

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen  
Faculté des Sciences  
Département d'Informatique



Pour l'obtention du diplôme de Master En : Informatique

*Option : Réseaux et Systèmes Distribués (RSD)*

Mémoire de fin d'études

# Thème

**Conception et Développement d'un système de détections  
de pollution marine avec les Drones**

Réalisé par :

Belgacem Samira  
Baroudi Samah

Présenté le 1 octobre 2023 devant le jury composé de :

Mr. *BELHOCINE AMINE*

Encadrant

Mr. *MOHAMED TOUNSI*

Co-encadrant

Mr. *BERRABAH SID AHMED*

Président

Mr. *BRIKCI NIGASSA AMINE*

Examineur

Mme. *SELADJI YASSAMINE*

Expert

Mlle. *BELGACEM WAHIBA*

Membre invité

# **R**EMERCIEMENTS

***Nous tenons à remercier tout d'abord Allah le tout-puissant qui nous a donné durant toutes ces années la santé, le courage et la foi.***

***Nous exprimons nos remerciements à notre Co-encadrant, Monsieur MOHAMED TOUNSI a l'université de Prince Sultan, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour ses conseils, tout au long de notre travail et notre encadrant BELHOUCINE AMINE université de Tlemcen pour son support tout au long du projet.***

***Nous adressons nos remerciements à notre président de jury Monsieur BERRABAH SID AHMED et nos examinateur Monsieur BRIKCI NIGASSA AMINE et nos expert Madame Seladji Yassamine d'avoir accepté d'évaluer et d'examiner notre travail.***

***Nos remerciements s'adressent également à surtout Mme BELGACEM WAHIBA et YUCEF BENABDELLAH de nous avoir accueillis dans agence spatial algérienne et de nous aider.***

***À la fin, on tient à remercier toutes les personnes qui nous ont soutenues, aidées et encouragées pendant la préparation de ce mémoire : nous pensons notamment à nos parents, à nos sœurs et frères, à nos familles, à toutes nos copines et à tous nos collègues.***

***Enfin, un merci tout spécial à toute personne ayant contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de travail de ce projet.***

## Liste des abréviations

<b>CNN</b>	Convolutional Neural Networks.
<b>UML</b>	Unified Modeling Language.
<b>MLD</b>	Master logic Diagram.
<b>Colab</b>	Collaboratory.
<b>IA</b>	Intelligence Artificielle.
<b>SVM</b>	Support Vector Machine.
<b>BD</b>	Base de Données.
<b>MNT</b>	Modèles Numériques de Terrain.
<b>RSO</b>	Radar à Synthèse d'Ouverture.
<b>Lidar</b>	Light Detection and Ranging.
<b>SIG</b>	Systèmes d'information géographique.
<b>SMI</b>	Indice humidité du Sol.
<b>UAV</b>	véhicule aérien sans pilote.
<b>SSI</b>	Indice salinité du sol.
<b>CONV</b>	Couche de convolution.
<b>LOSS</b>	Couches de perte.
<b>FC</b>	Couches entièrement connectée.
<b>RELU</b>	Couches de correction(Unités Rectifié linéaires).
<b>POOL</b>	Couche de pooling.
<b>TRK</b>	TensorFlow Keras.
<b>TPU</b>	Traitement de tenseur.
<b>SQL</b>	Sigle de Structured Query Language.
<b>Html</b>	HyperText Markup Language
<b>CSS</b>	Cascading Style Sheets.
<b>ESA</b>	European Sociological Association.
<b>Covid19</b>	Coronavirus Disease of 2019.
<b>AUV</b>	véhicules sous-marins autonomes.
<b>QP</b>	programmation quadratique.
<b>MNT</b>	modèles numériques de terrain précis.
<b>RSO</b>	Radar à Synthèse d'Ouverture.

# Table de Matières

## LISTE DES ABREVIATIONS

## TABLE DE MATIERES

## TABLE DES FIGURES

## TABLE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<b>I GENERALITE SUR LA POLLUTION MARINE .....</b>	<b>3</b>
I.1. INTRODUCTION .....	3
I.2. PROBLEMATIQUE DE LA POLLUTION MARINE .....	5
I.3. METHODES DE DETECTION DE LA POLLUTION MARINE .....	7
I.4. CONCLUSION.....	9
<b>II RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>11</b>
II.1. DETECTION DE LA POLLUTION EN GENERALE .....	11
II.2. ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE CHIMIQUE .....	11
II.3. CAPTEURS DE SURVEILLANCE EN TEMPS REEL .....	11
II.4. IMAGERIE SATELLITAIRE .....	12
II.5. MODELISATION ET SIMULATION .....	12
II.6. RESEAUX DE SURVEILLANCE.....	13
II.7. DETECTION DE LA POLLUTION MARINE PAR DRONES.....	13
<b>II.7.1. Drones et Pollution.....</b>	<b>15</b>
<b>II.7.2. Télédétection par Drones.....</b>	<b>17</b>
<b>II.7.3. Le principe de fonctionnement.....</b>	<b>17</b>
<b>II.7.4. Le traitement des images de drones.....</b>	<b>19</b>
II.8. ACQUISITION DES IMAGES .....	19
<b>II.8.1. Prétraitement.....</b>	<b>19</b>
II.9. LES AVANTAGES DE L'IMAGERIE DE DRONES .....	21
II.10. AVANTAGES DES DRONES DANS LA DETECTION DE LA POLLUTION .....	22
II.11. LES DEFIS ASSOCIES AUX DRONES.....	23
II.12. UTILISATION DE MACHINE LEARNING DANS LA DETECTION DE LA POLLUTION.....	24
II.12. CONCLUSION .....	24
<b>III APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE.....</b>	<b>26</b>
III.1 INTRODUCTION .....	26
III.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	26
III.3 LES TECHNIQUES D'APPRENTISSAGE.....	27
<b>III.3.1. Réseaux de neurones .....</b>	<b>27</b>
<b>III.3.2. Forêts d'arbres décisionnels .....</b>	<b>30</b>
<b>III.3.3. Machines à vecteurs de support.....</b>	<b>31</b>
<b>III.3.4. Algorithmes de clustering.....</b>	<b>34</b>
<b>IV SOLUTION TECHNIQUE DE LA TELEDETECTION DE LA POLLUTION.....</b>	<b>41</b>
<b>MARINE PAR DRONE .....</b>	<b>41</b>
IV.1 LA SOLUTION PROPOSEE.....	41
IV.2 COLLECTE DES IMAGES POUR L'ELABORATION DU MODELE .....	42
IV.3 LE MODELE D'APPRENTISSAGE DE LA POLLUTION.....	44

IV.4	LA METHODE DE CONCEPTION .....	47
IV.5	ÉTAPES DE DEVELOPPMENT DE L'APPLICATION .....	47
IV.5.1.	<i>Besoins Utilisateurs</i> .....	47
IV.5.2.	<i>Besoins Clients</i> .....	49
IV.6	DEVELOPPEMENT.....	49
IV.6.1.	<i>Analyse des besoins</i> .....	49
IV.6.2.	<i>Conception de la base de données</i> .....	50
IV.6.3.	<i>Les Modelés UML</i> .....	51
IV.6.4.	<i>Configuration de l'environnement Google Colab</i> .....	53
IV.6.5.	<i>Développement de la logique de l'application</i> .....	54
IV.6.6.	<i>Tests et débogage</i> : .....	57
IV.6.7.	<i>Environnement de développement</i> .....	58
IV.7	DISCUSSION DES AVANTAGES ET DES LIMITATIONS .....	59
<b>V</b>	<b>BUSINESS MODEL CANEVAS</b> .....	<b>60</b>
<b>VI</b>	<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>68</b>
VI.1	CONCLUSION GENERALE.....	68
<b>REFERENCES</b>	.....	<b>70</b>
<b>RESUME</b> .....		<b>79</b>

