



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
*La Republique Algerienne Democratique Et Populaire*  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
*Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De La  
Recherche Scientifique*



Saad Dahleb University Blida 1  
**Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales IAES**

**Domaine : Sciences et Technologies**  
**Département : Construction Aéronautique**  
**Spécialité : Avionique**

**Mémoire de fin d'études**  
En vue de l'obtention du diplôme de  
**Master en Aéronautique**  
*Option : Avionique*

**Intitulé du Projet :**

**«Détecteur de drone à base de capteur de champ magnétique»**

Projet de **Startup** présenté dans le cadre de l'arrête ministériel "1275", assurée par  
l'Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales. IAES

*Proposé et dirigé par : Dr CHEGGAGA Nawal*  
*Réalisé par : Bakiri Khaled*  
*Merabti Nizar*

*Codirigé par :*

*Soutenu devant le jury composé de : Président : Mr Azmedroub bousaad*  
*Promotrice: Mdm CHEGGAGA Nawal*  
*EXamineur: Mr khireddine Choutri*

*Promotion : 2022 / 2023*

## **Remerciement**

**Au nom d'Allah le tout puissant, un grand merci lui revient pour nous avoir donnée la foi, la volonté, les moyens, le courage et surtout de nous avoir permis d'en arriver là.**

**Nous exprimons également notre gratitude à notre encadreur Mme CHEGGAGA NAWAL qui, par ses encouragements renouvelés, ses remarques pertinentes, ses conseils, et son soutien, nous avons pu achever notre travail de recherche dans les meilleures conditions.**

**Nous remercions également les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer ce travail, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.**

**Nous remercions, également, l'ensemble les enseignants qui ont assuré notre formation tout au long de notre cursus universitaire .**

**Enfin, nous remercions, tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.**

## Dédicace :

Ce projet de fin d'études est dédié à mes chers parents, qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études, sans eux je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet de fin d'études représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigué tout au long de ma scolarité. Qu'ils soient remerciés par cette trop modeste dédicace.

C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre à mes chères sœurs : Yasmine, Feriel et la petite princesse Ines, et sans oublier la famille Bakiri et la famille Aziz ,en signe d'amour

Et finalement à tous mes amis, mes amis d'enfance qui sont toujours là avec moi, mes amis de la résidence universitaire avec qui j'ai vécu des souvenirs inoubliables. À tous mes camarades de classe et spécialement à mon binôme et mon partenaire de travail  
Nizar Merabti

***BAKIRI KHALED***

## الإهداء

الحمد لله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا على أداء هذا الواجب ووفقنا إلى انجاز هذه المذكرة وإتمام هذا البحث العلمي المتواضع والذي اهديه:

إلى من جعل المولى- سبحانه وتعالى- الجنة تحت قدميها، إلى ملاكي وبسمتي في الحياة التي رأني قلبها قبل عينيها، وحضنتني أحشائها قبل يديها، فرحي وسندي وعوني بعد الله "جنتي أمي".

إلى من احمل اسمه بكل فخر واعتزاز، إلى الذي جاهد، كافح وشقى لأنعم بالراحة و الهناء، من لم يبخل علي بشيء من اجل دفعي في طريق النجاح

" أبي الغالي ".

إلى من قاسموني حلو الحياة ومرها تحت سقف واحد إخوتي  
وسندي " رمزي " " مروان "، " رضا ".

إلى أعز الناس وأقربهم إلى قلبي، من كان دعاؤها سر نجاحي

"جدتي الغالية ".

إلى سندي بعد أبي، الذي شجعني ورافق خطواتي " جدي الغالي ".

اهديه أيضا إلى أحبتي " خالاتي "، " عماتي " وأعمامي ".

إلى كل الأساتذة الذين جدوا في إعطائي العلم بإتقان وتفاني وغمروني الاحترام والتقدير والتوجيه.

إلى جميع عائلتي وأحبتي وكل من أحبهم قلبي ونسيهم قلبي.

# Résumé :

---

## Résumé :

Dans un monde où les drones représentent un éventail croissant de défis en matière de sécurité, notre projet se présente comme un exemple d'innovation. Axé sur la détection de drones, quelle que soit leur taille ou leur type, notre travail plonge dans les domaines de l'ingénierie aéronautique et de la technologie de l'information. Nous avons développé un système robuste qui tire parti de la technologie de pointe, telle que le capteur MAG3110 et des algorithmes avancés d'apprentissage automatique, pour non seulement détecter les drones, mais aussi les identifier avec une précision remarquable. Notre projet englobe la création d'une base de données complète des empreintes magnétiques de champs provenant de différents appareils, permettant une identification rapide et précise des drones. Cette entreprise a le potentiel de remodeler le paysage de la détection de drones, améliorant la sécurité dans divers secteurs, de l'aviation à l'application de la loi.

**Mots clés :** Unmanned Aerial Vehicle (UAV), champs magnétique, protocole, système de surveillance.

## Abstract:

In a world where drones represent a growing range of security challenges, our project stands as an example of innovation. Focused on detecting drones, regardless of size or type, our work delves into the fields of aeronautical engineering and information technology. We have developed a robust system that leverages cutting-edge technology, such as the MAG3110 sensor and advanced machine learning algorithms, to not only detect drones, but also identify them with remarkable accuracy. Our project encompasses the creation of a comprehensive database of magnetic field fingerprints from different devices, enabling rapid and accurate identification of drones. This company has the potential to reshape the drone detection landscape, improving security across various industries, from aviation to law enforcement.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle (UAV), magnetic fields, protocol, surveillance system.

ملخص:

في عالم تمثل فيه الطائرات بدون طيار مجموعة متزايدة من التحديات الأمنية، يقف مشروعنا كمثال للابتكار. مع التركيز على الكشف عن الطائرات بدون طيار، بغض النظر عن حجمها أو نوعها، فإن عملنا يتعمق في مجالات هندسة الطيران وتكنولوجيا المعلومات. لقد قمنا بتطوير نظام قوي يستفيد من التكنولوجيا المتطورة، مثل مستشعر MAG3110 وخوارزميات التعلم الآلي المتقدمة، ليس فقط لاكتشاف الطائرات بدون طيار، ولكن أيضًا التعرف عليها بدقة ملحوظة. يتضمن مشروعنا إنشاء قاعدة بيانات شاملة لبصمات المجال المغناطيسي من أجهزة مختلفة، مما يتيح التعرف السريع والدقيق على الطائرات بدون طيار. تتمتع هذه الشركة بالقدرة على إعادة تشكيل مشهد الكشف عن الطائرات بدون طيار، وتحسين الأمن في مختلف الصناعات، من الطيران إلى إنفاذ القانون.

**الكلمات الرئيسية:** المركبات الجوية غير المأهولة (UAV)، المجالات المغناطيسية، البروتوكول، نظام المراقبة.

# Table des Matières :

---

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale :	1
I.1. Introduction :	4
I.2. Définition d'un Drone et ces utilisations dans l'espionnage:	4
I.3. Les compositions d'un mini drone :	6
I.3.1. Le châssis :	7
I.3.2. Système propulsif :	7
I.3.3. Hélices :	8
I.3.4. Batterie :	9
I.3.5. Contrôleur de vol :	10
I.3.6. La télécommande :	10
I.3.7. Caméra et capteurs :	11
I.3.8. Contrôleur de vitesse :	11
I.4. Conclusion :	12
II.1. Introduction :	14
II.2. La méthode de détection de drones acoustique :	14
II.3. La méthode radiofréquence :	17
II.4. La détection radar d'un mini drone :	18
II.5. La détection optique d'un mini drone :	20
II.6. Conclusion :	22
III.1. Introduction :	24
III.2. Le champ magnétique terrestre :	24
III.2.1. Explication (composition, intensité, variabilité) :	24
III.2.2. L'importance de champ magnétique terrestre dans le cadre de détection de drone :	25
III.3. Champ magnétiques des moteurs électriques :	25
III.3.1. La génération du champ magnétique par les moteurs électriques :	25
III.3.2. Les différents types de moteurs électriques et leurs champs magnétiques :	26
III.3.3. Choisir un moteur de drone :	26
III.3.4. Moteurs à balais (Brushed) :	26
III.3.5. Moteurs sans balais (Brushless) :	28

# Table des Matières :

---

III.3.6. Détection du champ magnétique pour la détection de drones :	30
III.4. Détection du champ magnétique.....	31
III.4.1. Capteurs à effet Hall :	32
III.4.2. Les capteurs à magnétorésistances (MR) :	33
III.4.3. Les capteurs à magnéto impédance (MI) :	34
III.4.4. Capteur type Fluxgate :	35
III.4.5. MEMS :	35
III.4.6. Comparaison entre les différents types de capteurs :	36
III.4.7. Microbit :	36
III.5. Conclusion :	37
IV.1. Introduction :	39
IV.2. Le magnétomètre du carte Micro-Bit (MAG3110) :	39
IV.3. Machine Learning :	40
IV.3.1. Définition :	40
IV.3.2. Les différentes catégories de l'apprentissage automatique :	41
IV.3.3. Les données :	43
IV.3.4. Applications de l'apprentissage automatique :	44
IV.4. Random Forest :	45
IV.4.1. Les méthodes d'apprentissage d'ensemble :	46
IV.4.2. L'arbre de décision :	47
IV.4.3. Principe de fonctionnement de Random Forest:	47
IV.4.4. Hypothèses pour Random Forest :	48
IV.4.5. Les avantages de l'utilisation de Random Forest :	48
IV.4.6. Inconvénients de Random Forest :	49
IV.4.7. Différence entre l'arbre de décision et Random Forest :	49
IV.4.8. Paramètres de Random Forest :	49
IV.4.9. Classification multi-classes :	51
IV.5. Conclusion :	51
V.1. Introduction :	53
V.2. Extraire des données :	53
V.2.1. Compass :	53
V.2.2. Calibration de compass:	53
V.2.3. Calculer l'intensité du champ magnétique :	54
V.2.4. Problème de stabilité de données :	55
V.2.5. Des solutions proposées :	56

# Table des Matières :

---

<b>V.3. La collection des données :</b> .....	59
<b>V.3.1. La méthode de collection des données :</b> .....	60
<b>V.3.2. Les données collectées :</b> .....	61
<b>V.4. Entraînement :</b> .....	64
<b>V.4.1. Préparation des données :</b> .....	64
<b>V.4.2. Regrouper des données dans un seul fichier :</b> .....	66
<b>V.4.3. La division des données :</b> .....	67
<b>V.4.4. Création et entraînement du modèle :</b> .....	68
<b>V.5. Validation :</b> .....	69
<b>V.5.1. Analyse du rendement :</b> .....	69
<b>V.5.2. Test des résultats :</b> .....	72
<b>V.5.3. L'interface du projet :</b> .....	73
<b>V.6. Amélioration de robustesse :</b> .....	76
<b>V.7. Conclusion :</b> .....	78
<b>Conclusion générale :</b> .....	80
<b>DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :</b> .....	86



# Table des Figures :

---

## Chapitre I :

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée. **Chapitre II :**

Figure II. 1 : Localisation et détection acoustique de drones sur antennes microphoniques .....	15
Figure II. 2 : la Detection d'UAV par La méthode radiofréquence .....	17
Figure II. 3 : Principe de l'émission du radar .....	18
Figure II. 4 : détection et localisation de drone en image .....	21

## Chapitre III :

Figure III. 1 : champ magnétique terrestre.....	25
Figure III. 2 : moteur utilisé dans un drone.....	26
Figure III. 3 : Inducteur complet d'une machine à courant continu. ....	27
Figure III. 4 : Induit d'une machine à courant continu. ....	27
Figure III. 5 : un dessin qu'illustre la Force de Laplace. ....	28
Figure III. 6 : Principe de fonctionnement du moteur à courant continu. ....	28
Figure III. 7 : Rotor et stator d'un moteur brushless. ....	29
Figure III. 8 : moteur à balais et sans balais.....	29
Figure III. 9 : drone équipé avec une caméra dans une salle de conférence. ....	30
Figure III. 10 : Les données de référence en l'absence de drones. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure III. 11 : champ magnétique généré par les moteurs de drone. ....	31
Figure III. 12 : capteur à effet Hall.....	32
Figure III. 13: Les composants de la carte micro:bit .....	37

## Chapitre IV :

Figure IV. 1 : la meilleure ligne pour effectuer des prédictions selon l'exemple. ....	40
Figure IV. 2 : La représentation de déférentes applications par un schéma. ....	45
Figure IV. 3 : La représentation des deux méthodes d'apprentissage par un schéma .....	46
Figure IV. 4 : Principe de Bagging .....	47
Figure IV. 5 : Principe de fonctionnement d'un arbre de décision. ....	47

## Chapitre V :

Figure V. 1 : Les valeurs du champ sur les 3 axes avec leur représentation graphique. ....	54
Figure V. 2 : les valeurs de la force du champ magnétique avec la représentation graphique. ....	55
Figure V. 3 : la différence de la moyenne des forces du champ magnétique après l'application de méthode de moyenne avec la représentation graphique. ....	56
Figure V. 4 : premier problème de la première méthode de traitement de données.....	57
Figure V. 5 : Le deuxième problème de la première méthode de traitement de données.....	57
Figure V. 6 : les valeurs de la force du champ magnétique après l'application de méthode de référence avec 100 itérations avec la représentation graphique. ....	58
Figure V. 7 : les valeurs de la force du champ magnétique après l'application de méthode de référence avec 1000 itérations avec la représentation graphique. ....	59
Figure V. 8 : Drone hexacopters Avec le moteur 2200KV.....	61
Figure V. 9 : Data collectée par le drone hexacopters.....	61
Figure V. 10 : Drone quadcopter Avec le moteur 1400KV .....	62
Figure V. 11 : Data collectée par le drone quadcopter .....	62
Figure V. 12 : Data collectée par un chargeur ordinateur.....	62
Figure V. 13 : Data collectée par un téléphone.....	63

## Table des Figures :

---

Figure V. 14 : Data collectée par un ordinateur.....	63
Figure V. 15 : Data collectée par un climatiseur.....	64
Figure V. 16 : Data collectée par les deux drones combinés dans un seul Excel après la suppression des données merveilleux.....	64
Figure V. 17 : Data collectée par un ordinateur après la suppression des données merveilleux .....	65
Figure V. 18 : Data collectée par un chargeur de PC après la suppression des données merveilleux...	65
Figure V. 19 : Data collectée par un chargeur de PC après la suppression des données merveilleux...	65
Figure V. 20 : Data collectée par un chargeur de PC après la suppression des données merveilleux...	66
Figure V. 21 : Capture de notre fichier EXCEL.....	67
Figure V. 22 : Cercle relatif qui représente la division des données utilisée pour l'entraînement du model de l'apprentissage automatique.....	67
Figure V. 23 : La Courbe d'apprentissage.....	70
Figure V. 24 : Un graphe représente les 4 métriques de performance du model de ML.....	72
Figure V. 25 : matrice de confusion du notre modèle de l'apprentissage automatique. ....	72
Figure V. 26 : Terminal de notre éditeur qui affiche les calculs avec l'appareil détecté.....	73
Figure V. 27 : La détection d'un téléphone portable.....	73
Figure V. 28 : La page d'accueil d'interface.....	74
Figure V. 29 : La page principal d'interface.....	75
Figure V. 30 : La page principal après la détection d'un Drone.....	75

# Liste des Tableaux :

---

## **Chapitre II :**

**Tableau II. 1 :** Avantages et inconvénients de Méthode de radar..... 20

## **Chapitre V :**

**Tableau V. 1 :** Numérisation des Data collectée dans le fichier Excel..... 66

**Tableau V. 2 :** un tableau qui représente la division des données..... 68

**Tableau V. 3 :** La représentation de 4 résultat possible d'un modèle..... 70

## Abréviations / Acronymes:

---

UAV	Unmanned aerial vehicle
MAV	Micro Air Vehicule
ESC	contrôleur électronique de vitesse
CA	courant alternatif
DC	direct courant
LiPo	polymère de lithium
USB	Universal Serial Bus
$\mu$ T	micro-tesla
GPS	Global Positioning System.
VGA	Video Graphics Array
(RF)	radiofréquences
RADAR	Radio Detecting And Ranging
CW	Continuous Wave
FMCW	Frequency-Modulated Continuous Wave
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
TMR	Magnétorésistance à effet tunnel
MR	magnétorésistances
GMR	Magnétorésistance géante
MI	magnéto impédance
LED	Light-Emitting Diode
I2C	Inter-Integrated Circuit
IA	intelligence artificielle
PC	Personal Computer
KV	constant velocity of a motor
PESTLE	politique, économique, sociologique, technologique, environnemental et légal
BMC	Business Model Canvas

# Liste des équations :

---

- [1] équation de accuracy .
- [2] équation de Précision.
- [3] équation de Rappel.
- [4] équation de Score F1.

# Introduction Générale

# Introduction générale :

---

## **Introduction générale :**

La science et l'évolution de la technologie jouent un rôle crucial dans le développement et les performances des drones, qui deviennent de plus en plus importants. Tout au long de l'histoire, l'industrie aéronautique a connu différentes phases de développement, passant des avions de navigation simples aux drones d'intervention à large portée. Le concept de drone civil est encore très récent, et il semble que nous en entendions parler presque partout. Il est régulièrement mentionné en raison de ses capacités étonnantes dans le domaine de la photographie aérienne. Il convient de mentionner que l'utilisation des drones se répand dans divers domaines professionnels. leur polyvalence les rend utiles pour la photographie, la surveillance environnementale et les loisirs. Parmi les autres utilisations professionnelles des drones, il est important de reconnaître l'existence de certains risques et défis. Malgré les nombreux avantages qu'ils offrent, les drones peuvent être exploités à des fins illégales ou malveillantes. Ils peuvent être utilisés pour espionner des installations sensibles ou porter atteinte à la vie privée[36]. Par conséquent, il est essentiel que nous soyons conscients de ces risques et que nous prenions les mesures nécessaires pour les minimiser. Le problème de l'utilisation illégale des drones suscite une attention croissante, ce qui pousse les gouvernements et les entreprises à rechercher des solutions pour détecter et prévenir ces utilisations nuisibles. Les systèmes de détection des drones ont été développés comme moyen de faire face à ces risques. Ces systèmes comprennent une variété de technologies telles que les radars, les capteurs optiques et les capteurs thermiques, qui permettent de détecter, localiser et suivre les drones non autorisés. Cependant, nous devons également être conscients que les systèmes de détection des drones présentent des limites et des défauts[7]. Ils peuvent être affectés par des conditions météorologiques telles que le brouillard ou les fortes pluies, ce qui peut réduire leur efficacité dans la détection des drones non autorisés. De plus, les personnes qui utilisent illégalement des drones peuvent adopter de nouvelles méthodes pour échapper à la détection, ce qui constitue un défi constant pour les techniques de détection actuellement utilisées.

Pour faire face à ces défis, nous avons développé une nouvelle méthode de détection des drones basé sur champ magnétique. Cette technologie innovante nous permet de détecter les drones dans des zones fermées telles que les salles de conférence et les cellules de la prison, où un champ magnétique puissant est créé en réponse aux variations causées par la présence du drone. Ces variations sont analysées et converties en signaux détectables, ce qui nous aide à surveiller et à

# Introduction générale :

---

suivre avec précision les drones à l'intérieur de ces zones fermées. Notre mémoire commence par une introduction générale qui présente le contexte global de la recherche, suivie du premier chapitre consacré à la composition des mini-drones. Nous mettons en évidence la présence de moteurs électriques dans les mini-drones et expliquons leur fonctionnement car ils sont la source primordiale du champ magnétique développé par le drone. Au chapitre deux, nous citons les différentes méthodes de détection et exposons leurs limites pour détecter les mini-drones. Le troisième chapitre aborde le champ magnétique et les capteurs de champ magnétique. Nous évoquons la notion de champ magnétique terrestre et détaillons le champ magnétique généré par un moteur électrique. Nous présentons également les différents capteurs de champ magnétique utilisés. Le chapitre 4 est dédié aux matériels et méthodes utilisés dans le cadre de cette recherche. Nous présentons la solution proposée, ainsi que les cartes et autres équipements utilisés. Nous abordons également les concepts de l'apprentissage automatique et les autres équipements utilisés. Le chapitre 5 présente les résultats obtenus et leur analyse. Nous exposons les conclusions basées sur les données collectées et évaluons l'efficacité de la détection magnétique des mini-drones. Enfin, nous abordons les perspectives d'avenir et les améliorations possibles. Nous terminons le mémoire par une conclusion générale



# **Chapitre I :**

# **Compositions**

# **d'un mini drone**

# Chapitre I :

---

## **I.1. Introduction :**

Dans une ère marquée par les avancées technologiques, les drones se sont imposés comme une innovation révolutionnaire aux nombreuses applications. Communément appelés drones, ces véhicules aériens sans pilote ne se limitent pas aux vols récréatifs ; ils ont trouvé leur place dans divers domaines. Ce chapitre commence par une plongée au cœur de l'univers des drones, en commençant par l'étude de leur composition. Comprendre la conception complexe de ces merveilles aériennes, des systèmes de propulsion aux unités de contrôle, est essentiel pour saisir leurs capacités. Cependant, ce qui suscite le plus d'intrigue dans ce chapitre, c'est le champ magnétique généré par les composants nichés à l'intérieur de ces drones.

## **I.2. Définition d'un Drone et ces utilisations dans l'espionnage:**

### ➤ **Définition d'un Drone :**

Un véhicule aérien sans pilote (UAV) est défini comme un véhicule aérien motorisé qui ne transporte pas d'opérateur humain, qui utilise des forces aérodynamiques pour soulever un véhicule qui peut être sacrificiable ou récupérable et qui peut transporter une charge utile létale ou non létale. Un UAV, communément appelé drone, véhicule aérien non piloté ou aéronef télépiloté (APR), a son vol contrôlé de façon autonome par des ordinateurs de bord ou par la télécommande d'un pilote au sol ou dans un autre véhicule.

Initialement développés pour les industries militaires et aérospatiales, les drones ont trouvé leur place dans le grand public en raison de leur sécurité et de leur efficacité accrue. Ces drones robotisés fonctionnent sans pilote à bord et avec différents niveaux d'autonomie.

Le niveau d'autonomie d'un drone peut aller du pilotage à distance (un humain contrôle ses mouvements) à l'autonomie avancée, ce qui signifie qu'il s'appuie sur des capteurs et des détecteurs pour calculer ses mouvements. Différents drones sont capables de voyager à différentes hauteurs et distances. Les drones à très courte portée ont généralement la capacité de voyager jusqu'à trois milles et sont principalement utilisés par les amateurs. Les UAV à courte portée ont une portée d'environ 30 milles. Les drones à courte portée parcourent jusqu'à 90 milles et sont principalement utilisés pour l'espionnage et la collecte de renseignements. Les UAV de moyenne portée ont une portée de 400 milles et pourraient être utilisés pour la collecte de renseignements, les études scientifiques et la recherche météorologique. Les drones à longue portée sont appelés UAV « d'endurance » et ont la capacité d'aller au-delà de la portée de 400 milles et jusqu'à 3 000 pieds dans les airs [1]

# Chapitre I :

---

## ➤ L'espionnage dans les petits espaces :

Dans ce nouveau monde numérique, le drone a des connotations sérieusement dérangeantes. Les médias grand public ont décrit les drones comme des appareils mécaniques à sang froid qui planent silencieusement dans le ciel, à la recherche de cibles humaines sans méfiance. Le public voit les drones de surveillance comme un rappel effrayant que quelqu'un, quelque part, surveille chaque petite chose que vous faites. Les drones sont en effet des armes puissantes et des outils d'espionnage.

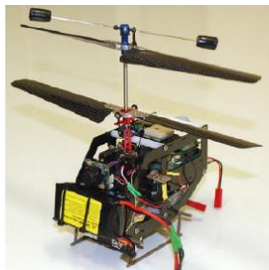
Les micro-drones ((Micro Air Vehicule) MAV) sont de petits véhicules aériens sans pilote qui pèsent habituellement moins de 4.5kilogrammes. Ils sont souvent utilisés à diverses fins, notamment pour la surveillance, la reconnaissance, la recherche et les loisirs ainsi que l'espionnage.

Voici quelques types courants de micro-véhicules aériens :

- 1. Drones à voilure fixe (Fixed-Wing MAVs) :** Ces drones ont des ailes qui restent fixes en place, un peu comme ceux d'un avion. Ils sont généralement conçus pour des vols plus longs et peuvent couvrir de grandes distances.
- 2. Aéronefs à voilure tournante (Rotary-Wing MAVs) :** Ces drones ont des rotors qui leur permettent de décoller et d'atterrir verticalement. Ils sont généralement utilisés pour les tâches qui nécessitent la capacité de planer et d'apporter des changements de direction soudains.
- 3. Drones à ailes battantes (Flapping-Wing MAVs) :** Ces drones sont uniques en ce sens qu'ils ont des ailes qui battent comme celles d'un oiseau. Cela les rend particulièrement utiles pour voler dans les espaces restreints, car ils peuvent faire des changements de direction soudains avec facilité.



A-Drones à voilure fixe



B-Aéronefs à voilure tournante



C-Drones à ailes battantes

**Figure I. 1 :** différents types de Micro-drones.[2]

# Chapitre I :

---

**4. Drones hybrides (Hybrid MAVs) :** Comme leur nom l'indique, ces drones sont une combinaison d'aéronefs à voilure fixe et à voilure tournante. Ils offrent le meilleur des deux mondes, permettant de longs vols et la possibilité de planer.



**Figure I. 2 :** Drones hybrides.[3]

**5. Systèmes aériens sans pilote miniatures (Miniature Unmanned Aerial Systems (UAS)):** Ces drones mesurent habituellement moins de 60 cm de longueur et sont utilisés à des fins commerciales et militaires. Ils sont petits et légers, ce qui les rend idéaux pour une utilisation dans des espaces clos ou pour des tâches qui nécessitent furtivité.



**Figure I. 3 :** Systèmes aériens sans pilote miniatures.[4]

En général, les micro-véhicules aériens (MAV) peuvent être équipés de divers capteurs, y compris des caméras, des microphones et d'autres capteurs, pour effectuer la surveillance ou l'espionnage.

### **I.3. Les compositions d'un mini drone :**

Les mini-drones, sont des petits appareils volants qui sont généralement composés des éléments suivants :

# Chapitre I :

---

## **I.3.1. Le châssis :**

### ➤ **La définition de châssis :**

Le châssis ou Le cadre est la structure de base du mini-drone qui contient les autres composants. Il peut être fabriqué à partir de matériaux tels que le plastique, la fibre de carbone ou l'aluminium. Le cadre est conçu pour être léger et résistant, ce qui permet au mini-drone de voler de manière stable.

### ➤ **Le rôle de châssis :**

Le châssis d'un mini drone a un rôle très important car il est la structure qui maintient toutes les pièces ensemble et protège les composants électroniques internes du drone contre les dommages physiques. Le châssis est conçu pour être léger, mais suffisamment robuste pour supporter les forces de vol et les atterrissages.

Le châssis joue également un rôle important dans la stabilité en vol du drone, car il affecte le centre de gravité et la répartition du poids. Un châssis bien conçu peut aider à maintenir un vol stable en répartissant uniformément le poids du drone et en minimisant les vibrations ou les secousses pendant le vol.

## **I.3.2. Système propulsif :**

Les moteurs sont des composants électriques qui fournissent la puissance nécessaire pour faire tourner les hélices. Les mini-drones ont généralement quatre moteurs, chacun situé dans un coin du cadre. Les moteurs sont alimentés par la batterie du drone et sont contrôlés par la carte de contrôle.

### ➤ **Les types des moteurs utilisés dans un mini drone :**

Les moteurs utilisés dans les mini drones sont généralement des moteurs à courant continu sans balais (brushless) en raison de leur taille compacte, de leur poids léger et de leur grande efficacité énergétique.

Les moteurs brushless utilisés dans les mini drones sont classés en fonction de leur taille et de leur puissance. Les tailles courantes de moteurs brushless pour les mini drones vont de 8 mm à 22 mm de diamètre et de 12 mm à 30 mm de hauteur.

