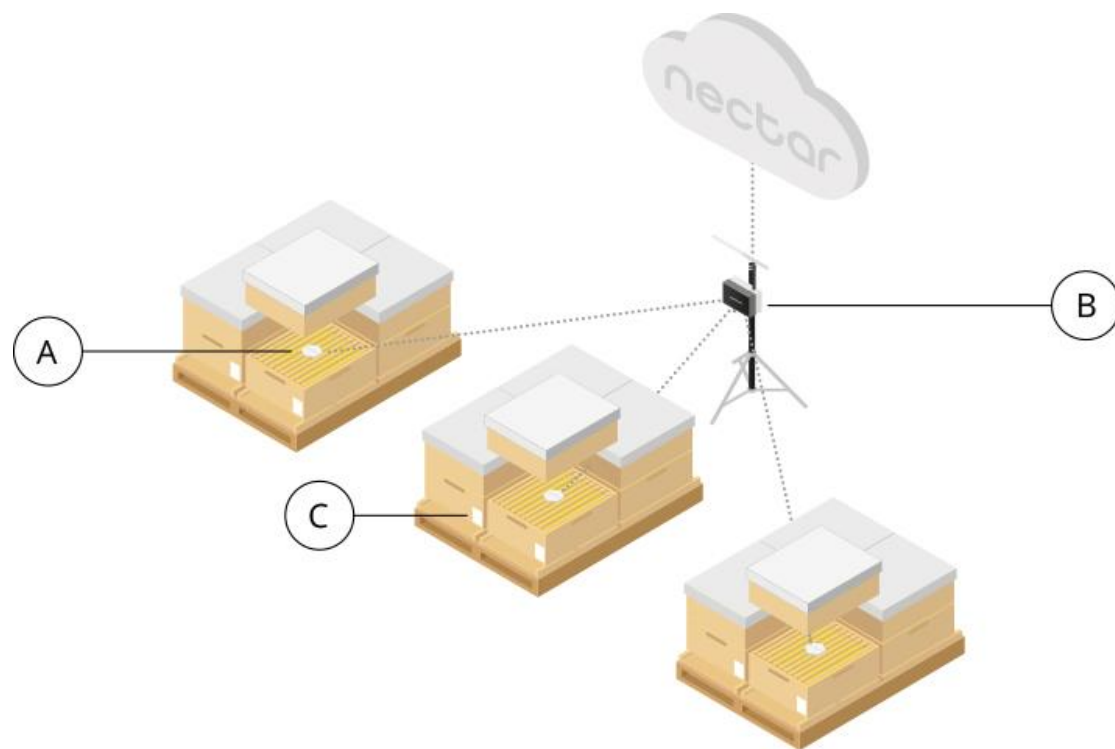
*Figure I-3 Principe de fonctionnement d'un système IA utilisant des capteurs en apiculture*

## I.6.2 Les appareils utilisés

Après le succès des premières expérimentations d'utilisation des capteurs et de la technologie de l'intelligence artificielle dans les domaines agricoles, le marché a été bafoué, et de nombreuses grandes entreprises et même des start-up sont devenues concurrentes dans le développement de multiples dispositifs et systèmes pour développer l'apiculture.

Mais ces systèmes reposent généralement sur des dispositifs similaires en termes de principe de fonctionnement, mais différents en termes de qualité et d'efficacité.

Nous allons prendre l'exemple de la société Nectar.



*Figure I-4. I.3.2 Les appareils utilisés.*

### **A. Le Beecon**

Le Beecon est un capteur sans fil capable de mesurer la température, l'humidité relative, l'audio et les mouvements de la ruche afin d'évaluer son état de santé.

Le Beecon transmet les données via Bluetooth. Le BeeHub récupérera automatiquement les données de n'importe quel Beecon (jusqu'à 200) présents dans un rayon d'environ 30 mètres (100 pieds).

On a simplement besoin d'un Beecon par ruche qu'on souhaite monitorer.

## **B. Le BeeHub**

Le BeeHub est responsable de la transmission des données de la ruche en ligne. Il sert également de station météo sur place tout en suivant l'emplacement de la rucher.

Le BeeHub transmet les données en ligne via le réseau cellulaire. Il est équipé d'une carte SIM qui se connecte automatiquement au réseau cellulaire le plus puissant de la région.

Les BeeHubs sont conçus pour collecter les données de toutes les colonies dans un rucher. Le BeeHub peut collecter des données de 200 Beecons au maximum, dans un rayon d'environ 30 mètres (100 pieds).

Les capteurs Nectar doivent normalement être placés dans des zones ayant accès au réseau cellulaire. Cependant, il y aura certains scénarios, tels que lors du transport des ruches, où le BeeHub ne pourra pas accéder au réseau cellulaire. Dans ce cas, le BeeHub est équipé de nombreuses capacités de stockage de données. Il est capable de stocker jusqu'à 2 mois de données Beecon. Dès que le BeeHub se reconnectera au réseau, il enverra automatiquement toutes les données en ligne.

## **C. Le BeeTag**

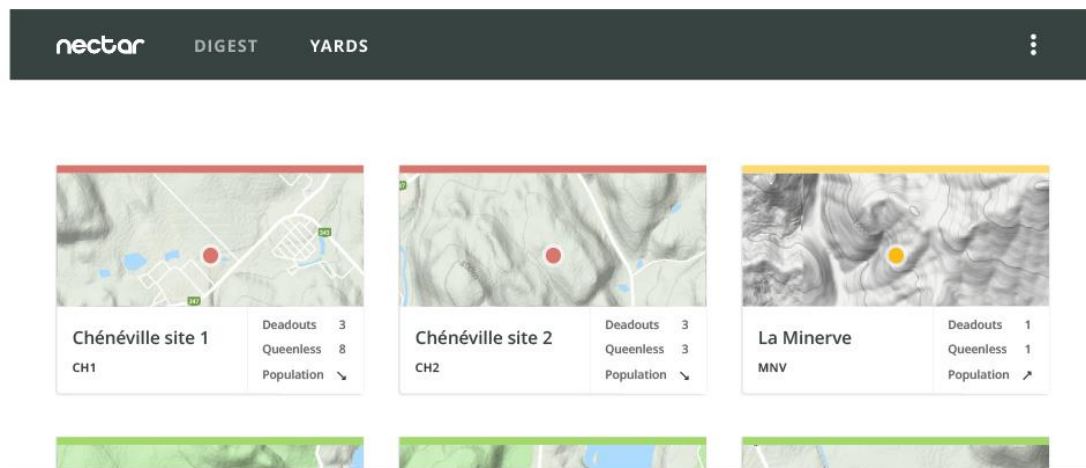
Le BeeTag est la représentation visuelle de la ruche. Associé au Beecon et collé à l'extérieur de la ruche.

### **1.7 Fonctionnalités logicielles**

Cette technologie repose sur du matériel et des logiciels, où le matériel fonctionne pour capturer des données, et les programmes les analysent et

en extraient des informations utiles, en appliquant des techniques et des algorithmes d'intelligence artificielle.

Dans le domaine de l'apiculture, la technique se renseigne sur les éléments mis en jeu, qui intéressent les apiculteurs (la reine, les riches...) afin de contrôler leurs produits ou d'intervenir à temps en cas de problèmes, maladies, insectes nuisibles, etc.



*Figure I-5. Fonctionnalités logicielles*

### I.7.1 Statut de la reine

Détecter si la reine est présente dans la ruche. Prendre des mesures rapides pour s'assurer que la reine est remplacée au besoin.

### I.7.2 Détection de mort

Détecter si la ruche est vivante. Agir rapidement si les taux de mortalité des ruches sont plus élevés que prévu.

### I.7.3 Carte des ruchers

Afficher automatiquement les ruchers sur la carte. Partager les directions avec l'équipe ou prioriser les ruchers à risque.

### I.7.4 Tendance de population

Détecter les changements de population des ruches. Être informés si la population augmente ou diminue.

### I.7.5 Météo du rucher

Aider à planifier les tâches de l'équipe et prioriser les visites de ruchers connectés en utilisant les prévisions météorologiques.

### 1.7.6 Sécurité des ruches

Être alertés si les ruches bougent quand elles ne devraient pas. Alerter les autorités. Dissuader les vols futurs.

### 1.7.7 Suivi du transport

Effectuez un suivi de vos colonies lorsqu'elles sont transportées par camion à travers des montagnes orageuses ou des déserts torrides.

### 1.7.8 Rapport d'inspection

Enregistrer les informations clés lors de vos inspections : bilans de santé des colonies, actions prises et besoins futurs.

## 1.8 Le signal sans fil de l'appareil affectera-t-il les abeilles?

De nombreux apiculteurs s'interrogent sur l'effet de ces appareils sur les abeilles, à cause des vibrations générées par les réseaux utilisés (internet, 4G, GPS, Bluetooth, etc.).

C'est une crainte logique et appropriée, tant de sociétés productrices confirment que leurs appareils n'affectent pas négativement les abeilles ou les ruches.

Ces entreprises réduisent le temps d'envoi des données des cellules vers le serveur, une minute ou deux suffisent pour envoyer les données collectées pendant une journée entière.

Mais bien entendu, le récepteur GPS est activé si les cellules bougent, afin de les suivre lors d'opérations de vol ou de sabotage.

« Smart Bee » a publié dans l'un de ses rapports:

« À l'été 2020, nous avons mis en place un dispositif spécial, qui envoie des informations sans interruption, toutes les deux minutes pendant 3 semaines consécutives.

Plus de 15 000 transmissions et la cellule n'a pas du tout été affectée. Cela représente environ 10 ans de fonctionnement de l'appareil en réglages normaux ».