## Table Des Figures

Figure 1:Le vent tourne pour la pollution plastique de l'océan. ....	4
Figure 2 : les effets de la pollution marine sur les animaux.....	6
Figure 3 : Système de communication de drone et satellite. ....	7
Figure 4 : Détection de la pollution marine par drones.....	14
Figure 5: les composants d'un drone de télédétection. ....	14
Figure 6:Une flotte de drones pour lutter contre la pollution plastique dans les océans .....	15
Figure 7 : Le traitement des images de drones. ....	20
Figure 8 : Exemple sur la méthode de traitement des images par drone. ....	21
Figure 9 : Le drone autonome qui révolutionne la surveillance.....	21
Figure 10 : Méthode de détection de la pollution marine. ....	22
Figure 11 : Surveillance des écosystèmes marins par drone.....	23
Figure 12 : Phantom 4 Pro avec caméra RGB intégrée de 20 mégapixels (Kyriacos Thémistocleus). .....	24
Figure 13 : Structure d'un réseau de neurone biologique et le cerveau humain. ....	27
Figure 14 : Étude de l'utilisation de réseaux de neurones artificiels pour des calculs de haute performance dédiés. ....	28
Figure 15 : Méthode des Forêts Aléatoires (Random forest). ....	31
Figure 16 : Schéma bloc de SVM.....	33
Figure 17 : Exemple sur la méthode de classification avec SVM. ....	34
Figure 18 : Les types des Algorithmes de clustering.....	34
Figure 19 : Les k-means de clusters algorithmes. ....	35
Figure 20: K-means comprendre la méthode de partitionnement de données. ....	35
Figure 21 : La méthode d'analyse dans l'algorithme cluster. ....	36
Figure 22 : Schéma bloc de l'algorithme clustering. ....	36
Figure 23 : Algorithmes de clustering hiérarchique. ....	37
Figure 24 : la méthode d'apprentissage automatique de clustering. ....	38
Figure 25 : Modèle de réseau neuronal convolutionnel (CNN) adopté proposer.....	41
Figure 26 : La méthode de résolution CNN pour la classification des images. ....	41
Figure 27 :Régions côtières.....	43
Figure 28 : Zones océanique. ....	43
Figure 29 : simulation de programme colab.....	46
Figure 30 : la variation de modèle de accuracy dans Google colab. ....	46
Figure 31 : Diagramme de cas d'utilisation .....	52
Figure 32 : diagrammes de classe.....	52
Figure 33 : Le diagramme de séquence pour notre application.....	53
Figure 34 : les langages de programmations utilisés dans le développement de l'application web. ....	54
Figure 35 : la collecte des données captées par drone. ....	55
Figure 36 : Interface de Connexion. ....	55
Figure 37 : Interface de Téléchargement d'une image.....	56
Figure 38 : Interface pour sélectionner une image ET de la télécharger. ....	56
Figure 39 : Résultat de test.....	57
Figure 40 : Images test réel de pollution marine port de ghazaouet.....	57
Figure 41 : L'environnement de travail Google Colab. ....	59

## **Table Des Tableaux**

Tableau 1 Table récapitulatif des images .....	42
Tableau 2 : Besoins fonctionnels et non fonctionnels du système. ....	50

## **Introduction générale**

L'environnement marin est une ressource vitale pour notre planète, abritant une diversité incroyable de formes de vie et jouant un rôle crucial dans la régulation du climat mondial. Cependant, il est confronté à de graves défis, notamment la pollution marine, qui met en péril la santé des océans et de ses écosystèmes. La pollution marine, qu'elle soit d'origine anthropique ou naturelle, a des conséquences dévastatrices sur la biodiversité marine, la qualité de l'eau et la vie humaine.

Pour surveiller et comprendre l'ampleur de la pollution marine, les scientifiques et les chercheurs ont développé des outils de télédétection avancés, notamment l'utilisation de drones et de satellites. Ces technologies permettent de recueillir des données cruciales sur l'état des océans et de détecter les zones affectées par la pollution. Cependant, le traitement de ces données massives nécessite des méthodes sophistiquées, c'est là que l'apprentissage automatique entre en jeu.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une généralité sur la pollution marine, en mettant l'accent sur les différentes méthodes de classifications (réseaux de neurones). Par la suite, nous avons expliqué le principe de fonctionnement des algorithmes utilisés dans la classification des images, le traitement des images par satellite et drone, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces applications.

Le deuxième chapitre est consacré à une présentation des différents travaux de la littérature dans ce contexte. Nous avons étudié les méthodes et les techniques de télédétection par drone.

Le troisième chapitre offre une vue d'ensemble des concepts clés de l'apprentissage automatique et de ses diverses méthodes.

Le Quatrième chapitre est consacré au développement d'une application web de télédétection de la pollution marine. Nous avons présenté la méthodologie de conception, et les résultats de simulations obtenues avec Google colab sont très encourageants en termes de classification, traitement, étude de probabilité d'erreur. Enfin, une conclusion.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur la pollution Marine**

## **I Généralité sur la pollution Marine**

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

La pollution marine est devenue l'une des plus grandes menaces environnementales mondiales du XXI<sup>e</sup> siècle. Les écosystèmes marins, essentiels à la vie sur Terre, sont de plus en plus soumis à une variété de polluants, mettant en danger la biodiversité, la santé humaine et l'économie mondiale. La détection précoce et la gestion efficace de la pollution marine sont devenues des préoccupations cruciales, nécessitant le développement de méthodes de détection sophistiquées et innovantes. Dans cette discussion, nous explorerons la problématique de la pollution marine et les méthodes actuelles de détection.

La pollution de l'environnement est un problème majeur qui affecte notre planète et notre santé. Les émissions de gaz à effet de serre, les déchets toxiques et les polluants atmosphériques ont des effets négatifs sur l'air, l'eau, le sol et les écosystèmes, ainsi que sur la santé humaine. Pour lutter contre la pollution, il est essentiel de surveiller et de détecter les niveaux de pollution dans l'environnement. Les méthodes traditionnelles de surveillance de la pollution, telles que les relevés manuels et les capteurs fixes, peuvent être coûteuses, laborieuses et ne fournissent pas toujours une couverture complète [1].

Les techniques d'apprentissage automatique peuvent jouer un rôle important dans la télédétection de la pollution marine. L'apprentissage automatique est une branche de l'intelligence artificielle qui utilise des algorithmes pour apprendre à partir de données et effectuer des tâches sans être explicitement programmé [2]. Les techniques d'apprentissage automatique peuvent être appliquées à la détection de la pollution en utilisant des données environnementales telles que les données météorologiques, les émissions de polluants et les données de qualité de l'air [3].

En utilisant des techniques d'apprentissage automatique pour créer des modèles prédictifs pour la détection de la pollution. Ces modèles peuvent être formés à partir de données historiques pour prédire les niveaux de pollution futurs [4]. Les techniques d'apprentissage automatique peuvent également être utilisées pour la détection en temps réel de la pollution, en analysant les données en temps réel provenant de capteurs et d'autres sources [5].

La détection de la pollution par des techniques d'apprentissage automatique est une approche prometteuse pour surveiller et prévenir la pollution de l'environnement [8]. Les progrès continus dans les techniques d'apprentissage automatique et la collecte de données environnementales devraient permettre de réaliser des avancées significatives dans ce domaine crucial pour notre planète et notre santé.

La pollution marine est un problème majeur qui affecte les océans et les mers du monde entier [9]. Elle est causée par une variété de sources, notamment les déversements de pétrole, les rejets industriels, les déchets plastiques et les produits chimiques toxiques [10]. La pollution marine a des conséquences graves sur les écosystèmes marins, la santé des animaux marins et la santé humaine [11].



**Figure 1:Le vent tourne pour la pollution plastique de l'océan.**

Les techniques d'apprentissage automatique peuvent aider à surveiller et à détecter la pollution marine en utilisant des données environnementales telles que les données satellites, les relevés océanographiques, les relevés des pêcheurs et les images aériennes [12]. Les données collectées peuvent être utilisées pour créer des modèles prédictifs qui peuvent aider à prédire les zones où la pollution est la plus probable de se produire, ainsi que les zones où elle a déjà eu lieu [13].

L'un des principaux défis de la détection de la pollution marine est la complexité de l'environnement marin. Les océans sont vastes et complexes, avec de nombreux facteurs environnementaux qui peuvent affecter la propagation des polluants, tels que les courants, les vents et les marées. Les techniques d'apprentissage automatique peuvent aider à résoudre ce problème en utilisant des modèles qui prennent en compte les facteurs environnementaux pour prédire la propagation de la pollution marine [14].

Un autre défi important est la nécessité de collecter des données précises et complètes. Les données doivent être collectées à partir de multiples sources, y compris les satellites, les capteurs et les relevés océanographiques, pour fournir une image complète de l'environnement marin. Les données doivent également être traitées de manière à fournir des informations exploitables pour la détection de la pollution marine [15].