Les mini drones utilisent généralement des moteurs brushless avec une plage de kV allant de 1000 à 3000 avec kV est le nombre de tours que le moteur effectue par 1 volt appliqué.

# Chapitre I :

---

Il est important de noter que les moteurs brushless nécessitent un contrôleur électronique de vitesse (ESC) pour fonctionner, qui est responsable de réguler la vitesse des moteurs en fonction des commandes de l'utilisateur et des données des capteurs de vol.

## ➤ **Le champ magnétique dans les moteurs d'un mini drone :**

Les moteurs brushless utilisés dans les mini drones génèrent un champ magnétique à travers leur stator et leur rotor, qui est utilisé pour faire tourner l'axe du moteur et les hélices.

Le stator des moteurs brushless contient des bobines de fil de cuivre qui sont enroulées autour des dents du stator. Ces bobines de cuivre sont alimentées par le contrôleur électronique de vitesse (ESC) qui fournit un courant alternatif (CA) à travers les bobines. Ce courant alternatif génère un champ magnétique qui attire les aimants permanents sur le rotor.

Le rotor contient des aimants permanents qui sont disposés autour de son axe. Lorsque le courant circule à travers les bobines du stator, le champ magnétique généré attire les aimants permanents du rotor, faisant tourner l'axe du moteur et les hélices attachées.

Il est important de noter que les champs magnétiques générés par les moteurs brushless peuvent interférer avec les appareils électroniques à proximité, ce qui peut causer des perturbations ou des interférences.

### **I.3.3. Hélices :**

Les hélices sont un élément essentiel du mini drone, elles sont attachées aux moteurs et tournent pour produire la poussée nécessaire pour que le drone puisse voler et être contrôlé avec précision. Les hélices peuvent être en plastique ou en fibre de carbone. Elles ont des tailles différentes en fonction du modèle de mini-drone, et leur orientation doit être correctement ajustée pour que le drone vole correctement.

Les hélices d'un mini drone sont l'un des composants les plus importants pour assurer un vol stable et précis. Voici quelques caractéristiques et informations sur le fonctionnement des hélices de mini drone :

- **Matériaux :** Les hélices de mini drone sont souvent fabriquées à partir de plastique, de fibre de carbone ou d'autres matériaux composites légers.

# Chapitre I :

---

- **Nombre de pales :** La plupart des mini drones sont équipés d'hélices à quatre pales, mais il est également possible de trouver des hélices à deux ou six pales. Le nombre de pales peut affecter la stabilité, la portance et l'efficacité du drone.
- **Taille :** La taille des hélices est importante car elle détermine la quantité d'air qui est déplacée et donc la capacité de portance du drone. Les hélices de mini drone peuvent varier de quelques centimètres à plus de 10 pouces de diamètre.
- **Fonctionnement :** Les hélices de mini drone sont entraînées par des moteurs électriques, qui tournent à des vitesses élevées pour produire une force de poussée. Lorsque les hélices tournent, elles déplacent de l'air vers le bas, ce qui crée une force de portance qui permet au drone de voler

## **I.3.4. Batterie :**

### ➤ **L'alimentation des mini drones :**

La plupart des mini drones sont alimentés par des batteries rechargeables, qui fournissent l'énergie nécessaire pour alimenter les moteurs, la carte de contrôle et d'autres composants électroniques. Les batteries sont généralement des batteries LiPo (polymère de lithium) en raison de leur capacité de stockage d'énergie élevée, de leur faible poids et de leur taille compacte. Les batteries ont des durées de vie variables, selon leur capacité et la consommation électrique des autres composants. En général, les mini drones ont une durée de vie de batterie allant de quelques minutes à environ 30 minutes.

Les batteries des mini drones sont généralement rechargeables à l'aide d'un chargeur de batterie dédié. Certains mini drones peuvent être rechargés via USB ou d'autres ports de charge, tandis que d'autres nécessitent un chargeur de batterie spécifique. Il est important de suivre les instructions du fabricant pour la recharge de la batterie afin d'éviter d'endommager la batterie ou le mini drone.

### ➤ **Le champ magnétique généré par les batteries :**

Les batteries des mini drones, comme toutes les batteries, peuvent générer un champ magnétique faible mais mesurable lorsqu'elles sont en fonctionnement. Cependant, ce champ magnétique est généralement considéré comme négligeable pour la plupart des utilisations de mini drones, car il est très faible par rapport aux autres champs magnétiques présents dans l'environnement. Par exemple, le champ magnétique généré par une batterie LiPo typique utilisée dans un mini drone est d'environ 10 micro-tesla ( $\mu\text{T}$ ) à une distance de 10 cm.

# Chapitre I :

---

## **I.3.5. Contrôleur de vol :**

### ➤ **L'objective du contrôleur de vol dans l'exploitation :**

Le contrôleur de vol est un petit ordinateur embarqué qui recevoir des informations de la part des différents capteurs tels que les accéléromètres, les gyroscopes, les magnétomètres et les baromètres pour mesurer les mouvements et les orientations du drone dans l'espace, et ajuste les moteurs et les hélices en conséquence pour maintenir le vol stable.

Le contrôleur de vol peut également être programmé pour effectuer des tâches spécifiques, telles que suivre un itinéraire prédéfini ou maintenir une altitude et une orientation spécifiques. Certains contrôleurs de vol peuvent également être équipés de fonctions supplémentaires, telles que des fonctions de stabilisation automatique, de verrouillage GPS, de maintien de l'altitude, de détection d'obstacles, etc.

### ➤ **Le rôle du contrôleur de vol dans la génération de champs magnétiques :**

Le contrôleur de vol peut générer un champ magnétique très faible lorsqu'il est en fonctionnement, en raison de l'électricité qui circule à travers les circuits électroniques. Cependant, ce champ magnétique est généralement négligeable pour la plupart des utilisations de mini drones, car il est très faible par rapport aux autres champs magnétiques présents dans l'environnement.

En raison de la faible intensité de leur champ magnétique, les contrôleurs de vol ne sont pas susceptibles d'affecter les objets magnétiques à proximité ou de perturber les instruments de mesure de champ magnétique. Cependant, il est important de suivre les instructions du fabricant pour le positionnement des composants électroniques et l'utilisation sûre du mini drone pour minimiser les interférences éventuelles.

## **I.3.6. La télécommande :**

La télécommande d'un mini drone est un périphérique sans fil qui permet à l'utilisateur de piloter et de contrôler le drone à distance. Elle est généralement équipée de deux manches analogiques (joysticks) et de boutons pour effectuer diverses opérations.

Les manches analogiques sont utilisés pour contrôler les mouvements du drone en vol, tandis que les boutons permettent de déclencher des fonctions spéciales, telles que le décollage et l'atterrissage automatiques, la capture de photos ou de vidéos, la modification de la vitesse du drone, etc.



# Chapitre I :

---

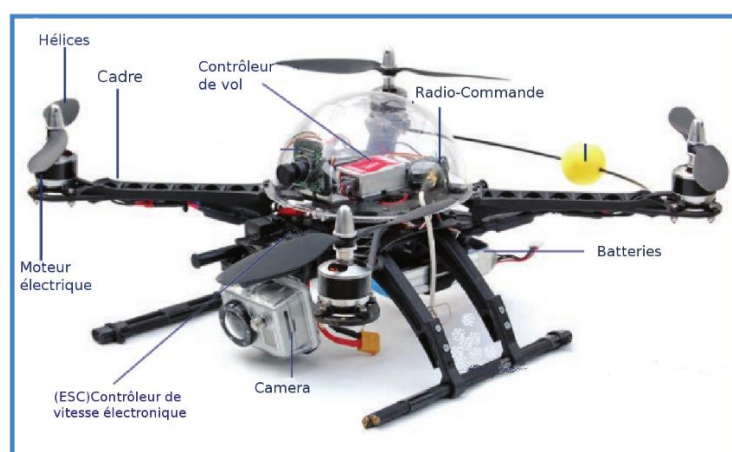
La télécommande communique avec le drone via une connexion sans fil, qui peut être de différents types, tels que le Bluetooth, le Wi-Fi ou la technologie de transmission radio. La portée de la télécommande varie selon le modèle et la marque, mais elle est généralement comprise entre 50 mètres et 500 mètres.

## **I.3.7. Caméra et capteurs :**

De nombreux mini-drones sont équipés d'une caméra pour capturer des vidéos et des photos aériennes. La caméra peut être montée sur le dessus du drone ou être intégrée dans le cadre. Les caméras peuvent être de différentes qualités, allant de simples caméras VGA à des caméras haute résolution pour une qualité d'image exceptionnelle. Le mini drone est souvent équipé de capteurs, tels que des accéléromètres, des gyroscopes et des capteurs de pression, qui mesurent la vitesse, l'altitude et la position du drone. Les cartes de contrôle des mini drones peuvent également être équipées de fonctions avancées telles que le positionnement GPS, la prise en charge des modes de vol automatisés, la configuration des paramètres de vol et des fonctions spéciales telles que la stabilisation de l'image et l'évitement d'obstacles.

## **I.3.8. Contrôleur de vitesse :**

Les *ESCs* convertissent les *DC* en *AC* pour les moteurs sans balai (brushless), et ils permettent aussi d'alimenter les moteurs. Chaque moteur a besoin d'un *ESC*. On peut modifier le firmware d'un *ESC* pour créer un comportement différent d'un moteur. Par exemple, *ESC* est souvent configuré pour diminuer la vitesse d'un moteur plutôt que l'arrêter brusquement.[5]



**Figure I. 4 :** Les composants d'un quad-copter.[5]

# Chapitre I :

---

## **I.4. Conclusion :**

Les drones sont des véhicules aériens sans pilote qui peuvent être contrôlés à distance ou fonctionner de façon autonome. L'utilisation de drones pour l'espionnage et la surveillance est également devenue de plus en plus répandue, en particulier avec le développement de nano et micro drones. Les nano et micro drones, qui sont plus petits que les drones traditionnels, sont de plus en plus utilisés pour l'espionnage et la surveillance.

Ils sont des petites machines volantes composées de plusieurs parties essentielles. Toutes ces pièces fonctionnent ensemble pour permettre au drone de voler, de se déplacer dans les airs et d'être contrôlé à distance par le pilote. La composition exacte des nano et micro drones varie d'un modèle à l'autre. Plusieurs constituants du drone développent un champ magnétique autour du UAV. Ces champs magnétiques peuvent être plus ou moins importants et peuvent être détectés à des distances variées. Ces éléments sont essentiellement : les moteurs, le contrôleur de vol et les batteries.

# Chapitre II :

## Limitations de détection des mini-drones.

# Chapitre II :

---

## **II.1. Introduction :**

Les drones sont récemment bénéficiant d'une grande popularité en raison de leur faible coût et leurs diverses applications. La popularité des drones est une double épée. D'une part, il nous facilite sur le compte d'applications illimitées en communication, en agriculture, et de nombreux services publics. D'autre part, Il conduit également à des préoccupations sociales en raison de l'abus illégal de drones amateurs dans la divulgation de la vie privée, attaques terroristes, etc. Il y a donc un besoin urgent pour les systèmes de surveillance des drones. Récemment, avec la croissance des menaces des drones les chercheurs sont motivés à étudier les systèmes de surveillance des drones. Cependant, il est difficile de construire un système de surveillance contre les drones en temps réel en raison de la petite taille, faible vitesse et faible altitude de vol des drones. Généralement, un système de surveillance des drones devrait avoir pour fonction de détecter et de localiser les drones en temps réel avec une grande précision et disponibilité 24/7. Il y a plusieurs technologies utilisées pour la détection de drones tels que : Détection acoustique, Détection radar, Détection optique, Détection des radiofréquences (RF), Identification et suivi des drones. Mais chacune de ces technologies a des limitations dans ce chapitre on va expliquer chaque technologie avec leur limitation.[6]

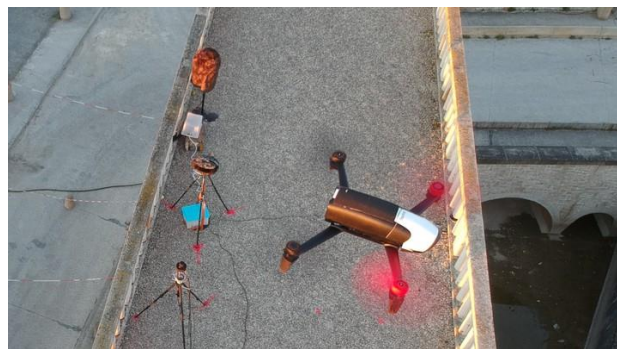
## **II.2. La méthode de détection de drones acoustique :**

Les méthodes de traitement acoustique sont apparemment une méthode évidente de détection et de suivi des UAV. Après tout, le bruit de bourdonnement distinctif fait par un UAV qui vole à proximité est devenu familier à l'oreille humaine. Cependant, ces méthodes acoustiques sont plus que satisfaisantes. Plusieurs groupes de recherche ont étudié les capteurs acoustiques et ont démontré la capacité de détecter les UAV (quadricoptères) dans des portées allant de 20 m à 600 m avec une probabilité de détection de 99,5 % et un taux de faux positifs de 3 %. Les deux principaux facteurs de différenciation dans les travaux antérieurs sont la méthode de traitement du signal et le type de capteur acoustique utilisé [7]. En termes de capteurs, les réseaux de microphones ont certains avantages par rapport à un seul microphone : ils offrent non seulement la possibilité de détecter la présence d'un drone, mais peuvent également trouver son azimut et son élévation, permettant ainsi la localisation de l'angle d'arrivée en utilisant deux ou plusieurs réseaux de microphone. Dans[8] Les auteurs ont utilisé une configuration tétraédrique pour les microphones avec chaque microphone à l'extrémité d'une pyramide tétraédrique avec des microphones à environ 27 cm les uns des autres, montrant une probabilité de détection de 99,5 % pour des portées inférieures à 600m. En termes d'avantages, la détection

## Chapitre II :

---

acoustique et le suivi peuvent être complètement passifs. Les performances du système bénéficient jusqu'à un certain point d'une augmentation du nombre et de la qualité des microphones ainsi que de la puissance de calcul globale. La gamme de détection fiable ne dépend pas uniquement sur le type de capteurs acoustiques, mais aussi sur facteurs environnementaux, par exemple, la présence et l'intensité du vent et le bruit de fond dans les rues et les industries. De plus, la détection et le suivi précis reposent sur une base de données complète des signatures acoustiques, qui à son tour est vulnérable aux nouvelles méthodes de propulsion avec des signatures qui peuvent différer substantiellement de celles de la base de données. [8]



**Figure II. 1 :** Localisation et détection acoustique de drones sur antennes microphoniques.[9]

### ➤ L'avantage :

La méthode acoustique de détection des drones est unique en ce sens qu'elle repose sur les signatures sonores distinctes que les drones produisent. Contrairement aux autres méthodes de détection qui peuvent nécessiter une ligne de visée ou une confirmation visuelle, les capteurs acoustiques peuvent détecter les drones même lorsqu'ils ne sont pas visibles à l'œil nu. Cela rend la méthode acoustique particulièrement utile dans les situations où les drones peuvent voler à haute altitude ou dans de mauvaises conditions météorologiques.

Un autre avantage de la méthode acoustique est qu'elle peut détecter les drones qui n'émettent aucun signal radio.

Les capteurs acoustiques peuvent également être utilisés conjointement avec d'autres méthodes de détection, comme les capteurs radar ou optiques, pour fournir une image plus complète et précise de l'activité des drones. En intégrant plusieurs technologies de détection, il est possible d'améliorer la précision et la fiabilité de la détection des drones et de réduire la probabilité de fausses alarmes.

## Chapitre II :

---

Dans l'ensemble, la méthode acoustique de détection des drones offre un moyen fiable et efficace de détecter les drones dans une large ventaille de situations, ce qui en fait un outil important pour assurer la sécurité publique.

### ➤ **Les Limites :**

La méthode acoustique de détection des drones a gagné en popularité en raison de sa capacité à détecter les drones à l'aide de signatures sonores. Bien que la méthode présente plusieurs avantages, il y a aussi plusieurs inconvénients à prendre en considération :

#### • **Faux positifs :**

Les capteurs acoustiques peuvent parfois produire de faux positifs, c'est-à-dire détecter des sons qui ne proviennent pas de drones. Cela peut être causé par le bruit ambiant comme le vent, la circulation ou le bruit de construction, ou par d'autres sources sonores qui peuvent ressembler à des sons de drones.

#### • **Portée limitée :**

Les capteurs acoustiques ont une portée limitée, ce qui signifie qu'ils peuvent ne pas être en mesure de détecter les drones qui volent à haute altitude ou à distance. Cela peut être un problème dans les situations où les drones sont utilisés à des fins malveillantes, car ils peuvent être intentionnellement conçus pour voler à haute altitude pour éviter la détection.

#### • **Précision limitée :**

Les capteurs acoustiques peuvent ne pas être en mesure d'identifier avec précision le type ou le modèle de drone qui produit le son. Il peut donc être difficile pour les autorités de déterminer si le drone constitue une menace ou s'il s'agit simplement d'un drone récréatif ou commercial.

#### • **Interférences :**

Les capteurs acoustiques peuvent être affectés par des facteurs environnementaux tels que le vent, la pluie et les changements de température, qui peuvent interférer avec leur capacité à détecter les sons des drones. De plus, la présence d'autres sources de bruit, comme des machines ou de la musique forte, peut aussi nuire à la détection acoustique.

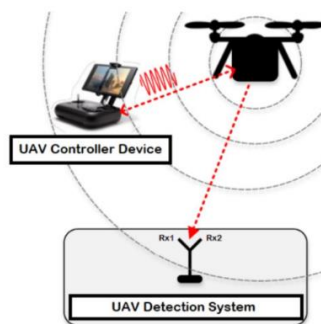
#### • **Coût :**

Les capteurs acoustiques peuvent être coûteux à installer et à entretenir, ce qui peut rendre difficile pour les petites organisations ou les entreprises de se permettre la technologie.

## Chapitre II :

### II.3. La méthode radiofréquence :

Le drone est composé de deux parties fondamentales, qui sont la télécommande et l'avion. Les deux communiquent l'un avec l'autre en utilisant une liaison de communication par radiofréquence. Les méthodes de détection par radiofréquence (RF) utilisent principalement le signal de communication entre le drone et le contrôleur au sol pour détecter le drone comme le montre Figure II. 2 Les protocoles de communication par drone utilisent habituellement les mêmes bandes de fréquences utilisées pour les transmissions Wi-Fi, en particulier dans les 2,400–2,483 GHz et 5,725–5,825 GHz. Un drone équipé d'une caméra transmet habituellement un flux vidéo à son unité de contrôle par le même canal sans fil. Une méthode simple consiste à surveiller une vaste gamme de signaux RF, comme la gamme de 1 MHz à 6,8 GHz, et à traiter tout émetteur de signaux RF inconnus comme un drone. Comme l'émetteur RF inconnu n'est pas nécessairement un drone, cette méthode entraînera une forte probabilité de fausses alarmes. La détection RF est détectée par des signaux de télécommande ou de transmission de cartes, mais lorsque le drone utilise la navigation GPS pour voler de manière autonome, cette méthode échouera. Par rapport aux méthodes actives, la détection passive a des coûts moindres en termes de matériel et de logiciels, le fonctionnement et l'entretien, la portabilité et la facilité de déploiement ainsi que la souplesse d'interception[10]



**Figure II. 3 :** la Détection d'UAV par La méthode radiofréquence.[11]

#### ➤ Avantages :

- Les méthodes RF passives n'émettent aucun rayonnement, donc elles sont moins susceptibles d'interférer avec d'autres systèmes sans fil dans la zone.
- Les méthodes RF passives peuvent détecter les drones qui ne sont pas visibles à l'œil nu, comme ceux qui volent la nuit ou dans des conditions nuageuses.

## Chapitre II :

---

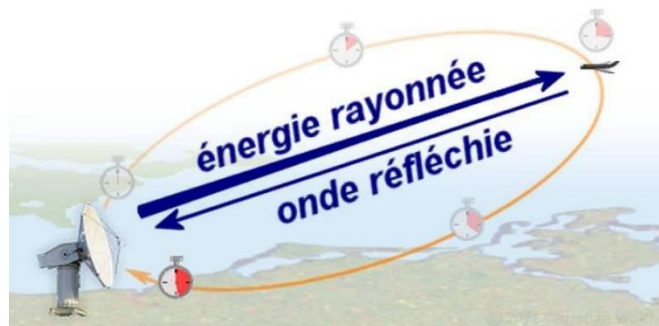
- Les méthodes RF passives peuvent être utilisées pour détecter plusieurs drones simultanément, ce qui peut être utile dans les scénarios où il y a plusieurs menaces.

### ➤ **Limites :**

- Les méthodes RF passives peuvent avoir de la difficulté à distinguer les signaux des drones des autres sources de rayonnement radioélectrique, comme les réseaux Wi-Fi ou les téléphones portables.
- Les méthodes RF passives peuvent avoir de la difficulté à détecter les drones qui volent à basse altitude ou qui sont en vol stationnaire.
- Les méthodes RF passives peuvent nécessiter une grande base de données de signatures de drones connues pour atteindre une grande précision de détection.

### **II.4. La détection radar d'un mini drone :**

Le terme **RADAR** est l'acronyme de **R**adio **D**etecting **A**nd **R**anging. Le principe utilisé par les radars est voisin de celui de la réflexion des ondes sonores. Connaissant la vitesse de l'onde, la distance est estimée par un modèle de mouvement uniforme rectiligne, par simple enregistrement du temps nécessaire de l'aller et au retour de l'onde[12].



**Figure II. 4 :** Principe de l'émission du radar.[12]

La détection radar d'un mini drone est une méthode de détection qui utilise un système radar pour mesurer la vitesse, l'azimut, etc. du drone en émettant des ondes électromagnétiques et utilisant les échos réfléchis par le drone. Pendant ce temps, l'effet de décalage de fréquence Doppler peut également être utilisé pour estimer la vitesse de vol du drone. La portée de détection du radar est d'environ 3000 mètres, qui a les avantages du positionnement et de la poursuite, mais exige que le drone procède certaines grandeurs et se déplace avec une certaine rapidité de sorte que l'écho du radar est plus évident, et il est adapté aux zones avec des environnements relativement ouverts. Toutefois, les petits drones présentent les



## Chapitre II :

---

caractéristiques suivantes : faible hauteur de vol, petite taille et lenteur de vitesse. Ce qui crée une dissimulation de vol élevée, car la zone de réflexion efficace de l'onde électromagnétique radar deviennent très petits. Aussi l'environnement électromagnétique complexe dans l'environnement urbain, rend la détection radar un moyen peu efficace. En même temps, la précision du positionnement et du suivi radar est considérablement réduit lorsque la distance est relativement proche, ce qui affecte sa performance réelle. [10]

Les systèmes de détection radar modernes sont capables de détecter des mini-drones à une distance allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres, en fonction de leur portée. Ils peuvent également être utilisés pour suivre le mouvement des mini-drones en temps réel et prévenir les collisions avec d'autres avions ou obstacles. Les radars peuvent être installés dans des tours de contrôle d'aéroport, des installations militaires, des centres de contrôle de la circulation aérienne et d'autres sites sensibles pour assurer la sécurité de l'espace aérien

### ➤ **Types de Méthode de radar :**

#### • **Radar à ondes continues (Continuous Wave (CW)) :**

Ce type de système radar émet un signal à ondes continues et mesure le changement de fréquence du signal réfléchi pour déterminer la distance et la vitesse du drone. Le radar à ondes continues est simple et peu coûteux à mettre en œuvre, mais sa portée et sa résolution sont limitées par rapport à d'autres types de systèmes radar.

#### • **Radar Doppler pulsé :**

Ce type de système radar émet de courtes impulsions d'ondes radio et mesure le décalage de fréquence du signal réfléchi pour déterminer la vitesse et la direction du drone. Le radar Doppler pulsé est particulièrement utile pour détecter les drones petits et lents, car il a une résolution à haute portée et peut détecter les cibles à faible vitesse.

#### • **Radar à ondes continues modulées en fréquence (Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW)) :**

Ce type de système radar émet un signal à ondes continues modulé en fréquence et mesure le changement de fréquence du signal réfléchi pour déterminer la distance et la vitesse du drone. Le radar à ondes continue modulées est particulièrement utile pour détecter et suivre les drones en mouvement rapide, car il a une résolution de portée et de vitesse élevée.

## Chapitre II :

---

### ➤ Avantages et inconvénients de cette méthode :

• Type de cette méthode	• Avantages	• Limites
• Radar à ondes continues	<ul style="list-style-type: none"><li>• Simple et peu coûteux à mettre en œuvre</li><li>• Peut détecter les cibles à faible vitesse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Portée et résolution limitée</li><li>• Vulnérable aux interférences provenant d'autres sources</li></ul>
• Radar Doppler pulsé	<ul style="list-style-type: none"><li>• Résolution à haute portée</li><li>• Peut détecter les petites cibles qui se déplacent lentement</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Résolution de vitesse limitée</li><li>• Peut-être sujet à l'encombrement et aux interférences</li></ul>
• Radar à ondes continues modulées en fréquence	<ul style="list-style-type: none"><li>• Résolution haute portée et vitesse</li><li>• Peut détecter des cibles en mouvement rapide</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Plus complexe et plus coûteux à mettre en œuvre que le Radar à ondes continues.</li><li>• Peut être sensible aux interférences provenant d'autres sources</li></ul>

**Tableau II. 1 :** Avantages et inconvénients de Méthode de radar.

### **II.5. La détection optique d'un mini drone :**

La détection optique d'un mini drone est une méthode qui permet de détecter la présence d'un drone en utilisant des capteurs optiques. Cette technique de détection utilise les caractéristiques visuelles et les mouvements des drones pour les identifier. Les capteurs optiques sont des dispositifs qui utilisent la lumière visible ou invisible pour détecter la présence, la position ou les caractéristiques d'un mini drone. Les capteurs électro-optiques tels que les caméras TV ou infrarouges transforment un signal lumineux ou des variations lumineuses en signal électrique. Ces capteurs ne peuvent être utilisés que partiellement pour la détection et la localisation de micro-drones et de mini drones, car l'analyse d'images est beaucoup plus complexe que celle de données radar. Les capteurs électro-optiques sont aussi employés pour la défense contre les petits drones. Ces capteurs optiques peuvent être installés dans des zones sensibles telles que des aéroports, des prisons, des installations militaires ou des

## Chapitre II :

---

zones urbaines pour détecter la présence de drones qui peuvent représenter une menace pour la sécurité.[13]



Figure II. 5 : détection et localisation de drone en image.[14]

### ➤ **Avantages :**

- La détection optique est une méthode passive, qui ne nécessite pas l'émission d'ondes électromagnétiques. Elle ne perturbe donc pas le mini drone ou son environnement.
- La détection optique peut être utilisée pour détecter les mini-drones même dans des conditions de faible luminosité.
- Les systèmes de détection optique peuvent être équipés de caméras haute résolution pour une meilleure identification et une détection plus précise du mini drone.
- La détection optique peut être utilisée pour la navigation et le positionnement du mini drone, en utilisant des capteurs optiques tels que les capteurs de flux optique.

### ➤ **Limitation :**

#### • **Sensibilité aux conditions environnementales :**

La détection optique peut être affectée par des conditions météorologiques telles que la pluie, le brouillard ou les nuages, ce qui peut rendre la détection difficile, voire impossible.

#### • **Portée limitée :**

Les capteurs optiques ont une portée limitée, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas détecter un drone volant à une grande distance. Cela peut être un problème pour la détection de drones qui volent à haute altitude ou à grande distance.

#### • **Interférence avec d'autres sources lumineuses :**

Les sources lumineuses telles que les phares de voiture, les réverbères ou même la lumière du soleil peuvent interférer avec les capteurs optiques, ce qui peut fausser les données de détection.

## Chapitre II :

---

- **Difficulté à distinguer les drones des autres objets :**

Les capteurs optiques peuvent avoir du mal à distinguer les drones des autres objets tels que les oiseaux ou les ballons, ce qui peut entraîner des fausses alertes ou des erreurs de détection.