Aucune étude rigoureuse n'a conclu que les signaux sans-fil émis dans les gammes de fréquences des signaux cellulaires, Bluetooth et Wi-Fi

affecte le comportement et la santé des abeilles. À l'intérieur de la ruche, le Beecon envoie périodiquement des données afin de minimiser l'exposition aux RF-EMR: toutes les 15 minutes, il collecte les données et émet un signal pendant une minute sur la plage Bluetooth, et plonge en mode veille prolongée pendant 14 minutes (Evan , Viacheslav, Trevor, Christopher, & Nathaniel, 2019).

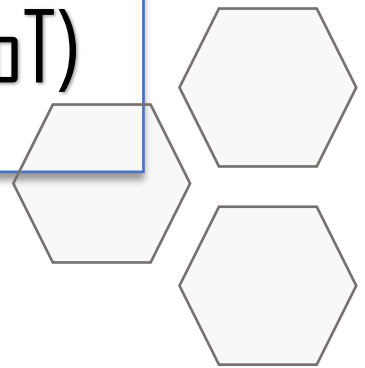
Par conséquent, ces dispositifs n'affectent pas négativement les ruches, les abeilles ou la qualité du miel, ils sont donc considérés dans une large mesure comme des dispositifs sûrs.

## 1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter quelques-unes des techniques d'intelligence artificielle utilisées dans le domaine de l'apiculture, en particulier celles qui utilisent l'Internet des objets, et il a été constaté qu'elles sont différentes et multiples, selon les objectifs pour lesquels elles ont été conçues, telles que l'amélioration du produit, ou la lutte contre les parasites et les maladies qui affectent les nids d'abeilles, etc.

 CH. 2

Internet des Objets (IoT)



## CHAPITRE II INTERNET DES OBJETS (IOT)

### II.1 Introduction

Internet connaît aujourd'hui une extension inédite avec le développement des objets connectés. Jusqu'alors, Internet se concevait comme la capacité des personnes de communiquer à tout moment et en tout lieu; avec les objets connectés, le monde physique peut désormais communiquer, que ce soit pour des relations de personnes à personnes, de personnes à objets ou d'objets à objets.

Pourtant, les importantes potentialités offertes par ce qu'il a été convenu d'appeler « l'internet des objets » (IoT, Internet of Things) sont encore, pour la plupart, à explorer.

Pour cela, nous avons consacré ce chapitre aux concepts et principes les plus importants liés à « l'internet des objets » et à ces applications.

### II.2 Origine et historique

#### II.2.1 D'où vient le terme « Internet des objets » ?

Tout simplement, et avant d'aborder une définition détaillée, l'Internet des objets (IoT) est un ensemble d'appareils connectés à l'Internet. On pense probablement à un ordinateur portable ou une télévision connectée, mais l'IoT c'est bien plus que cela. Réfléchissons aux appareils électroniques qui n'ont pas toujours été connectés, comme les photocopieuses, les réfrigérateurs à la maison ou la cafetière dans la salle de pause. L'Internet des objets fait référence à tous les appareils, même ceux qui sortent de l'ordinaire, qui peuvent se connecter à l'Internet. Quasiment n'importe quel appareil doté d'un bouton marche/arrêt peut se connecter à l'Internet aujourd'hui, intégrant ainsi la catégorie des objets de l'IoT.

Mais concernant l'étiquette « Internet of Things », c'est *Kevin Ashton* le premier qui a utilisé le terme « Internet of Things » en 1999 pour décrire les microprocesseurs d'identification par radiofréquence (RFID), dans une

interview publiée par l'organisation auprès du gouvernement britannique IoTUK<sup>1</sup>.



*Figure II-1. Kevin Ashton a inventé le terme « Internet des objets » en 1999*

## II.2.2 L'historique de la connectivité de la technologie des objets.

Selon le groupe Cisco Internet Business Solutions (IBSG), l'Internet des objets est né entre 2008 et 2009, au moment où plus de « choses ou d'objets » étaient connectés à Internet que de personnes.

La Figure II-2 résume l'historique de la connectivité de la technologie des objets.

---

<sup>1</sup> <http://iotuk.org.uk/qa-with-the-father-of-iot-kevin-ashton/>

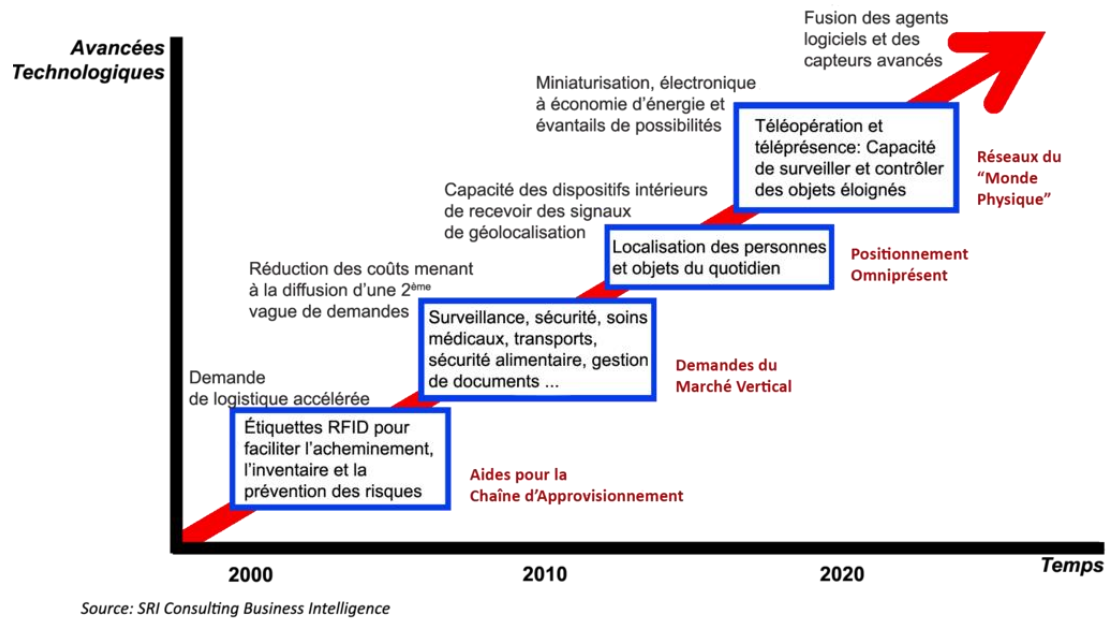


Figure II-2. Historique de la technologie de la connectivité des objets.

### II.2.3 La première application IoT

La première application IoT est née à l'université de Cambridge en 1991.

Il s'agissait d'une caméra pointée sur une cafetière et connectée au réseau local de l'université.

Chaque informaticien pouvait connaître la disponibilité de café depuis son écran.

### II.3 « Internet des objets » c'est quoi exactement ?

L'internet des objets désigne une nébuleuse d'objets connectés qu'il convient de définir avec rigueur. En effet, les terminaux informatiques sont techniquement des objets connectés, tandis que certains objets sont déjà connectés entre eux pour réaliser des opérations en autonomie (« Machine-to-Machine », ou M-to-M) et que d'autres sont simplement connectables : il s'agit de l'ensemble des objets traditionnels, non technologiques, qui sont augmentés d'au moins un capteur, une puce RFID ou un QR-code. Le champ des objets connectés est donc potentiellement infini.

L'Union internationale des télécommunications (UIT)<sup>1</sup> a donc mené un travail de caractérisation dans une recommandation de 2012. Selon l'UIT, l'internet des objets se définit comme :

*« L'infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ».*

## II.4 Les objets connectés

### II.4.1 Qu'est-ce qu'un objet connecté ?

Le premier constat qu'il convient d'effectuer est l'omniprésence des objets connectés parmi nous : il ne s'agit donc pas d'analyser une innovation de rupture, mais bien davantage un changement de volume dans l'impact des objets connectés sur nos modes de production et de consommation.

Les objets connectés ont parfois des origines anciennes : les signalisations à distance, comme les feux de circulation, les capteurs de pression à l'entrée des parkings et dans les péages autoroutiers ou les chaînes industrielles de production automatisées existent depuis longtemps. Ce sont toutefois des objets connectés « traditionnels » : ils peuvent être commandés à distance ou automatisés mais ne peuvent que rarement répondre ou transmettre des données à l'utilisateur. Ils ne sont pas connectés à internet, ni même parfois à un réseau local, et sont rarement connectés sans câbles.

En second lieu, tout équipement informatique peut légitimement être considéré comme un objet connecté, et nous nous connectons en permanence à des équipements fixes ou mobiles pour les services du quotidien : se géolocaliser sur son smartphone, retirer de l'argent à un distributeur de billets qui se connecte à notre banque ou payer avec sa carte bancaire dans un commerce.

---

<sup>1</sup> UIT, « Présentation générale de l'internet des objets », recommandation Y.2060, juin 2012

#### II.4.2 L'apparition des objets connectés

Mais plusieurs facteurs expliquent l'apparition d'un « internet des objets » à part entière :

1. Nous entrons dans l'ère du tout-connecté.
2. Les avancées technologiques récentes ont permis ce changement d'échelle.

Ces avancées technologiques sont, par exemple :

- L'apparition de l'informatique en nuage – le cloud computing<sup>1</sup>.
  - Les capacités d'analyse et de calculs de données en grande quantité
  - Le Big Data<sup>2</sup>.
3. Les prix des objets connectés sont plus accessibles.

#### II.4.3 Caractéristiques de la nouvelle vague des objets connectés

Les objets connectés de nouvelle génération, qui ont intéressé la mission d'information, ont plusieurs caractéristiques :

- Ils sont interactifs. De façon grossière, ils sont connectés lorsqu'ils permettent l'échange d'informations entre au moins un capteur et un terminal informatique.
- Ils permettent de transformer des objets physiques traditionnels en objets intelligents.
- Ils produisent des données.