## **I.2. Problématique de la Pollution Marine**

La pollution marine se réfère à la présence de contaminants d'origine humaine dans les océans, les mers, les rivières et autres étendues d'eau. Elle résulte de diverses activités humaines, telles que le déversement de déchets industriels, le rejet de substances chimiques toxiques, les débris plastiques, les marées noires, la surpêche, et bien d'autres facteurs. Cette pollution entraîne des conséquences graves pour l'environnement marin et ses habitants, notamment :

**Menace pour la Biodiversité** : Les contaminants chimiques peuvent endommager les écosystèmes marins, entraînant la mortalité d'organismes marins et la perturbation des chaînes alimentaires.

**Risques pour la Santé Humaine** : Les polluants marins peuvent contaminer les poissons et les fruits de mer que nous consommons, ce qui présente un risque pour la santé humaine.

**Impact Économique** : La pollution marine peut entraîner des pertes économiques importantes pour les industries de la pêche, du tourisme et de la navigation, affectant les moyens de subsistance de nombreuses communautés côtières.

La complexité de la pollution marine réside dans la diversité des sources potentielles de contaminants, des déchets plastiques flottants aux marées noires dévastatrices. Par conséquent, la détection et la gestion efficaces de ces polluants nécessitent une approche multidisciplinaire et l'utilisation de technologies avancées.



**Figure 2 : les effets de la pollution marine sur les animaux.**

La surveillance des pollutions est devenue très importante dans chaque pays dans le monde et a un impact surtout sur la santé publique, sur les environnements naturels et sur l'économie de pays. Malheureusement, ça reste pour l'instant très difficile à réaliser en l'Algérie pour raison de manque de moyens, les données fournies par des satellites sur la pollution atmosphérique sont d'un apport considérable, mais c'est vraiment coûteux, Il y a toujours du retard dans la détection de la pollution et impossibilité de détecter la source de pollution marine ,Le déploiement d'un drone pourrait être considéré comme une alternative très peu coûteuse, efficace et notamment à moindre risque il est apporté une nouvelle mesure de surveillance qui démontre et complète d'observations satellitaires[18],

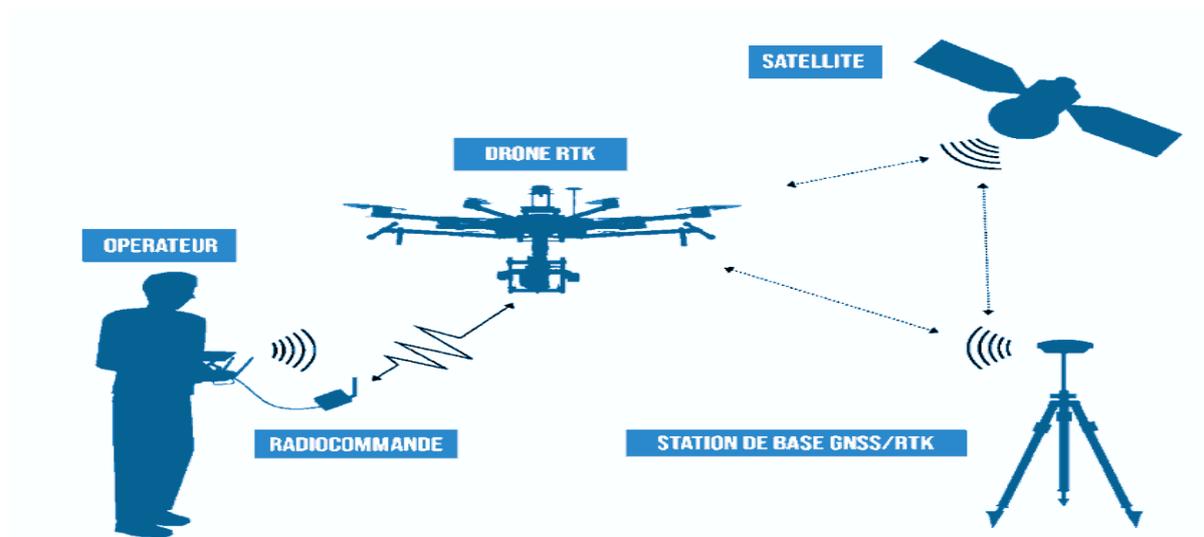


Figure 3 : Système de communication de drone et satellite.

L'intégration des sources de données des drones peut relever un défi majeur dans l'observation des milieux naturels et résoudre tous les problèmes de télédétection en Algérie et par conséquent, cela à un impact direct sur l'économie de pays par la réduction de taxe de carbone [19].

La croissance de la pollution marine présenté sous plusieurs formes : pollution des mers par le pétrole, les produits chimiques, les déchets nucléaires et l'effet de la société industrielle urbaine n'a cessé de croître et de causer des dommages de plus en plus graves aux ressources vivantes et à l'écologie du milieu marin et aux côtes des États côtiers [20]. Le contrôle, la réduction et l'élimination de la pollution marine sont devenus l'un des enjeux majeurs du droit de la mer contemporain et se sont avérés être une tâche complexe, nécessitant la création d'un nouveau corpus de droit international en pleine expansion. Ce processus, bien qu'à certains égards encore incomplets, a atteint son stade potentiellement le plus important de codification et de développement [21].

### I.3. Méthodes de Détection de la Pollution Marine

La détection de la pollution marine a connu des avancées significatives grâce aux progrès technologiques. Les méthodes de détection se sont diversifiées pour répondre à la variété des polluants et des scénarios de pollution. Voici quelques-unes des principales méthodes utilisées pour détecter la pollution marine :

**Surveillance Visuelle** : L'observation visuelle par des équipes de terrain reste une méthode fondamentale pour repérer les déchets plastiques flottants, les marées noires et d'autres pollutions visibles.

**Capteurs Chimiques** : Des capteurs chimiques spécifiques peuvent être déployés pour détecter des contaminants tels que les hydrocarbures, les métaux lourds et les produits chimiques toxiques.

**Téledétection par Satellite** : Les images satellitaires permettent de surveiller de vastes zones océaniques pour détecter les zones de déversement d'hydrocarbures ou de changements dans la qualité de l'eau.

**Drones** : Les drones équipés de capteurs peuvent survoler les zones côtières pour collecter des données précises sur la pollution marine et les débris plastiques.

**Systemes d'Alerte Précoce** : Des systèmes d'alerte précoce basés sur des modèles informatiques et des données en temps réel peuvent être utilisés pour prévoir et détecter les marées noires potentielles.

**Échantillonnage Sous-marin** : Des véhicules sous-marins autonomes (AUV) peuvent être déployés pour collecter des échantillons d'eau, de sédiments et de faune pour analyse en laboratoire.

**Analyse de l'ADN Environnemental** : Le méta génomique environnemental permet de détecter la présence de contaminants et de surveiller la biodiversité marine à partir de l'ADN présent dans l'eau.

Ces méthodes ne sont pas exclusives et peuvent être combinées pour fournir une image complète de la pollution marine. De plus, l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique sont de plus en plus utilisés pour analyser les données collectées et détecter automatiquement des anomalies ou des signes de pollution.

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

La pollution marine est une menace grave pour les écosystèmes marins et la santé humaine. La détection précoce et la gestion efficace de cette pollution sont essentielles pour protéger nos océans. Les avancées technologiques, telles que l'utilisation de drones, de capteurs avancés et d'algorithmes d'apprentissage, jouent un rôle de plus en plus important dans cette lutte. Cependant, il reste beaucoup de travail à faire pour développer des méthodes de détection toujours plus sophistiquées, pour sensibiliser davantage à cette problématique et pour promouvoir des pratiques durables qui réduiront à terme la pollution marine à sa source. La préservation de nos océans dépend de notre capacité à comprendre, à surveiller et à lutter contre cette pollution, et la technologie joue un rôle vital dans cette mission.

## **Chapitre II**

### **Recherche Bibliographique**

## **II Recherche Bibliographique**

### **II.1. Détection de la pollution en générale**

La détection de la pollution est un processus crucial pour comprendre l'impact de la pollution sur la santé humaine, les écosystèmes et l'environnement dans son ensemble. Elle permet de repérer les sources de pollution et de mesurer les niveaux de contaminants présents dans l'air, l'eau et le sol. Cela aide les scientifiques, les décideurs politiques et les gestionnaires de l'environnement à évaluer les risques pour la santé, à prendre des mesures de prévention et de contrôle, et à élaborer des politiques environnementales efficaces [70]. Les techniques suivantes sont actuellement utilisées pour la détection de la pollution marine :

### **II.2. Échantillonnage et analyse chimique**

Ils sont des méthodes utilisées dans la détection de la pollution. L'échantillonnage consiste à collecter des échantillons d'air, d'eau, de sol ou d'autres matrices environnementales, tandis que l'analyse chimique permet de déterminer la présence et les concentrations de polluants. Ces méthodes offrent une mesure précise des polluants, permettant d'évaluer leur impact sur la santé humaine et les écosystèmes, d'identifier les sources de pollution et de prendre des mesures appropriées de prévention et de contrôle. Cependant, elles nécessitent des compétences techniques et des équipements spécialisés, et sont limitées en termes de couverture spatiale et temporelle. Malgré cela, elles restent essentielles pour obtenir des données fiables sur les concentrations de polluants [71].