- **Coût élevé :**

Les capteurs optiques de haute qualité peuvent être coûteux, ce qui peut rendre la détection optique peu pratique ou inaccessible pour certaines organisations ou entreprises.

- La détection optique peut être affectée par les obstacles visuels tels que les arbres et les bâtiments, ce qui peut rendre la détection du mini drone plus difficile.

- La détection optique peut être moins précise que d'autres méthodes de détection, comme la détection radar.

### **II.6. Conclusion :**

Les chercheurs courent dans tous les sens pour développer des détecteurs de drone et mini drones intrus. Car ces derniers peuvent causer des dégâts considérables en termes de sécurité. Nous avons passé en revue tous les types de détecteurs de drones en soulèvent les avantages et les limitations de chaque type. Chose qui sera très bénéfique pour le reste du travail vu que nous envisagent développer un nouveau type de détecteur de mini-drone. Généralement les caractéristiques qu'il faut valider sont : la portée du détecteur, son cout, son interférence, sa sélectivité, sa précision de détection, sa sensibilité au conditions environnementales.

Chapitre III :  
Champs  
magnétique et  
capteurs de  
champs  
magnétique

# Chapitre III :

---

## **III.1. Introduction :**

Le champ magnétique est une notion fondamentale de la physique qui joue un rôle clé dans de nombreux domaines, tels que l'électricité, l'électronique, l'industrie, la médecine et la recherche scientifique. Il est présent dans la nature, avec le champ magnétique terrestre qui protège notre planète des radiations solaires et cosmiques. Et est également généré par les dispositifs électromagnétiques tels que les moteurs électriques. Dans le contexte de la sécurité, nous proposons l'exploitation des variations du champ magnétique pour détecter la présence de drones. Les drones, en effet, sont souvent équipés de moteurs électriques qui génèrent des perturbations dans le champ magnétique environnant. Cette propriété peut être exploitée pour concevoir des systèmes de détection de drones basés sur des capteurs de champs magnétiques.

Dans ce chapitre, nous allons explorer en détail les champs magnétiques, comment ils sont générés, comment ils peuvent être mesurés à l'aide de capteurs de champ magnétique, et leurs applications dans divers domaines. Nous allons également nous concentrer sur le champ magnétique terrestre et le champ magnétique généré par les moteurs électriques, en examinant les différentes propriétés et caractéristiques de ces champs.

## **III.2. Le champ magnétique terrestre :**

### **III.2.1. Explication (composition, intensité, variabilité) :**

Le champ magnétique terrestre est un champ magnétique qui entoure la Terre. Il est créé par les mouvements de convection des fluides dans le noyau externe liquide de la planète, principalement composé de fer et de nickel. Ces mouvements de convection sont générés par des forces thermiques et gravitationnelles, qui créent des courants électriques dans le noyau liquide. Ce champ magnétique terrestre est mis en évidence à la surface de la Terre, dans l'air et sous terre, par l'aiguille aimantée de la boussole qui s'oriente dans une direction déterminée. On sait en particulier que le champ magnétique mesuré à la surface de la Terre est la résultante de deux parties, un champ interne ayant ses sources à l'intérieur du globe terrestre et un champ externe ayant ses sources à l'extérieur de la Terre. Le champ magnétique interne est la somme d'un champ principal, dit champ nucléaire et d'un champ crustal. Le champ principal a sa source à l'intérieur du globe ; on l'attribue à la circulation de courants électriques dans le noyau externe liquide et conducteur, situé à 2900 km sous la surface de la Terre. Ce champ principal représente plus de 90 % du champ

# Chapitre III :

---

mesuré à la surface de la Terre et varie en intensité entre 65 000 nT aux pôles et 30 000 nT à l'équateur.[15]

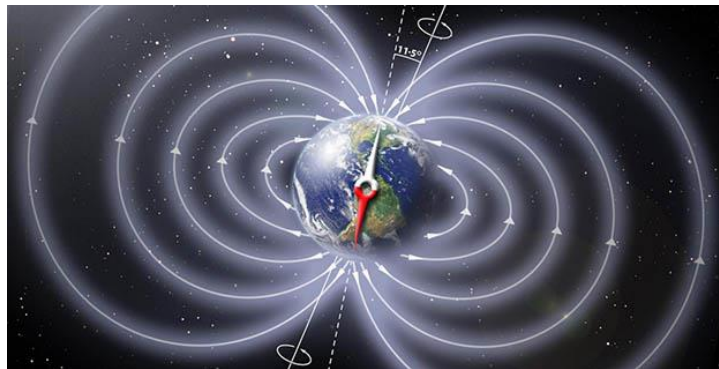


Figure III. 1 : champ magnétique terrestre.[16]

## **III.2.2. L'importance de champ magnétique terrestre dans le cadre de détection de drone :**

Le champ magnétique terrestre est une source de perturbation importante pour les capteurs magnétiques utilisés pour détecter les drones. En comprenant les caractéristiques et les variations du champ magnétique terrestre, vous pourrez mieux comprendre les limites et les possibilités des capteurs magnétiques pour la détection de drone.

## **III.3. Champ magnétiques des moteurs électriques :**

### **III.3.1. La génération du champ magnétique par les moteurs électriques :**

Les moteurs électriques sont des dispositifs qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils fonctionnent en créant un champ magnétique à l'intérieur du moteur grâce à l'interaction entre le courant électrique et les aimants. Pour créer ce champ magnétique, le moteur électrique utilise des bobines de fil de cuivre disposées sur la partie fixe du moteur, appelée stator. Lorsqu'un courant électrique est appliqué à ces bobines, elles créent un champ magnétique autour d'elles. Ce champ magnétique interagit ensuite avec les aimants situés sur la partie mobile du moteur, appelée rotor, pour créer un couple qui fait tourner le rotor. Les moteurs électriques sont utilisés dans une grande variété d'applications, allant des jouets aux appareils ménagers en passant par les outils électriques et les systèmes de propulsion des véhicules électriques. Grâce à leur efficacité énergétique et à leur faible coût d'entretien, les moteurs électriques sont devenus un choix populaire pour de nombreuses applications industrielles et commerciales.[17]

## Chapitre III :

---

### III.3.2. Les différents types de moteurs électriques et leurs champs magnétiques :

Les moteurs électriques peuvent être classés en plusieurs types différents, chacun ayant des caractéristiques spécifiques et des applications particulières. Cependant, tous les types de moteurs électriques fonctionnent en utilisant des champs magnétiques pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. La plupart des drones et les véhicules aériens sans pilote (UAV) utilisent les moteurs électriques pour la propulsion des hélices à multi-rotors qui leur permettent de voler.



Figure III. 2 : moteur utilisé dans un drone.[18]

### III.3.3. Choisir un moteur de drone :

La sélection d'un moteur pour un système de propulsion de UAV particulier dépend de nombreux facteurs, notamment le poids du UAV. Le moteur de drone doit être capable de générer une poussée suffisante pour contrer le poids du drone et lui permettre de décoller.

Le couple d'un moteur de drone représente sa capacité à passer d'une vitesse à une autre. Les hélices plus grandes nécessitent des moteurs à couple plus élevé et consomment donc plus de puissance que les moteurs à couple inférieur.

Typiquement, les plus petits drones utilisent des moteurs balais, tandis que les drones et UAV plus grands utilisent des moteurs sans balais car ils peuvent supporter le poids supplémentaire de l'électronique supplémentaire. Les moteurs de drone sans balais nécessitent également un contrôleur de vitesse électronique (ESC) pour fonctionner.

### III.3.4. Moteurs à balais (Brushed) :

Le moteur à courant continu se compose de deux parties distinctes :

- **L'inducteur** : C'est la partie du moteur, dont la fonction consiste à créer le champ magnétique d'excitation. Il est constitué, soit par un aimant permanent, soit par un électro-aimant dont les enroulements sont parcourus par le courant d'excitation. Les bobines sont



## Chapitre III :

---

montées à l'intérieur d'une culasse qui est généralement en fonte d'acier, les pièces polaires sont formées de tôle d'acier doux.



**Figure III. 3 :** Inducteur complet d'une machine à courant continu.[19]

• **L'induit :** C'est la partie mobile, qui comporte une ou plusieurs bobines tournantes dans le champ magnétique. Il est le siège d'une f.é.m. induite alternative Figure III.4



**Figure III. 4 :** Induit d'une machine à courant continu.[20]

Lorsque le bobinage d'un inducteur du moteur est alimenté par un courant, sur le même principe qu'un aimant permanent, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction nord-sud. Une spire capable de tourner sur l'axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordé électriquement à un demi collecteur et alimenté en courant continu via deux balais. D'après la loi de Laplace, tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force.

## Chapitre III :

Cette force est représenté par l'équation :

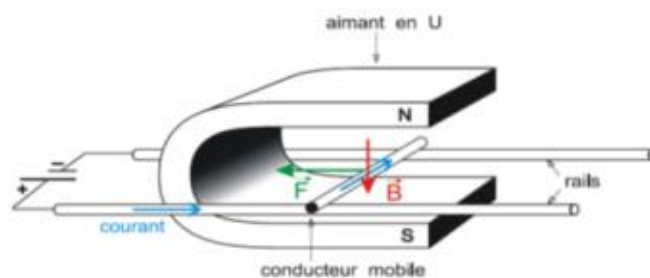
$$d\mathbf{F} = \mathbf{I} \cdot d\mathbf{l} \wedge \mathbf{B}$$

$d\mathbf{F}$  = la force de Laplace

$d\mathbf{l}$  = La portion de conducteur soumise à la force .

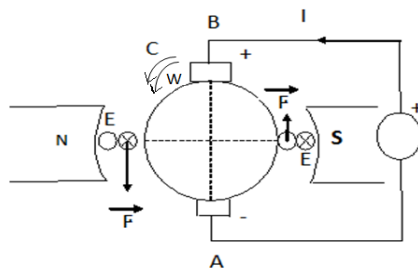
$\mathbf{I}$  = Le courant électrique.

$\mathbf{B}$  = champ magnétique émis par l'aimant.



**Figure III. 5 :** un dessin qu'illustre la Force de Laplace.[21]

Les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces  $F$  égales mais de sens opposé en créant un couple moteur, l'induit se met donc à tourner.[20]



**Figure III. 6 :** Principe de fonctionnement du moteur à courant continu.[20]

### III.3.5. Moteurs sans balais (Brushless) :

Le défaut principal des moteurs à courant continu est la présence des balais, qui engendrent des frottements, des parasites, et limitent la durée de vie du moteur par leur usure. Pour éviter tous ces problèmes on utilise des moteurs brushless, ou moteurs sans balais.

Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu avec balais, excepté le collecteur, mais l'emplacement des bobines et des aimants

## Chapitre III :

---

permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages.

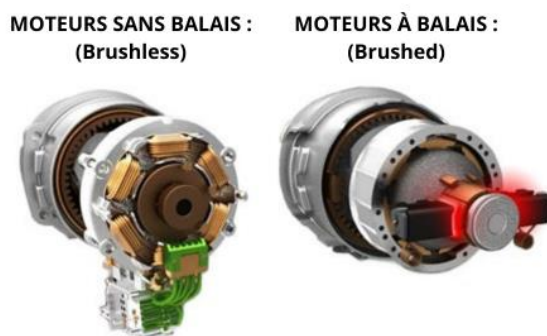


**Figure III. 7 :** Rotor et stator d'un moteur brushless.[22]

Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor s'oriente dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur.

Dans un moteur à courant continu avec balais, l'ensemble collecteur-balais assure mécaniquement la commutation dans l'alimentation des bobines en fonction de l'angle du rotor. Dans un moteur brushless cet élément n'existe plus, il faut donc créer cette commutation électroniquement.

Chacun de ces types de moteurs utilise des champs magnétiques différents pour générer le mouvement, en fonction de leur conception et de leur utilisation prévue.



**Figure III. 8 :** moteur à balais et sans balais.[23]

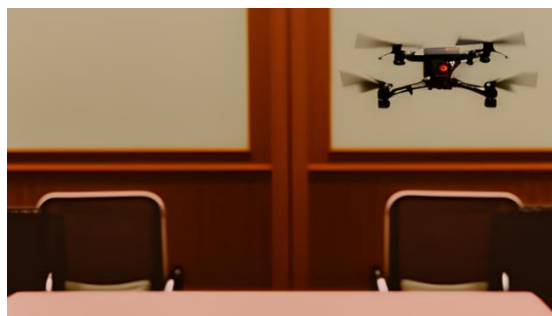
## Chapitre III :

---

### III.3.6. Détection du champ magnétique pour la détection de drones :

Dans le domaine de la détection de drones, un aspect crucial à explorer est le champ magnétique généré par les drones. Les drones, comme de nombreux autres dispositifs, utilisent des moteurs électriques pour alimenter leurs hélices et faciliter leur vol. Par conséquent, ces moteurs électriques produisent des champs magnétiques comme sous-produit de leur fonctionnement. En comprenant et en analysant les caractéristiques du champ magnétique émis par les drones, nous pouvons développer des techniques efficaces de détection et d'identification des drones.

La détection et l'analyse du champ magnétique des drones peuvent être inestimables pour diverses applications, notamment la sécurité, la surveillance et la surveillance. En déployant des capteurs de champ magnétique ou des magnétomètres à des emplacements stratégiques, nous pouvons capturer et analyser les fluctuations du champ magnétique causées par les drones à proximité. Ces capteurs mesurent l'intensité du champ magnétique, nous permettant ainsi d'identifier la présence d'un drone.



**Figure III. 9 :** drone équipé avec une caméra dans une salle de conférence.

Pour détecter efficacement les drones en se basant sur leur champ magnétique, il est essentiel d'établir un modèle de champ magnétique de référence en l'absence de drones. Ce modèle de champ de référence sert de point de comparaison pour identifier les écarts causés par le champ magnétique d'un drone. Des algorithmes d'apprentissage automatique seront formés et développés à l'aide de ces données de référence pour détecter et distinguer les fluctuations normales du champ magnétique de celles qui indiquent la présence d'un drone.

La détection de drones basée sur leur champ magnétique présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle offre une couche de sécurité supplémentaire en complément des technologies de détection de drones existantes telles que le radar ou les systèmes de surveillance visuelle. La détection du champ magnétique peut combler les lacunes de

## Chapitre III :

---

couverture, notamment dans de petites pièces, des bureaux ou peut-être une salle de conférence.

En premier lieu, on se propose qu'en étudiant l'amplitude du champ magnétique, nous pouvons extraire des données utiles qui peuvent aider à la détection et l'identification des drones. Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent jouer un rôle crucial dans le traitement et l'interprétation de ces données, permettant ainsi des systèmes automatisés de détection des drones.



**Figure III. 10 :** champ magnétique généré par les moteurs de drone.

La détection des drones basée sur leur champ magnétique présente un potentiel significatif pour améliorer les capacités de détection et d'identification des drones. En exploitant les capteurs de champ magnétique et les algorithmes d'apprentissage automatique, nous pouvons analyser les signatures uniques du champ magnétique émises par les drones et les différencier des autres sources de champ magnétique. Cette approche peut renforcer les mesures de sécurité et permettre des contre-mesures efficaces contre les activités de drones non autorisées.

### **III.4. Détection du champ magnétique.**

Les capteurs de champ magnétique détectent et mesurent les champs magnétiques. Ils sont utilisés dans diverses industries. Parmi les exemples, on retrouve les capteurs à effet Hall, les capteurs magnéto résistifs, les capteurs à magnéto-impédance, les capteurs à fluxgate, les capteurs MEMS et le magnétomètre du Microbit. Ces capteurs fournissent des informations précieuses pour des applications telles que la détection de vitesse, les compas et la recherche scientifique.

# Chapitre III :

## III.4.1. Capteurs à effet Hall :

Un capteur à effet Hall est composé d'une plaquette semi-conductrice traversée par un courant électrique. Lorsque cette plaquette est exposée à un champ magnétique permanent placé perpendiculairement, elle génère une différence de tension entre ses extrémités perpendiculaires. Cette caractéristique le rend plus performant en amplifiant ou en traitant le signal avant sa transmission, réduisant ainsi les risques de perturbations environnementales.

Ils sont naturellement intégrés dans les technologies bipolaires et peuvent également être intégrés en technologie CMOS. Les capteurs à effet Hall incluent les magnéto-transistors et les magnétos diodes.

Les capteurs à effet Hall sont utilisés pour mesurer des champs magnétiques allant de  $1\mu\text{T}$  à  $1\text{T}$ , dans une plage de température allant de  $-100^\circ\text{C}$  à  $+100^\circ\text{C}$ , et une plage de fréquence allant du continu à  $30\text{ kHz}$ . Ils intègrent généralement des circuits de mise au biais, de réduction d'offset, de compensation en température, d'amplification du signal et de discrimination de niveau. Les capteurs les plus avancés, qui sont programmables, intègrent également un traitement numérique du signal.

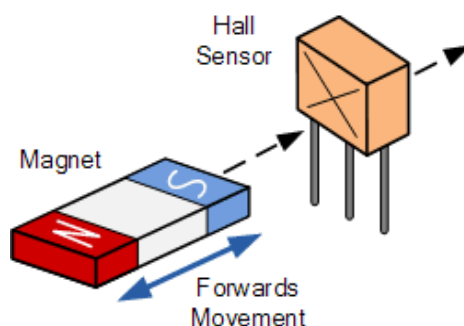


Figure III. 11 : capteur à effet Hall.[24]

Il existe deux types de capteurs à effet Hall : les appareils à sortie linéaire (ou analogique) et ceux à sortie numérique. Les capteurs analogiques utilisent une tension de sortie continue qui augmente dans un champ magnétique fort et diminue dans un champ plus faible.

Avec les capteurs d'effet Hall à sortie linéaire, à mesure que l'intensité du champ magnétique externe augmente lorsque l'appareil entre en contact avec l'aimant, le signal de sortie augmente en parallèle jusqu'à atteindre les limites imposées par l'alimentation.

## Chapitre III :

---

Le dispositif de sortie numérique, à l'inverse, a un « déclencheur Schmitt », qui est un circuit bistable qui augmente et diminue régulièrement la sortie lorsque la tension monte et descend à différents seuils.

Grâce au déclencheur Schmitt, lorsque le flux magnétique passant par le capteur à effet Hall dépasse la valeur prédéfinie de l'appareil, la sortie de l'appareil passe de « hors tension » à « sous tension ». L'hystérésis intégrée dans le dispositif élimine toute oscillation du signal de sortie.[24]

### ➤ **Application :**

- La fabrication d'un teslamètre.
- Un capteur de courant à effet Hall.
- Les mesures de position et de vitesse linéaire ou angulaire.
- Largement utilisés dans les moteurs à courant continu sans contact (magnétoscopes, ventilateurs, moteurs de CD, etc.).

### ➤ **Les avantages des détecteurs à effet Hall :**

- Grande vitesse de commutation (jusqu'à 100 kHz).
- Pas de rebondissement mécanique.
- Résistance à la corrosion.
- Sensibilité magnétique élevée, un faible champ magnétique (moins de 10 mTesla) peut les activer.
- Robustesse du capteur à effet Hall.
- Insensibilité aux poussières et aux vapeurs d'huile.
- Compatibilité avec de nombreuses technologies de circuits intégrés (par exemple, CMOS).
- Mesure de courants électriques avec une isolation galvanique parfaite entre le circuit mesuré et le circuit de mesure.

### ➤ **Inconvénients :**

- L'offset de sortie et la dérive de cet offset sous l'effet de la température peuvent poser des problèmes.

### **III.4.2. Les capteurs à magnétorésistances (MR) :**

#### ➤ **Principe et définition :**

L'effet magnéto-résistif est assez simple : l'application d'un champ magnétique peut modifier la résistance d'un conducteur électrique. La résistance augmente ou diminue en fonction de l'orientation des lignes du champ par rapport à la direction du flux de courant. Le matériau utilisé pour ces capteurs est le permalloy.

## Chapitre III :

---

Étant donné qu'aucun contact électrique n'est nécessaire, le capteur peut fonctionner sur des distances de détection relativement importantes. Pour faciliter l'intégration, les capteurs de magnétorésistance sont de petite taille et consomment très peu d'énergie.

### • **Magnétorésistance en mode transverse :**

Ce type de capteur repose sur la mesure transversale de l'effet de magnétorésistance anisotrope dans un film mince ferromagnétique. Par rapport à la mesure classique longitudinale, cette géométrie permet de mesurer un signal directement proportionnel au champ magnétique, sans composante constante.

### • **Magnétorésistance à effet tunnel (TMR) :**

La magnétorésistance à effet tunnel est composée de deux couches magnétiques conductrices séparées par une barrière isolante de quelques nanomètres d'épaisseur (la barrière tunnel). La résistance électrique varie en fonction de l'orientation relative des deux couches magnétiques grâce à l'effet tunnel.

### • **Magnétorésistance géante (GMR) :**

Ce type de capteur utilise au moins deux couches de matériaux magnétiques séparées par un matériau non magnétique. L'une des couches a une magnétisation constante, tandis que l'autre dépend du champ magnétique. Lorsque les magnétisations sont parallèles, la résistance de l'empilement est minimale, tandis que lorsqu'elles sont antiparallèles, la résistance est maximale.[25]

### ➤ **Applications :**

- Détection de position.
- Détection de la présence d'un objet émetteur du champ magnétique.
- Les résistances magnéto sont utilisées dans les boussoles électroniques pour mesurer le champ magnétique terrestre.
- Les résistances magnéto sont utilisées pour mesurer le courant électrique.

### **III.4.3. Les capteurs à magnéto impédance (MI) :**

#### ➤ **Principe et définition :**

Un capteur de magnéto-impédance (MI) est un capteur au champ magnétique dont l'impédance est modifiée en présence d'un champ magnétique. Cet effet est lié à la variation de la profondeur de pénétration d'un courant alternatif à haute fréquence à travers un matériau ferromagnétique exposé à un champ externe. Les capteurs MI actuels sont généralement constitués d'un ruban de cuivre et de deux films amorphes nanocristallins.



# Chapitre III :

---

## ➤ Application :

- Contrôle non destructif utilisant les courants de Foucault dans des domaines tels que l'aérospatiale, le nucléaire, la microélectronique, etc.
- Localisation de marqueurs magnétiques.
- Électronique de puissance intégrée.

### III.4.4. Capteur type Fluxgate :

#### ➤ Principe et définition :

Les capteurs à fluxgate fonctionnent en utilisant un noyau magnétique à cycle carré, tel que le permalloy. Ils sont conçus pour mesurer avec une haute résolution les champs magnétiques quasi-statiques (<10 kHz). Les meilleures résolutions obtenues peuvent atteindre des valeurs de l'ordre du picotesla.

#### ➤ Quelques types :

Il existe deux types de capteurs à fluxgate :

- Les fluxgates qualifiés de « seconde harmonique » qui sont basés sur la mesure d'une tension.
- Les fluxgates qui utilisent la mesure du temps.

#### ➤ Utilisation :

- Un capteur magnétique est placé perpendiculairement à une bande de PCB sur laquelle circule le courant. La relation entre le courant et le signal de sortie est linéaire dans la plage de petits courants (0-100 mA).
- Domaine spatial (position des satellites).
- Boussoles (capables de détecter le champ magnétique terrestre).
- Les capteurs à fluxgate ont été utilisés pour mesurer des champs magnétiques faibles.[26]

### III.4.5. MEMS :

#### ➤ Principe et définition :

Les capteurs MEMS utilisent une structure qui réagit à une force générée par un champ magnétique. Cette force peut être engendrée de deux manières : par l'utilisation d'un matériau aimanté (dépôt d'un matériau ferromagnétique) ou par la force de Lorentz.

La plupart de ces capteurs offrent une résolution bien supérieure (de l'ordre du microtesla ou inférieure) à celle des capteurs à effet Hall, et ils peuvent être utilisés pour créer une boussole. La technologie MEMS permet également l'intégration d'autres capteurs supplémentaires.

## Chapitre III :

---

### ➤ **Avantages :**

- Compatible avec les technologies microélectroniques.
- Faible consommation d'énergie, car aucune alimentation électrique n'est nécessaire pour activer la structure.
- Les MEMS de dernière génération offrent de bonnes performances dans la plage audible.
- Intégration numérique dans un système sur puce.
- Pas besoin de préamplificateur ni d'étage de conditionnement.
- Les dispositifs MEMS sont extrêmement compacts, leur forme fine facilite la production et en particulier la gravure du substrat.
- Les capteurs MEMS utilisant la force de Lorentz n'ont pas besoin de matériau ferromagnétique, ce qui réduit les coûts de fabrication.
- Possibilité d'intégrer d'autres capteurs tels que des accéléromètres, des gyroscopes, etc., sur la même puce.

### ➤ **Inconvénients :**

- Les capteurs MEMS sont généralement plus coûteux à fabriquer.

#### **III.4.6. Comparaison entre les différents types de capteurs :**

Voici une comparaison succincte des différents types de capteurs de champ magnétique. Les capteurs à effet Hall offrent une grande vitesse de commutation, une résistance à la corrosion et une sensibilité magnétique élevée, mais peuvent présenter un offset de sortie et une dérive sous l'effet de la température. Les capteurs MEMS offrent une faible consommation d'énergie, une intégration numérique dans un système sur puce et la possibilité d'intégrer d'autres capteurs sur la même puce, mais peuvent être plus coûteux à fabriquer. Les magnétorésistances offrent une sensibilité élevée et une bonne linéarité, mais peuvent être sensibles aux interférences électromagnétiques. La magnéto-impédance offre une grande sensibilité et une réponse rapide, mais peut être sensible aux vibrations. Les capteurs à fluxgate offrent une excellente précision et une grande sensibilité, mais peuvent être plus grands et plus coûteux. Le choix dépendra des exigences spécifiques de votre application en termes de précision, de sensibilité, de taille, de coût et d'environnement.

#### **III.4.7. Microbit :**

Le capteur utilisé dans le présent travail est intégré dans une carte commercialisée. Il s'agit de la carte micro:bit qui est une carte électronique (nano-ordinateur) créée par la BBC en 2016 pour promouvoir l'apprentissage du codage pour des buts académiques. C'est

## Chapitre III :

une carte micro-contrôleur, programmable, ayant des capteurs et actionneurs intégrés. Elle est plus puissante que la carte Arduino Uno.[27]

La carte peut fonctionner de manière autonome ou elle peut rester connectée en USB à un ordinateur. Elle peut alimenter des capteurs en 3,3V. Quand on la branche à un ordinateur, elle est détectée comme une carte SD ou une clé USB : il n'y a donc pas de drivers à installer (sous windows 10) et il suffit simplement de déposer le micro-programme (fichier .hex) dans sa mémoire. La carte exécute ensuite ce programme. La carte peut être programmée dans un langage dérivé de Python. [27]

### ➤ Composition :

La micro:bit est un micro-ordinateur embarqué un processeur ARM Cortex-M0, de nombreux ports pins et entrée/sortie, des LED de couleur, un ensemble de capteurs (magnétomètre, accéléromètre, capteur de température, etc.) et des connectiques Bluetooth et USB comme illustre Figure III.13 :



Figure III. 12: Les composants de la carte micro:bit [27]

### III.5. Conclusion :

Le capteur à effet Hall intégré dans la carte micro:bit. Bien que ce ne soit pas le capteur le plus performant, il correspond à notre budget et permet d'obtenir des résultats satisfaisants et si on utilise un capteur plus sophistiqué notre performance de notre approche sera améliorée. Nous avons utilisé la carte micro:bit pour collecter les données nécessaires à l'apprentissage et à la validation des réseaux de neurones utilisés pour la détection. Cette approche nous a permis d'obtenir des résultats encourageants dans notre projet.

# Chapitre IV : Matériels et méthodes

# Chapitre IV :

---

## IV.1. Introduction :

Dans cette partie du mémoire nous présentons les matériels et les méthodes utilisés dans notre recherche sur la détection des drones. Ce chapitre revêt une importance capitale, car il expose les éléments essentiels ainsi que les approches adoptées afin de parvenir à nos objectifs. En explorant méticuleusement les détails de notre méthodologie, nous mettrons en exergue les choix pertinents en termes de matériel et les techniques sophistiquées que nous avons employées pour détecter avec précision les drones.