### II.5 Pourquoi l'Internet of Things (IoT) est-il si important ?

Ces quelques dernières années, l'IoT est devenu l'une des technologies les plus importantes du 21<sup>ème</sup> siècle. Maintenant que nous pouvons connecter des objets du quotidien (appareils électroménagers, voitures, thermostats, interphones bébés) à Internet par l'intermédiaire de

---

<sup>1</sup> Le cloud Computing désigne le transfert, le stockage et le traitement de données ne reposent plus sur des infrastructures physiques privatives (notre disque dur) et l'accès est également dématérialisé (les données sont accessibles depuis n'importe quel terminal informatique).

<sup>2</sup> Le big data (litt. « grosses données » en anglais), les mégadonnées ou les données massives, désigne les ressources d'informations dont les caractéristiques en termes de volume, de vitesse et de variété imposent l'utilisation de technologies et de méthodes analytiques particulières pour générer de la valeur, et qui dépassent en général les capacités d'une seule et unique machine et nécessitent des traitements parallélisés.

terminaux intégrés, des communications sont possibles en toute transparence entre les personnes, les processus et les objets.

Grâce à des traitements informatiques peu coûteux, au Cloud, au Big Data, aux analytiques et aux technologies mobiles, les objets physiques peuvent partager et collecter des données avec un minimum d'intervention humaine. Dans ce monde hyperconnecté, les systèmes digitaux peuvent enregistrer, surveiller et ajuster chaque interaction entre les objets connectés. Le monde physique rencontre le monde digital, et ils coopèrent.

## II.6 Domaines d'applications

Les systèmes IoT sont utiles dans une large gamme d'applications, les cas d'utilisation nous aident à comprendre les exigences sur un système IoT.

### II.6.1 Les systèmes industriels

Utilisent des capteurs pour surveiller à la fois les processus industriels eux-mêmes - la qualité du produit - et l'état de l'équipement. Un nombre croissant de moteurs électriques, par exemple, incluent des capteurs qui collectent des données utilisées pour prédire les défaillances motrices imminentes.

### II.6.2 Les bâtiments intelligents

Utilisent des capteurs pour identifier les emplacements des personnes ainsi que l'état du bâtiment. Ces données peuvent être utilisées pour contrôler les systèmes de chauffage / ventilation / de conditionnement d'air et des systèmes d'éclairage afin de réduire les coûts d'exploitation. Les bâtiments et les structures intelligents utilisent également des capteurs pour surveiller la santé structurelle.

### II.6.3 Les villes intelligentes

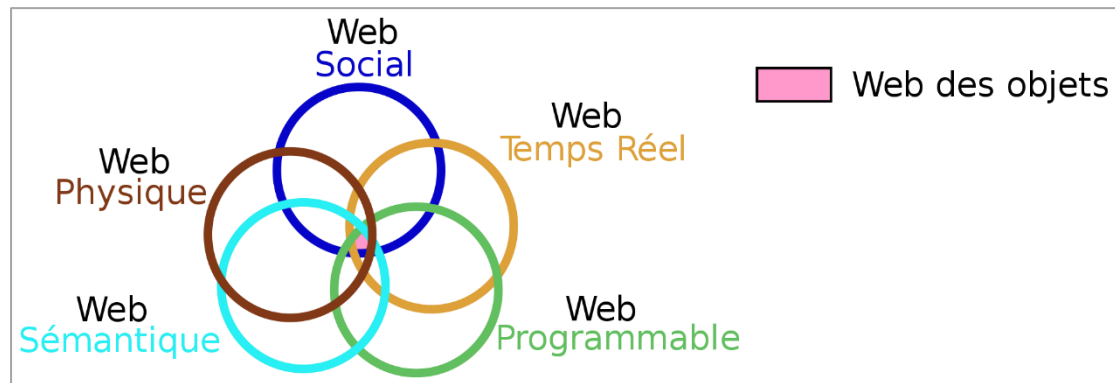
Utilisent des capteurs pour surveiller le trafic piétonnier et véhiculaire et peuvent intégrer des données à partir de bâtiments intelligents.

### II.6.4 Les véhicules

Utilisent des capteurs en réseau pour surveiller l'état du véhicule et fournir une dynamique améliorée, une réduction de la consommation de carburant et une réduction des émissions.

### II.6.5 Les systèmes médicaux

Relient une large gamme de capteurs de surveillance des patients pouvant être situés à la maison, dans des véhicules d'urgence, du bureau du médecin ou de l'hôpital.



*Figure II-3. Différents aspects de l'Internet des objets.*

### II.7 Caractéristiques fondamentales de l'IoT

L'UIT compte cinq caractéristiques fondamentales de l'internet des objets:

1. L'interconnectivité: les objets peuvent être connectés entre eux et à l'ensemble de l'infrastructure internet;
2. Les services propres : les objets fournissent des services de façon intrinsèque;
3. L'hétérogénéité: les dispositifs utilisés pour le fonctionnement des objets sont hétérogènes (logiciels, réseaux, caractéristiques physiques);
4. Les changements dynamiques: les objets évoluent dans un environnement qui évolue (emplacement, vitesse) et le nombre de dispositifs évolue également, avec l'apparition de nouvelles vagues technologiques ;
5. La très grande échelle: les dispositifs qui devront être gérés et qui communiqueront entre eux seront sensiblement plus nombreux que ceux connectés à internet aujourd'hui.

## II.8 Composants systèmes

L'Internet des objets n'est pas une technologie mais un système de systèmes où l'intégration de tous les composants induit une complexité que l'interopérabilité diminue mais n'évite pas. La gestion des interfaces y est déterminante. Voici les principaux systèmes technologiques nécessaires au fonctionnement de l'IdO :

*Tableau II-1. Composant d'un système IoT.*

Type de systèmes	Identification	Capteurs	Connexion	Intégration	Traitement de données	Réseaux
<b>Enjeux</b>	Reconnaître chaque objet de façon unique et recueillir les données stockées au niveau de l'objet.	Recueillir des informations présentes dans l'environnement pour enrichir les fonctionnalités du dispositif.	Connecter les systèmes entre eux.	Intégrer les systèmes pour que les données soient transmises d'une couche à l'autre.	Stocker et analyser les données pour lancer des actions ou pour aider à la prise de décisions.	Transférer les données dans les mondes physiques et virtuels.
<b>Technologies anciennes</b>	Radio-identification simple Code-barres URI GPS	Luxmètre Capteur de proximité Thermomètre hydromètre	Câbles radio	middleware simples	Base de données Tableur Progiciel de gestion intégré Gestion de la relation client	Internet
<b>Technologies récentes</b>	Radio-identification complexe Onde acoustique de surface ADN	Accéléromètre Gyroscope Capteurs miniaturisés nanotechnologies	Bluetooth Wi-Fi ZigBee Z-Wave communication en champ proche	Middleware complexes analyse décisionnelle des systèmes complexes	Entrepôt de données 3D (compatible avec les puces RFID) Web sémantique	EPC Global

Lier un objet ou un lieu à Internet est un processus plus complexe que la liaison de deux pages Web. L'Internet des objets exige sept composants:

1. **Une étiquette physique ou virtuelle** pour identifier les objets et les lieux. Quelques systèmes d'étiquetage sont décrits ci-dessous. Pour permettre aux étiquettes physiques plus petites d'être localisées elles doivent être embarquées dans des marqueurs visuels.
2. **Un moyen de lire les étiquettes physiques**, ou de localiser les étiquettes virtuelles.
3. **Un dispositif mobile** tel qu'un téléphone cellulaire, un assistant personnel ou un ordinateur portable.
4. **Un logiciel** additionnel pour le dispositif mobile.
5. **Un réseau sans fil** de type 2G, 3G ou 4G afin de permettre la communication entre le dispositif portable et le serveur contenant l'information liée à l'objet étiqueté.
6. **L'information sur chaque objet lié**. Cette information peut être contenue dans les pages existantes du Web, les bases de données comportant des informations de type prix, etc.
7. **Un affichage** pour regarder l'information sur l'objet lié. À l'heure actuelle, il est probable que ce soit l'écran d'un téléphone mobile.

## II.9 Bases de données utilisées dans l'IoT

Les bases de données sont utilisées pour le stockage à court et à long terme. Les applications peuvent s'appuyer sur des bases de données pour récupérer des données sur une fenêtre temporelle à des fins d'analyse. Certains cas d'utilisation peuvent nécessiter un stockage d'archives des valeurs.

Les bases de données non structurées, appelées noSQL, sont utilisées dans de nombreux systèmes IoT. Une base de données noSQL n'a pas de schéma. Les bases de données noSQL simples représentent les données sous forme de paires clé-valeur, mais d'autres représentations sont possibles. L'absence de schéma permet un déploiement rapide mais peut entraîner des problèmes de maintenance.

### II.9.1 Quelques exemples

**Amazon Simple Storage Service**<sup>1</sup> (Amazon S3) est un magasin d'objets avec une interface de service Web. Les données peuvent être transférées vers d'autres services de stockage à moindre coût pour une utilisation à long terme et peu fréquente. Des notifications peuvent être émises lorsque des objets sont exploités.

**Google Cloud Storage**<sup>2</sup> est un magasin d'objets pour les données non structurées. Il fournit trois modèles de service différents à différents niveaux de latence/latence/prix. Cloud SQL peut être utilisé pour effectuer des opérations de base de données. Les transferts en streaming sont pris en charge à l'aide de l'encodage de transfert HTTP en bloc.