### **II.3. Capteurs de surveillance en temps réel**

Les capteurs de surveillance en temps réel sont des dispositifs spéciaux utilisés pour mesurer les niveaux de polluants de manière continue et instantanée. Ces capteurs peuvent être fixes, installés dans des stations de surveillance de la qualité de l'air, de l'eau ou du sol, ou portables, permettant ainsi une surveillance sur le terrain. Ces capteurs sont conçus pour détecter et mesurer divers polluants tels que les particules fines, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils, les métaux lourds. Ils utilisent différentes technologies de détection, telles que la spectroscopie, la chromatographie, les capteurs électrochimiques, les capteurs optiques, etc. L'avantage des capteurs de surveillance en temps réel est qu'ils fournissent des données en temps réel, permettant ainsi de détecter rapidement les variations des niveaux de Pollution. Cela permet une réponse rapide en cas de dépassement des seuils de pollution ou de détection d'événements inhabituels. De plus, ces capteurs peuvent être intégrés à des réseaux de surveillance, permettant une collecte continue de données sur de

vastes zones géographiques. Les capteurs de surveillance en temps réel peuvent présenter certaines limites, notamment en termes de sensibilité et de spécificité des mesures. Certains capteurs peuvent également nécessiter un étalonnage régulier et une maintenance appropriée pour garantir la précision des données.

### **II.4. Imagerie satellitaire**

Ils ont une technique de détection de la pollution qui utilise des satellites en orbite pour capturer des images de la Terre. Ces satellites sont équipés de capteurs d'imagerie spéciaux qui enregistrent les différentes longueurs d'onde de la lumière réfléchie ou émise par la surface terrestre. L'imagerie satellitaire permet de visualiser et de cartographier les zones polluées, ce qui permet de détecter les changements dans l'environnement, tels que la pollution de l'eau, de l'air, du sol, ou encore la déforestation. Les images obtenues sont ensuite traitées et analysées pour identifier les sources et les niveaux de pollution, ainsi que pour suivre l'évolution de la situation dans le temps. Les avantages de l'imagerie satellitaire dans la détection de la pollution sont nombreux. Tout d'abord, elle permet de couvrir de vastes zones géographiques, y compris les régions éloignées ou difficiles d'accès, ce qui est souvent difficile avec d'autres méthodes de surveillance. De plus, les images satellitaires offrent une vue d'ensemble et une perspective globale, ce qui permet de mieux comprendre les schémas et les tendances de la pollution à l'échelle régionale ou mondiale.

L'imagerie satellitaire peut également fournir des informations précieuses pour la prise de décisions et la planification des mesures de lutte contre la pollution. Les images permettent d'identifier les zones à risque élevé, de prioriser les actions de prévention et de contrôle, ainsi que de surveiller l'efficacité des mesures mises en place.

En conclusion, l'imagerie satellitaire est une technique précieuse pour la détection de la pollution, offrant une vue d'ensemble, une couverture étendue et des données historiques. Elle complète les autres méthodes de surveillance de la pollution et contribue à une meilleure compréhension de l'impact environnemental de la pollution [73].

### **II.5. Modélisation et simulation**

Ils ont des outils essentiels dans la détection de la pollution. Elles consistent à utiliser des modèles informatiques pour simuler la dispersion des polluants dans l'air, l'eau ou le sol. Ces modèles prennent en compte divers facteurs tels que les conditions météorologiques, les caractéristiques du terrain, les sources de pollution et les réactions chimiques des polluants. La modélisation permet de prédire la propagation des polluants à partir de différentes sources, de simuler les concentrations de polluants dans l'environnement et d'évaluer leur impact sur la

qualité de l'air, de l'eau ou du sol. Elle peut également aider à identifier les zones à risque élevé de pollution et à évaluer l'efficacité de mesures de réduction de la pollution. Les modèles et simulations peuvent contribuer à la prise de décisions éclairées en matière de gestion de la pollution, en permettant de tester différentes stratégies d'intervention et d'évaluer leur efficacité avant leur mise en œuvre dans le monde réel. Il convient de noter que la modélisation et la simulation sont des outils complémentaires aux autres méthodes de détection de la pollution, telles que les mesures sur le terrain et les réseaux de surveillance. En combinant ces différentes approches, il est possible d'obtenir une compréhension plus complète de la pollution et de prendre des mesures appropriées pour la réduire [74].

### **II.6. Réseaux de surveillance**

Ils ont un outil important dans la détection de la pollution, car ils permettent de collecter des données sur les niveaux de polluants dans différents endroits. Ces réseaux peuvent être composés de stations de surveillance fixes, qui mesurent en continu les niveaux de polluants tels que les particules fines, les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre ou le monoxyde de carbone. Les données collectées sont ensuite analysées pour évaluer la qualité de l'air, de l'eau ou du sol et pour identifier les tendances et les sources de pollution. Les réseaux de surveillance peuvent également aider à surveiller les effets des mesures prises pour réduire la pollution, telles que les restrictions de circulation ou les normes d'émission plus strictes pour les véhicules et les usines.

Cependant, les réseaux de surveillance ont également des limites, car ils ne peuvent pas mesurer tous les types de polluants, et il peut y avoir des zones où la pollution n'est pas surveillée. De plus, les données collectées peuvent ne pas être représentatives de l'exposition réelle de la population à la pollution, car les niveaux de polluants peuvent varier considérablement d'un endroit à l'autre [75].

### **II.7. Détection de la pollution marine par drones**

Effectivement, la détection de la pollution marine par drones est une méthode prometteuse pour surveiller les zones côtières et détecter les polluants dans les océans. Les drones marins ou aériens sont équipés de capteurs spécialisés qui leur permettent de collecter des données environnementales et de détecter les polluants présents dans l'eau.

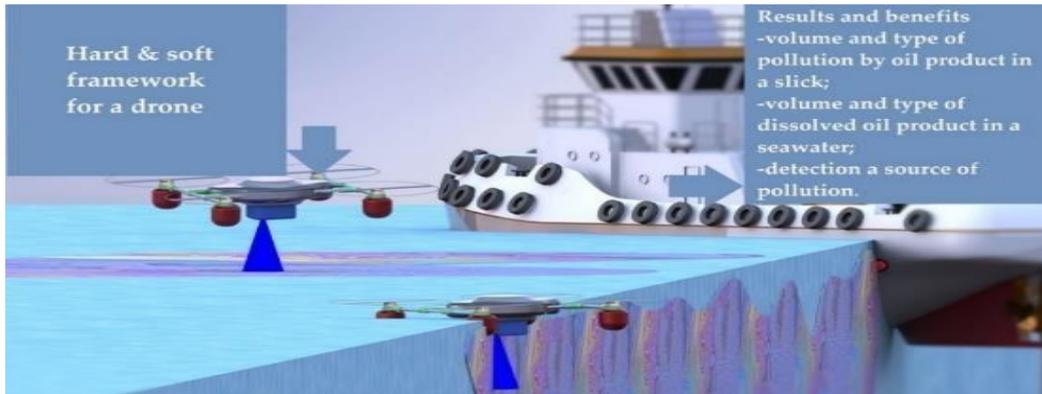


Figure 4 : Détection de la pollution marine par drones.

Ces drones peuvent être équipés de capteurs de qualité de l'eau, tels que des capteurs de turbidité, de salinité, de température, de pH, de niveau d'oxygène dissous. Ces capteurs permettent de mesurer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, qui sont des indicateurs importants de la pollution [76]. De plus, les drones peuvent également être équipés de capteurs optiques, tels que des caméras multi-spectrales ou hyper-spectrales [77], qui permettent de détecter visuellement les polluants présents dans l'eau. Ces capteurs optiques peuvent détecter les nappes d'hydrocarbures, les déversements de substances chimiques, les déchets flottants [78].