## IV.2. Le magnétomètre du carte Micro-Bit (MAG3110) :

Le magnétomètre utilisé dans la carte Micro-Bit BBC est le modèle MAG3110 de la société NXP Semi-conducteurs. C'est un magnétomètre à effet Hall numérique capable de mesurer des champs magnétiques dans trois directions différentes.

Le magnétomètre MAG3110 est un magnétomètre de faible puissance hautement intégré conçu pour une large gamme d'applications, y compris la détection de mouvement, la navigation et la détection de position. L'une des principales caractéristiques du MAG3110 est sa haute sensibilité et sa précision, qui lui permet de détecter même les plus petits changements de champs magnétiques. Cela le rend valide pour les applications qui nécessitent des mesures précises des champs magnétiques, tels que ceux trouvés dans les drones et autres véhicules autonomes.

Quelques caractéristiques principales du magnétomètre MAG3110 qui le distinguent des autres magnétomètres :

**1-Sensibilité :** Le MAG3110 a une sensibilité de 1000  $\mu\text{T}$ , ce qui signifie qu'il peut mesurer des champs magnétiques jusqu'à cette puissance avec une grande précision.

**2-Résolution :** Le magnétomètre a une résolution de 0,1  $\mu\text{T}$ , ce qui signifie qu'il peut détecter de petits changements dans les champs magnétiques.

**3-Faible bruit :** Le MAG3110 a une faible densité de bruit de 0,25 mG / Hz, ce qui signifie qu'il peut fournir des lectures précises même dans les environnements bruyants.

**4-Faible consommation d'énergie :** Le magnétomètre fonctionne à une basse tension de 1,95 à 3,6 V et a une faible consommation d'énergie de 100  $\mu\text{A}$  à une vitesse de 80 Hz, ce qui le rend adapté pour les appareils alimentés par batterie.

## Chapitre IV :

---

**5-Interface numérique :** Le MAG3110 communique avec les microcontrôleurs via une interface numérique I2C ou SPI, ce qui simplifie l'intégration dans les systèmes.

**6-Température :** Le magnétomètre a un capteur de température sur puce et une compensation de température intégrée, ce qui réduit les effets des changements de température sur les mesures. Il peut fonctionner sur une large plage de température (-40 °C à +85°C).

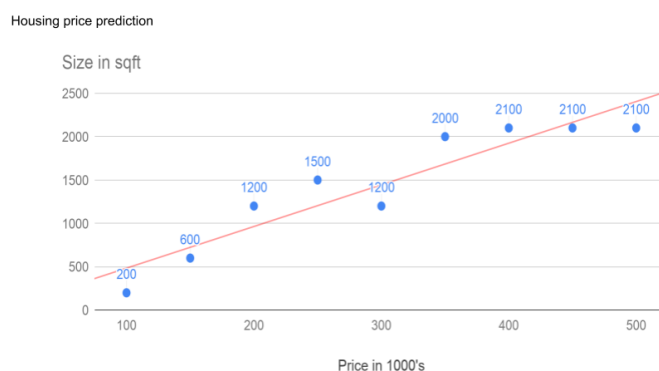
**7-Petite taille :** Le magnétomètre a un petit facteur de forme de 2 x 2 x 0,85 mm, ce qui le rend adapté pour une utilisation dans les appareils compacts. [28]

### IV.3. Machine Learning :

#### IV.3.1. Définition :

Le machine Learning (apprentissage automatique) est au cœur de la science des données et de l'intelligence artificielle. Que l'on parle de transformation numérique des entreprises, de Big Data ou de stratégie nationale ou européenne, le machine Learning est devenu incontournable. Ses applications sont nombreuses et variées, allant des moteurs de recherche et de la reconnaissance de caractères à la recherche en génomique, l'analyse des réseaux sociaux, la publicité ciblée, la vision par ordinateur, la traduction automatique ou encore le trading algorithmique. À l'intersection des statistiques et de l'informatique, le machine Learning se préoccupe de la modélisation des données. Les grands principes de ce domaine ont émergé des statistiques fréquentistes ou bayésiennes, de l'intelligence artificielle ou encore du traitement du signal.

Cette Figure montre la relation entre les prix des maisons et leur taille en pieds carrés.



**Figure IV. 1 :** la meilleure ligne pour effectuer des prédictions selon l'exemple.[29]

Après avoir tracé différentes données sur le graphique XY, nous avons tracé une ligne de meilleure correspondance pour effectuer nos prévisions pour n'importe quelle autre maison

## Chapitre IV :

---

donnée sa taille. Vous allez fournir les données connues à la machine et lui demander de trouver la ligne de meilleure correspondance. Une fois que la machine aura trouvé la ligne de meilleure correspondance, vous testerez sa pertinence en fournissant une taille de maison connue, c'est-à-dire la valeur Y dans la courbe ci-dessus. La machine retournera maintenant la valeur X estimée, c'est-à-dire le prix attendu de la maison. Le diagramme peut être extrapolé pour connaître le prix d'une maison qui fait 3000 pieds carrés ou même plus grande. Cela s'appelle la régression en statistiques. En particulier, ce type de régression est appelé régression linéaire car la relation entre les points de données X et Y est linéaire. [29]

Dans de nombreux cas, la relation entre les points de données X et Y peut ne pas être une ligne droite, mais une courbe avec une équation complexe. Votre tâche consisterait maintenant à trouver la meilleure courbe d'ajustement qui peut être extrapolée pour prédire les valeurs futures. Une telle application est représentée dans le graphique ci-dessous. [29]

Vous utiliserez des techniques d'optimisation statistique pour trouver l'équation de la meilleure courbe d'ajustement ici. Et c'est exactement ce qu'est l'apprentissage automatique. Vous utilisez des techniques d'optimisation connues pour trouver la meilleure solution à votre problème. [29]

### **IV.3.2. Les différentes catégories de l'apprentissage automatique :**

#### **➤ L'apprentissage supervisé :**

L'apprentissage supervisé est analogue à l'entraînement d'un enfant à marcher. Vous tiendrez la main de l'enfant, lui montrerez comment avancer le pied, marcherez vous-même pour une démonstration, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'enfant apprenne à marcher seul.

#### **• Régression :**

De même, dans le cas de l'apprentissage supervisé, vous donnez des exemples concrets connus à l'ordinateur. Vous dites que pour une valeur de caractéristique donnée  $x_1$ , la sortie est  $y_1$ , pour  $x_2$ , c'est  $y_2$ , pour  $x_3$ , c'est  $y_3$ , et ainsi de suite. Sur la base de ces données, vous laissez l'ordinateur trouver une relation empirique entre  $x$  et  $y$ .

Une fois que la machine est formée de cette manière avec un nombre suffisant de points de données, vous demandez maintenant à la machine de prédire Y pour un X donné. En supposant que vous connaissez la valeur réelle de Y pour ce X donné, vous pourrez déduire si la prédiction de la machine est correcte.

## Chapitre IV :

---

Ainsi, vous testerez si la machine a appris en utilisant les données de test connues. Une fois que vous êtes satisfait que la machine soit capable de faire des prédictions avec un niveau de précision souhaité (disons de 80 à 90 %), vous pouvez arrêter de former davantage la machine.

Maintenant, vous pouvez utiliser en toute sécurité la machine pour effectuer des prédictions sur des points de données inconnus, ou demander à la machine de prédire  $Y$  pour un  $X$  donné pour lequel vous ne connaissez pas la valeur réelle de  $Y$ . Cette formation relève de la régression dont nous avons parlé précédemment.

### • **Classification :**

Vous pouvez également utiliser des techniques d'apprentissage automatique pour résoudre des problèmes de classification. Dans les problèmes de classification, vous regroupez des objets de nature similaire dans un groupe unique. Par exemple, dans un groupe de 100 étudiants, vous pouvez les regrouper en trois groupes en fonction de leur taille (petit, moyen et grand). En mesurant la taille de chaque étudiant, vous les placez dans un groupe approprié. [29]

Maintenant, lorsque qu'un nouvel étudiant arrive, vous le placez dans un groupe approprié en mesurant sa taille. En suivant les principes de l'apprentissage par régression, vous entraînez la machine à classer un étudiant en fonction de sa caractéristique (la taille). Lorsque la machine apprend comment les groupes sont formés, elle sera en mesure de classer correctement tout nouvel étudiant inconnu. Encore une fois, vous utiliserez les données de test pour vérifier que la machine a bien appris votre technique de classification avant de mettre le modèle développé en production.

L'apprentissage supervisé est l'endroit où l'IA a vraiment commencé son parcours. Cette technique a été appliquée avec succès dans plusieurs cas. Vous avez utilisé ce modèle lors de la reconnaissance d'écriture sur votre machine. Plusieurs algorithmes ont été développés pour l'apprentissage supervisé.

### ➤ **L'apprentissage non supervisé :**

En apprentissage non supervisé, nous ne spécifions pas de variable cible à la machine, mais plutôt nous demandons à la machine "Que pouvez-vous me dire sur  $X$  ?". Plus précisément, nous pouvons poser des questions telles que "Quels sont les cinq meilleurs



## Chapitre IV :

---

groupes que nous pouvons faire à partir de X ?" ou "Quelles caractéristiques surviennent le plus fréquemment ensemble dans X ?". Pour parvenir aux réponses à de telles questions, vous pouvez comprendre que le nombre de points de données que la machine aurait besoin de déduire une stratégie serait très élevé. Dans le cas de l'apprentissage supervisé, la machine peut être entraînée même avec quelques milliers de points de données. Cependant, dans le cas de l'apprentissage non supervisé, le nombre de points de données raisonnablement accepté pour l'apprentissage commence dans quelques millions. De nos jours, les données sont généralement disponibles en abondance. Les données nécessitent idéalement une curation. Cependant, la quantité de données qui circule en continu dans un réseau social, dans la plupart des cas, la curation des données est une tâche impossible. [29]

### IV.3.3. Les données :

Les données d'apprentissage automatique sont devenues un élément clé pour améliorer les performances des algorithmes d'intelligence artificielle. Elles permettent aux modèles de machine Learning de s'entraîner à reconnaître des motifs, à prendre des décisions et à générer des résultats plus précis et fiables. En utilisant des quantités massives de données structurées ou non structurées, les modèles d'apprentissage automatique peuvent identifier des corrélations subtiles et des relations complexes entre les variables, ce qui serait impossible à détecter avec des méthodes d'analyse traditionnelles. En fin de compte, les données d'apprentissage automatique sont essentielles pour améliorer les performances des systèmes d'IA et pour résoudre des problèmes.

- **Les vecteurs :** En machine Learning, un vecteur est une structure de données qui représente une collection ordonnée de valeurs numériques. Ces valeurs peuvent représenter des caractéristiques, des attributs ou des variables qui décrivent un objet, une observation ou une entité.
- **Les listes :** Dans certains cas, les vecteurs que nous obtenons peuvent contenir un nombre variable de caractéristiques.
- **Les ensembles(sets) :** peuvent apparaître dans des problèmes d'apprentissage chaque fois qu'il y a un grand nombre de causes potentielles d'un effet, qui ne sont pas bien déterminées.
- **Les matrices :** sont un moyen pratique de représenter des relations par paires. Par exemple, dans les applications de filtrage collaboratif, les lignes de la matrice peuvent représenter des utilisateurs tandis que les colonnes correspondent aux produits. Nous n'aurons connaissance

## Chapitre IV :

---

que dans certains cas d'une combinaison donnée (utilisateur, produit), telle que l'évaluation du produit par un utilisateur. [30]

- **Les images :** Les images pourraient être considérées comme des tableaux bidimensionnels de nombres, c'est-à-dire des matrices. Cette représentation est très rudimentaire, cependant, car elles présentent une cohérence spatiale (lignes, formes) et une structure multi résolution (les images naturelles présentent). [30]
- **La vidéo :** La vidéo ajoute une dimension temporelle aux images. Encore une fois, nous pourrions les représenter sous forme d'un tableau tridimensionnel. Cependant, les bons algorithmes tiennent compte de la cohérence temporelle de la séquence d'images. [30]
- **Les arbres et les graphes :** Les arbres et les graphes sont souvent utilisés pour décrire les relations entre des collections d'objets.

### **IV.3.4. Applications de l'apprentissage automatique :**

Les différents domaines d'application sont la vision par ordinateur, la prédiction, l'analyse sémantique, le traitement du langage naturel et la recherche d'informations.

- **Vision par ordinateur (Computer Vision) :**

La reconnaissance d'objets, la détection d'objets et le traitement d'objets sont des sous-domaines de la vision par ordinateur.

- **Prédiction (Prediction) :**

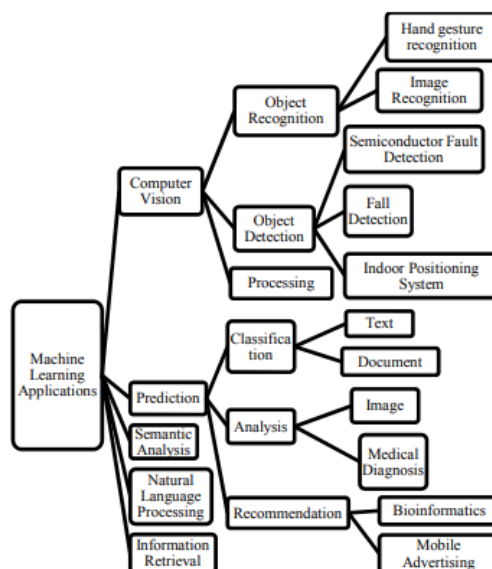
Les différents sous-domaines ici sont la classification, l'analyse et la recommandation. La classification de texte, la classification de documents, l'analyse d'images, le diagnostic médical, la prédiction de la détection d'intrusion de réseau et la prédiction d'attaques de déni de service ont été mis en œuvre avec succès à l'aide de l'apprentissage automatique.

- **Analyse sémantique, traitement du langage naturel et recherche d'informations (Information Retrieval) :**

L'analyse sémantique est le processus de mise en relation des structures syntaxiques des paragraphes, des phrases et des mots avec le niveau de l'écriture dans son ensemble. Le traitement du langage naturel consiste à programmer des ordinateurs pour traiter correctement les données de langage naturel. La recherche d'informations est la science de la recherche d'informations dans un document, la recherche de documents et la recherche de métadonnées qui décrivent les données ainsi que pour les bases de données de sons et d'images. Ce sont trois domaines dans lesquels les techniques d'apprentissage automatique ont été explorées dans le passé.

## Chapitre IV :

Une tentative de classer toutes les applications d'apprentissage automatique trouvées dans le passé est résumée ici. La figure suivante représente les domaines d'application au premier niveau, les sous-domaines au deuxième niveau et quelques applications au dernier niveau qui ont été mises en œuvre par les chercheurs.



**Figure IV. 2 :** La représentation de différentes applications par un schéma.[31]

### IV.4. Random Forest :

Random Forest est un algorithme d'apprentissage automatique (Machine Learning) populaire qui appartient à la technique d'apprentissage supervisé. Il peut être utilisé pour les problèmes de classification et de régression en apprentissage automatique. Il repose sur le concept d'apprentissage d'ensemble (ensemble learning), qui consiste à combiner plusieurs classificateurs pour résoudre un problème complexe et améliorer la performance du modèle.

Random Forest est un type de modèle utilisé pour la classification des données. Il est composé d'un ensemble d'arbres de décision qui travaillent sur différents sous-ensembles de l'ensemble de données. Pour améliorer la précision de prédiction, la forêt aléatoire utilise la moyenne des prédictions de chaque arbre et se base sur les votes majoritaires pour prédire le résultat final. Cela permet d'obtenir une prédiction plus fiable en combinant les résultats de plusieurs arbres de décision.

Le plus grand nombre d'arbres dans la forêt conduit à une plus grande précision et empêche le problème de débordement (overfitting).

# Chapitre IV :

## IV.4.1. Les méthodes d'apprentissage d'ensemble :

- **Bagging (une méthode ensembliste parallèle) :** Il crée un sous-ensemble d'entraînement différent à partir de l'ensemble d'entraînement d'échantillon, et la sortie finale est basée sur un vote majoritaire. Par exemple, Random Forest.[32]
- **Boosting (une méthode ensembliste séquentielle) :** Il combine des apprenants faibles en apprenants forts en créant des modèles séquentiels de manière à ce que le modèle final ait la plus grande précision. Par exemple, ADA BOOST, XG BOOST.[32]

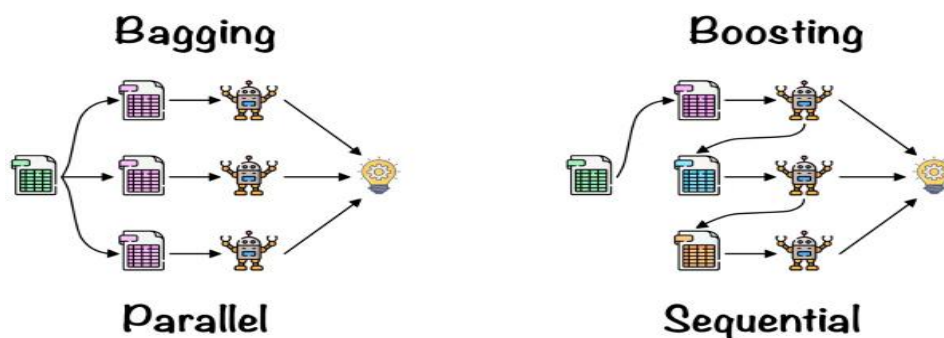


Figure IV. 3 : La représentation des deux méthodes d'apprentissage par un schéma.[33]

### • Bagging :

Bagging, également connu sous le nom d'agrégation de bootstrap, est la technique d'ensemble utilisée par Random Forest. Le Bagging choisit un échantillon aléatoire / sous-ensemble aléatoire de l'ensemble de données entier. Par conséquent, chaque modèle est généré à partir des échantillons (échantillons de bootstrap) fournis par les données d'origine avec remplacement, connu sous le nom d'échantillonnage de ligne. Cette étape d'échantillonnage de ligne avec remplacement est appelée bootstrap. Maintenant, chaque modèle est formé indépendamment, ce qui génère des résultats. La sortie finale est basée sur un vote majoritaire après la combinaison des résultats de tous les modèles. Cette étape qui implique la combinaison de tous les résultats et la génération de la sortie en fonction du vote majoritaire est appelée agrégation.[32]

# Chapitre IV :

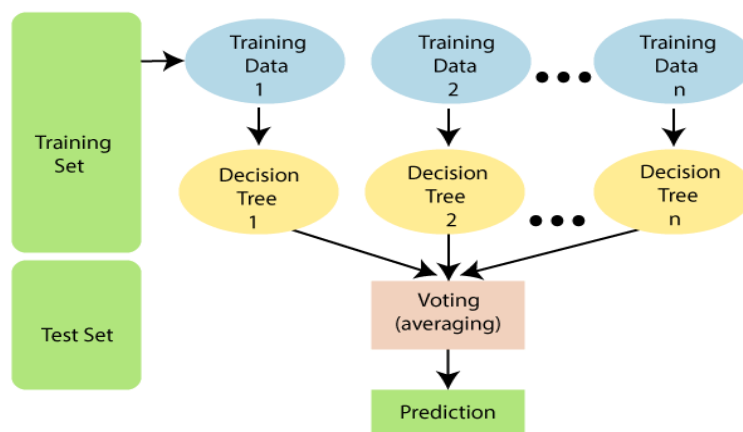


Figure IV. 4 : Principe de Bagging.[34]

## IV.4.2. L'arbre de décision :

Un arbre de décision est une structure arborescente semblable à un organigramme où chaque nœud interne représente la caractéristique, les branches représentent les règles et les nœuds feuilles représentent le résultat de l'algorithme. C'est un algorithme d'apprentissage automatique supervisé polyvalent, utilisé à la fois pour les problèmes de classification et de régression. C'est l'un des algorithmes les plus puissants. Il est également utilisé dans Random Forest pour s'entraîner sur différents sous-ensembles de données d'entraînement, ce qui en fait l'un des algorithmes les plus puissants en apprentissage automatique.

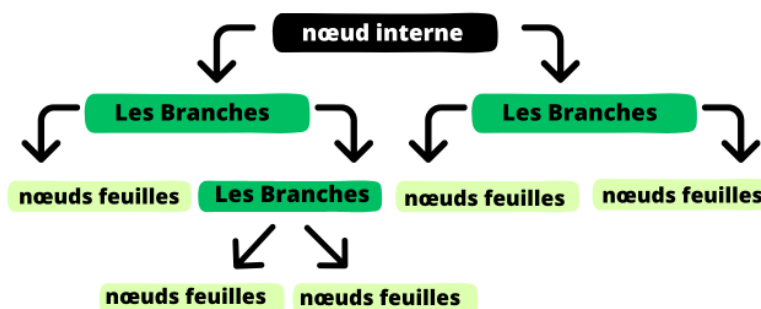


Figure IV. 5 : Principe de fonctionnement d'un arbre de décision.

## IV.4.3. Principe de fonctionnement de Random Forest:

Les algorithmes de Random Forest ont trois hyperparamètres qui doivent être définis avant l'entraînement. Il s'agit de la taille du nœud, du nombre d'arbres et du nombre de caractéristiques échantillonnées. À partir de là, le classificateur de Random Forest peut être utilisé pour résoudre des problèmes de régression ou de classification.

## Chapitre IV :

---

L'algorithme de Random Forest est composé d'une collection d'arbres de décision, et chaque arbre de l'ensemble consiste en un échantillon de données prélevé dans un ensemble d'entraînement avec remplacement, appelé échantillon bootstrap. De cet ensemble d'entraînement, un tiers est mis de côté comme données de test, appelé échantillon hors sac. Une autre instance d'aléatoire est ensuite injectée à travers l'échantillonnage de caractéristiques, ajoutant plus de diversité à l'ensemble de données et réduisant la corrélation entre les arbres de décision. Selon le type de problème, la détermination de la prédiction variera. Pour une tâche de régression, les arbres de décision individuels seront moyennés, et pour une tâche de classification, un vote majoritaire donnera la classe prédite. Enfin, l'échantillon hors sac est utilisé pour la validation croisée, finalisant ainsi cette prédiction.

### **IV.4.4. Hypothèses pour Random Forest :**

Puisque la forêt aléatoire combine plusieurs arbres pour prédire la classe de l'ensemble de données, il est possible que certains arbres de décision prédisent la sortie correcte, tandis que d'autres ne le font pas. Mais l'ensemble des arbres prédisent la sortie correcte. Par conséquent, voici les deux hypothèses pour un meilleur classificateur Random Forest :

- Il devrait y avoir des valeurs réelles dans la variable caractéristique de l'ensemble de données afin que le classificateur puisse prédire des résultats précis plutôt qu'un résultat estimé (non précis).
- Les prédictions de chaque arbre doivent avoir des corrélations très faibles.

### **IV.4.5. Les avantages de l'utilisation de Random Forest :**

Voici quelques points qui expliquent pourquoi nous avons utilisé l'algorithme Random Forest :

- Il nécessite moins de temps d'entraînement par rapport à d'autres algorithmes d'intelligence artificielle.
- Il prédit la sortie avec une grande précision, même pour les grands ensembles de données, il fonctionne efficacement.
- Il peut également maintenir la précision lorsqu'une grande proportion de données est manquante.

## Chapitre IV :

---

### IV.4.6. Inconvénients de Random Forest :

- Bien que la forêt aléatoire puisse être utilisée pour les tâches de classification et de régression, elle n'est pas plus adaptée aux tâches de régression.

### IV.4.7. Différence entre l'arbre de décision et Random Forest :

La forêt aléatoire est une collection d'arbres de décision. Cependant, il y a beaucoup de différences dans leur comportement.

#### ➤ Les arbres de décision :

- Les arbres de décision souffrent généralement du problème de surajustement (overfitting) s'ils sont autorisés à croître sans contrôle.
- Un seul arbre de décision est plus rapide en calcul.
- Lorsqu'un ensemble de données avec des caractéristiques est pris en entrée par un arbre de décision, il formule des règles pour effectuer des prédictions. [32]

#### ➤ Random Forest :

- Les forêts aléatoires sont créées à partir de sous-ensembles de données, et la sortie finale est basée sur un classement moyen ou majoritaire. Ainsi, le problème de surajustement (overfitting) est pris en charge.
- C'est relativement plus lent par rapport aux arbres de décision.
- La forêt aléatoire sélectionne au hasard des observations, construit un arbre de décision et prend la moyenne des résultats. [32]

### IV.4.8. Paramètres de Random Forest :

**n\_estimators : int, default=100 :**

Le nombre d'arbres dans la forêt. [35]

**min\_samples\_split : int or float, default=2 :**

Le nombre minimal d'échantillons requis pour fractionner un nœud interne. [35]

**min\_samples\_leaf : int or float, default=1 :**

Le nombre minimum d'échantillons requis pour être à un nœud foliaire. [35]

**min\_weight\_fraction\_leaf : float, default=0.0 :**

## Chapitre IV :

---

Fraction pondérée minimale de la somme des poids (de tous les échantillons d'entrée) nécessaire pour être à un nœud de feuille. Les échantillons ont un poids égal lorsqu'ils ne sont pas fournis. [35]

**max\_features : {"sqrt", "log2", None}, int or float, default="sqrt" :**

Le nombre de caractéristiques à prendre en compte lors de la recherche du meilleur split:

- Si int -N entier-, considérer les fonctionnalités max\_features à chaque split.
- Si float-N réel-, alors max\_features est une fraction, et les fonctions  $\max(1, \text{int}(\text{max\_features} * \text{n\_features\_in\_}))$  sont prises en compte à chaque split.
- Si "sqrt", alors  $\text{max\_features} = \sqrt{\text{n\_features}}$ .
- Si "log2", alors  $\text{max\_features} = \log_2(\text{n\_features})$ .
- Si Aucun, alors  $\text{max\_features} = \text{n\_features}$ . [35]

**max\_leaf\_nodes : int, default=None :**

Faire pousser les arbres avec max\_leaf\_nodes de la meilleure façon. Les meilleurs nœuds sont définis comme une réduction relative de l'impureté. Si Aucun alors un nombre illimité de nœuds de feuille. [35]

**min\_impurity\_decrease : float, default=0.0 :**

Un nœud sera divisé si cette division induit une diminution de l'impureté (L'impureté des nœuds représente la façon dont les arbres divisent les données) supérieure ou égale à cette valeur. [35]

**Bootstrap : bool, default=True :**

Si des échantillons d'amorçage sont utilisés lors de la construction d'arbres. Si Faux, l'ensemble de données est utilisé pour construire chaque arbre. [35]

**oob\_score : bool, default=False :**

Utilisation éventuelle d'échantillons hors sac pour estimer le score de généralisation. Disponible uniquement si bootstrap=True. [35]



# Chapitre IV :

---

## **IV.4.9. Classification multi-classes :**

La classification multi-classes est une technique d'apprentissage automatique qui classe les données en plusieurs catégories différentes. Contrairement à la classification binaire, qui est limitée à deux classes, la classification multi-classes permet de classer les données dans plus de deux catégories. Dans le contexte des forêts aléatoires, la classification de plusieurs classes est une fonctionnalité intégrée. Une forêt aléatoire combine plusieurs arbres de décision pour faire des prédictions de classification. Chaque arbre de décision dans l'arbre aléatoire a été formé pour classer les données en plusieurs catégories, ce qui lui permet de gérer les problèmes de classification multi-classes. Lors de la prédiction de classes pour de nouvelles instances de données, chaque arbre de décision vote pour la classe prédite. La classe avec le plus de votes est ensuite sélectionnée comme prédiction finale. Les forêts aléatoires fournissent donc une solution puissante pour classer plusieurs classes à l'aide d'une combinaison d'arbres de décision.

## **IV.5. Conclusion :**

En conclusion, le chapitre 4 de notre mémoire a été consacré à la présentation des matériels et des méthodes utilisés dans notre recherche sur la détection des drones. Nous avons examiné en détail le magnétomètre de la carte Micro-Bit (MAG3110), qui joue un rôle crucial dans la détection des variations du champ magnétique causées par la présence des drones. De plus, nous avons exploré le domaine de l'apprentissage automatique, en mettant l'accent sur l'algorithme Random Forest, qui a été utilisé pour améliorer la précision de notre méthode de détection. Grâce à ces choix matériels et méthodologiques, nous avons pu mettre en place une approche efficace pour détecter les drones dans notre étude.