## II.10 Bases de temps

De nombreux systèmes IoT nécessitent une notion de temps global. Plusieurs algorithmes, à commencer par l'algorithme de Lamport<sup>3</sup>, ont été développés pour la synchronisation d'horloges dans un système distribué.

Le Network Time Protocol (RFC1305) est utilisé sur Internet pour la synchronisation de l'heure distribuée.

## II.11 Communication et protocoles

### II.11.1 Protocoles

Plusieurs protocoles sont utilisés pour les services de données dans les systèmes IoT.

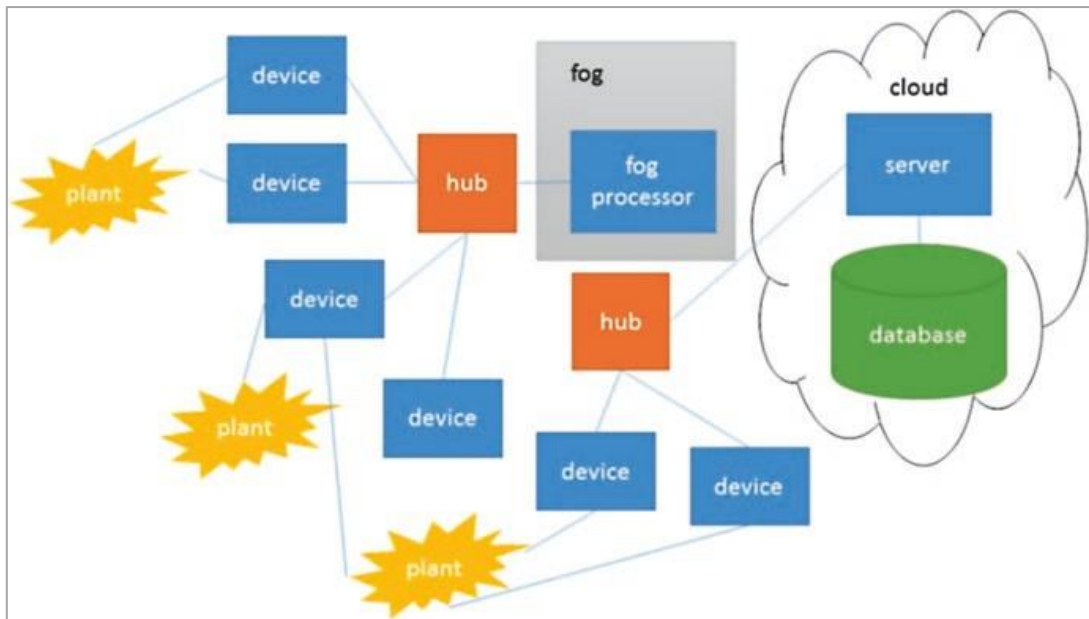
Les protocoles de communication peuvent ne pas fournir une abstraction suffisante pour de nombreuses applications. Les systèmes IoT ont besoin d'une communication multi-sauts de bout en bout. Ils peuvent également présenter des relations complexes entre les sources de données et les puits. Des protocoles de niveau supérieur peuvent fournir des services qui modélisent plus étroitement les besoins des systèmes IoT.

---

<sup>1</sup> <https://aws.amazon.com/s3/>

<sup>2</sup> <https://cloud.google.com/storage>

<sup>3</sup> L'algorithme de la boulangerie (Lamport's bakery algorithm en anglais) est un algorithme d'exclusion mutuelle inventé par Leslie Lamport



*Figure II-4. Organisation d'un système IoT.*

Le protocole fréquemment utilisé dans l'IoT est le protocole HTTP, il utilise un modèle de conception de requête/réponse. Un client émet une demande d'objet hypertexte; le serveur répond alors avec l'objet en réponse, il nécessite moins de couplage entre le client et le serveur, comme illustré sur la Figure II-4.

### II.11.2 Infrastructures réseaux

Pour communiquer, les objets peuvent s'appuyer sur des réseaux locaux (wifi, LoRaWAN privé, Ethernet, bluetooth...) ou sur des réseaux publics opérés à grande échelle.

Les réseaux opérés se divisent en plusieurs catégories:

- Les réseaux LPWAN sur les bandes de fréquences ISM (non licenciées) basés essentiellement sur les technologies Sigfox et LoRaWAN (centrés sur 868Mhz).
- Les réseaux basées sur des bandes de fréquences licenciées (2/3/4/5G), avec des déclinaisons LPWAN cellulaires comme LTE-M et NB-IoT.

## II.12 Fiabilité et disponibilité

Comme les systèmes IoT sont distribués, la fiabilité est plus susceptible d'être spécifiée sur des parties du réseau plutôt que sur la fiabilité du système complet. La disponibilité est couramment utilisée pour décrire les systèmes distribués.

Les services des systèmes IoT devraient souvent avoir une durée de vie plus longue que prévu pour les systèmes PC. La durée de vie du système ou un sous-ensemble du système peut être considérablement plus longue que celle d'un composant, en particulier si le système utilise des capteurs redondants et d'autres composants.

## II.13 Sécurité et confidentialité

La sécurité a finalement été reconnue comme une exigence essentielle pour tous les types de systèmes informatiques, y compris les systèmes IoT. Cependant, de nombreux systèmes IoT sont beaucoup moins sécurisés que les systèmes Windows/Mac/Linux typiques. Les problèmes de sécurité de l'IoT proviennent d'un éventail de causes : des fonctionnalités de sécurité inadéquates dans le matériel, des logiciels mal conçus avec une gamme de vulnérabilités, des mots de passe par défaut et d'autres erreurs de conception de sécurité.

Les nœuds IoT non sécurisés créent des problèmes pour la sécurité de l'ensemble du système IoT. Étant donné que les nœuds ont généralement une durée de vie de plusieurs années, la grande base installée de périphériques non sécurisés créera des problèmes de sécurité pendant un certain temps.

Les systèmes IoT non sécurisés causent également des problèmes de sécurité pour le reste d'Internet. Les appareils IoT sont nombreux ; les nœuds IoT non sécurisés sont parfaitement adaptés aux attaques par déni de service. L'attaque DDoS contre Dyn<sup>1</sup> est un exemple d'attaque basée sur l'IoT contre l'infrastructure Internet traditionnelle.

---

<sup>1</sup> La cyberattaque de 2016 a eu lieu le 21 octobre 2016 et implique une attaque par déni de service massive (DDoS) de plus d'un téraoctet par seconde visant le service Dyn Managed DNS. De nombreux sites qui utilisent ce service (différent de DynDNS), tels que Twitter, Ebay, Netflix, GitHub, PayPal, sont inaccessibles pendant une dizaine d'heures (de 7 h UTC à environ 17 h UTC).

La confidentialité est liée à la sécurité, mais nécessite des mesures spécifiques au niveau de l'application, du réseau et de l'appareil. Non seulement les données des utilisateurs doivent être protégées contre le vol pur et simple, mais le réseau doit être conçu de manière à ce que les données moins privées ne puissent pas être facilement utilisées pour déduire des données plus privées.

## II.14 Coût de possession et consommation électrique

Le coût de possession sur la durée de vie est une mesure clé pour les appareils IoT. Le coût d'un silicium IoT comprend plusieurs composants : détection et activation, calcul, mise en réseau, ainsi que l'emballage. L'appareil IoT terminé comprend l'alimentation et l'emballage.

Cependant, le coût d'installation est un facteur important dans le coût de possession. Le coût d'installation d'une chute de câble dans un bâtiment existant aux États-Unis est, selon l'expérience des auteurs, d'environ 150\$. Ce coût dépasse le coût du matériel.

L'élimination de tout le câblage – à la fois l'alimentation et la mise en réseau – réduit considérablement les coûts d'installation. Le coût de remplacement des piles est important.

## II.15 Quels sont les secteurs d'activité qui peuvent bénéficier de l'IoT ?

Les entreprises les mieux adaptées à l'IoT sont celles dont les processus métier peuvent bénéficier de l'utilisation de capteurs.

### II.15.1 Production

Les industriels peuvent bénéficier d'un avantage concurrentiel grâce à la surveillance des chaînes de production, afin de mettre en place une maintenance proactive des équipements sur lesquels les capteurs détectent une défaillance imminente. Les capteurs peuvent déterminer le moment où la production sera compromise. À l'aide des alertes émises par les capteurs, les industriels peuvent rapidement s'assurer de la précision du matériel ou le retirer de la production jusqu'à sa réparation. Les entreprises peuvent ainsi réduire leurs coûts d'exploitation, améliorer les temps de bon fonctionnement et mieux gérer les performances des actifs.

### II.15.2 Automobile

L'industrie automobile pourra bénéficier d'avantages considérables en utilisant des applications IoT. Au-delà des avantages obtenus par l'application de l'IoT aux chaînes de production, des capteurs peuvent détecter l'imminence de pannes sur des véhicules déjà en circulation, ainsi qu'alerter le conducteur en lui fournissant des détails et des recommandations. Grâce aux informations agrégées collectées par des applications reposant sur l'IoT, les constructeurs et équipementiers automobiles peuvent être informés sur le bon fonctionnement des voitures et alerter les propriétaires.

### II.15.3 Transport et logistique

Les systèmes de transport et de logistique bénéficient d'une grande diversité d'applications IoT. Les parcs de voitures, camions, navires et trains qui transportent du stock peuvent être réacheminés en fonction des conditions météo, ou encore de la disponibilité des véhicules ou des chauffeurs grâce aux données issues des capteurs IoT. Le stock lui-même peut également être muni de capteurs en vue de son suivi, ou à des fins de contrôle de température. Les secteurs agro-alimentaire, floral et de l'industrie pharmaceutique transportent souvent un stock sensible aux variations de températures. Celui-ci bénéficierait largement d'applications IoT de contrôle qui envoient des alertes lorsque les températures augmentent ou baissent à un niveau dangereux pour le produit.