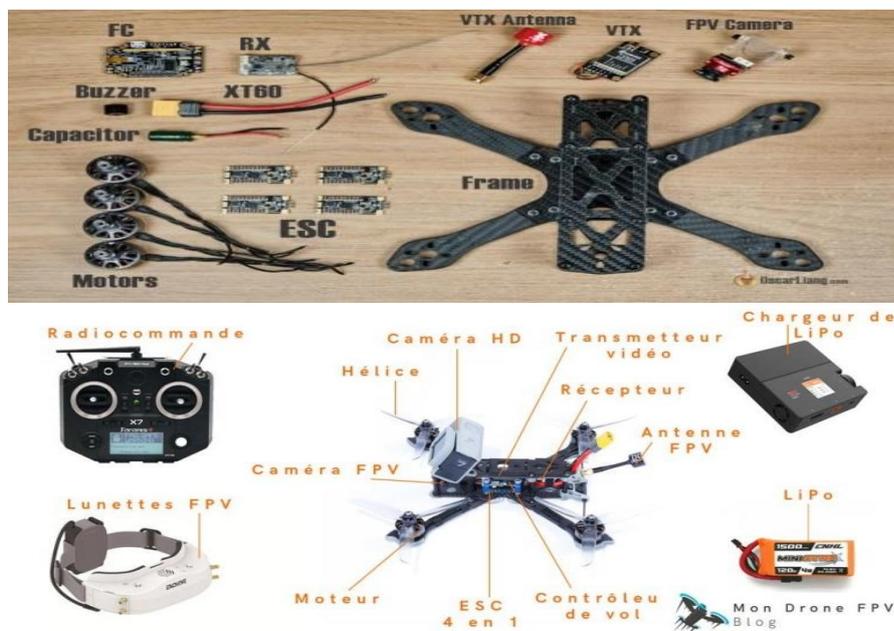


Figure 5: les composants d'un drone de télédétection.

L'avantage des drones dans la détection de la pollution marine réside dans leur capacité à couvrir de vastes zones et à accéder à des endroits difficiles d'accès pour les humains, tels que les zones éloignées, les zones à haute mer ou les zones dangereuses. De plus, les drones peuvent collecter des données en temps réel, ce qui permet une détection rapide des polluants et une intervention immédiate pour limiter les dommages environnementaux [77].



Figure 6: Une flotte de drones pour lutter contre la pollution plastique dans les océans

L'utilisation des drones pour la détection de la pollution marine présente également des défis émergents, tels que la gestion de l'autonomie des drones, la précision des capteurs et la coordination des opérations de surveillance. Ces défis font l'objet de recherches continues pour améliorer l'efficacité et la précision de cette méthode de détection [78].

### II.7.1. Drones et Pollution

Les drones peuvent être équipés de capteurs qui mesurent divers paramètres de l'eau, fournissant ainsi des indications sur la qualité de l'eau et la présence éventuelle de polluants. Voici quelques exemples de paramètres mesurés par les capteurs des drones [79] :

- Turbidité : la turbidité mesure la quantité de matières en suspension dans l'eau. Une augmentation de la turbidité peut indiquer la présence de sédiments, d'algues ou d'autres particules résultant de la pollution [80].
- Température : la température de l'eau peut être influencée par les rejets de substances chaudes provenant de sources industrielles ou par d'autres activités humaines.

- Salinité : la salinité mesure la concentration de sel dans l'eau. Des variations anormales de la salinité peuvent être causées par des rejets de substances salines, notamment dans les zones côtières [81].
- Niveau d'oxygène dissous : le niveau d'oxygène dissous est un indicateur important de la santé de l'écosystème aquatique. Des niveaux d'oxygène dissous bas peuvent résulter de la pollution organique ou chimique [82]. En surveillant ces paramètres, les drones peuvent détecter des changements anormaux dans les caractéristiques de l'eau, ce qui peut indiquer la présence de polluants tels que les hydrocarbures, les métaux lourds ou les produits chimiques toxiques. Cette surveillance régulière et en temps réel permet une détection précoce de la pollution marine, facilitant ainsi la mise en place de mesures de prévention et de contrôle appropriées [83].

Les drones peuvent être équipés de caméras et de capteurs optiques pour repérer visuellement les déversements d'hydrocarbures, les nappes de pollution et les déchets flottants à la surface de l'eau. Ces capteurs optiques peuvent être des caméras multi-spectrales, hyper-spectrales ou même des capteurs infrarouges. En utilisant ces capteurs, les drones peuvent détecter visuellement les anomalies telles que les taches d'huile, les irisations à la surface de l'eau ou les accumulations de déchets flottants. Ces signes visuels peuvent indiquer la présence de polluants et permettre une détection précoce des incidents de pollution. La capacité des drones à survoler les zones marines et à se déplacer facilement au-dessus de l'eau leur permet de couvrir de vastes zones rapidement et efficacement. Ils peuvent effectuer des survols réguliers pour repérer les zones potentiellement contaminées et signaler les incidents de pollution aux autorités compétentes. La détection précoce des incidents de pollution grâce aux drones permet une intervention rapide pour limiter les dommages environnementaux. Les informations visuelles recueillies par les drones peuvent être utilisées pour évaluer l'ampleur de la pollution, orienter les efforts de nettoyage et engager des actions appropriées pour prévenir une propagation plus importante de la pollution. Cependant, il est important de noter que l'interprétation des images et des données visuelles collectées par les drones nécessite une expertise pour distinguer les polluants des autres éléments présents à la surface de l'eau. Il est également essentiel de coordonner les observations des drones avec d'autres méthodes de surveillance et de confirmation pour garantir la fiabilité des résultats. [84]. Effectivement, l'utilisation de drones dans la détection de la pollution marine présente de nombreux avantages.

### II.7.2. Télédétection par Drones

La télédétection par drones, également connue sous le nom de télédétection aérienne ou télévision à distance, est une approche technologique novatrice qui combine les capacités des drones avec les principes de la télédétection pour collecter des données à distance à partir de la surface terrestre et d'autres objets. Ce domaine émergent a révolutionné la manière dont nous percevons et interagissons avec notre environnement, offrant des avantages considérables dans divers domaines, de l'agriculture à la cartographie, en passant par la gestion des catastrophes et la conservation de l'environnement [68]. En somme, la télédétection par drones offre un moyen innovant et efficace d'acquérir des informations pertinentes sur notre environnement à différentes échelles spatiales et temporelles. Son potentiel pour améliorer la prise de décisions éclairées et soutenir une variété d'industries en fait une discipline en pleine expansion, avec des implications significatives pour la façon dont nous observons, comprenons et gérons notre monde [69].

### II.7.3. Le principe de fonctionnement

La télédétection par drones implique l'utilisation de différentes méthodes et technologies pour collecter, traiter et interpréter les données à distance à partir de la surface terrestre. Voici le principe de la télédétection par drones avec quelques méthodes couramment utilisées :

- **Photographie aérienne et Imagerie Visuelle**
  - Méthode : Les drones sont équipés de caméras haute résolution qui capturent des images de la surface terrestre.
  - Principe : Les images fournissent des informations visuelles détaillées sur les caractéristiques de la zone d'intérêt. L'analyse des images peut aider à cartographier les contours, à suivre les changements de paysage et à identifier les éléments tels que les bâtiments, les routes, les cultures, etc.
- **Imagerie Multi-spectrale**
  - Méthode : Les drones utilisent des capteurs qui mesurent la réflectance de différentes longueurs d'onde de lumière.
  - Principe : En mesurant la réflectance dans différentes bandes spectrales, on peut obtenir des informations sur la composition et la santé des végétaux, la qualité des sols, la détection des maladies des cultures, etc.

- **Lidar (Light Detection and Ranging)**
  - Méthode : Les drones émettent des impulsions laser et mesurent le temps nécessaire pour que les impulsions rebondissent sur la surface et reviennent au capteur.
  - Principe : Le lidar permet de créer des modèles numériques de terrain précis (MNT) et des nuages de points 3D, qui sont utilisés pour cartographier la topographie, modéliser des bâtiments en 3D et détecter des changements dans l'environnement.
- **Thermographie aérienne**
  - Méthode : Les drones utilisent des capteurs thermiques pour mesurer la température de la surface.
  - Principe : La thermographie permet de détecter les variations de température sur la surface terrestre, ce qui peut être utile pour la surveillance des feux de forêt, l'inspection des panneaux solaires, la détection de fuites thermiques dans les bâtiments, etc.
- **Spectroscopie Hyper-spectral**
  - Méthode : Les drones utilisent des capteurs hyper spectraux pour mesurer les réflectances sur de nombreuses bandes spectrales étroites.
  - Principe : Cette méthode permet d'obtenir des signatures spectrales uniques pour différents matériaux, ce qui peut être utilisé pour identifier des substances chimiques Spécifiques, la détection de polluants, la caractérisation des minéraux, etc.
- **Radar à Synthèse d'Ouverture (RSO) :**
  - Méthode : Les drones utilisent des systèmes radar pour émettre des ondes radio et mesurer les signaux réfléchis.
  - Principe : Le RSO permet d'obtenir des images radar à travers les nuages et même la Végétation, ce qui est utile pour la surveillance environnementale, la détection d'inondations et la cartographie en 3D.