# Chapitre V : Résultats et discussions

# Chapitre V :

---

## **V.1. Introduction :**

Dans ce chapitre, nous fournirons une revue complète des résultats importants qui ont été obtenus. Nous analyserons et interpréterons les données recueillies afin de tirer des conclusions efficaces et des informations pertinentes. Nous mettrons également l'accent sur la présentation organisée et logique des résultats, en mettant en évidence les relations et les liens clairs entre eux. Enfin, nous discuterons des perspectives d'avenir dans ce domaine et mettrons en évidence les améliorations possibles et les développements potentiels qui peuvent être appliqués à cette technologie, ce qui renforcera les avantages futurs et ouvrira de nouvelles perspectives pour les utilisations potentielles.

## **V.2. Extraire des données :**

### **V.2.1. Compass :**

La boussole de la carte micro:bit est un composant qui permet la détection et la mesure des champs magnétiques. Avec son magnétomètre intégré, le micro:bit agit comme une boussole numérique, fournissant un moyen fiable de déterminer la direction et l'orientation de la carte par rapport au champ magnétique terrestre. Cette fonctionnalité permet diverses applications, telles que la navigation, la détection d'orientation et même la reconnaissance gestuelle de base. En exploitant les capacités de la boussole du micro:bit, les utilisateurs peuvent facilement intégrer la détection de champ magnétique dans leurs projets, offrant une expérience interactive et immersive. La boussole ajoute une couche supplémentaire de fonctionnalité au micro:bit, ce qui en fait un outil polyvalent pour les efforts éducatifs et créatifs.

### **V.2.2. Calibration de compass:**

La calibration correspond au fait d'étalonner, c'est-à-dire de comparer des données obtenues par des biais différents afin d'en tirer une information. La fonction **compass.calibrate()** est un outil puissant fourni par la carte micro:bit qui permet d'étalonner le magnétomètre interne. L'étalonnage est crucial pour obtenir des lectures précises et fiables de la boussole. Lorsque la fonction est appelée, le micro:bit guide l'utilisateur à travers un processus d'étalonnage, impliquant généralement la rotation de la carte dans différentes directions. Ce processus aide le magnétomètre à prendre en compte toute interférence magnétique locale ou tout mauvais alignement, assurant ainsi des mesures plus précises. En utilisant **compass.calibrate()**, les utilisateurs peuvent améliorer la précision de leurs relevés

# Chapitre V :

de compas et améliorer la performance globale de leurs projets qui reposent sur la détection directionnelle. C'est une étape simple mais essentielle qui aide à débloquer le plein potentiel de la fonction de la boussole sur la carte micro:bit. L'étalonnage de la boussole interrompra votre programme jusqu'à ce que l'étalonnage soit terminé. L'étalonnage consiste à dessiner un cercle sur l'écran LED en faisant tourner l'appareil.

## V.2.3. Calculer l'intensité du champ magnétique :

La fonction `compass.get_X()` permet de lire la valeur du champ magnétique le long de l'axe spécifique (axe x, y, z). Il renvoie une valeur entière positive ou négative, selon la direction du champ. Cela permet aux utilisateurs d'obtenir des informations sur la l'intensité et l'orientation du champ magnétique dans la direction de l'axe. En analysant ces lectures, on peut obtenir des aperçus dans l'environnement magnétique environnant et détecter toute variation ou changement de l'amplitude du champ magnétique.

### `compass.get_x()`

Donne la lecture de la composante du champ magnétique sur l'axe x.

### `compass.get_y()`

Donne la lecture de la composante du champ magnétique sur l'axe y.

### `compass.get_z()`

Donne la lecture de la composante du champ magnétique sur l'axe z.

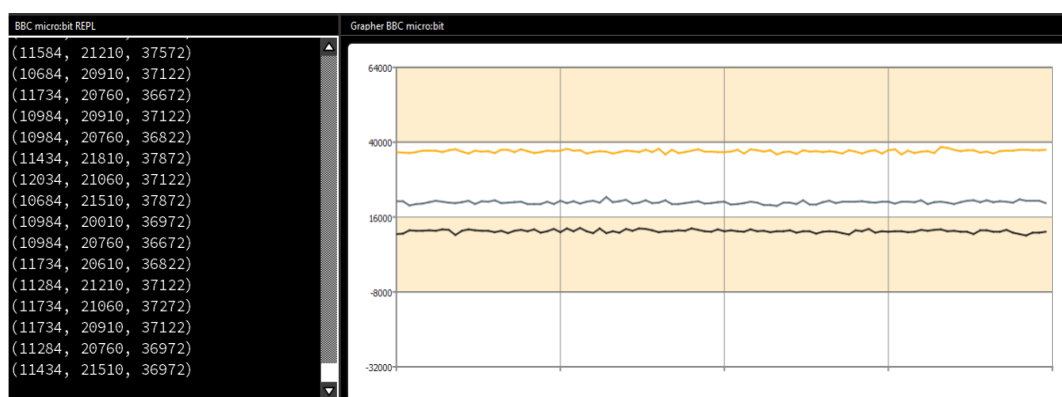


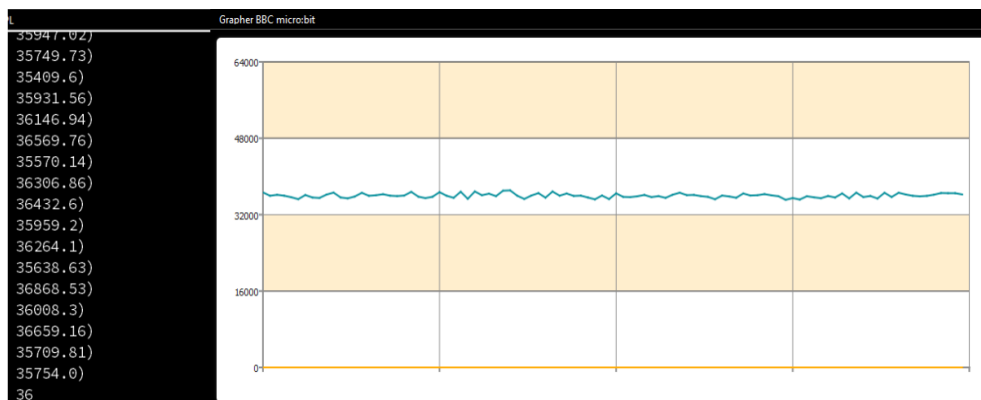
Figure V. 1 : Les valeurs du champ sur les 3 axes avec leur représentation graphique.

## Chapitre V :

Pour déterminer l'intensité du champ magnétique globale, le code utilise un calcul mathématique. En faisant le carré de chaque lecture d'axe et puis les additionnes, puis prend la racine carrée de la somme. Ce processus est représenté par l'équation :

$$\text{magnetic\_force} = (x^{**2} + y^{**2} + z^{**2})^{**0,5}.$$

En appliquant cette formule, le programme combine efficacement les contributions des composantes x, y et z du champ magnétique pour obtenir une seule valeur représentant l'intensité magnétique.



**Figure V. 2 :** les valeurs de l'intensité du champ magnétique avec la représentation graphique.

### **V.2.4. Problème de stabilité de données :**

Les valeurs de x, y, z et l'intensité du champ magnétique peuvent ne pas être stables pour plusieurs raisons :

- 1) Les champs magnétiques environnants peuvent influencer les mesures du magnétomètre, ce qui entraîne des fluctuations dans les valeurs mesurées. L'utilisation du magnétomètre à proximité d'objets magnétiques tels que des aimants ou des appareils électroniques, cela peut perturber les mesures.
- 2) Mouvement du micro:bit : Si le micro:bit est en mouvement pendant la mesure, cela peut également entraîner des variations dans les valeurs du magnétomètre. Les mouvements du micro:bit peuvent générer des champs magnétiques supplémentaires ou perturber les mesures précises.
- 3) La calibration du magnétomètre parce que ce dernier doit être bien calibré pour donner des mesures précises pour cela on utilise une fonction **compass.calibrate()** pour faire cette calibration.

## Chapitre V :

---

- 4) Sensibilité du magnétomètre : La sensibilité du magnétomètre peut varier d'un magnétomètre à un autre. Certaines variations dans les valeurs mesurées peuvent être différent à cause de différences de sensibilité entre les différents magnétomètres.

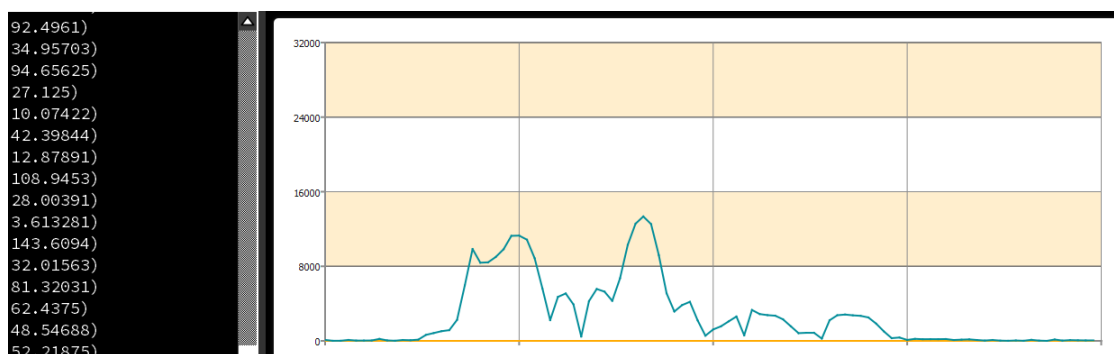
### **V.2.5. Des solutions proposées :**

Après avoir effectué la calibration et calculé l'intensité magnétiques pour chaque axe (x, y, z), nous avons remarqué que les valeurs n'étaient pas stables. Cela nous a poussé à rechercher une méthode pour rendre les valeurs stables.

#### ➤ **Première Méthode de traitement des données :**

Au début du programme, nous effectuons une calibration du magnétomètre. Ensuite, nous initialisons une liste pour stocker les premiers échantillons du champ magnétique. Cette liste sera utilisée pour calculer la moyenne des 10 derniers échantillons. À chaque itération du programme, nous mesurons le champ magnétique et ajoutons cette nouvelle valeur à la liste précédente. Si le nombre d'échantillons dépasse 10, nous supprimons le plus ancien échantillon pour maintenir une taille constante de 10 échantillons. Ensuite, nous calculons la moyenne du champ magnétique pour chaque itération en utilisant les échantillons de la liste. En soustrait la moyenne actuelle de la moyenne précédente, nous pouvons observer la différence. Si un autre appareil ou objet magnétique est détecté, la différence entre les moyennes augmentera en fonction de l'intensité du champ magnétique. Ce processus est répété à chaque itération du programme pour surveiller en permanence les variations du champ magnétique.

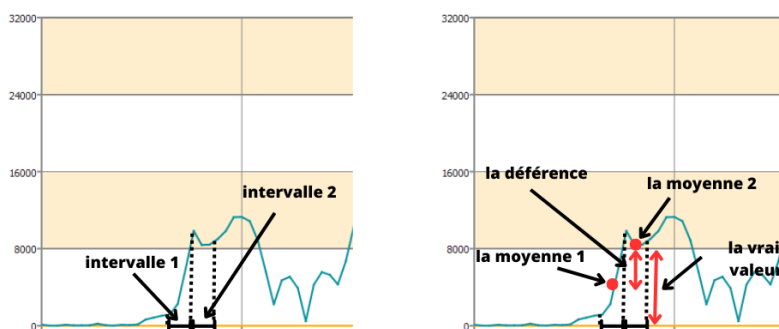
Dans la figure suivante, on va afficher les données calculées :



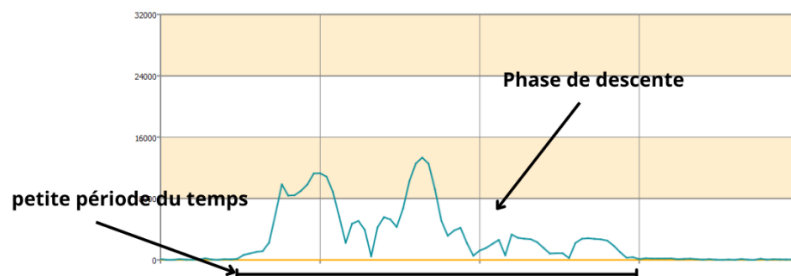
**Figure V. 3 :** la différence de la moyenne d'intensité du champ magnétique après l'application de méthode de moyenne avec la représentation graphique.

# Chapitre V :

Le problème avec cette méthode est on ne peut pas mesurer bien la valeur d'intensité du champ parce-que les itérations sont rapides(un pas de 0,1 seconde) c.-à-d. la liste peut avoir par exemple un intervalle de 10 échantillons du signal du champ d'appareil qu'on veut détecter et la moyenne des 10 nouveaux échantillons du signal est proche de la moyenne des 10 premiers échantillons donc il est impossible de considérer la différence des deux moyennes comme la valeur d'intensité parce que la vrai intensité est de la comparer avec une référence stable(la valeur du champ avant l'existence de n'importe quel appareil) ,donc la différence ne peut pas toujours donner la vrai valeur d'intensité d'appareil qui peut causer des problèmes à l'identification si l'appareil est un drone ou pas et Nous illustrant ce problème par Figure V. 4. Et on a remarqué même si l'appareil est présent le signal va rapidement retourner à des valeurs de référence c.-à-d., il détecte un changement rapide dans les mesures donc il ajoute l'intensité de champ magnétique de l'appareil a ces calculs donc il sera incapable de la détecter, à cause de ça on ne peut pas utiliser cette méthode de traitement de données à notre entraînement dans l'apprentissage de la machine et Nous expliquons ce problème dans Figure V. 5.



**Figure V. 4 :** premier problème de la première méthode de traitement de données.



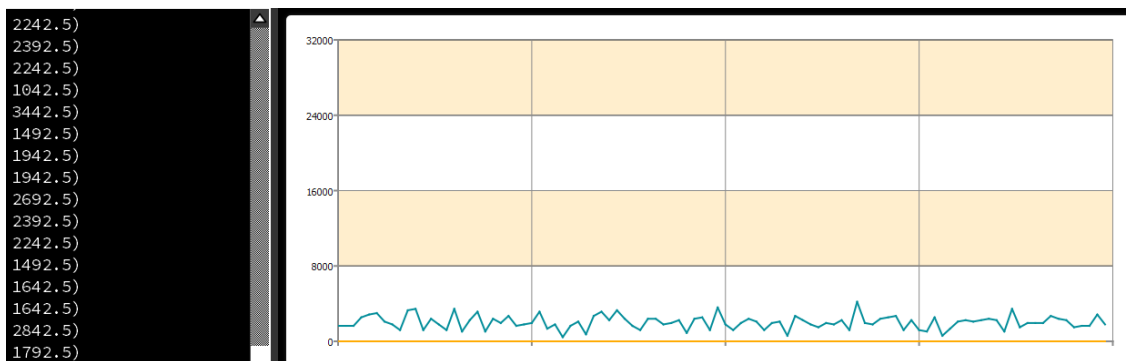
**Figure V. 5 :** Le deuxième problème de la première méthode de traitement de données.

## Chapitre V :

### ➤ Deuxième Méthode de traitement des données :

Après des recherches approfondies et de nombreux essais, nous avons créé un programme basé sur le principe de référence. Le principe de référence consiste à utiliser une valeur de référence pour les mesures du capteur, en particulier l'intensité du champ magnétique environnant. Cette valeur de référence est utilisée comme constante pour comparer les valeurs mesurées ultérieurement. Au début du programme, nous mesurons le champ magnétique pendant 10 secondes avec un pas de 0.1 seconde donc on reçoit jusqu'à 100 lectures, et on a essayé le même travail pour 1000 itération c.-à-d. on reçoit une lecture chaque 0.01 seconds. On prend la moyenne de ces 100 valeurs après on a pris la valeur moyenne pour 1000 valeurs. On remarque que pour 1000 itération la référence et les calculs sont plus précise et stable. Après avoir créé la valeur de référence, une boucle de répétition est utilisée pour mesurer en continu l'intensité du champ magnétique et faire la soustraction entre la nouvelle valeur et la référence, donc cette différence est le champ magnétique propre de l'appareil qu'on veut détecter seront comparer.

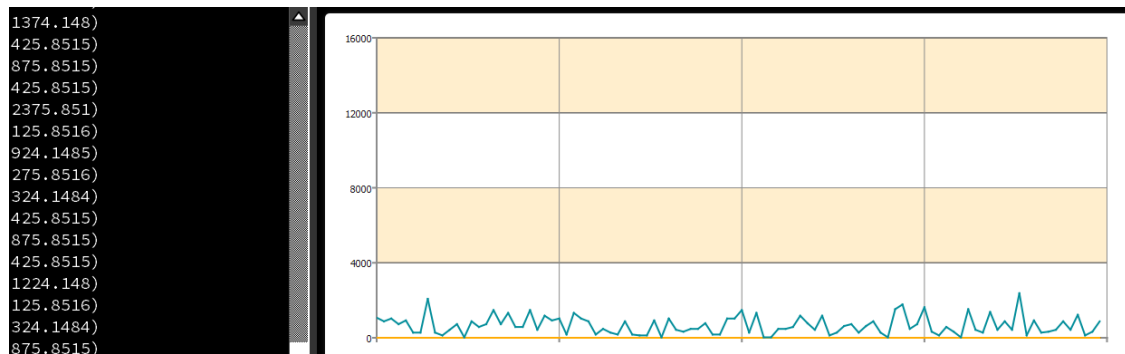
Dans ces figures on peut voir comment la différence entre les valeurs actuelles par rapport à la référence qu'on a prise.



**Figure V. 6 :** les valeurs d'intensité du champ magnétique après l'application de méthode de référence avec 100 itérations avec la représentation graphique.



# Chapitre V :



**Figure V. 7 :** les valeurs d'intensité du champ magnétique après l'application de méthode de référence avec 1000 itérations avec la représentation graphique.

### **V.3. La collection des données :**

Nous avons collecté des données de plusieurs appareils pour différencier les drones en fonction de leurs champs magnétiques. Les données collectées sont des courbes de variations du champ magnétique de certains appareils, tel que : drone, téléphone, chargeur de PC.... Nous rapprochons l'appareil de la carte capteur de champ magnétique relié au PC. Grâce un programme développé sous PYTHON, nous obtenons les courbes de variations du champ magnétique en plus d'un fichier Excel.

La collecte de données à partir de plusieurs appareils nous donne une vue plus complète des champs magnétiques produits dans l'environnement de l'endroit (salle, bureau, cellule...) où se trouve le drone a détecté. En collectant des données à partir de plusieurs appareils et en triant les données, les signaux magnétiques émis par les drones peuvent être distingués des autres sources de champs magnétiques. Cette approche nous permet de développer des modèles de détection efficaces qui détectent et identifient les drones en fonction des champs magnétiques.

Tant que ce capteur sert à détecter des drones dans des zones fermées par exemple dans un bureau ou dans une salle de conférences pour cela on a mesuré quelques appareils qu'on peut trouver dans la plupart des espaces de travail. Comme cela par exemple :

#### **• Ordinateur :**

Les champs magnétiques émis par les ordinateurs sont un facteur important à prendre en compte lors de la détection du champ magnétique émis par un drone dans des environnements clos. Lors de la mesure du champ magnétique sur l'ordinateur, nous observons de grandes valeurs du champ magnétique.

# Chapitre V :

---

## • Un chargeur d'un ordinateur :

La détection et la caractérisation du champ magnétique émis par un chargeur d'ordinateur nous permettent de l'inclure dans notre référence de signaux magnétiques des appareils courants utilisé dans les espaces de travail.

## • Téléphone :

Lorsque nous mesurons le champ magnétique d'un téléphone, nous pouvons observer une signature magnétique propre à cet appareil. Cette signature est influencée par plusieurs facteurs, tels que la configuration interne du téléphone, les composants électroniques et les caractéristiques de son alimentation électrique. On a pris un téléphone de comme un exemple.

## • Climatiseur :

De nos jours, on ne peut pas trouver un espace de travail sans climatiseur donc il est un facteur important à prendre en compte dans notre travail.

### **V.3.1. La méthode de collection des données :**

Après avoir téléchargé les bibliothèques nécessaires, à savoir **pandas**, **matplotlib** et **serial**, ensuite, nous avons établi la connexion avec le port série COM3 à l'aide de la fonction **ser = serial.Serial('COM3', 115200)**. nous avons communiqué le code du programme de référence sur le micro:bit. Ensuite, nous avons créé une liste vide appelée data pour stocker les données. Ensuite, nous avons créé une boucle de lecture pour lire les données à partir du port série et les stocker dans la liste data. Nous avons utilisé la fonction **ser.readline().strip().decode('utf-8')** pour lire les données au format **UTF-8** et les convertir en nombres décimaux (**float**). En cas d'erreur de conversion, nous avons ignoré la valeur et continué la boucle. Ensuite, nous avons créé un **DataFrame** à partir de la liste data **df = pd.DataFrame(data, columns=['name of columns'])** Ensuite, nous avons utilisé la fonction **df.to\_excel('le nom de fichier.xlsx', index=False)** pour convertir le **DataFrame** en fichier Excel. Enfin, nous avons utilisé la bibliothèque **matplotlib** pour tracer les données du fichier Excel en utilisant la fonction **plt.plot(df)**.

# Chapitre V :

---

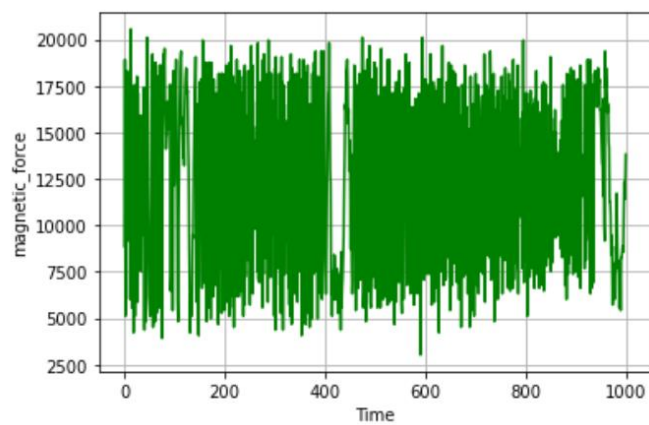
## V.3.2. Les données collectées :

### • Moteur d'un Drone :

On a fait la collection du champ magnétique de deux types de moteurs de drone, Le hexacopters est équipé d'un moteur de 2200KV et le quadcopter drone est équipé d'un moteur de 1400KV.



**Figure V. 8 :** Drone hexacopters avec le moteur 2200KV



**Figure V. 9 :** Data collectée par le drone hexacopters.

## Chapitre V :

---



Figure V. 10 : Drone quadcopter avec le moteur 1400KV.

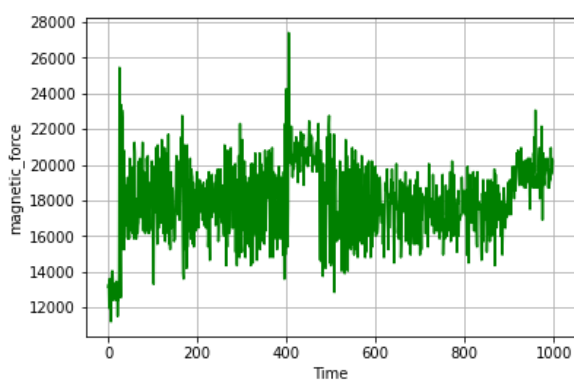


Figure V. 11 : Data collectée par le drone quadcopter.

### • Le champ magnétique crée par un chargeur ordinateur :

Concernant le champ magnétique du chargeur d'ordinateur, on a mesuré le champ du chargeur dans des différentes positions pour voir s'il y a une différence mais le champ était presque le même et on peut voir les données dans la Figure V. 12 :

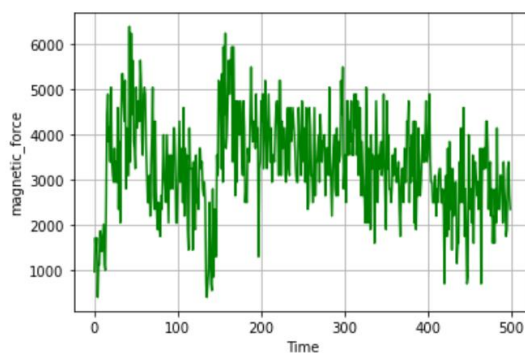


Figure V. 12 : Data collectée par un chargeur ordinateur.

# Chapitre V :

---

## • Champ magnétique d'un téléphone :

On a fait aussi plusieurs tests pour mesurer le champ magnétique émis par un téléphone et on a constaté que le baffle est la source principale du champ et on peut voir ça dans la Figure V. 13.

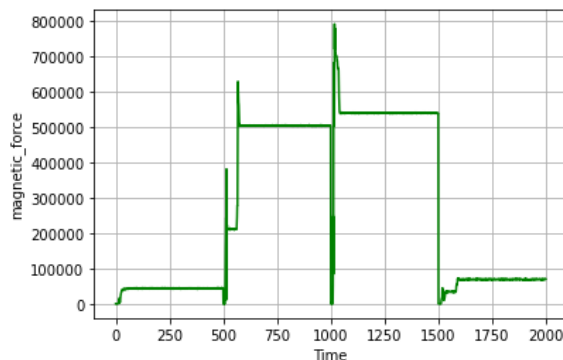


Figure V. 13 : Data collectée par un téléphone.

## • Champ magnétique d'un ordinateur :

On a essayé de mesurer le champ d'un pc et on a trouvé que la batterie est la grande source qui crée le champ et comparé avec d'autres champs, ce champ est le plus élevé comme on peut voir dans la Figure V. 14

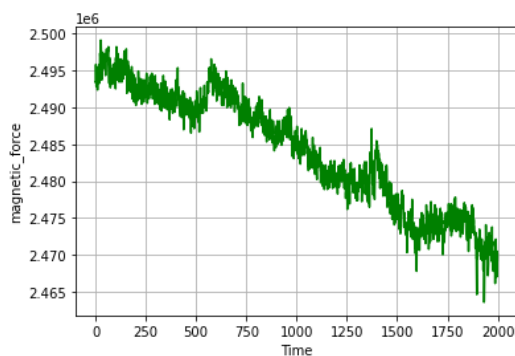


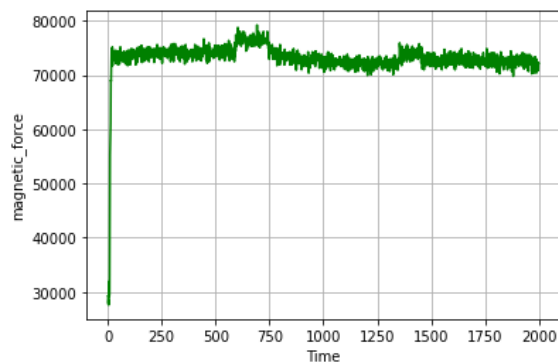
Figure V. 14 : Data collectée par un ordinateur.

## • Champ magnétique d'un climatiseur :

Pour un climatiseur, on a constaté que les valeurs sont vraiment stables par rapport à d'autres champs, on peut voir ça dans la Figure V. 15.

# Chapitre V :

---



**Figure V. 15 :** Data collectée par un climatiseur.

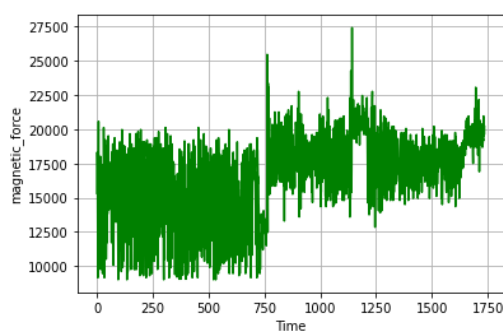
## **V.4. Entraînement :**

L'entraînement (Training) est le processus d'apprentissage d'un modèle de Machine Learning à l'aide des données disponibles dans le but de lui permettre de reconnaître les schémas et les règles présents dans ces données et de les utiliser pour prendre des décisions ou analyser de nouvelles données.