### II.15.4 Retail

Les applications IoT permettent aux entreprises de la grande distribution de gérer leurs stocks, d'améliorer l'expérience client, d'optimiser la « supply chain<sup>1</sup> » et de réduire les coûts d'exploitation. Par exemple, des rayons intelligents pourvus de capteurs de poids peuvent collecter des informations par radio-identification (RFID) et envoyer les données à la plateforme IoT pour surveiller automatiquement les stocks et déclencher des alertes si la quantité d'articles commence à baisser. Des

---

<sup>1</sup> Traduit de l'anglais, la supply chain désigne aujourd'hui littéralement, la chaîne d'approvisionnement ou cycle de la chaîne d'approvisionnements. Fondamentalement, la supply chain représente les étapes d'approvisionnement, du processus productif et de distribution de la marchandise. Elle est constituée de différents flux. On les appelle flux physiques, flux d'informations et flux financiers et administratifs. L'enjeu principal est donc la gestion des flux.

balises peuvent présenter des offres ciblées et des promotions aux clients, afin d'offrir une expérience de qualité.

#### II.15.5 Secteur public

Les avantages de l'IoT dans le secteur public et les autres environnements de service sont tout aussi vastes. Par exemple, certains services publics peuvent utiliser des applications IoT pour avertir leurs utilisateurs de pannes à grande échelle, voir de coupures plus brèves d'eau, d'électricité ou des services d'assainissement. Les applications IoT peuvent collecter des données relatives à la portée d'une panne et déployer des ressources pour aider les compagnies à récupérer plus rapidement suite aux défaillances.

#### II.15.6 Santé

La surveillance des actifs par IoT offre de nombreux avantages au secteur de la santé. Médecins, infirmières et aide-soignants doivent souvent connaître la localisation exacte des actifs d'assistance aux patients, tels que les fauteuils roulants. Lorsqu'un fauteuil roulant d'hôpital est équipé de capteurs IoT, il peut être suivi à partir de l'application de surveillance, de telle sorte qu'un soignant qui en a besoin peut rapidement trouver le fauteuil roulant disponible le plus proche. De nombreux actifs d'hôpital peuvent être suivis ainsi afin de garantir une utilisation correcte, ainsi que la prise en compte financière des actifs physiques dans chaque service.

#### II.15.7 Sécurité générale

À l'échelle de tous les secteurs d'activité, outre le suivi des actifs physiques, l'IoT peut être utilisé pour renforcer la sécurité des collaborateurs. Les collaborateurs qui travaillent dans des environnements dangereux, tels que les mines, les puits de pétrole ou de gaz, et les usines chimiques ou les centrales électriques, par exemple, doivent être informés des événements dangereux qui peuvent les mettre en péril. Lorsqu'ils sont connectés à des applications reposant sur des capteurs IoT, ils peuvent être avertis des accidents ou en être secourus au plus vite. Les applications IoT sont également utilisées pour les dispositifs portables qui peuvent surveiller la santé humaine et les conditions d'environnement. Les

applications de ce type n'aident pas uniquement les personnes à mieux comprendre leur propre santé, elles permettent également aux médecins de surveiller leurs patients à distance.

## II.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'ouvrir une fenêtre sur le monde de l'Internet des objets, qui devrait changer radicalement nos vies et nos modes de vie.

Les systèmes IoT ouvrent un nouvel horizon pour la conception VLSI<sup>1</sup>. Les systèmes IoT nécessitent des systèmes à très faible consommation qui combinent des éléments disparates - calcul, communication et détection - à des prix très bas. Les systèmes IoT mettent l'accent sur les petites puces performantes, contrairement aux grosses puces qui ont dominé l'industrie pendant de nombreuses années.

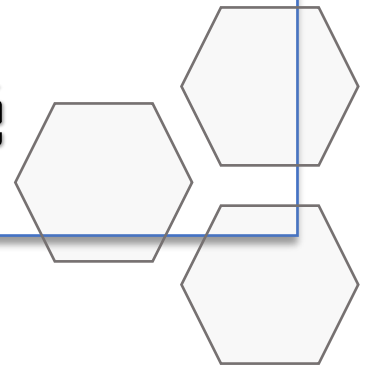
---

<sup>1</sup> L'intégration à très grande échelle (ou VLSI pour Very-Large-Scale Integration en anglais) est une technologie de circuit intégré (CI) dont la densité d'intégration permet de supporter plus de 100 000 composants électroniques sur une même puce.



CH. 3

Conception et Implémentation du  
Système Proposé



## **CHAPITRE III . CONCEPTION ET IMPLÉMENTATION DU SYSTÈME PROPOSÉ**

### **III.1 Introduction**

Dans ce chapitre, nous présenterons le côté pratique du projet, où nous avons développé une application mobile qui aide les apiculteurs à prendre les décisions appropriées, sur la base des données saisies dans l'application (en l'absence de capteurs que nous n'avons pas pu obtenir et utiliser sur le terrain).

### **III.2 Présentation générale du système**

Les abeilles sont hétérothermes<sup>1</sup>. La surveillance de la température et l'humidité des ruches permet de juger si les abeilles sont actives ou non et si doit réagir ou non.

Notre système met à la disposition du l'apiculteur une application pour smartphone permettant la vérification de la température et l'humidité des ruches à distance, et recevoir des notifications ou des alertes lorsqu'il doit se rendre à ces ruches.

Il connaîtrait l'état de ses abeilles sans visiter son rucher. Il peut aussi planifier la vérification des ruches avant de les visiter.

### **III.3 Sources de données utilisées**

Nous nous sommes appuyés sur des sources scientifiques, ainsi que sur les recommandations de certains apiculteurs experts, et nous sommes parvenus aux données suivantes concernant l'effet de la température et de l'humidité de l'air sur l'activité des abeilles.

#### **III.3.1 A l'intérieur de la ruche**

La température intérieure d'une ruche avoisine les 35°. On dit que la partie basse dans laquelle se trouve la colonie est une nursery. Comme dans une maternité, le couvain doit rester au chaud pour se développer convenablement. En période froide, les abeilles se serrent les unes contre les autres, en grappe, pour conserver leur chaleur sans trop d'effort. C'est donc pour cette raison que les ruches ne doivent pas être ouvertes inutilement en mi-saison et que les dispositifs

---

<sup>1</sup> Se dit des animaux dont la température interne varie avec la température ambiante (syn. courant animal à sang froid).

de contrôle à distance sont nécessaires. Car en gardant un œil sur les abeilles depuis un écran, vous n’ouvrez la ruche que lorsque ceci est justifié.

### III.3.2 Le butinage

Des températures froides au cours de la saison de butinage empêchent les abeilles de sortir conduisant à des carences en pollen pour la colonie, et vice-versa; comme détaillé dans le tableau suivant :

<b>Température</b>	<b>Activité des abeilles</b>
< 10°	Diminution du butinage
De 12° à 14°	Butinage naturel
16°	Butinage actif
>16°	Butinage très actif

*Tableau III-1. Influence de la température sur le butinage chez les abeilles.*

### III.3.3 Hivernage

L’hivernage consiste en une période d’activité ralentie durant la saison hivernale, les abeilles réduisent leurs activités au strict nécessaire pour économiser leurs forces et leurs réserves de miel.

<b>Température</b>	<b>L’humidité</b>
De 0° à 4°	< 80%

*Tableau III-2. Valeurs idéales pour la température et humidité des ruches pendant l’hivernage*

### III.3.4 Ponte des œufs

À la belle saison et au mieux de sa forme, une reine pond plus de 2000 œufs par jour, soit plus d’un œuf par minute. Pour atteindre ces formidables performances, elle est abondamment nourrie de gelée royale et fait l’objet des soins attentifs de sa cour.

Certaines conditions climatiques doivent également être présentes pour y parvenir.

<b>Température</b>	<b>L’humidité</b>
32°	±60%

*Tableau III-3. Des valeurs appropriées de température et d’humidité pour inciter la reine à pondre.*

### III.4 Arbre de décision proposé

#### III.4.1 Construction de l'arbre de décision

A partir des données présentées dans les tableaux au point **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, on peut déduire l'arbre de décision suivant :