Ces méthodes sont souvent combinées pour obtenir des informations complètes et précises sur la zone d'étude. Les données collectées sont ensuite traitées, analysées et interprétées pour répondre aux besoins spécifiques des différents domaines d'application.

### **II.7.4. Le traitement des images de drones**

Le traitement des images de drones fait référence aux étapes de manipulation, d'analyse et de transformation des images capturées par les drones afin d'extraire des informations utiles et pertinentes. Voici comment fonctionne généralement le processus de traitement des images de drones :

### **II.8. Acquisition des images**

Les drones sont équipés de caméras ou d'autres capteurs qui captent des images de la zone d'intérêt. Ces images peuvent être enregistrées à bord du drone ou transmises en temps réel vers une station au sol.

#### **II.8.1. Prétraitement**

- **Correction géométrique** : Les images peuvent être soumises à une correction pour éliminer les distorsions introduites par la position du drone et les variations de terrain. Cela permet d'obtenir des images géo référencées précises.
- **Correction radiométrique** : Les images peuvent subir une correction pour normaliser les variations de luminosité, d'exposition et de couleur. Cela garantit que les valeurs radiométriques reflètent fidèlement les propriétés de la surface terrestre.
- **Calibration** : Si des capteurs spécifiques sont utilisés, tels que des capteurs multi-spectraux, thermiques ou lidar, des étalonnages spécifiques sont effectués pour garantir que les valeurs mesurées correspondent aux caractéristiques réelles de la zone d'étude.
- **Ortho-rectification** : Cette étape consiste à projeter les images sur une surface plane (ortho-rectification) en prenant en compte l'altitude du drone, les déformations du terrain et l'inclinaison de l'appareil photo. Cela permet d'obtenir une image rectifiée géographiquement précise.
- **Filtrage et amélioration de la qualité** : Des filtres peuvent être appliqués pour éliminer le bruit, améliorer la netteté et augmenter la qualité visuelle des images.
- **Traitement spécifique au domaine** : Selon l'objectif spécifique de l'étude, des techniques de traitement d'image plus avancées peuvent être utilisées, telles que :

1. **Classification d'image** : Pour identifier et catégoriser des objets ou des zones dans l'image, comme la détection de cultures, de cours d'eau, de bâtiments, etc.
  - a. **Segmentation d'image** : Pour diviser l'image en régions homogènes en fonction de critères spécifiques.
  - b. **Analyse de changement** : Pour comparer des images prises à différents moments et détecter les changements dans la surface terrestre.
  - c. **Extraction de caractéristiques** : Pour identifier des caractéristiques spécifiques dans l'image, comme les bords, les coins, les textures, etc.
2. **Interprétation et analyse** : Les images traitées sont analysées et interprétées par des experts dans le domaine pour extraire des informations significatives et prendre des décisions éclairées.
3. **Visualisation et rapport** : Les résultats peuvent être présentés sous forme de cartes graphiques ou de rapports pour communiquer les informations obtenues.

Le traitement des images de drones combine des compétences en traitement d'image, en télédétection, en géomatique et dans le domaine d'application spécifique pour transformer les images brutes en informations exploitables et utiles pour la prise de décisions.

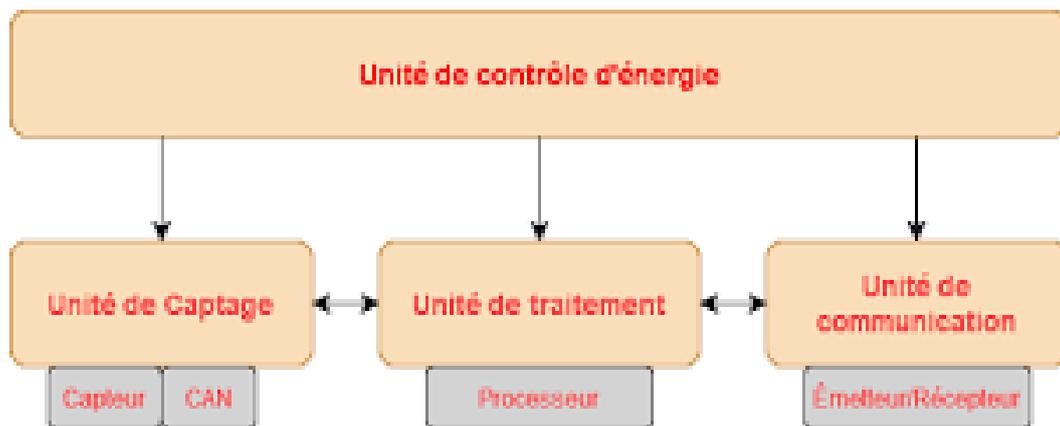


Figure 7 : Le traitement des images de drones.

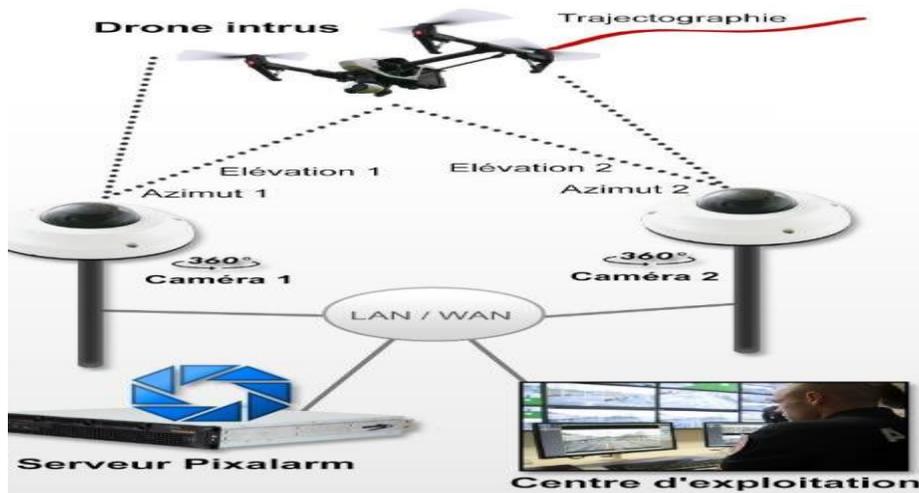


Figure 8 : Exemple sur la méthode de traitement des images par drone.

## II.9. Les avantages de l'imagerie de drones

L'imagerie des drones offre de nombreux avantages dans la surveillance de l'environnement et la détection de la pollution. Les drones peuvent couvrir de vastes zones géographiques, ce qui permet une surveillance à grande échelle. De plus, ils peuvent collecter des données de manière régulière et répétée, facilitant ainsi le suivi des changements dans le temps et la détection des tendances. Grâce à des techniques de traitement d'image avancées, il est possible d'extraire des informations précises sur la qualité de l'eau, la concentration de polluants, la santé des écosystèmes, et bien plus encore. [70]



Figure 9 : Le drone autonome qui révolutionne la surveillance.

Cependant, le succès de la télédétection par drones ne se limite pas seulement à la technologie. La réglementation, la sécurité des vols, la gestion des données et la formation des opérateurs sont autant de domaines critiques qui doivent être abordés pour garantir un déploiement efficace et responsable de cette technologie. De plus, l'intégration réussie des données collectées dans des systèmes d'information géographique (SIG) et d'autres outils d'analyse joue un rôle clé dans la prise de décisions éclairées.

En fin de compte, la télédétection par drones élargit notre capacité à explorer et à comprendre notre environnement, en fournissant des informations visuelles et quantitatives qui peuvent catalyser des améliorations significatives dans de nombreux domaines. En continuant à exploiter les avancées technologiques et en mettant l'accent sur la collaboration interdisciplinaire, la télédétection par drones continuera à façonner notre compréhension du monde qui nous entoure et à contribuer à un avenir plus durable et informé.