### **V.4.1. Préparation des données :**

Dans cette étape, nous allons examiner les données afin de les comprendre davantage et de faciliter leur utilisation ultérieure dans l'apprentissage automatique. Nous avons nettoyé les données et supprimé toutes les valeurs aberrantes et incorrectes. Nous avons également tracé les courbes de l'évolution du champ magnétique au fil du temps. Voici les résultats obtenus :

- **Drone :**

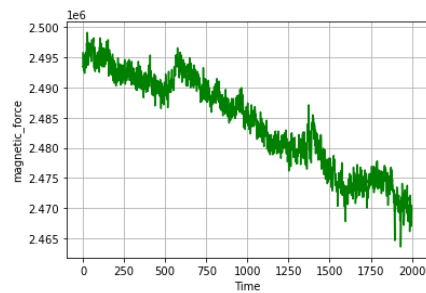


**Figure V. 16 :** Data collectée par les deux drones combinés dans un seul Excel après la suppression des données .

# Chapitre V :

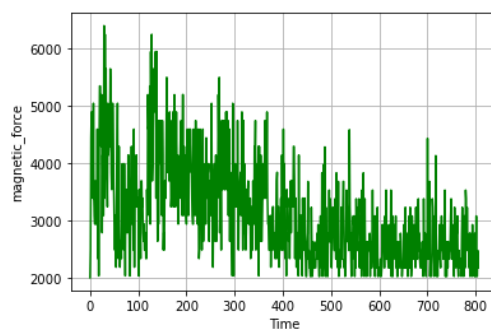
---

- **Ordinateur :**



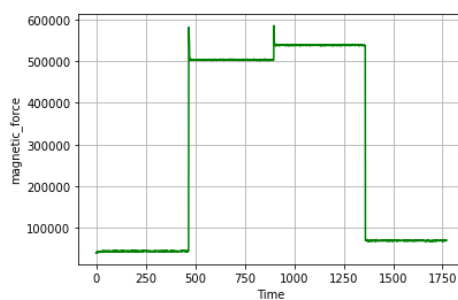
**Figure V. 17 :** Data collectée par un ordinateur après la suppression des données .

- **Chargeur d'ordinateur :**



**Figure V. 18 :** Data collectée par un chargeur de PC après la suppression des données.

- **Téléphone :**

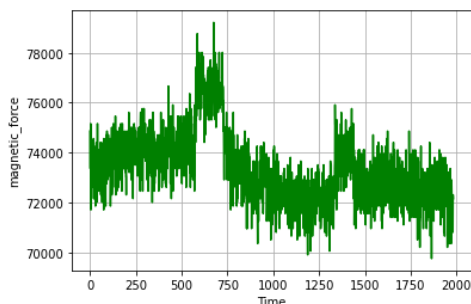


**Figure V. 19 :** Data collectée par un chargeur de PC après la suppression des données.

# Chapitre V :

---

- Climatiseur :



**Figure V. 20 :** Data collectée par un chargeur de PC après la suppression des données.

## **V.4.2. Regrouper des données dans un seul fichier :**

Nous allons collecter les données du champ magnétique pour un ensemble d'objets que l'on peut trouver dans un bureau ou salle de conférence, tels que des données de téléphone portable, d'ordinateur, de drone, etc. Ensuite, nous allons les regrouper dans un fichier Excel, en organisant les données de champ magnétique de chaque objet dans une colonne spécifique. Nous allons associer un numéro à chaque type d'objet, par exemple, le numéro 1 représentera les données de champ magnétique du drone, le numéro 2 représentera les données de champ magnétique de l'ordinateur, et ainsi de suite. Nous allons rassembler toutes ces données dans un seul fichier afin de les utiliser pour l'apprentissage automatique.

Numéro	Appareil associée
1	Drone
2	Téléphone
3	Chargeur d'ordinateur
4	Ordinateur
5	Climatiseur

**Tableau V. 1 :** Numérisation des Data collectée dans le fichier Excel



## Chapitre V :

---

8206	2468510.0	4
8207	2469560.0	4
8208	2471510.0	4
8209	2472110.0	4
8210	2470310.0	4
8211	2468810.0	4
8212	2468060.0	4
8213	2467010.0	4
8214	2468510.0	4
8215	2470460.0	4
8216	2469110.0	4
8217	2470010.0	4
8218	74865.15	5
8219	74115.15	5
8220	73365.14	5
8221	74115.15	5
8222	75165.15	5
8223	71715.15	5
8224	73965.15	5
8225	74565.15	5
8226	74415.14	5
8227	73815.15	5

Figure V. 21 : Capture de notre fichier EXCEL.

### V.4.3. La division des données :

Nous chargeons les données à partir d'un fichier Excel en utilisant la fonction suivante : **data = pd.read\_excel()**. Ensuite, à l'aide de la bibliothèque **sklearn.model\_selection**, nous utilisons la fonction **train\_test\_split()** pour diviser les données en ensembles d'entraînement et de test. Les caractéristiques sont placées dans la variable x et les étiquettes dans la variable y. En choisissant **train\_size=0.7**, nous définissons le ratio de division des données, où 70 % des données sont utilisées pour l'entraînement et 30 % pour les tests. Cela nous permettra d'évaluer les performances du modèle.

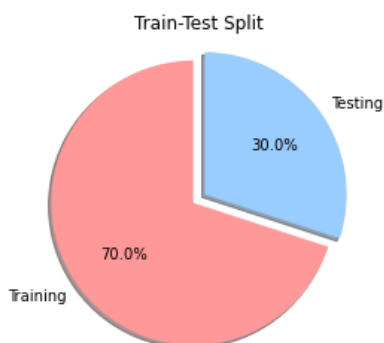


Figure V. 22 : Cercle relatif qui représente la division des données utilisée pour l'entraînement du modèle de l'apprentissage automatique.

# Chapitre V :

Name	Type	Size	Value
data	DataFrame	(10199, 2)	Column names: magnetic_force, drone_presence
m	ensemble._forest.RandomForestClassifier	22	RandomForestClassifier object of sklearn.ensemble._forest module
x	DataFrame	(10199, 1)	Column names: magnetic_force
x_test	DataFrame	(3060, 1)	Column names: magnetic_force
x_train	DataFrame	(7139, 1)	Column names: magnetic_force
y	Series	(10199,)	Series object of pandas.core.series module
y_test	Series	(3060,)	Series object of pandas.core.series module
y_train	Series	(7139,)	Series object of pandas.core.series module

**Tableau V. 2 :** un tableau qui représente la division des données.

Le processus de division des données est important pour évaluer les performances du modèle sur des données non vues auparavant et garantir qu'il peut faire des prédictions précises sur de nouvelles données. En séparant les données en ensembles d'entraînement et de test, nous pouvons mesurer l'aptitude du modèle à généraliser à partir des exemples d'entraînement et à s'adapter à des données inconnues.

#### **V.4.4. Création et entraînement du modèle :**

Nous créons et entraînons un modèle Random Forest à l'aide des étapes suivantes :

Nous initialisons le modèle en utilisant les paramètres suivants :

**m = RandomForestClassifier(n\_estimators= 22, max\_depth=10)**

- **n\_estimators** : détermine le nombre d'arbres qui seront créés dans la forêt. Dans ce modèle, il est fixé à 22.
- **max\_depth** : définit la profondeur maximale des arbres de la forêt. Dans ce modèle, elle est fixée à 10.

Nous avons testé plusieurs valeurs pour **n\_estimators** et **max\_depth** et à chaque fois on varie dans les valeurs de ces deux paramètres les valeurs de précision et accuracy varie donc pour ces valeurs de **n\_estimators= 22** et **max\_depth=10** on a pris les meilleurs résultats possibles.

Ensuite, nous entraînons le modèle en utilisant les données d'entraînement grâce à la ligne de code suivante :

**m.fit(x\_train,y\_train)**

Nous passons les caractéristiques d'entraînement (**x\_train**) et les étiquettes d'entraînement (**y\_train**) à la méthode **fit()** pour entraîner le modèle sur les données d'entraînement. Une fois

# Chapitre V :

---

cette étape terminée, le modèle est prêt à être utilisé pour prédire de nouvelles valeurs et classer les données.

## **V.5. Validation :**

Dans cette étape, nous aborderons le processus de validation, qui vise à s'assurer que le système fonctionne comme prévu selon les exigences spécifiées. Plus précisément, nous nous concentrerons sur la validation de l'exactitude et des performances du modèle que nous avons développé pour classer les données de champ magnétique et sa capacité à fournir des résultats précis lors du traitement de nouvelles données sur lesquelles il n'a pas été formé auparavant.

Après avoir terminé l'entraînement du modèle, nous l'avons utilisé pour prédire les valeurs attendues (**y\_pred**) en utilisant l'ensemble de test (**x\_test**), celui-ci a été passé en tant qu'entrée au modèle en utilisant la fonction **m.predict()**. Cette fonction est utilisée pour générer les valeurs attendues qui représentent les classifications des données dans l'ensemble de test. Cette étape est liée au processus de validation où l'ensemble de test et la génération des valeurs attendues, nous pouvons évaluer les performances du modèle et tester sa capacité à prédire avec précision les résultats sur de nouvelles données. En comparant les valeurs attendues (**y\_pred**) aux valeurs réelles de l'ensemble de test (**y\_test**), nous pouvons déterminer la précision et l'efficacité du modèle dans la classification des données.

### **V.5.1. Analyse du rendement :**

#### **➤ Courbe d'apprentissage (Learning curve) :**

Une courbe d'apprentissage est un graphique des performances d'apprentissage d'un modèle au fil de l'expérience ou du temps.

Une courbe d'apprentissage est un outil de diagnostic d'apprentissage automatique largement utilisé pour les algorithmes qui apprennent de manière incrémentielle à partir d'un ensemble de données d'apprentissage. L'examen de la courbe d'apprentissage du modèle pendant la formation peut être utilisé pour diagnostiquer les problèmes d'apprentissage par exemple le surajustement et de sous-ajustement. En général, une courbe d'apprentissage est un graphique qui montre le temps ou l'expérience sur l'axe des x et l'apprentissage ou l'amélioration sur l'axe des y.

Un bon ajustement est l'objectif d'un algorithme d'apprentissage et consiste en des modèles de surajustement et de sous-ajustement. Un bon ajustement est identifié où l'écart entre les deux valeurs de perte finale est minimale et diminue jusqu'à un point stable. [36]

# Chapitre V :

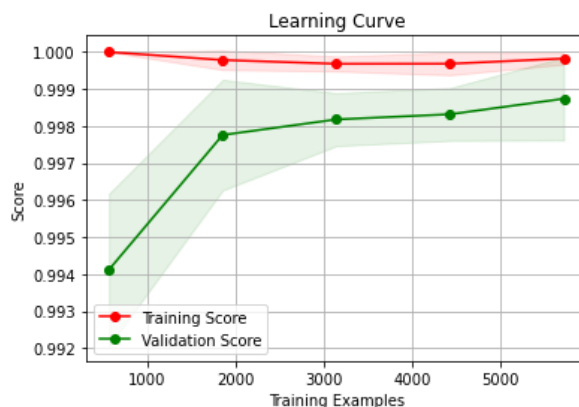


Figure V. 23 : La Courbe d'apprentissage.

## ➤ Les performances du modèle :

Les performances sont un ensemble de mesures et de valeurs utilisées pour évaluer les performances des modèles d'apprentissage automatique et pour les comprendre on doit comprendre les 4 résultats possibles d'un modèle comme on peut voir dans le Tableau V. 3. On a utilisé la bibliothèque `sklearn.metrics` de Python pour calculer les métriques suivantes :

		Actual	
		Positive	Negative
Predicted	Positive	<b>True Positive</b>	<b>False Positive</b>
	Negative	<b>False Negative</b>	<b>True Negative</b>

Tableau V. 3 : La représentation de 4 résultats possibles d'un modèle.

• **L'accuracy (accuracy)** est le pourcentage de classifications correctes obtenues par un modèle d'apprentissage automatique formé c'est-à-dire Le nombre de prédictions correctes divisé par le nombre total de prédictions pour toutes les classes. Nous avons utilisé la fonction `accuracy_score()`

Représenté par la formule :

$$Accuracy = \frac{TN+TP}{TN+FP+TP+FN} [1]$$

## Chapitre V :

---

• **Précision (Precision)** : La précision fait référence au nombre de vrais positifs divisé par le nombre total de prédictions positives (c'est-à-dire le nombre de vrais positifs plus le nombre de faux positifs). Nous avons utilisé la fonction `precision_score()`

Représenté par la formule :

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} [2]$$

• **Rappel (Recall)** : Rappelons que le taux positif réel (TPR) est le pourcentage d'échantillons de données qu'un modèle d'apprentissage automatique identifie correctement comme appartenant à une classe d'intérêt — la « classe positive » — sur l'ensemble des échantillons de cette classe. Nous avons utilisé la fonction `recall_score()`

Représenté par la formule :

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} [3]$$

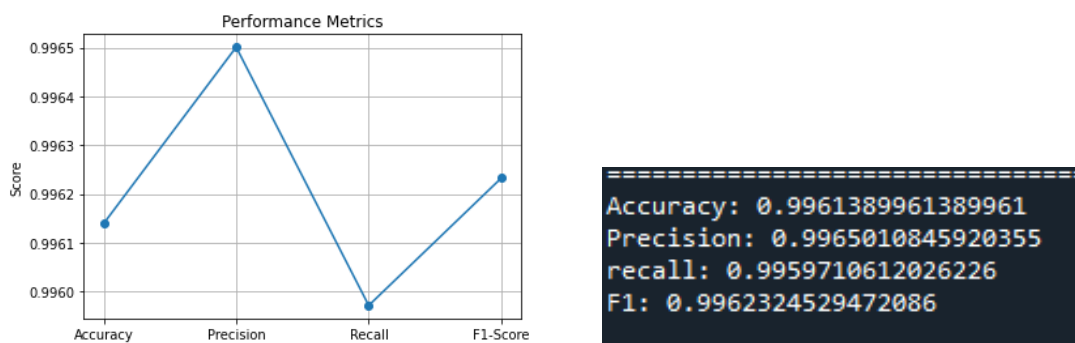
• **Score F1 (F1 Score)** : Le F-score est une façon de combiner la précision et le rappel du modèle, et il est défini comme la moyenne harmonique de la précision et du rappel du modèle. Nous avons utilisé la fonction `f1_score ()`

Représenté par la formule :

$$F1\ Score = 2 * \frac{Precision*Recall}{Precision+Recall} [4]$$

Après avoir calculé ces quatre indicateurs, nous les avons affichés sur l'écran série figure, et les avons représentés dans une courbe graphique figure

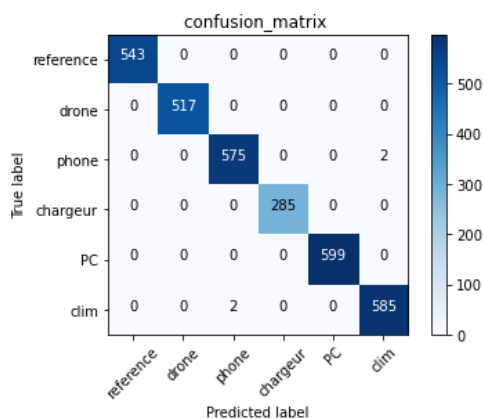
## Chapitre V :



**Figure V. 24 :** Un graphe représente les 4 métriques de performance du model de l'apprentissage automatique.

### ➤ Confusion Matrix :

La matrice de confusion est un outil d'évaluation utilisé pour analyser les performances du modèle et mesurer sa capacité à classifier correctement les échantillons. Nous avons créé un code qui trace cette matrice en utilisant la fonction `confusion_matrix` de la bibliothèque `sklearn.metrics`. Le résultat est visible dans la figure suivante :



**Figure V. 25 :** matrice de confusion du notre modèle de l'apprentissage automatique.

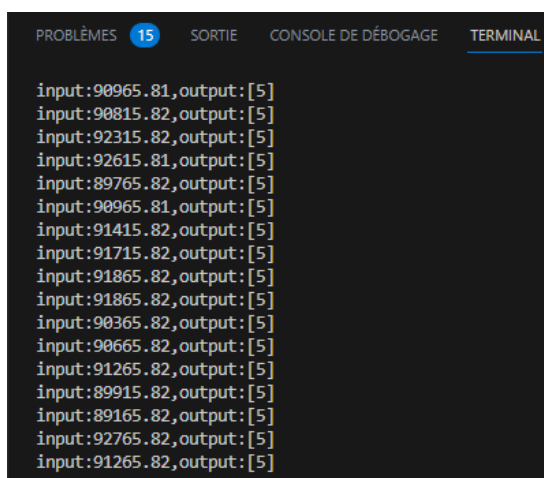
En analysant la matrice de confusion et en se basant sur son contenu, nous pouvons extraire les métriques de performance que nous avons expliquées précédemment et déterminer si le modèle a une bonne performance ou non.

### V.5.2. Test des résultats :

Et pour voir les résultats, notre programme affiche les valeurs calculées (input) dans le terminal et si la valeur est dans intervalle bien précis, le programme affiche le numéro d'appareil qui a détecté (Output) à côté de la valeur calculée, par exemple s'il détecte un

# Chapitre V :

ordinateur il affiche le numéro 4 qu'on peut voir dans Figure V. 26 et le même principe pour tous les appareils.



```
PROBLÈMES 15 SORTIE CONSOLE DE DÉBOGAGE TERMINAL
input:90965.81,output:[5]
input:90815.82,output:[5]
input:92315.82,output:[5]
input:92615.81,output:[5]
input:89765.82,output:[5]
input:90965.81,output:[5]
input:91415.82,output:[5]
input:91715.82,output:[5]
input:91865.82,output:[5]
input:91865.82,output:[5]
input:90365.82,output:[5]
input:90665.82,output:[5]
input:91265.82,output:[5]
input:89915.82,output:[5]
input:89165.82,output:[5]
input:92765.82,output:[5]
input:91265.82,output:[5]
```

**Figure V. 26 :** Terminal de notre éditeur qui affiche les calculs avec l'appareil détecté.

Mais une note importante, pour des calculs bien précis et fiable il ne faut pas qu'on déplace le capteur après qu'il prend sa référence parce qu'un petit changement dans sa position peut causer de faux calculs qui peut conduire à une fausse identification.

Dans la Figure V. 27 on peut voir les résultats des tests et que notre système est fiable à faire la détection et l'identification :



**Figure V. 27 :** La détection d'un téléphone portable.

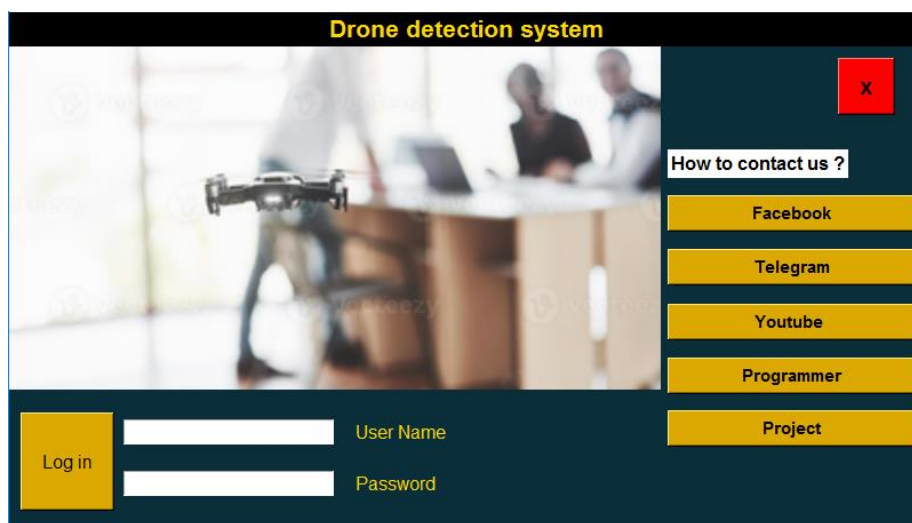
### **V.5.3. L'interface du projet :**

Après avoir terminé le projet, nous avons décidé de créer une interface utilisateur interactive qui permettra à l'utilisateur d'interagir avec notre projet de manière facile et sécurisée. Voici la description de notre interface :

## Chapitre V :

---

Au départ, une interface intuitive et claire a été conçue, utilisant des boutons et des menus bien organisés pour faciliter la navigation. De plus, l'utilisateur peut obtenir des informations supplémentaires sur le projet, telles que des boutons d'accès aux réseaux sociaux pour nous contacter et obtenir plus d'informations sur le projet. Une attention particulière a été portée à la sécurité lors de la conception de l'interface, où l'utilisateur doit saisir son nom et son mot de passe pour accéder aux fonctionnalités du système. Cela protège les données sensibles et garantit que seul l'utilisateur autorisé peut accéder au projet, comme on peut illustrer dans Figure V. 28



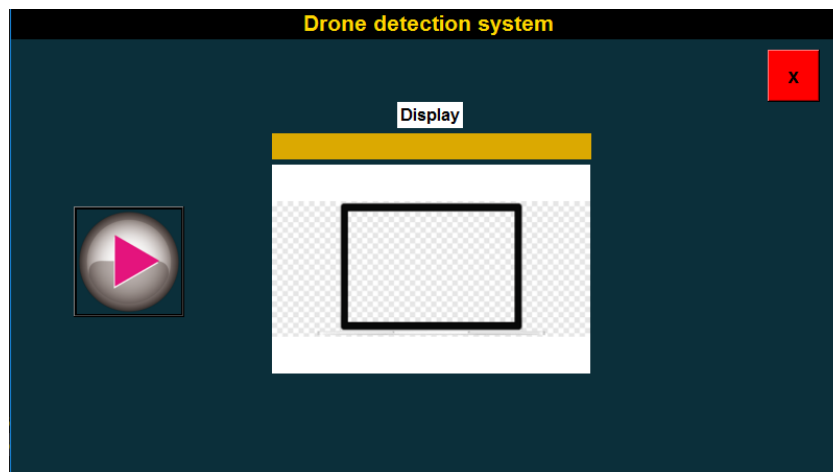
**Figure V. 28 :** La page d'accueil d'interface.

Après avoir saisi le nom d'utilisateur et le mot de passe, l'utilisateur peut accéder aux fonctionnalités de notre système. Il y a un bouton pour lancer le programme et effectuer des prédictions, ainsi qu'un bouton pour fermer le programme. De plus, il existe un écran pour afficher les résultats. Comme Figure V. 29 illustre :



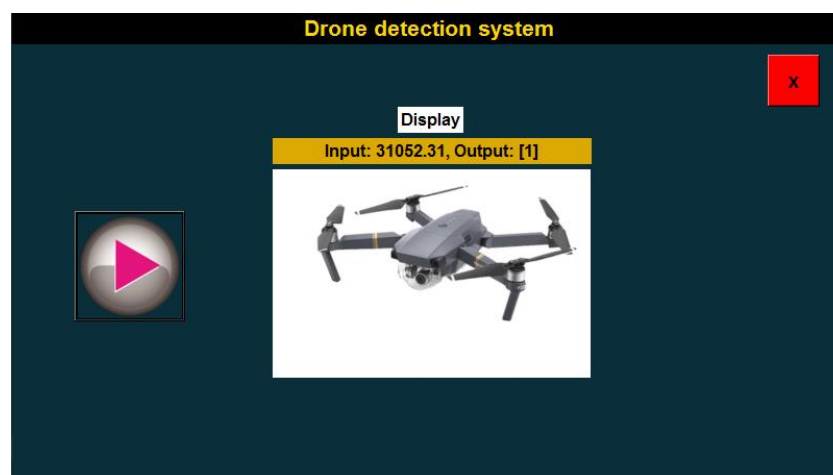
# Chapitre V :

---



**Figure V. 29 :** La page principal d'interface

Après avoir cliqué sur le bouton "PLAY", le programme affiche les résultats et les prédictions dans l'élément "Label", ainsi que des images représentant les différentes prédictions. Figure V. 30



**Figure V. 30 :** La page principal après la détection d'un Drone.

L'interface a été conçue avec un aspect attrayant et professionnel. Des couleurs appropriées et une mise en page soignée ont été utilisées pour rendre l'interface visuellement attrayante et captivante pour l'utilisateur.

# Chapitre V :

---

## V.6. Amélioration de robustesse :

### ➤ Grande quantité de données :

L'une des limitations rencontrées dans le projet est la collecte et le traitement de grandes quantités de données provenant de plusieurs appareils. Pour ce faire, un capteur approprié, tel qu'un magnétomètre, doit être placé à proximité de l'appareil d'intérêt et enregistrer les lectures du champ magnétique sur une période de temps.

En raison du grand nombre d'appareils et de leurs modèles de champs magnétiques variables, la collection de données présente des défis importants et nécessite une planification et une coordination minutieuses pour s'assurer que tous les appareils pertinents sont inclus dans l'ensemble de données. De plus, le processus de collecte de données peut nécessiter plusieurs répétitions pour tenir compte des différentes conditions de fonctionnement, orientations de l'appareil et scénarios d'utilisation.

De plus, une fois les données collectées, elles doivent être traitées et préparées pour l'entraînement de l'apprentissage automatique. Cela comprend le nettoyage des données, l'extraction des caractéristiques pertinentes et éventuellement la gestion des déséquilibres et des divergences dans les données. L'étape de traitement des données peut prendre du temps, en particulier lorsqu'il s'agit d'un grand nombre d'appareils et de modèles de champs magnétiques variables.

Une autre considération est la nécessité d'étiqueter les données collectées. Pour les algorithmes d'apprentissage supervisé, les données de chaque appareil doivent être étiquetées avec le type d'appareil approprié (ordinateur, drone, téléphone, etc.). L'étiquetage manuel de grands ensembles de données peut être sujet aux erreurs.

### ➤ Problème de la portée :

Une autre limitation de notre approche est bien la distance entre le capteur et le drone à détecté. La limite de distance désigne la distance maximale à laquelle un magnétomètre peut détecter et mesurer avec précision les champs magnétiques. Chaque magnétomètre a des limites de distance variables donc pour il faut bien choisir le capteur pour capturer efficacement les données de champ magnétique à la distance souhaitée pour notre application. Notre magnétomètre est pour des raisons académique mais pour réaliser ce projet In situ on propose le magnétomètre MM200.on a fait une comparaison entre le MM200 et notre capteur et voici la comparaison :

# Chapitre V :

---

## • Sensibilité :

Le MAG3110 a une sensibilité de  $0,10 \mu\text{T/LSB}$ , tandis que le MM200 offre une sensibilité plus élevée de  $0,02 \mu\text{T/LSB}$ . Le MM200 fournit des mesures plus précises de l'intensité du champ magnétique par rapport au MAG3110.

## • Plage de mesure :

Le MAG3110 a une plage de mesure de  $1000 \mu\text{T}$ , tandis que le MM200 offre une plage plus large de  $1200 \mu\text{T}$ . Le MM200 permet une plus large gamme de détection de champ magnétique.

## • Résolution :

Les deux magnétomètres offrent une résolution de  $0,1 \mu\text{T}$ , ce qui signifie qu'ils peuvent détecter de petits changements dans l'intensité du champ magnétique avec une précision similaire.

## • Débit de données de sortie (RLL) :

Le MAG3110 supporte un ODR maximum de  $80 \text{ Hz}$ , tandis que le MM200 offre un ODR maximum plus élevé de  $400 \text{ Hz}$ . Le MM200 peut fournir des mises à jour plus fréquentes des données de champ magnétique.

## • Interface :

Le MAG3110 utilise l'interface I2C, tandis que le MM200 offre plusieurs options d'interface, y compris I2C aussi.

## ➤ L'impact des Vibration sur les mesures :

Le projet qui repose sur la mesure de l'intensité magnétique à l'aide d'un capteur magnétique est confronté à un défi majeur lié au problème des mouvements et des vibrations qui peuvent avoir un impact significatif sur la précision des mesures. Lorsque le capteur est soumis à des mouvements ou à des vibrations indésirables, l'environnement environnant change, ce qui entraîne des perturbations dans les valeurs mesurées et rend difficile la détection de petites différences dans l'intensité du champ magnétique.