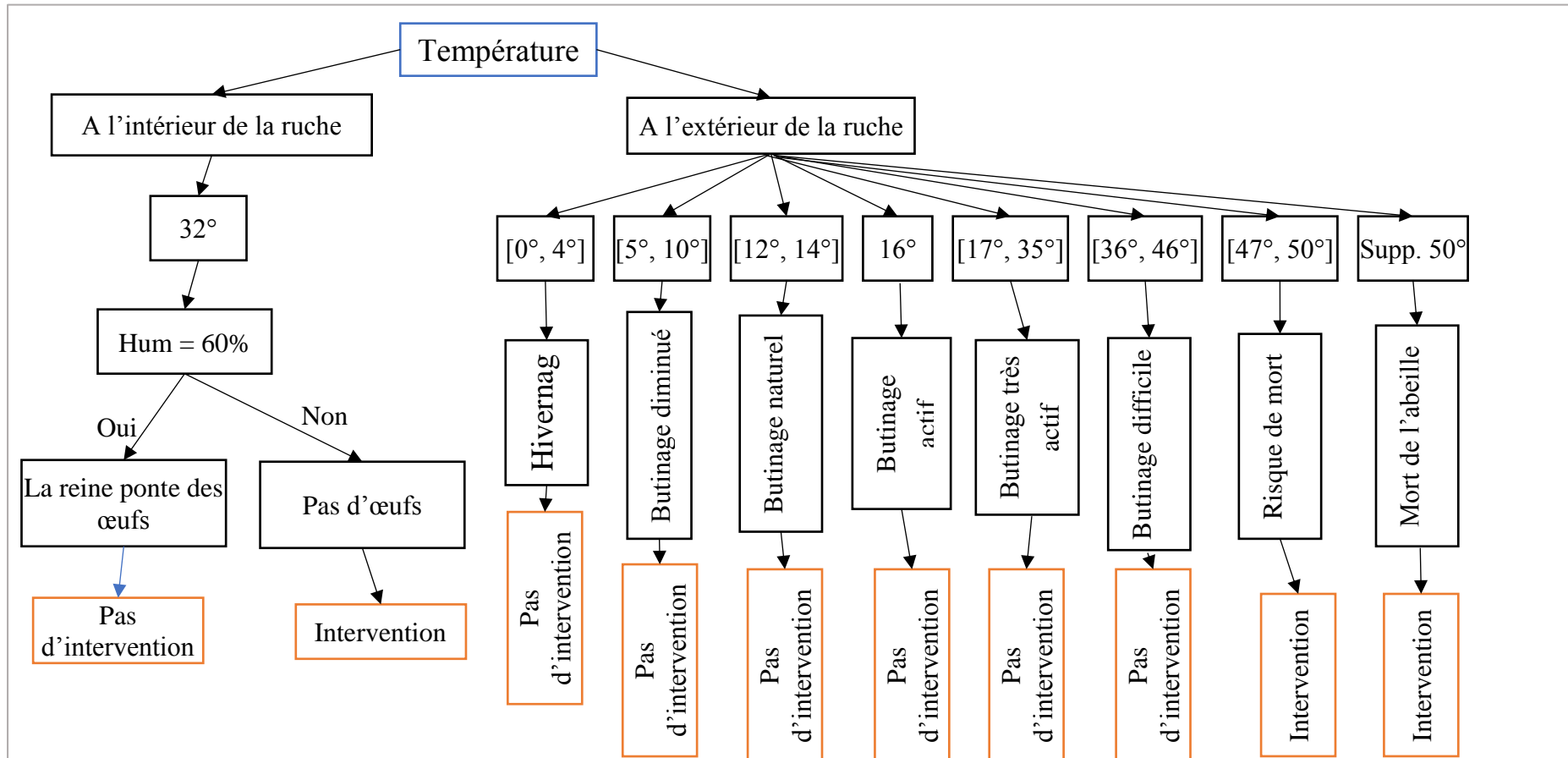


Figure III-1. Arbre de décision proposé

### III.4.2 Explication de l'arbre de décision

En analysant les données, nous avons remarqué que l'élément « température » est l'élément le plus important par rapport à l'élément « humidité ». Ce dernier n'est important qu'à l'intérieur de la ruche.

Par conséquent, nous interprétons l'arbre de décision comme suit :

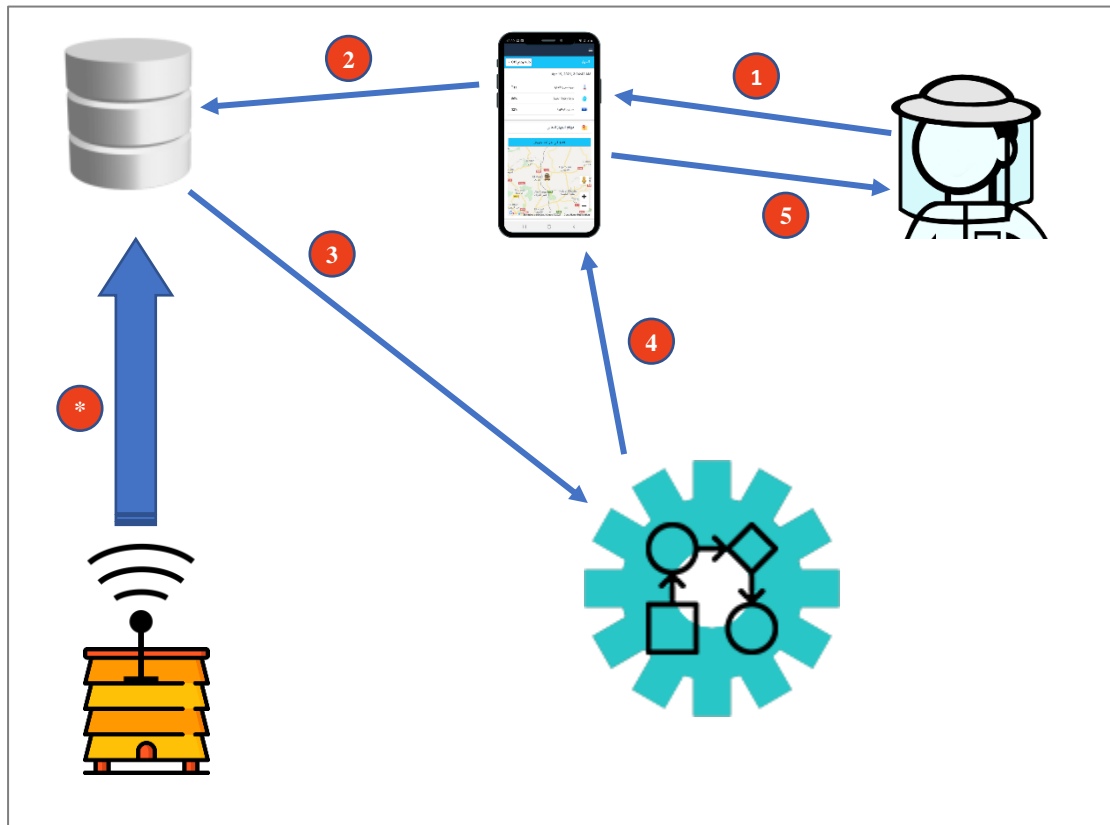
La température à l'intérieur de la ruche est souvent constante, aux alentours de 32°. Tout changement, augmentation ou diminution, nécessite l'intervention d'un apiculteur.

- Si la température est comprise entre 0° et 4°, les abeilles entreront en état d'hivernage ► Pas d'intervention.
- Si la température est comprise entre 5° et 10°, les abeilles commenceront à butiner, mais lentement, en petit nombre et sur de courtes distances ► Pas d'intervention.
- Si la température est comprise entre 11° et 14°, le butinage des abeilles sera normal ► Pas d'intervention.
- Si la température est égale à 16°, le butinage des abeilles sera actif ► Pas d'intervention.
- Si la température est comprise entre 16° et 35°, le butinage des abeilles sera très actif ► Pas d'intervention.
- Si la température est comprise entre 36° et 45°, le butinage des abeilles sera difficile ► Pas d'intervention.
- Si la température est comprise entre 46° et 50°, Les abeilles sont en danger de mort ► Intervention nécessaire.
- Si la température est supérieure à 50°, Les abeilles vont mourir ► Intervention nécessaire.

## III.5 Implémentation du système proposé

### III.5.1 Architecture générale du système proposé

Le schéma suivant explique l'architecture de l'application proposée.



*Figure III-2. Architecture générale du système proposé*

\*. Les données sont envoyées aux serveur continuellement, à une fréquence qui dépend de la technologie des capteurs ou de leur configuration, ainsi, la base de données installée sur le serveur est actualisée tout le temps.

1. L'apiculteur consulte l'application mobile sur un smartphone ou une tablette, et demande des informations sur les ruches et leur situation environnementale (température et humidité);
2. L'application envoie la requête de l'apiculteur au serveur via le protocole HTTP;
3. Le serveur renvoie la requête au système décideur (service Web);
4. Le système décideur, prend une décision selon les données envoyées par le capteur, et remet le résultat à l'application sous forme JSON;

5. L'application formate le résultat dans une forme lisible par l'utilisateur et l'affiche sur écran.

### III.6 Exemple d'installation du matériel

Malgré la variété des moniteurs utilisés dans le monde de l'apiculture, la méthode de leur installation est généralement simple et très similaire.

Dans l'exemple suivant, nous montrerons comment installer l'une de ces techniques à l'intérieur des cellules.

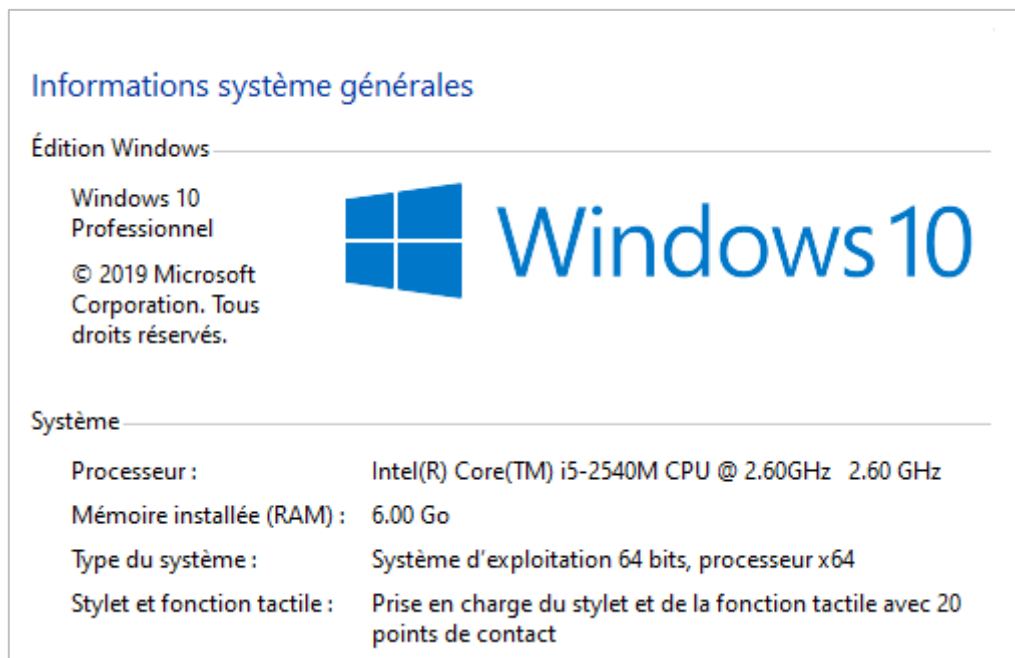


*Figure III-3. Exemple d'installation d'un capteur dans une ruche*

## III.7 Environnement du travail

### III.7.1 Environnement matériel et logiciel

L'environnement matériel est décrit dans la figure suivante :



*Figure III-4. Environnement matériel*

### III.7.2 Outils de développement

Afin de développer notre application, nous avons choisi la combinaison (Flutter – Dart – Visual Studio Code).