### II.10. Avantages des drones dans la détection de la pollution

Accès aux zones difficiles d'accès : Les drones peuvent survoler des zones éloignées, des zones à haute mer ou des zones dangereuses pour les humains, ce qui permet de collecter des données dans des endroits inaccessibles par d'autres moyens [85].

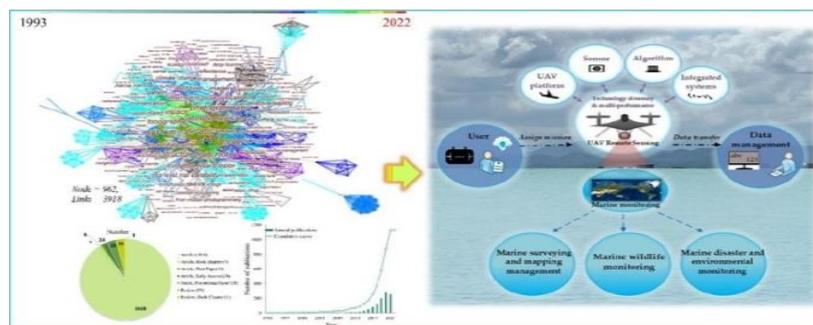


Figure 10 : Méthode de détection de la pollution marine.

Collecte de données en temps réel : Les drones sont capables de collecter des données en temps réel, ce qui permet une réponse rapide en cas de situation critique, comme un déversement de polluants. Cela facilite une intervention rapide pour limiter les dommages environnementaux [86].

Surveillance efficace et précise : Les drones peuvent couvrir de vastes zones rapidement et efficacement, ce qui permet une surveillance plus étendue des écosystèmes Marins. Leur capacité à collecter des données précises permet une évaluation plus précise de la pollution et de son impact sur l'environnement [87].



Figure 11 : Surveillance des écosystèmes marins par drone.

### II.11. Les défis associés aux drones

- **Développement de capteurs spécifiques**

Il est nécessaire de développer des capteurs adaptés à la détection des polluants marins, afin de garantir la fiabilité et la précision des données collectées par les drones [88].

- **Gestion de l'autonomie des drones**

Les drones ont une autonomie limitée, ce qui peut limiter la durée des missions de surveillance. Il est essentiel de gérer efficacement l'autonomie des drones pour assurer une couverture adéquate des zones surveillées [89].

- **Coordination avec d'autres systèmes de surveillance**

Il est important de coordonner les opérations des drones avec d'autres systèmes de Surveillance existants, tels que les stations de surveillance terrestres et les satellites, afin d'optimiser la collecte et l'analyse des données [90].

En conclusion, l'utilisation de drones pour la détection de la pollution marine offre de nouvelles perspectives dans la surveillance des écosystèmes marins et la protection de l'environnement. Cette approche permet une surveillance plus efficace et précise des zones côtières, ce qui contribue à une meilleure gestion des ressources marines et à la prévention des catastrophes environnementales [100].

### II.12. Utilisation de Machine Learning dans la détection de la pollution

Dans cette étude, les auteurs du papier [104] ont été soumis une très rude épreuve sur la cartographie des habitats est un descripteur essentiel pour le suivi et la gestion des écosystèmes naturels ou semi-naturels. L'habitat tient compte des conditions environnementales et de la diversité des espèces associées. L'expérimentation a été menée dans la Réserve Régionale des Zones Humides de Suger, une prairie humide de 174 hectares au-dessus de la baie du Mont-Saint-Michel. Ils ont utilisé deux sources de données satellitaires, Sentinel-2 et Pléiades, et trois périodes d'acquisition de (novembre 2017 à avril 2018) et le mois de mai 2018 ont été examinés. Une carte de référence de la distribution des communautés végétales a été construite à partir de données multi-temporelles provenant d'enquêtes UAV et végétales pour valider la décomposition des données satellitaires. Cette étude présente des résultats et des idées révolutionnaires. Les UAV peuvent améliorer l'identification de l'habitat, mais les résultats varient selon la période d'acquisition et l'habitat. Si ce résultat met en évidence le grand potentiel de combiner les données UAV et satellite, il démontre également l'impact des chaînes de transmission sur le processus de décomposition et les limitations techniques (telles que l'inadéquation spectrale entre les capteurs) qui peuvent être surmontées par l'augmentation de l'appariement de domaine.



Figure 12 : Phantom 4 Pro avec caméra RGB intégrée de 20 mégapixels (Kyriacos Thémistocleus).

### II.12. Conclusion

Les techniques de télédétection par drone facilitant des zones marine rentrante polluer, Les drones constitue des capteurs utilisés dans un drone de télédétection vont être sensibles à une des propriétés de la surface de la mer : la couleur ; la réflectance ; la température. Ce chapitre a mis l'accent sur les méthodes de télédétections des images de la pollution marine capte par satellite ou par un drone, Les défis associent aux drones pour assure une bonne qualité d'image en temps réel. Ils offrent également une résolution spatiale très élevée.

## **Chapitre III**

# **Apprentissage Automatique**

### III Apprentissage Automatique

#### III.1 Introduction

Les algorithmes d'apprentissage automatique sont au cœur de nombreuses applications modernes de l'intelligence artificielle. Ils permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données et de prendre des décisions ou de faire des prédictions sans être explicitement programmés. Dans ce chapitre, nous explorerons différents types d'algorithmes d'apprentissage automatique, en commençant par une introduction aux concepts fondamentaux.

L'apprentissage automatique est un ensemble de méthodes de traitement des données informatiques qui permet aux ordinateurs d'apprendre et d'améliorer leurs performances sans être explicitement programmés [20]. Cela se fait en utilisant des algorithmes et des modèles qui sont entraînés sur des ensembles de données pour apprendre à prédire ou à classer de nouvelles données.

#### III.2 Principe de fonctionnement

L'apprentissage automatique fonctionne en utilisant des algorithmes pour analyser des ensembles de données et identifier des modèles ou des tendances. Les algorithmes peuvent être supervisés ou non supervisés. Dans l'apprentissage supervisé, les modèles sont entraînés sur un ensemble de données étiquetées, où chaque exemple est étiqueté avec une réponse connue. Dans l'apprentissage non supervisé, les modèles sont entraînés sur un ensemble de données non étiquetées, où les modèles doivent identifier des structures ou des groupes dans les données [22].

L'apprentissage automatique offre des méthodes puissantes pour analyser les données et prendre des décisions prédictives. Les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés.

Dans nombreux domaines, notamment la finance, la santé, la sécurité, la reconnaissance d'image et la reconnaissance de la parole. Les techniques d'apprentissage automatique sont en constante évolution, et de nouvelles approches sont constamment développées pour résoudre des problèmes plus complexes et plus diversifiés [23].

### III.3 Les Techniques D'apprentissage

#### III.3.1. Réseaux de neurones

Les réseaux de neurones sont inspirés du fonctionnement du cerveau humain [24]. Un réseau de neurones est constitué d'un grand nombre de neurones interconnectés, organisés en couches [25].

Chaque couche est composée d'un ensemble de neurones qui traitent des informations en parallèle. Les neurones sont connectés par des poids synaptiques, qui déterminent l'importance de chaque connexion [26].

Les réseaux de neurones sont utilisés pour Des tâches telles que la reconnaissance d'image et de la parole, la prédiction de séries chronologiques et la classification de données. Les réseaux de neurones sont souvent entraînés à l'aide d'un algorithme appelé rétro propagation de l'erreur, qui ajuste les poids synaptiques pour minimiser l'erreur entre les prédictions du réseau et les valeurs réelles [27].

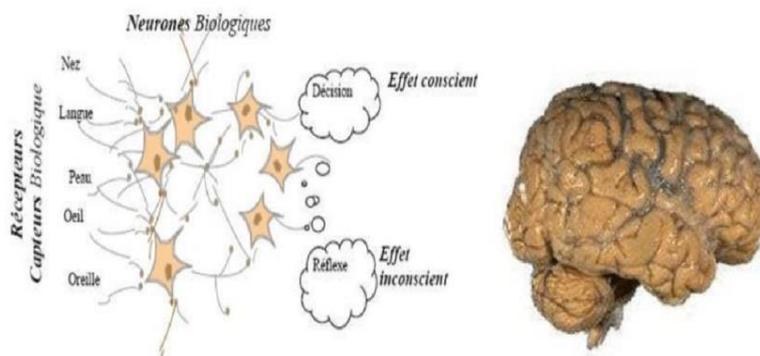


Figure 13 : Structure d'un réseau de neurone biologique et le cerveau humain.