Pour résoudre ce problème, Il est essentiel de fixer solidement le capteur pendant la mesure. Des supports de fixation appropriés ou des pinces peuvent être utilisés pour maintenir le dispositif en place et éviter les mouvements et les vibrations indésirables.

# Chapitre V :

---

## ➤ La perturbation des calculs causés par les appareils no drones :

Dans le contexte du référence qu'on a utilisé pour la collection des données , on peut avoir un problème de perturbation des mesures si il détecte une appareil mais cette dernière peut pas causer un danger c.-à-d. ce n'est pas un drone donc si cette appareil est détecté va continuer à générer du champ donc on peut pas détecter un drone après la détection du cette appareil donc pour résoudre ce problème , on va créer une boucle qui va recalculer la référence à chaque fois il détecte une appareil qui ne cause pas du danger pour que le champ généré par cette dernière est inclut dans notre nouvelle référence qui nous permet du détecter un drone malgré la présence d'autre nouveaux appareils dans notre milieu.

## **V.7. Conclusion :**

Dans ce chapitre 5 ,on a présenté étape par étape le méthode de réaliser le projet et les résultats obtenus , on a détaillé la méthode d'obtenir les mesures de capteur et comment on a traité les données pour minimiser les problèmes de discontinuité pour pouvoir collecter des grandes quantité de données pour l'utiliser à notre algorithme d'apprentissage automatique qui va faire la détection et l'identification des différents appareils qu'on peut détecter dans notre zone .après avoir fait ces étapes on a essayé notre programme qui a donné des bons résultats avec grandes précision de 99% qu'on peut voir avec les indicateurs et pour confirmer que notre système est fiable et on a fait des tests réels qui a bien détecter le téléphone et un drone et faire l'identification sans erreur , a fin de cette partie on a créé une interface qui facilite l'accès au utilisateurs et augmente la protection du système.

# Conclusion Générale

# Conclusion générale :

---

## Conclusion générale :

Ce travail qui conclut cette recherche nous a fait prendre conscience de l'énorme danger que peuvent représenter les drones, quels que soient leur taille et leur type, voire leur structure. Ces dangers se sont multipliés et tournent autour de la sécurité aérienne, des civils, des lieux clés, des activités illicites dans les prisons et de l'espionnage. Cela nous a poussés dans la communauté scientifique à produire plusieurs types de détecteurs de drones : visuels, acoustiques, radar et radiofréquence. La technologie de détection et de suivi des drones est un besoin urgent, mais le problème est que la technologie utilisée est encore insuffisante, très limitée et dépendante du marché grand public (caméras, microphones, etc.). Chaque technique a des avantages et des inconvénients. La recherche dans ce domaine de la détection de drones est encore très riche.

Dans les deux premiers chapitres on a bien fait la description de chaque élément des mini drones et bien définis les composants des drones qui génèrent du champ magnétique pour bien comprendre la source de ces champs.

Et pour réaliser ce projet de la meilleure façon il faut choisir un bon capteur, pour cela on a choisi le capteur MAG3110 pour des plusieurs raisons comme la précision et sa haute sensibilité qui lui permet de détecter les plus petits changements de champs magnétiques. Après avoir les mesures on est besoin d'un algorithme d'apprentissage automatique pour prédire les nouveaux appareils et faire l'identification avec grande précision pour cela on a utilisé un modèle sous le nom de Random Forest qui a la capacité de traiter une grande quantité des données et faire la classification dans un petit intervalle du temps et avec grande précision.

Mais on a des problèmes de stabilité de mesures à cause de plusieurs raisons pour cela on était obligé de trouver une méthode de traitement ces données, après plusieurs tentatives on a créé ce système de référence.

Dans ce travail nous avons élaboré plusieurs programmes Python pour faire l'analyse des mesures de notre capteur du champ magnétique et on a réalisé un système de référence pour bien mesurer les valeurs propres de chaque appareil qu'on peut trouver dans notre zone afin de faire la référence entre chaque empreinte du champ magnétique de chaque appareil.

Ce système de référence est basé sur prendre en considération tous les appareils qui génèrent un champ magnétique qu'ils existent déjà dans notre zone pour qu'il détecte les

## Conclusion générale :

---

nouvelles perturbations, et tout dépend l'intensité du champ magnétique détecter on peut faire l'identification de cet appareil et pour faire la réalisation on a collecté une bonne quantité des mesures de différents appareils qu'on peut trouver dans une zone clos par exemple les bureaux et les cellules de la prison.

Après avoir collecté les données, on a supprimé toutes les valeurs qui peut faire une confusion, ces valeurs est créer à cause de problème de stabilité do données donc par réaliser cette étape, on peut utiliser ces mesures pour l'entraînement de notre algorithme d'apprentissage automatique.

Pour entrainer notre model, on a créé une data-base par collecter toutes les mesures dans un seul fichier EXCEL et donner chaque mesure une étiquette correspondante a l'appareil associée et donner ce fichier a notre algorithme. Ensuite on a fait des tests de performances pour voir si le model est bien entrainé et peut faire la détection et l'identification et on a eu des bons résultats sur les performances.

Alors, le système doit être performants dans la vie réelle pour confirmer que le système est fiable, on a approché des appareils qu'on a déjà utilisés au capteur et le système est bien fait la détection donc on peut dire que notre système est fiable.

Et pour faciliter l'interaction avec le système, on a créé une interface qui donne l'accès juste pour les utilisateurs et facilite l'identification d'appareil détecté par l'affichage des images de l'd'appareil détecte.

Enfin, on a fait des tests de robustesse pour améliorer la fiabilité et la précision du système, et on a trouvé quelques limitations mais en même temps on a proposé des solutions à ces problèmes.

Avec ce travail, on a ouvert une nouvelle porte pour les méthodes de détection de drones qui peut avoir un grand future surtout si on intègre ce système avec la méthode acoustique, avec l'intégration de ces deux méthodes on a possibilité de calculer la fréquence des moteurs c.-à-d. on peut faire l'identifications par mesurer l'amplitude et la fréquence, par réaliser cette intégration on peut prendre notre projet a un niveau supérieur.

# Référence Bibliographique



# Référence Bibliographique :

---

- [1] “Qu’est-ce qu’un Drone ?”, août 2022, <https://www.drone13.fr/quest-ce-quun-drone/>, (accessed Jun. 16, 2023).
- [2] “Examples of fixed wing, rotary wing and flapping wing MAVs”, *ResearchGate*, [https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-fixed-wing-rotary-wing-and-flapping-wing-MAVs\\_fig1\\_280575013](https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-fixed-wing-rotary-wing-and-flapping-wing-MAVs_fig1_280575013), (accessed Jun. 17, 2023).
- [3] “Hybrid Quadrotor UAVs: Latitude Engineering’s HQ-40 (Left)...”, *ResearchGate*, [https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-Quadrotor-UAVs-Latitude-Engineerings-HQ-40-Left-43-Googles-Project-Wing\\_fig2\\_312253960](https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-Quadrotor-UAVs-Latitude-Engineerings-HQ-40-Left-43-Googles-Project-Wing_fig2_312253960), (accessed Jun. 17, 2023).
- [4] “Maveric Mini Unmanned Aerial System (MUAS) - Airforce Technology”, <https://www.airforce-technology.com/projects/maveric-small-unmanned-aerial-system/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [5] “Simulation d’un drone sous MATLAB ”, [Simulation d’un drone sous MATLAB](#), (accessed Jun. 24, 2023).
- [6] Z. Shi, X. Chang, C. Yang, Z. Wu, and J. Wu, “An Acoustic-Based Surveillance System for Amateur Drones Detection and Localization”, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, Mar. 2020.
- [7] I. Guvenc, F. Koochifar, S. Singh, M. L. Sichitiu, and D. Matolak, “Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones”, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, Apr. 2018.
- [8] É. Bavu, “Localisation et détection acoustique de drones”, Mar. 01, 2018. [https://acoustique.cnam.fr/contacts/bavu/project/these\\_aro/](https://acoustique.cnam.fr/contacts/bavu/project/these_aro/), (accessed Jun. 17, 2023).
- [9] H. Lv, F. Liu, and N. Yuan, “Drone Presence Detection by the Drone’s RF Communication”, *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1738, Jan. 2021.
- [10] “Sensors | Free Full-Text | RF-Based UAV Detection and Identification Using Hierarchical Learning Approach.”, <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/6/1947>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [11] C. Wolff, “Chapitre 1: Notions de base” , [https://miage.univ-nantes.fr/miage/DVD-MIAGEv2/Algo\\_files/DVDMIAGE\\_Algo\\_Chapitre\\_01\\_Notions\\_de\\_base.pdf](https://miage.univ-nantes.fr/miage/DVD-MIAGEv2/Algo_files/DVDMIAGE_Algo_Chapitre_01_Notions_de_base.pdf), (accessed Jun. 21, 2023).
- [12] “La sécurité de la Suisse” , [La sécurité de la Suisse](#) , (accessed Jan. 09, 2023).
- [13] E. Çetin, C. Barrado, and E. Pastor, “Improving real-time drone detection for counter-drone systems”, *Aeronaut. j.*, vol. 125, Oct. 2021.
- [14] Ronald Schlich, “Le Champ Magnétique Terrestre”, <http://musee-sismologie.unistra.fr/fileadmin/upload/Sismologie/PedagogieMagnetisme/LeChampMagnetiqueTerrestre.pdf>, (accessed Jun. 07, 2023).
- [15] T. Boisson, “La variation du champ magnétique terrestre s’accroît bien plus rapidement que prévu, et les scientifiques ne savent pas encore pourquoi,” *Trust My Science*, Jan. 13, 2019, <https://trustmyscience.com/variation-champ-magnetique-terrestre-plus-rapide-que-prevue/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [16] “How Electric Motors Work,” *HowStuffWorks*, Apr. 01, 2000. <https://electronics.howstuffworks.com/motor.htm>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [17] “Comment choisir le bon moteur pour son drone ?”, *Robots & Cie*, Nov. 21, 2016. <https://www.robots-et-compagnie.com/choisir-moteur-drone/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [18] “Chap-2-Machines-a-courant-continu.pdf”, <https://www.da-engineering.com/wp-content/uploads/2014/11/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [19] M. Azzouz, H. Akli, and S. Mohamed, “Identification par Algorithmes Génétiques des Pertes dans un Moteur à Courant Continu à Excitation Séparée”.
- [20] “EM7\_site.pdf.”, [https://ats.leboulch.bzh/cours/EM7\\_site.pdf](https://ats.leboulch.bzh/cours/EM7_site.pdf), (accessed Jun. 17, 2023).

# Référence Bibliographique :

---

- [21] “Les différents types de moteur brushless”, [http://jacob.patrick.free.fr/moteurs/co/brushless\\_web/co/types.html](http://jacob.patrick.free.fr/moteurs/co/brushless_web/co/types.html), (accessed Jun. 17, 2023).
- [22] G. Vincent, “Qu’est-ce Qu’un Moteur Sans Balais Et Comment Fonctionne-t-il ?”, *Action Resilience*, Feb. 02, 2021, <https://www.actionresilience.fr/quest-ce-quun-moteur-sans-balais-et-comment-fonctionne-t-il/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [23] “Everything You Need To Know About Hall Effect Sensors | RS | RS”, <https://se.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [24] “Electronics Tutorial, Basic Physics, Online Tests, Computer Basics, Concepts of Physics.” <https://www.physics-and-radio-electronics.com/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [25] M. Djamal, E. Sanjaya, Yulkifli, and Ramli, “Development of fluxgate sensors and its applications,” in *2011 2nd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering*, Bandung, West Java, Indonesia: IEEE, Nov. 2011, pp. 421–426. doi: 10.1109/ICICI-BME.2011.6108590.
- [26] “prise\_en\_main\_carte\_microbit\_langage\_python.pdf.”, [https://ww2.ac-poitiers.fr/sc\\_phys/sites/sc\\_phys/IMG/pdf/prise\\_en\\_main\\_carte\\_microbit\\_langage\\_python.pdf](https://ww2.ac-poitiers.fr/sc_phys/sites/sc_phys/IMG/pdf/prise_en_main_carte_microbit_langage_python.pdf), (accessed Jun. 17, 2023).
- [27] “MAG3110.pdf.”, <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MAG3110.pdf>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [28] S. Prasanna, “Machine Learning/machine.pdf”, *Machine Learning*.
- [29] K. R. Apt, “*Principles of constraint programming/machine2*”, New York: Cambridge University Press, 2003.
- [30] P. P. Shinde and S. Shah, “A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications”, in *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India: IEEE, Aug. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCUBEA.2018.8697857.
- [31] “Random Forest Algorithms - Comprehensive Guide With Examples”, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [32] F. López, “Ensemble Learning: Bagging & Boosting”, *Medium*, Jan. 18, 2021. <https://towardsdatascience.com/ensemble-learning-bagging-boosting-3098079e5422>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [33] “Machine Learning Random Forest Algorithm - Javatpoint.” <https://www.javatpoint.com/machine-learning-random-forest-algorithm>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [34] scikit-learn developers, “scikit-learn user guide”, [scikit-learn.org/stable/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html), (accessed Jun. 17, 2023).
- [35] J. Brownlee, “How to use Learning Curves to Diagnose Machine Learning Model Performance,” *MachineLearningMastery.com*, Feb. 26, 2019. <https://machinelearningmastery.com/learning-curves-for-diagnosing-machine-learning-model-performance/>, (accessed Jun. 17, 2023).
- [36] Yuval Noah Harari, “Sapiens : Une breve histoire de l’humanite“, Feb. 15, 2011.

DE LA  
TECHNOLOGIE  
VERS  
L'ENTREPRISE.

# DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

## Introduction :

Dans les paragraphes suivants, nous plongerons dans le processus complexe de création d'une startup qui vise à révolutionner les procédures aéronautiques grâce à la numérisation. En mettant l'accent sur l'intersection entre la technologie et les affaires, nous explorons les bases académiques et les considérations stratégiques impliquées dans la transformation d'idées innovantes en entreprises viables. Guidés par des méthodologies de recherche rigoureuses et en nous appuyant sur des théories entrepreneuriales établies, nous analysons les étapes clés du processus de création d'une startup. De la génération d'idées et de la reconnaissance des opportunités à la planification des affaires, à l'acquisition de financement et à la formation d'équipe, nous examinons les principes académiques qui sous-tendent chaque étape. En examinant des études de cas du monde réel et en nous appuyant sur des connaissances universitaires, cette exploration académique offre une compréhension globale des défis, des opportunités et des stratégies liés à la navigation dans le paysage dynamique de la création d'entreprises. Rejoignez-nous dans ce voyage académique alors que nous plongeons dans le monde de l'entrepreneuriat, dévoilant le processus complexe de transformation des percées technologiques en entreprises prospères qui façonnent l'avenir des procédures aéronautiques.

## L'idée :

Notre idée vise à répondre au besoin urgent de détecter et de contrôler les drones, compte tenu des dangers qu'ils représentent dans différents domaines. En combinant la technologie de détection magnétique avec l'apprentissage automatique, nous avons développé un système novateur capable de détecter et d'identifier avec précision les drones présents dans une zone donnée. En utilisant le capteur MAG3110 et l'algorithme Random Forest, notre solution offre une grande sensibilité et une fiabilité élevée dans la détection des changements de champs magnétiques générés par les drones. Grâce à notre système de référence basé sur l'empreinte magnétique des appareils existants, nous pouvons distinguer les drones des autres sources de perturbations. Avec une interface utilisateur conviviale, notre solution permet une interaction facile et une identification des drones détectés. Cette approche innovante ouvre de nouvelles perspectives pour la détection de drones, offrant un potentiel d'intégration dans les systèmes de surveillance des lieux. Notre projet contribue ainsi à renforcer la sécurité, à prévenir les risques et à façonner l'avenir des procédures aéronautiques de manière efficiente et efficace.

## Étude PESTEL :

Une étude PESTEL, également connue sous le nom d'analyse PESTLE, est un cadre stratégique utilisé pour analyser et évaluer les facteurs externes qui peuvent influencer une organisation ou une industrie. PESTEL est un acronyme qui signifie facteurs politiques, économiques, socioculturels, technologiques, environnementaux et juridiques. Ces facteurs sont considérés comme d'importants moteurs de changement et peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement des affaires

- **Facteurs politiques :** Cela inclut les politiques gouvernementales, les réglementations, la stabilité politique et les influences géopolitiques qui peuvent affecter l'environnement commercial.
- **Facteurs économiques :** Cela implique l'analyse des conditions économiques, telles que la croissance économique, les taux d'inflation, les taux d'intérêt, les taux de change et les tendances générales du marché qui peuvent avoir un impact sur la performance de l'organisation.

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

- **Facteurs socioculturels** : Cela tient compte des aspects sociaux et culturels, y compris les tendances démographiques, les attitudes des consommateurs, les changements de mode de vie, les normes sociales et les préférences culturelles qui peuvent influencer la demande de produits ou de services.
- **Facteurs technologiques** : Ce point se concentre sur les avancées technologiques, les innovations, les activités de recherche et développement et l'impact global de la technologie sur l'industrie et l'organisation.
- **Facteurs environnementaux** : Cela englobe les aspects écologiques et environnementaux, tels que le changement climatique, les pratiques de durabilité, les réglementations environnementales et l'impact de l'organisation sur l'environnement.



**Figure 1** : Notre première analyse PESTEL

- **Facteurs juridiques** : Cela implique l'examen du cadre juridique et réglementaire, y compris les lois sur l'emploi, les réglementations spécifiques à l'industrie, la protection de la propriété intellectuelle et les exigences légales auxquelles les organisations doivent se conformer.

En menant une étude PESTEL, nous pouvons acquérir une compréhension globale des forces externes qui façonnent leur environnement commercial. Cette analyse permet d'identifier les dynamiques changeantes du paysage extérieur.

# DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

## **Prototype expérimental :**

L'Algérie, comme de nombreux pays, a mis en place des réglementations et des cadres juridiques pour régir divers aspects des activités commerciales, y compris le démarrage de projets, le décret ministériel 1275 du 22 septembre 2022, nous a donné l'occasion de nous engager dans la création de notre start-up basée sur les deux aspects du génie aéronautique et de la technologie de l'information.

Tout d'abord, nous devons introduire notre prototype expérimental, que nous définissons par plusieurs caractéristiques distinctives. Premièrement, il adopte une conception novatrice qui s'écarte souvent des approches conventionnelles. Il intègre de nouvelles technologies ou de nouveaux concepts, cherchant à relever des défis particuliers ou à atteindre des fonctionnalités uniques. Comme preuve de concept, le prototype sert à démontrer la faisabilité et la viabilité de ces idées novatrices avant de se lancer dans la production ou la mise en œuvre à grande échelle.

Contrairement aux produits de masse, nos prototypes expérimentaux sont généralement produits en quantités limitées, exactement une seule version. Leur but premier consiste à effectuer des tests et des validations rigoureux, plutôt qu'à commercialiser à grande échelle. Grâce à des essais complets et des améliorations itératives, les prototypes subissent un processus de développement itératif. Ce processus vise à identifier et à corriger les défauts de conception, les problèmes de performance ou les problèmes de fonctionnalité qui peuvent survenir pendant la phase de test.

Le développement de prototypes expérimentaux est étroitement lié aux efforts de recherche et de développement. En repoussant les limites des technologies existantes ou en explorant de nouvelles possibilités, les prototypes contribuent aux avancées dans divers domaines. Ils servent de plateformes pour évaluer et mesurer la performance et les capacités de nouveaux produits, technologies ou concepts. Des données précieuses sont recueillies au cours de ce processus d'évaluation pour évaluer l'efficacité et l'impact potentiels du prototype.

Néanmoins, les prototypes expérimentaux ne sont pas sans risques et incertitudes. Leur nature d'entreprises exploratoires introduit un niveau inhérent d'imprévisibilité. Le succès n'est pas garanti, et les prototypes peuvent rencontrer des difficultés ou des limites imprévues en cours de route.

## **Start-up & Entreprise :**

Lors de l'exploration du paysage entrepreneurial, il est important de faire la différence entre les start-ups et les entreprises établies, chacune possédant des caractéristiques distinctes qui façonnent leur approche, leurs stratégies et leurs trajectoires de croissance.

### **➤ Start-up**

Une start-up est une jeune entreprise ou une entreprise qui en est aux premiers stades de son développement, généralement avec une petite équipe de fondateurs et des ressources limitées. Les start-ups se caractérisent par leur concentration sur la création de produits, services ou technologies innovants dans le but de perturber les marchés existants ou d'en créer de nouveaux.

Les start-ups cherchent généralement à résoudre un problème spécifique ou à répondre à un besoin du marché grâce à leurs idées ou approches uniques. Ils comptent souvent sur le capital-risque ou les investisseurs providentiels pour le financement, car ils n'ont peut-être pas établi de flux de revenus ou de rentabilité à leurs débuts. Les fondateurs de start-ups sont généralement des personnes

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

très motivées qui sont prêtes à prendre des risques et à travailler de longues heures pour donner vie à leur vision.

Les start-ups peuvent couvrir divers secteurs, notamment la technologie, le développement de logiciels, la santé, la finance, le commerce électronique et bien d'autres. Les start-ups qui réussissent ont le potentiel de connaître une croissance rapide, de perturber les industries et de devenir des acteurs majeurs sur leurs marchés respectifs. Cependant, de nombreuses start-ups sont également confrontées à des défis importants et peuvent échouer en raison de facteurs tels que la concurrence sur le marché, le manque de financement ou des difficultés d'exécution.

### ➤ **Caractéristiques d'une start-up :**

En plus de comprendre les facteurs externes qui peuvent influencer le succès d'une start-up, il est crucial de se plonger dans les caractéristiques uniques qui définissent et différencient ces entreprises innovantes.

1. **Innovation :** Les start-ups sont connues pour leur concentration sur le développement de produits, services ou technologies innovants qui offrent des solutions uniques ou perturbent les marchés existants.
2. **Évolutivité :** Les start-ups sont conçues pour avoir un potentiel de croissance et d'évolutivité rapides, visant à étendre rapidement leurs opérations et leur clientèle.
3. **Ressources limitées :** Les start-up fonctionnent souvent avec des ressources financières, de la main-d'œuvre et des infrastructures limitées, ce qui les oblige à faire preuve d'ingéniosité et d'efficacité dans leurs opérations.
4. **Risque élevé, récompense élevée :** les start-ups impliquent généralement un niveau de risque plus élevé que les entreprises établies. Cependant, ils offrent également le potentiel de récompenses et de rendements importants en cas de succès.
5. **Esprit d'entreprise :** les start-ups sont animées par l'esprit d'entreprise de leurs fondateurs et des membres de leur équipe, caractérisé par une volonté de prendre des risques, d'accepter l'incertitude et de poursuivre des objectifs ambitieux.
6. **Agilité et adaptabilité :** les start-ups doivent être agiles et adaptables pour répondre aux changements du marché, aux commentaires des clients et aux tendances émergentes. Ils itèrent souvent rapidement, apprenant des échecs et ajustant leurs stratégies en conséquence.
7. **Perturbation :** De nombreuses start-ups visent à perturber les industries traditionnelles ou à créer de nouveaux marchés en introduisant des modèles commerciaux, des technologies ou des approches innovantes.
8. **Approche centrée sur le client :** les start-ups accordent la priorité à la compréhension et à la satisfaction des besoins de leurs clients cibles, en s'appuyant souvent sur les commentaires et les données des clients pour itérer et améliorer leurs offres.
9. **Réseau et partenariats :** les start-ups tirent souvent parti des partenariats, des collaborations et des opportunités de réseautage pour accéder aux ressources, à l'expertise et aux clients ou investisseurs potentiels.



## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

10. Accent mis sur la croissance : les start-ups se concentrent fortement sur la croissance et la mise à l'échelle de leurs opérations, cherchant à conquérir une part de marché importante et à établir un avantage concurrentiel dans leur secteur.

Contrairement aux entreprises traditionnelles, les start-ups opèrent souvent dans des environnements très dynamiques et rapides, stimulés par les progrès technologiques rapides et les changements du marché. Ils sont connus pour leur agilité, leur flexibilité et l'accent mis sur la croissance et l'évolutivité.

### ➤ **Entreprise :**

Une entreprise ou une société est une organisation ou une entité engagée dans des activités commerciales, industrielles ou professionnelles dans le but principal de générer des revenus et de réaliser des bénéfices. Cela implique la production, la distribution ou la fourniture de biens, de services ou les deux à des clients, clients ou consommateurs.

Les entreprises peuvent prendre diverses formes juridiques, telles que les entreprises individuelles, les partenariats, les sociétés à responsabilité limitée (LLC) ou les sociétés. Chaque forme a des implications différentes en termes de propriété, de responsabilité, de fiscalité et de gouvernance.

Une entreprise a généralement plusieurs composants clés :

1. Produits ou services : il s'agit des biens ou services offerts par l'entreprise pour répondre aux besoins ou aux désirs des clients.
2. Clients ou Clients : Ce sont les individus ou les organisations qui achètent ou utilisent les produits ou services fournis par l'entreprise.
3. Employés : les personnes employées par l'entreprise qui contribuent à ses opérations, à sa production, à sa commercialisation, à ses ventes et à d'autres fonctions.
4. Revenus et bénéfices : les revenus sont le revenu total généré par l'entreprise à partir de ses opérations, tandis que le bénéfice est le résultat financier positif obtenu lorsque les revenus dépassent les dépenses.
5. Conformité légale et réglementaire : les entreprises doivent respecter les lois, les réglementations et les normes de l'industrie applicables à leurs opérations, y compris la fiscalité, les pratiques d'emploi, la protection des consommateurs, etc.
6. Structure organisationnelle : Cela fait référence à la façon dont l'entreprise est organisée, y compris la hiérarchie de la direction, les départements et les lignes hiérarchiques.
7. Stratégie commerciale : Les entreprises élaborent des stratégies pour atteindre leurs objectifs, qu'il s'agisse de gagner des parts de marché, de s'étendre sur de nouveaux marchés ou de conserver un avantage concurrentiel.
8. Gestion financière : cela implique la gestion des finances de l'entreprise, y compris la budgétisation, les rapports financiers, la gestion des flux de trésorerie et les décisions d'investissement.

Les entreprises jouent un rôle crucial dans l'économie en créant des emplois, en stimulant l'innovation, en contribuant à la croissance économique et en répondant aux besoins des consommateurs. Elles peuvent varier en taille, allant de petites entreprises locales à des sociétés multinationales ayant une présence mondiale.



# DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

## ➤ **Caractéristiques d'une entreprise :**

Lors de l'examen des entreprises, il est essentiel d'explorer les caractéristiques clés qui façonnent leurs opérations, leurs stratégies et leur succès global sur le marché.

1. Opérations établies : Contrairement aux start-ups, les entreprises ont des opérations établies et un historique d'activités commerciales sur une période de temps.
2. Stabilité et durabilité : les entreprises visent la stabilité et la durabilité, en se concentrant sur le maintien de la rentabilité et de la viabilité à long terme.
3. Offres diverses : Les entreprises proposent souvent une gamme variée de produits, de services ou de solutions pour répondre aux différents besoins des clients ou segments de marché.
4. Marque et réputation établies : les entreprises ont généralement une présence et une réputation de marque établies sur le marché, construites au fil du temps grâce à la fourniture constante de produits ou de services de qualité.
5. Clientèle établie : Les entreprises ont une clientèle existante et entretiennent souvent des relations continues avec les clients, leur fournissant un flux de revenus fiable.
6. Structure organisationnelle solide : les entreprises ont une structure organisationnelle bien définie avec divers départements et hiérarchies pour gérer efficacement les opérations.
7. Présence sur le marché : les entreprises ont généralement une présence importante sur le marché et peuvent opérer dans plusieurs régions ou pays, avec une clientèle plus large.
8. Stabilité financière : Les entreprises disposent de ressources financières plus stables que les start-ups, ce qui leur permet d'investir dans la recherche et le développement, d'étendre leur infrastructure ou de poursuivre des initiatives stratégiques.
9. Conformité et gouvernance : les entreprises respectent les exigences légales et réglementaires applicables à leur secteur, garantissant la conformité aux lois relatives à l'emploi, à la fiscalité, aux normes environnementales, etc.
10. Planification à long terme : les entreprises s'engagent souvent dans une planification à long terme et une prise de décision stratégique, en tenant compte de facteurs tels que les tendances du marché, le paysage concurrentiel et la dynamique de l'industrie.