Les extensions *Dart* et *Flutter* étendent *Visual Studio Code* avec la prise en charge du langage de programmation *Dart* et fournissent des outils pour éditer, refactoriser, exécuter et recharger efficacement les applications mobiles Flutter.

Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter chacun des outils utilisés.

#### *III.7.2.1 Dart*

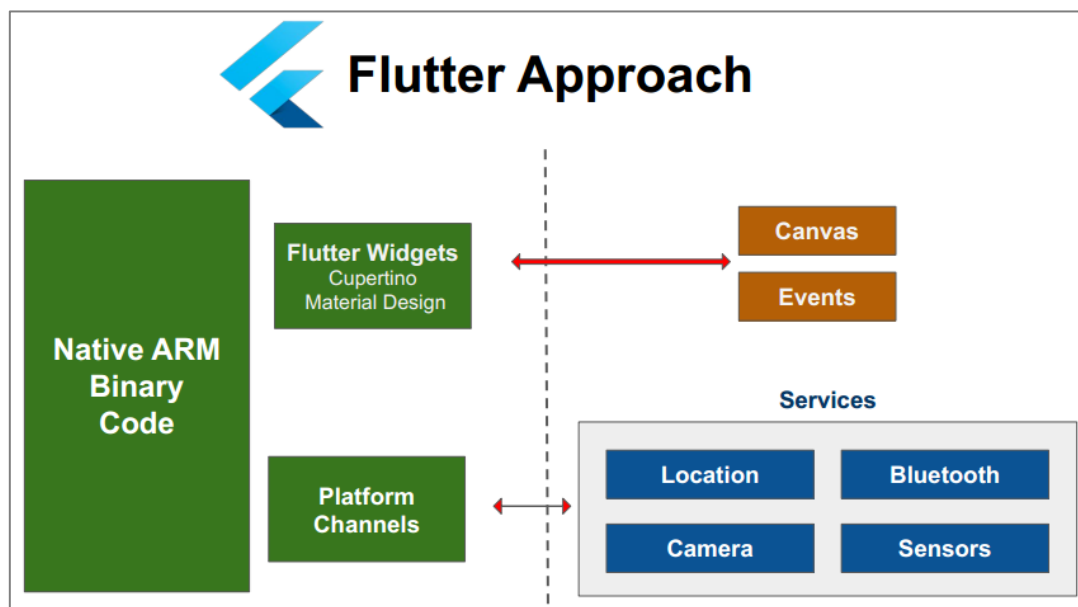
Dart est un langage de programmation orienté objet, optimisé pour les applications sur plusieurs plateformes. Il est développé par Google et est utilisé pour créer des applications mobiles, de bureau, de serveur et web.

<b>Date de première version</b>	10 octobre 2011
<b>Auteur</b>	Lars Bak et Kasper Lund
<b>Développeur</b>	Google
<b>Dernière version</b>	2.13.3. (8 septembre 2020)
<b>Version en développement</b>	2.14.0-188.3.beta. (28 août 2020)
<b>Influencé par</b>	C (langage), C#, Java, Javascript, Kotlin, Ruby
<b>Implémentations</b>	Flutter , Dart VM, dart2native, dart2js
<b>Système d'exploitation</b>	Cross-plateforme
<b>Licence</b>	Licence BSD
<b>Site web</b>	<a href="https://dart.dev">https://dart.dev</a>
<b>Extension de fichier</b>	.dart


*Tableau III-4. Informations sur « Dart ».*

### III.7.2.2 Flutter

Flutter est un kit de développement de logiciel (SDK) d'interface utilisateur (UI Toolkit) open-source créé par Google. Il est utilisé pour développer des applications pour Android, iOS, Linux, Mac, Windows, Google Fuchsia et le web à partir d'une seule base de code.



*Figure III-5. Approche Flutter*

<b>Créateur</b>	Google
<b>Logo officiel</b>	
<b>Développé par</b>	Google
<b>Première version</b>	Alpha (v0.0.6) / 2011
<b>Dernière version</b>	2.5 (8 septembre 2021)
<b>Dépôt</b>	<a href="https://github.com/flutter/flutter">github.com/flutter/flutter</a>
<b>Écrit en</b>	C, C++, Dart2
<b>Système d'exploitation</b>	Android, iOS, Google Fuchsia, Web, Windows, MacOS et Linux
<b>Type</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kit de développement</li> <li>• Framework</li> </ul>
<b>Licence</b>	Licence BSD <sup>1</sup>
<b>Site web</b>	<a href="https://flutter.dev">flutter.dev</a>

*Tableau III-5. Informations sur SDK « Flutter ».*

### III.7.2.3 JavaScript Object Notation (JSON)

JavaScript Object Notation (JSON) est un format de données textuelles dérivé de la notation des objets du langage JavaScript. Il permet de représenter de l'information structurée comme le permet XML.

### III.7.2.4 Visual Studio Code

*Visual Studio Code* est un éditeur de code source léger mais puissant qui s'exécute sur un ordinateur et est disponible pour Windows, macOS et Linux. Il est livré avec une prise en charge intégrée de JavaScript, TypeScript et Node.js et dispose d'un riche écosystème d'extensions pour d'autres langages (tels que C++, C#, Java, Python, PHP, Go) et des environnements d'exécution (tels que .NET et Unity).

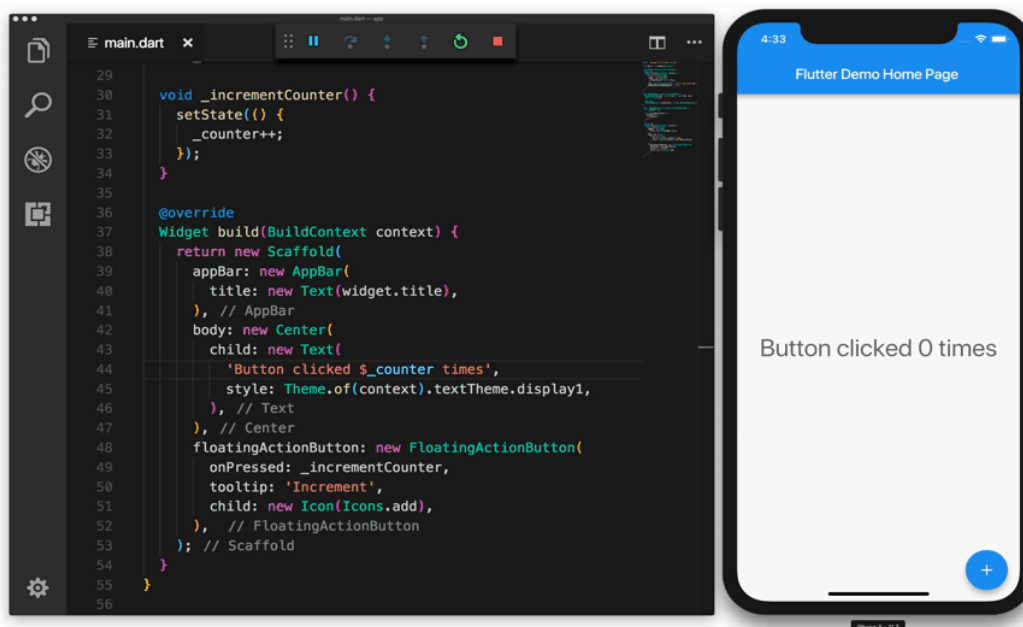
Le tableau suivant résume les informations les plus importantes sur Visual Studio Code :

<sup>1</sup> La licence BSD (Berkeley Software Distribution License) est une licence libre utilisée pour la distribution de logiciels. Elle permet de réutiliser tout ou une partie du logiciel sans restriction, qu'il soit intégré dans un logiciel libre ou propriétaire.

<b>Développé par</b>	Microsoft
<b>Première version</b>	14 novembre 2015
<b>Dernière version</b>	1.60.0 (2 septembre 2021)
<b>Dépôt</b>	<a href="https://github.com/microsoft/vscode">github.com/microsoft/vscode</a>
<b>Écrit en</b>	TypeScript et JavaScript
<b>Supporte les langages</b>	C, C++, Go, CSS, JavaScript, TypeScript, C#, PHP et Python
<b>Système d'exploitation</b>	Microsoft Windows, macOS et Linux
<b>Environnement</b>	X86, x86_64 et ARMv8
<b>Langues</b>	Multilingue (d)
<b>Type</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Éditeur de code source</li> <li>• Débogueur</li> </ul>
<b>Licence</b>	Licence MIT et licence propriétaire
<b>Site web</b>	<a href="https://code.visualstudio.com">code.visualstudio.com</a>

*Tableau III-6. Informations sur Visual Studio Code.*

Et voici l'environnement de Visual Studio Code avec un émulateur :



*Figure III-6. Interface de Visual Studio V 1.60.0 avec un émulateur Android*

## **Pourquoi Visual Studio Code ?**

### **- Supporte les langages**

Visual Studio Code supporte presque tous les langages connus, et nous l'avons choisi pour utiliser le SDK *Flutter* avec le langage *Dart* (décrit ci-dessus) pour développer une application mobile.

### **- Compatibilité avec les émulateurs :**

Un émulateur Android est un périphérique virtuel Android (AVD, Android Virtual Device) qui représente un périphérique Android spécifique. On peut utiliser un émulateur Android en tant que plate-forme cible pour exécuter et tester nos applications Android sur un PC.

### **- Popularité croissante :**

En 2019, Visual Studio Code a été classé comme l'outil d'environnement de développement le plus populaire<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Selon un sondage effectué par : <https://insights.stackoverflow.com/survey/2019/>

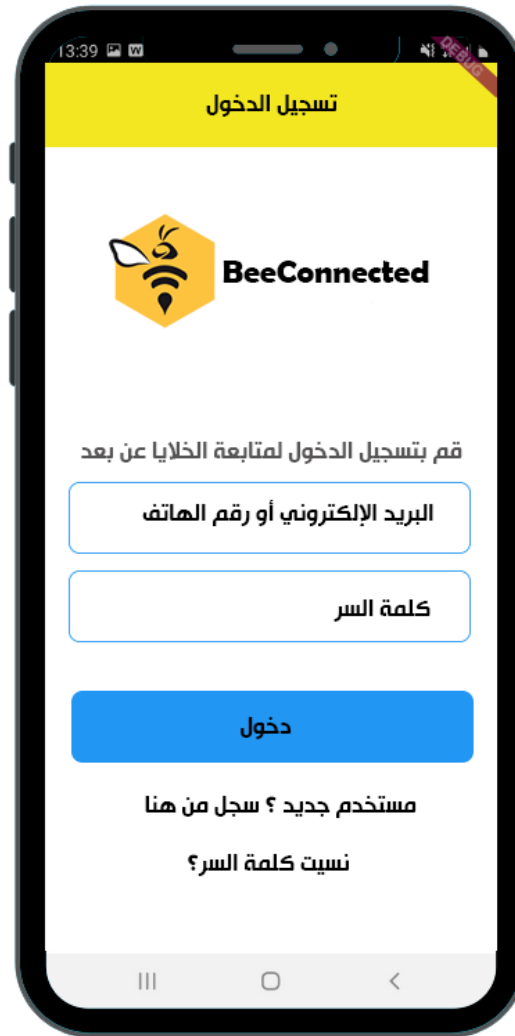
### III.8 Présentation de l'interface de l'application

Voici quelques captures d'écran prise de l'application, que nous avons appelé : « *BeeConnected* » (Abeilles connectées).



*Figure III-7. Capture 1: Inscription au système.*

Lors de l'installation de l'application, l'utilisateur (l'apiculteur) doit s'inscrire en créant un compte à l'aide de son email et un mot de passe, et enregistrer la liste de ces ruches menées de capteur sans fil permettant de récupérer la température et l'humidité, et les configurer selon les recommandations du constructeur.



*Figure III-8. Capture 2: Login à l'application.*

Ayant un compte confirmé, l'utilisateur doit ouvrir une session pour utiliser l'application.



*Figure III-9. Capture 3: Liste des ruches connectées.*

Après l'ouverture d'une session, l'utilisateur peut voir la liste des ruches connectées, c-à-d ayant un capteur sans fil installé dedans.



*Figure III-10. Capture 4: Etat normale d'une ruche.*

A partir de la liste de ruches connectées, l'utilisateur peut consulter l'état de la température et de l'humidité.

(Toujours à cause de l'absence de capteurs sans fil, l'utilisateur doit entrer les données manuellement pour tester l'application).

Il peut consulter l'état de la batterie du capteur.



*Figure III-11. Capture 4: Etat de température > 50°.*

Exemple d'une situation critique, ou la température atteint 50°, ce qui représente un danger pour les abeilles.

L'application affiche une alerte, et invite l'utilisateur à consulter quelque conseils, et ceci après l'exécution de l'arbre de décisions décrit au paragraphe III.4.

### III.9 Difficultés techniques

Lors de la réalisation de ces travaux, nous avons rencontré quelques problèmes qui ont directement affecté la qualité du travail, dont les plus importants sont :

- Le confinement, qui a inclus notre pays (et presque le monde entier) en raison de la pandémie de Covid 19, qui a provoqué la suspension de nombreuses activités, y compris les bureaux d'études agricoles qui auraient pu nous fournir des informations et des données importantes, qui nous aideraient à notre travail. L'absence de bureau d'études agricoles dans notre pays qui nous a empêchés d'obtenir un DataSet.
- La difficulté d'obtenir un capteur sans fil.

Mais malgré les nombreuses difficultés, nous avons essayé de trouver des solutions et d'achever notre travail. Grâce à notre implémentation, nous pouvons dire qu'il est très

### III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un bref aperçu de l'application que nous avons créée, dans le but de faciliter le suivi de l'effet de la chaleur et de l'humidité sur les ruches.

Nous avons également évoqué les techniques utilisées, telles que l'environnement de programmation (à savoir Flutter), les arbres de décision, ainsi que quelques exemples de capteurs sans fil spéciaux et comment les installer dans les cellules.

En raison du manque de ces capteurs, nous avons été obligés de faire que les données soient entrées par l'utilisateur, puis le système va les traiter et afficher les données nécessaires, et ceci se fait dans un environnement facile à utiliser.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES**

L'intervention de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'agriculture est relativement ancienne, mais son entrée dans le monde de l'apiculture s'accélère à un rythme rapide, en raison de l'importance de cette activité qui affecte directement l'alimentation humaine à travers le monde et pas seulement sur les produits apicoles.

La technologie peut être mise à profit pour aider à sauver les abeilles de la même manière qu'elle est appliquée à d'autres projets innovants. Premièrement, en utilisant des capteurs sans fil de l'Internet des objets, y compris des microphones et des caméras qui peuvent voir les prédateurs envahissants et collecter des données auprès des abeilles et des ruches. L'ingéniosité humaine et les innovations telles que les technologies sans fil, la robotique et la vision par ordinateur aident à fournir de nouvelles idées et solutions au problème.

Mais le défi auquel est confrontée l'intelligence artificielle dans le monde de l'apiculture réside dans la sensibilité des abeilles à de nombreux problèmes et dangers auxquels elles sont confrontées et affectent leur vie et leur production, tels que les insectes prédateurs, les parasites, les fluctuations météorologiques, le réchauffement climatique, la sécheresse, etc.

Dans le cadre de ce travail, nous avons cherché à développer un système basé sur l'intelligence artificielle et l'Internet des objets qui facilite la surveillance à distance des changements de température et d'humidité au niveau des ruches. Le problème le plus important auquel nous avons été confrontés est la rareté des capteurs sans fil sur le marché local et leurs prix élevés, ce qui nous a obligés à les remplacer par des techniques logicielles et à fournir une base de données préalable, tandis que l'apiculteur (l'utilisateur de l'application) saisissait les données manuellement.

Il ne fait aucun doute que ce modeste travail doit encore être amélioré et développé, en utilisant de vrais capteurs sans fil, et en ajoutant d'autres facteurs affectant les abeilles, tels que les parasites, le contrôle du nombre d'abeilles, l'activité de la reine et d'autres activités des abeilles à l'intérieur et à l'extérieur des ruches, dont nous espérons avoir des opportunités à venir pour mener à bien ce projet prometteur.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Berkani, M. L. (2008). *Etude des paramètres de développement de l'apiculture Algérienne*. Alger: Institut National Agronomique.
- ERHEL, C., & DE LA RAUDIÈRE, L. (2016). *L'internet des objets: le numérique à l'ère de la prédiction*. Paris.
- Evan, H., Viacheslav, A., Trevor, S., Christopher, B., & Nathaniel, R. (2019, 1). Precision apiculture: Development of a wireless sensor network for honeybee hives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, pp. 138-144.
- Gibert, C. (2020, 9 9). *Un capteur intelligent s'immisce parmi les abeilles*. Consulté le 5 5, 2021, sur cscience.ca: <https://www.cscience.ca/2020/09/09/un-capteur-intelligent-simmisce-parmi-les-abeilles/>
- Heldmaier, G. (1987, juin). Temperature Control in Honey Bee Colonies. *BioScience*, pp. 395-399.
- Kleczinski, N. (2021, 2 19). *L'intelligence artificielle au service des abeilles, avec ce piège à frelon asiatique révolutionnaire*. Récupéré sur neozone.org: <https://www.neozone.org/innovation/lintelligence-artificielle-au-service-des-abeilles-avec-ce-piege-a-frelon-asiatique-revolutionnaire/>
- Lemieux, S. (2018, 7 23). *L'intelligence artificielle au service des abeilles*. Consulté le 05 02, 2021, sur Le journal de montreal: <https://www.journaldemontreal.com/2018/07/23/lintelligence-artificielle-au-service-des-abeilles>
- Marc, C. (2019, 01 30). *De l'intelligence artificielle pour sauver les abeilles*. Consulté le 05 03, 2021, sur EPFL CH: <https://actu.epfl.ch/news/de-l-intelligence-artificielle-pour-sauver-les-abe/>

- Marr, B. (2020, 4 22). *How Artificial Intelligence, IoT And Big Data Can Save The Bees*. Consulté le 5 5, 2021, sur Forbes.com: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2020/04/22/how-artificial-intelligence-iot-and-big-data-can-save-the-bees/>
- Vanbergen, A. (2016). *Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. IPBES.
- Vannieuwenhuyze, A. (2019). *Intelligence artificielle vulgarisée - Le Machine Learning et le Deep Learning par la pratique*. Paris: Editions ENI.