## ➤ **La différence entre une start-up et une entreprise :**

La principale différence entre une start-up et une entreprise/entreprise réside dans leur stade de développement et leur trajectoire de croissance.

Une start-up est un type d'entreprise qui en est à ses premiers stades de développement. Il se caractérise généralement par un degré élevé d'incertitude, d'expérimentation et d'accent mis sur une croissance rapide. Les start-ups opèrent souvent sur des marchés émergents ou perturbateurs et visent à introduire des produits, services ou technologies innovants. Ils ont généralement une petite équipe de fondateurs, des ressources limitées et un état d'esprit à haut risque et à haute récompense. Les start-ups recherchent souvent des financements externes, tels que du capital-risque, pour alimenter leur croissance et leur développement. L'objectif principal d'une start-up est de se développer rapidement et d'établir une position forte sur le marché.

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

D'autre part, une entreprise ou une société désigne toute organisation engagée dans des activités commerciales dans le but de générer des revenus et de réaliser des bénéfices. Il englobe un large éventail d'entreprises, y compris les start-ups, les petites et moyennes entreprises (PME) et les grandes entreprises. Contrairement aux start-ups, les entreprises sont généralement plus établies et ont traversé la phase initiale d'expérimentation et de validation sur le marché. Ils ont des flux de revenus stables, des opérations bien établies et se concentrent sur le maintien de la rentabilité. Bien que les entreprises s'efforcent également de croître, leur rythme d'expansion peut être plus graduel que celui des start-ups.

En résumé, les principales distinctions entre une start-up et une entreprise/entreprise sont :

- Stade de développement : les start-ups en sont aux premiers stades de développement, tandis que les entreprises sont plus établies.
- Trajectoire de croissance : les start-ups visent une croissance rapide et une perturbation du marché, tandis que les entreprises se concentrent sur une croissance et une rentabilité durable.
- Profil de risque : Les start-up ont souvent un profil de risque plus élevé en raison de l'incertitude et des ressources limitées, tandis que les entreprises ont tendance à avoir des opérations et des flux de revenus plus stables.
- Financement : les start-ups dépendent souvent de financements externes, tels que le capital-risque, tandis que les entreprises peuvent avoir des sources de financement plus diversifiées, notamment des bénéfices, des prêts ou des prises de participation.

Il convient de noter que la frontière entre les start-ups et les entreprises peut s'estomper avec le temps. De nombreuses start-ups finissent par devenir des entreprises établies à mesure qu'elles mûrissent et atteignent la stabilité et la rentabilité.

## **Intitulé du Projet :**

Structuration et planification du projet de :

# *« Détecteur de drone à base de capteur de champ magnétique »*

Projet de **Startup** présenté dans le cadre de l'arrête ministériel "**1275 et pratique pédagogique**", assurée par **Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales. IAES**

Notre startup s'attaque au problème urgent des risques liés aux drones, englobant la sécurité aérienne, la sécurité publique et les problèmes de confidentialité. Grâce à notre solution innovante, nous fournissons des capacités avancées de détection de drones, permettant des alertes en temps opportun et des contre-mesures efficaces dans des environnements fermés. Notre technologie garantit une sécurité accrue, une protection contre les menaces potentielles et la promotion d'un environnement plus sûr et plus sécurisé.

## Carte d'information



---

A propose de l'équipe d'encadrement  
du groupe de travail



# Carte d'information

A propose de l'équipe d'encadrement du groupe de travail

Equipe de l'Encadrement du Groupe principale (a titre indicatif)	SPECIALITE	FACULTE	ETABLISMENT
Encadrant 01	Avionique	Aéronautique	Blida 1
Encadrant 02	\	\	\
Encadrant 03	\	\	\

A propose de l'équipe du projet du groupe de travail

Equipe du projet du Groupe principale (a titre indicatif)	SPECIALITE	FACULTE	ETABLISMENT
Etudiant 01	Avionique	Aéronautique	Blida 1
Etudiant 02	Avionique	Aéronautique	Blida 1

## Annexe



---

## *La fiche technique de projet startup*

### **1275**

---

البطاقة التقنية للمشروع

## La fiche technique de projet

Carte d'information	
مرابطي نزار \ بكيري خالد	الاسم و اللقب
Merabti Nizar \ Bakiri Khaled	Your first and last Name
Merabti Nizar \ Bakiri Khaled	Votre prénom et nom
Service de détection des drones	الاسم التجاري للمشروع
	Intitulé de votre projet
	Title of your Project
\	الصفة القانونية للمشروع
	Votre statut juridique
	Your legal status
0770242258 / 0658655758	رقم الهاتف
	Votre numéro de téléphone
	Your phone number
<a href="mailto:Khaled.bakiri123@gmail.com">Khaled.bakiri123@gmail.com</a>	البريد الالكتروني
<a href="mailto:Merabtin6@gmail.com">Merabtin6@gmail.com</a>	Votre adresse e-mail
	Your email address
Alger-Baraki	مقر مزاولة النشاط ( الولاية- البلدية)
	Votre ville ou commune d'activité
	Your city or municipality of activity

طبيعة المشروع

## La nature de projet

marchandises \ تابع إنتاجي	المنتوج ذو تابع إنتاجي أو خدماتي
	Vente de marchandises ou de services
	Sale of goods or services

# Business Model Canvas

**Business Model Canvas - BMC**

1-Merabti Nizar

P-Madame Cheggaga

2- Bakiri Khaled

*Projet Startup :*

Partenaires clés :	Activités Clés :	Propositions de valeur :	Relation Client :	Segments de clientèle :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des fournisseurs de technologie de champ magnétique</li> <li>• Des entreprises de sécurité, de protection et des organisations connexes.</li> <li>• Des centres de recherche.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche et développement continu.</li> <li>• Fabrication et assemblage des produits et des appareils.</li> <li>• Maintenance.</li> </ul> <hr/> <p><b>Ressources clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise des Outils Informatiques.</li> <li>• Maîtrise des données des drones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer un produit qui détecte les drones et émettre des alertes dans les environnements clos.</li> <li>• Fournir des solutions innovantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fournir un support technique spécialisé et un service clientèle de qualité.</li> <li>• Fournir des mises à jour et des améliorations du produit.</li> </ul> <hr/> <p><b>Canaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le site web de l'entreprise.</li> <li>• Des stratégies de marketing numérique.</li> <li>• Ventes directes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les entreprises et les organisations soucieuses.</li> <li>• Les prisons.</li> <li>• Les ministères.</li> </ul>
<b>Coûts :</b>		<b>Revenus :</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts de recherche, de développement et d'innovation pour améliorer le produit et développer des techniques de détection des drones.</li> <li>• Coûts de fabrication, d'assemblage et d'exploitation pour produire les produits.</li> <li>• Coûts de marketing et de promotion du produit et d'accès aux clients cibles.</li> <li>• Personnel.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vente des produits.</li> <li>• Fournir des services de maintenance et de support technique.</li> </ul>		



# DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

## **BMC- Business Model Canvas :**

Le Business Model Canvas (BMC) est un outil de gestion stratégique qui fournit une représentation visuelle des éléments et composants clés d'un modèle d'entreprise. Il sert de cadre pour décrire, analyser et concevoir un modèle d'entreprise en capturant les aspects essentiels de la façon dont une organisation crée, fournit et capte de la valeur.

Le BMC se compose de neuf blocs de construction qui couvrent différents aspects d'un modèle commercial, y compris les segments de clientèle, les propositions de valeur, les canaux, les relations clients, les flux de revenus, les ressources clés, les activités clés, les partenariats clés et la structure des coûts. En examinant et en alignant ces blocs de construction, les organisations peuvent acquérir une compréhension globale de leur modèle commercial et prendre des décisions éclairées concernant leur stratégie, leurs opérations et la génération de revenus.

Le BMC est largement utilisé par les entrepreneurs, les startups et les entreprises établies pour visualiser et communiquer leurs modèles commerciaux, identifier les domaines d'amélioration ou d'innovation, et favoriser la collaboration et l'alignement entre les membres de l'équipe. Il fournit une vue holistique du modèle d'entreprise et permet aux organisations d'adapter et d'itérer leurs stratégies en réponse à la dynamique du marché et à l'évolution des besoins des clients.

### ➤ **Partenaires clés :**

Les partenaires clés dans le Business Model Canvas désignent les individus, entreprises ou organisations avec lesquels nous collaborons pour créer, distribuer ou apporter de la valeur à nos clients. Dans notre exemple, voici les trois exemples de partenaires clés :

- Des fournisseurs de technologie de champ magnétique : En collaborant avec ces fournisseurs, nous garantissons l'accès à des capteurs de champ magnétique, à des équipements et à des technologies connexes fiables et de haute qualité.

- Des entreprises de sécurité, de protection et des organisations connexes : La collaboration avec ces entités nous permet de bénéficier de leurs vastes connaissances et de leur expérience en matière de protocoles de sécurité, d'évaluation des risques et d'atténuation des menaces. De plus, la collaboration avec les organisations concernées nous permet d'établir des liens solides au sein de la communauté de la sécurité et de tirer parti de leur réseau et de leurs ressources pour promouvoir l'adoption et l'intégration de notre solution de détection de drones dans divers secteurs.

- Des centres de recherche : Cette collaboration nous permet de rester à la pointe des avancées technologiques et de tirer parti des dernières découvertes de la recherche dans notre projet. Les centres de recherche fournissent également des conseils et un soutien précieux dans la conception et le perfectionnement de notre système de détection de drones, garantissant sa précision, son efficacité et sa fiabilité.

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

### ➤ **Activités clés :**

Les activités clés du Business Model Canvas font référence aux tâches et actions cruciales que nous entreprenons en tant qu'entreprise pour créer, fournir et maintenir notre proposition de valeur. Dans notre exemple, voici trois activités clés :

- Recherche et développement continu : nous accordons la priorité à la recherche et au développement en cours pour améliorer nos capacités et garder une longueur d'avance. Grâce à des recherches approfondies, nous visons à améliorer la précision, l'efficacité et la fiabilité de notre système de détection de drones. Nous menons des expériences, des simulations et des tests en conditions réelles pour valider et affiner nos approches.

- Fabrication et assemblage des produits et des appareils : Cela implique de se procurer les composants et matériaux nécessaires auprès de fournisseurs et de fabricants de confiance. Nous nous assurons que nos produits répondent aux normes de qualité les plus élevées et respectent les réglementations de l'industrie

- Maintenance : Une fois nos systèmes de détection de drones déployés et opérationnels, il est essentiel de garantir leur fonctionnalité et leur efficacité continues. Cela implique des activités de maintenance régulières, y compris des inspections, des entretiens et des réparations. Cette approche proactive nous permet d'identifier et de résoudre tout problème potentiel avant qu'il ne s'aggrave et n'affecte les performances du système.

### ➤ **Ressources clés :**

Les ressources clés du Business Model Canvas font référence aux actifs, capacités et connaissances essentielles dont nous, en tant qu'entreprise, avons besoin pour créer, fournir et maintenir notre proposition de valeur. Dans notre exemple, voici deux ressources clés :

- Maîtrise des Outils Informatiques : utilisant une large gamme d'outils informatiques et d'applications logicielles spécifiquement conçues pour la détection de drones et le traitement de données. Ces outils nous permettent de collecter, d'analyser et d'interpréter de grands volumes de données recueillies auprès de divers capteurs et systèmes de détection.

- Maîtrise des données des drones : La maîtrise des données drones est une ressource clé cruciale pour notre projet. À mesure que le domaine de la détection de drones évolue, comprendre et analyser efficacement les données des drones devient essentiel. Nous pouvons identifier des signatures, des comportements et des caractéristiques uniques associés à différents types de drones.

### ➤ **Propositions de valeur :**

Les propositions de valeur dans le Business Model Canvas font référence aux bénéfices, avantages et solutions uniques que nous, en tant qu'entreprise, proposons pour répondre aux besoins de nos clients et nous différencier de nos concurrents. Dans notre exemple, voici plusieurs propositions de valeur :

- Développer un produit qui détecte les drones et émettre des alertes dans les environnements clos. : En tirant parti de technologies avancées, notamment des capteurs, des analyses de données et des algorithmes d'apprentissage automatique, nous avons développé un système capable de détecter avec précision les drones et d'émettre des alertes lorsqu'une activité

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

de drone non autorisée est détectée. Cette capacité permet au personnel de sécurité et aux parties prenantes concernées de prendre des mesures immédiates, garantissant la sûreté et la sécurité de l'environnement clos.

- Fournir des solutions innovantes : Notre concentration sur l'innovation nous permet de garder une longueur d'avance et d'offrir des solutions de pointe qui s'adaptent au développement constant des drones. Nous nous efforçons de fournir des produits qui sont non seulement efficaces, mais qui intègrent également les dernières avancées, en veillant à ce que nos clients bénéficient d'une technologie de pointe et restent à la pointe de la sécurité des drones.

### ➤ **Segments de clientèle :**

Les segments de clientèle dans le Business Model Canvas font référence aux groupes spécifiques de clients ou d'organisations que nous, en tant qu'entreprise, ciblons avec nos produits ou services. Dans notre exemple, voici plusieurs segments de clientèle :

- Les entreprises et les organisations soucieuses de leurs sécurités : Nous comprenons que ces entités ont tout intérêt à protéger leurs actifs, leur personnel et leurs informations sensibles contre les menaces potentielles de drones. Qu'il s'agisse de sécuriser des infrastructures critiques, de protéger des installations sensibles ou d'assurer la confidentialité de leurs opérations, ces entreprises et organisations ont besoin d'une solution complète et robuste.

- Les prisons : Les prisons sont confrontées à des défis uniques en ce qui concerne les activités liées aux drones, telles que la contrebande, distribution de drogue et d'armes, les atteintes à la sécurité et la surveillance non autorisée. Notre proposition permet aux autorités de prendre des mesures proactives pour empêcher les livraisons de contrebande ou les atteintes potentielles à la sécurité.

- Les ministères : Les entités gouvernementales, telles que les ministères de la défense, de la sécurité intérieure et des transports, ont tout intérêt à assurer la sûreté et la sécurité de leurs domaines respectifs. En servant les ministères, nous visons à contribuer à la sécurité et à la stabilité globales des nations qui les rendent des clients importants.

### ➤ **Relations clients :**

Les relations clients dans le Business Model Canvas font référence aux types de relations que nous, en tant qu'entreprise, établissons et entretenons avec nos clients. Ces relations sont cruciales pour comprendre comment nous interagissons avec nos clients et répondons à leurs besoins. Dans notre exemple, voici plusieurs types de relations clients :

- Fournir un support technique spécialisé et un service clientèle de qualité : Pour y parvenir, une équipe dédiée d'experts techniques qui sont disponibles pour aider nos clients pour toute demande technique, dépannage ou optimisation du système. Nous offrons une assistance rapide et personnalisée, en veillant à ce que nos clients reçoivent l'assistance dont ils ont besoin pour établir des relations à long terme basées sur la confiance et la compréhension mutuelle.

- Fournir des mises à jour et des améliorations du produit : Nous comprenons que la technologie évolue rapidement et qu'il est crucial pour nos clients de garder une longueur d'avance dans le développement constant de la détection et de la sécurité des drones. Avec une

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

équipe dédiée d'experts qui surveillent en permanence les tendances de l'industrie, les avancées technologiques et les commentaires des clients. Sur la base de ces informations, nous développons et mettons en œuvre des mises à jour et des améliorations de nos produits.

### ➤ **Les canaux :**

Les canaux du Business Model Canvas font référence aux différents moyens par lesquels nous, en tant qu'entreprise, atteignons et communiquons avec nos clients, et fournissons notre proposition de valeur. Dans notre exemple, voici plusieurs canaux :

- **Site Web :** Notre site Web sert de canal principal pour interagir avec les clients. Il leur permet d'accéder à des informations sur nos services, de faire des demandes de renseignements et éventuellement de faire des achats. Nous utilisons notre site Web pour présenter notre proposition de valeur, fournir des ressources et faciliter les transactions en ligne.

- **Ventes directes :** Nous nous engageons dans des ventes directes pour interagir avec les clients et vendre nos services. Nos représentants commerciaux ou gestionnaires de compte contactent des clients potentiels, s'engagent dans des discussions individuelles et présentent notre proposition de valeur. Grâce à la vente directe, nous établissons des relations, répondons aux préoccupations des clients et négocions des contrats.

- **Marketing numérique :** Le marketing numérique nous offre diverses opportunités pour entrer en contact avec des clients potentiels, accroître la notoriété de la marque et stimuler les ventes. Nous tirons parti de différentes stratégies pour commercialiser efficacement nos solutions de détection de drones dans l'espace numérique.

### ➤ **Coûts :**

La structure des coûts dans le Business Model Canvas fait référence aux coûts et dépenses que nous, en tant qu'entreprise, encourons pour exploiter et fournir notre proposition de valeur. Dans notre exemple, voici plusieurs éléments de coût :

- **Coûts de recherche, de développement et d'innovation pour améliorer le produit et développer des techniques de détection des drones :** En tant qu'entreprise innovante, nous comprenons l'importance d'investir dans la recherche, le développement et l'innovation pour améliorer continuellement notre produit et développer des techniques de détection de drones de pointe. Ces activités nécessitent une allocation importante de ressources, y compris des investissements financiers, du personnel spécialisé et des technologies de pointe.

- **Coûts de fabrication, d'assemblage et d'exploitation pour produire les produits :** notre société engage des dépenses liées à la fabrication, à l'assemblage et à l'exploitation de nos produits. Ces coûts englobent l'approvisionnement en matériaux, les processus de production, les mesures de contrôle de la qualité et les considérations logistiques.

- **Coûts de marketing et de promotion du produit et d'accès aux clients cibles :** les coûts de marketing comprennent les campagnes publicitaires, les stratégies de marketing numérique, la participation à des salons professionnels et d'autres activités promotionnelles visant à atteindre efficacement nos clients cibles. Nous investissons dans la création de supports marketing convaincants, tels que des brochures, du contenu en ligne et des démonstrations de produits, pour présenter les fonctionnalités et les avantages de nos produits.

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

- **Personnel** : Les frais de personnel font référence aux dépenses associées au recrutement, à la rémunération et à la fidélisation de notre main-d'œuvre. Cela comprend les salaires, les traitements, les avantages sociaux, la formation et les autres coûts connexes. La constitution d'une équipe compétente et qualifiée est cruciale pour le succès de notre entreprise, et nous allouons des ressources pour nous assurer que nous disposons des ressources humaines nécessaires pour exploiter et fournir nos services.

### ➤ **Revenus** :

Les flux de revenus dans le Business Model Canvas font référence aux sources de revenus et à la manière dont nous, en tant qu'entreprise, générons des revenus. Dans notre exemple, voici plusieurs flux de revenus :

- **Vente des produits** : Le processus de vente est conçu pour offrir une expérience transparente à nos clients. Nous proposons des consultations personnalisées, des démonstrations de produits et un support technique pour inciter le consommateur à acheter notre produit

- **Fournir des services de maintenance et de support technique** : Nos services de maintenance comprennent des inspections régulières, des mises à jour logicielles et un dépannage pour résoudre tout problème technique pouvant survenir. Avec une équipe de techniciens qualifiés qui connaissent bien les subtilités de nos produits et peuvent diagnostiquer et résoudre efficacement tout problème potentiel.

### **Spécifications commerciales** :

#### ➤ **Proposition de valeur**

La proposition de valeur de notre start-up est de fournir des solutions de pointe pour la détection de drones, offrant une technologie de pointe et des produits innovants qui améliorent les mesures de sécurité et assurent la tranquillité d'esprit dans divers environnements.

#### ➤ **Marché cible**

Notre marché cible comprend les entreprises, les organisations, les établissements correctionnels et les ministères qui accordent la priorité à la sécurité et recherchent des solutions de détection de drones fiables pour protéger leurs opérations et protéger les actifs critiques.

#### ➤ **Modèle de revenus**

Notre modèle de revenus comprend des ventes directes, des accords de licence, des contrats de maintenance et des ventes de sites Web, tirant parti des stratégies de marketing numérique pour générer des revenus pour nos produits et services de détection de drones.

#### ➤ **Business Development**

La start-up établira des partenariats et des collaborations stratégiques avec des acteurs clés de l'industrie, des organismes de réglementation, des fournisseurs de technologie et des institutions universitaires pour tirer parti de leur expertise, étendre leur portée sur le marché et favoriser l'adoption de la solution de détection des drones.

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

### ➤ **Analyse approfondie du marché**

La start-up effectuera une analyse approfondie du marché pour identifier les concurrents, les tendances du marché, les demandes des clients et les opportunités de croissance potentielles, permettant une prise de décision et un positionnement sur le marché éclairé.

### ➤ **Marketing de vente**

La start-up développera une stratégie globale de marketing et de vente pour créer une notoriété, générer des prospects et convertir les prospects en clients. Cela peut impliquer des campagnes de marketing numérique, des événements de l'industrie, des efforts de vente ciblés et une démonstration des capacités de la solution.

### ➤ **La propriété intellectuelle**

La start-up accordera la priorité à la protection de la propriété intellectuelle par le biais de brevets, de marques de commerce, de droits d'auteur ou de secrets commerciaux afin de protéger ses technologies uniques et de conserver un avantage concurrentiel sur le marché.

### ➤ **Funding**

La start-up explorera diverses sources de financement, telles que le capital-risque, les investisseurs providentiels, les subventions ou les programmes de soutien gouvernementaux, afin d'obtenir les ressources financières nécessaires pour la recherche et le développement, le marketing, l'acquisition de talents et les opérations de mise à l'échelle.

### ➤ **équipe**

La start-up réunira une équipe talentueuse et multidisciplinaire possédant une expertise en aéronautique, en développement technologique, en analyse de données, en développement commercial et en gestion de projet pour assurer une main-d'œuvre complète et compétente.

### ➤ **Stratégie de croissance**

La start-up aura une stratégie de croissance claire, y compris des plans de mise à l'échelle des opérations, d'expansion sur de nouveaux marchés ou zones géographiques, et d'innovation continue de la solution pour garder une longueur d'avance sur l'évolution des besoins de l'industrie.

### **Étude de croissance : projections sur 1 an, 3 ans et 5 ans pour la start-up :**

L'analyse qui suit présente une étude de la croissance prévisionnelle de la start-up dédiée à la détection des drones sur une durée de 1 an, 3 ans et 5 ans. Sur la base d'études de marché complètes, des tendances du secteur et de la proposition de valeur de la start-up, les projections suivantes décrivent la croissance prévue en termes d'acquisition de clients, de chiffre d'affaires et de gain global du marché.

#### ➤ **Projection sur 1 an:**

• Acquisition de clients : Compte tenu de la pénétration initiale du marché, des efforts de marketing et des avantages concurrentiels de la start-up, nous prévoyons un taux d'acquisition de clients modeste mais prometteur. En anticipant une intégration et une adoption

## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

réussies des clients, nous estimons l'acquisition de 8 à 12 clients clés au cours de la première année d'exploitation.

- **Chiffre d'affaires :** Avec la clientèle initiale et le modèle de tarification en place, nous prévoyons de générer environ 5 000 000.00 DZD de chiffre d'affaires au cours de la première année. Cette projection prend en la vente des produits et le service après-vente.

- **Gain de marché :** en termes de part de marché, nous prévoyons de réaliser un gain de marché de 5 % à 10% au cours de la première année. Cette projection est basée sur les facteurs de différenciation de la start-up, la demande du marché et le positionnement concurrentiel.

### ➤ **Projection sur 3 ans:**

- **Acquisition de clients :** en s'appuyant sur les fondations établies au cours de la première année, la réputation et la clientèle de la start-up devraient encore s'étendre. Grâce à des efforts de marketing continus, des partenariats stratégiques et des témoignages positifs de clients, nous prévoyons d'acquérir 20 à 25 clients supplémentaires, portant le nombre total de clients à 35 d'ici trois ans.

- **Chiffre d'affaires :** à mesure que la start-up prend de l'ampleur et gagne la confiance des clients, le chiffre d'affaires devrait connaître une croissance substantielle. Compte tenu de l'augmentation de la clientèle, des opportunités de vente incitative et de l'expansion potentielle sur de nouveaux marchés, nous prévoyons que le chiffre d'affaires atteindra environ 17 500 000.00 DZD d'ici la fin de la troisième année.

- **Gain de marché :** avec un portefeuille de clients en expansion et une proposition de valeur éprouvée, la part de marché de la start-up devrait augmenter de manière significative. Nous prévoyons un gain de marché de 15% à 20% d'ici la fin de la troisième année, confortant la position de la start-up en tant que fournisseur leader de technologie de détection des drones.

### ➤ **Projection sur 5 ans:**

- **Acquisition de clients :** au fur et à mesure que la start-up s'impose comme un leader fiable du secteur, le rythme d'acquisition de clients devrait s'accélérer. Tirant parti des implémentations réussies, des références de clients et de l'expansion internationale, nous prévoyons d'acquérir 50 clients supplémentaires au cours des cinq prochaines années, atteignant une base de clients totale de 85.

- **Chiffre d'affaires :** Avec une base de clientèle croissante et des offres de produits en expansion, le chiffre d'affaires devrait connaître une croissance substantielle. Compte tenu de la demande du marché, des opportunités de vente incitative et de l'expansion potentielle dans des secteurs connexes, nous prévoyons que le chiffre d'affaires atteindra environ 1 00 000 000.00 DZD d'ici la fin de la cinquième année.

- **Gain de marché :** avec une solide présence dans l'industrie et un historique de succès, la start-up devrait réaliser un gain de marché significatif. Nous projetons un gain de marché de 25% à 30% d'ici la fin de la cinquième année, établissant la start-up comme un acteur dominant sur le marché de la détection des drones.



## DE LA TECHNOLOGIE VERS L'ENTREPRISE :

---

**Note :** Ces projections sont estimées sur la base d'analyses de marché, des tendances du secteur et d'hypothèses concernant les performances de la start-up. La croissance réelle peut varier en fonction de facteurs externes, de la dynamique du marché et de l'exécution de ses stratégies par la start-up. Des évaluations et des ajustements réguliers seront nécessaires pour s'adapter à l'évolution des conditions du marché et stimuler une croissance durable.

### **Conclusion :**

En conclusion, l'analyse du Business Model Canvas (BMC) a fourni une compréhension complète des éléments clés et des stratégies de notre startup de détection de drones. En identifiant des partenaires clés tels que des fournisseurs de technologie, des organisations de sécurité et des centres de recherche, notre entreprise peut tirer parti de leur expertise et de leurs ressources pour améliorer les activités de développement, de fabrication et de maintenance de produits. La maîtrise des outils informatiques et des données des drones, couplée à une recherche et un développement continu, positionne notre startup comme un leader innovant dans le domaine. Les propositions de valeur du développement d'un produit qui détecte les drones et de la fourniture de solutions innovantes répondent aux besoins des entreprises, des organisations, des prisons et des ministères soucieux de la sécurité. En favorisant de solides relations avec les clients grâce à un support technique spécialisé, un service client de qualité et des mises à jour de produits, notre startup peut maintenir la satisfaction et la fidélité de ses clients à long terme. Les stratégies de marketing, y compris le marketing numérique, les ventes directes et un site Web attrayant, aideront à promouvoir nos produits et à atteindre efficacement le marché cible. Avec un modèle de revenus englobant les ventes directes, les services de maintenance, les accords de licence et les ventes de sites Web, notre startup est bien placée pour générer une croissance constante des revenus au cours des 1, 3 et 5 prochaines années. Dans l'ensemble, cette approche globale du BMC et notre vision de l'avenir démontrent la base solide et le succès potentiel de notre startup dans le domaine de détection de drones.