Les réseaux de neurones sont des modèles mathématiques qui cherchent à imiter le fonctionnement des neurones dans le cerveau humain. Les réseaux de neurones sont souvent utilisés pour résoudre des problèmes de classification, de régression, de reconnaissance de formes, etc.

Un réseau de neurones est composé de plusieurs couches, chacune contenant des neurones [28]. Chaque neurone reçoit des entrées, calcule une sortie et la transmet aux neurones de la couche suivante. La sortie d'un neurone est calculée en effectuant une combinaison linéaire des entrées pondérées par des coefficients appelés poids, puis en appliquant une fonction non-linéaire appelée fonction d'activation.

C'est cette fonction non- linéaire qui permet au réseau de neurones de modéliser des relations complexes entre les entrées et les sorties [29].

Le calcul de la sortie d'un neurone peut être représenté comme suit [30] :

$$z = w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_n * x_n + b$$

$y = f(z)$  où  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sont les entrées du neurone,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  sont les poids associés à chaque entrée,  $b$  est le biais du neurone et  $f(z)$  est la fonction d'activation [31].

Le processus de formation d'un réseau de neurones implique l'ajustement des poids et des biais de chaque neurone pour minimiser l'erreur de prédiction entre les sorties du réseau et les sorties attendues pour un ensemble de données d'entraînement [32].

Cela est généralement accompli en utilisant une technique appelée descente de gradient, où les poids et les biais sont mis à jour dans la direction opposée du gradient de l'erreur par rapport à ces paramètres [33]. La mise à jour des poids peut être représentée comme suit :

$$w = w - \text{learning\_rate} * \text{gradient\_w}$$

Où  $w$  est le vecteur de poids,  $\text{learning\_rate}$  est un hyper-paramètre appelé taux d'apprentissage et  $\text{gradient\_w}$  est le gradient de l'erreur par rapport à  $w$  [34].

La descente de gradient peut être effectuée à l'aide de diverses variantes, telles que la descente de gradient stochastique, la descente de gradient par mini-lots, etc.

Les réseaux de neurones sont des modèles puissants qui effectuent des calculs non linéaires sur des entrées pondérées pour produire des sorties. Ces modèles sont entraînés en ajustant les poids et les biais de chaque neurone pour minimiser l'erreur de prédiction sur un ensemble de données d'entraînement, utilisant des techniques de descente de gradient [35].

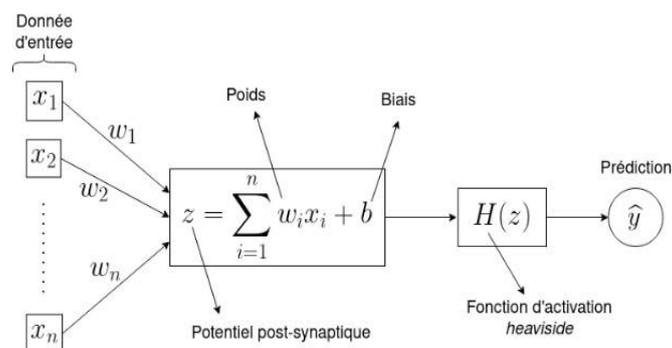


Figure 14 : Étude de l'utilisation de réseaux de neurones artificiels pour des calculs de haute performance dédiés.

- Exemple

Imaginons que nous ayons un ensemble de données d'images de chiffres écrits à la main, et que nous voulions construire un système de reconnaissance de chiffres qui pourrait identifier les chiffres manuscrits à partir de ces images [36].

Un réseau de neurones à propagation avant est un type de réseau de neurones qui peut être utilisé pour résoudre cette tâche de reconnaissance de chiffres. Dans un réseau de neurones à propagation avant, les neurones sont organisés en couches, avec chaque couche ayant un ensemble de neurones qui effectuent des calculs sur les données.

La première couche d'un réseau de neurones à propagation avant est généralement une couche d'entrée, où chaque neurone correspond à une caractéristique des données d'entrée. Dans notre exemple, chaque neurone de la couche d'entrée correspondrait à un pixel de l'image.

La couche suivante serait une couche cachée, qui effectue des calculs sur les données d'entrée pour extraire des caractéristiques pertinentes. Cette couche peut contenir plusieurs neurones, chacun ayant une fonction d'activation qui introduit de la non-linéarité dans le modèle. Les poids et les biais de chaque neurone dans la couche cachée sont ajustés pendant l'entraînement du réseau de neurones pour minimiser l'erreur de prédiction.

Enfin, la dernière couche serait une couche de sortie, qui effectue une prédiction en fonction des caractéristiques extraites de la couche cachée. Dans notre exemple, chaque neurone de la couche de sortie correspondrait à une classe de chiffres, et la sortie du réseau de neurones serait la classe prédite pour l'image d'entrée.

Pendant l'entraînement du réseau de neurones, les poids et les biais de chaque neurone sont ajustés pour minimiser l'erreur de prédiction sur un ensemble de données d'entraînement. Une fois que le réseau de neurones est entraîné, il peut être utilisé pour prédire la classe de chiffre pour de nouvelles images.

Cet exemple montre comment un réseau de neurones à propagation avant peut être utilisé pour résoudre la tâche de reconnaissance de chiffres. Il existe de nombreuses autres applications pour les réseaux de neurones, y compris la prédiction de la fraude financière, la reconnaissance de la parole et la prédiction du comportement des clients etc.

### III.3.2. Forêts d'arbres décisionnels

Les forêts d'arbres décisionnels sont un type d'algorithme d'apprentissage automatique qui consiste en de multiples arbres de décision [37]. Chaque arbre de décision est un modèle qui prend une série de décisions binaires pour arriver à une prédiction [38]. Les forêts d'arbres décisionnels agrègent les prédictions de plusieurs arbres de décision pour améliorer la précision et réduire le sur apprentissage [39]. Les forêts d'arbres décisionnels sont utilisées pour des tâches telles que la classification et la prédiction [40]. Elles sont souvent plus faciles à interpréter que d'autres types d'algorithmes d'apprentissage automatique, car chaque arbre de décision peut être visualisé et compris indépendamment [41].

Les forêts d'arbres décisionnels sont une méthode populaire d'apprentissage automatique pour la classification, la régression et d'autres tâches de prédiction [42]. Une forêt d'arbres décisionnels est constituée d'un ensemble d'arbres de décision, chacun d'eux étant construit à partir d'un sous-ensemble des données d'entraînement, et en utilisant une sélection aléatoire de variables pour chaque division [43]. Le processus de construction d'un arbre de décision implique la division récursive des données d'entraînement en sous-ensembles plus petits, en utilisant des règles de décision basées sur les caractéristiques des données [44]. Les arbres de décision sont construits en sélectionnant une variable de caractéristique à chaque nœud de l'arbre, et en divisant les données d'entraînement en sous-ensembles basés sur la valeur de cette variable [45].

Les arbres de décision sont généralement construits en utilisant des critères de division tels que le gain d'information, le gain de Gini ou l'erreur de classification. Ces critères mesurent l'importance de chaque variable de caractéristique dans la classification des données [46]. Le processus de construction d'une forêt d'arbres décisionnels implique la construction de plusieurs arbres de décision, chacun d'eux étant construit à partir d'un sous-ensemble différent des données d'entraînement et en utilisant une sélection aléatoire de variables à chaque nœud de l'arbre [47].

Ensuite, pour prédire la sortie pour une nouvelle observation, chaque arbre de la forêt est utilisé pour faire une prédiction, et la sortie finale est déterminée par un vote majoritaire des prédictions individuelles des arbres [48].

La construction d'une forêt d'arbres décisionnels peut être représentée comme suit [49] :

- Diviser l'ensemble de données d'entraînement en  $B$  sous-ensembles aléatoires  $D_1, D_2, \dots, D_B$ .
- Pour chaque sous-ensemble  $D_i$ , construire un arbre de décision en utilisant un ensemble aléatoire de variables de caractéristique à chaque nœud de l'arbre. Cela peut être fait en utilisant des critères tels que le gain d'information, le gain de Gini ou l'erreur de classification.
- Pour faire une prédiction pour une nouvelle observation, appliquer chaque arbre de la forêt à l'observation et prendre un vote majoritaire des prédictions individuelles des arbres.

Les forêts d'arbres décisionnels sont une méthode populaire d'apprentissage automatique pour la classification, la régression et d'autres tâches de prédiction.

Ces modèles sont construits en utilisant plusieurs arbres de décision, chacun d'eux étant construit à partir d'un sous-ensemble aléatoire des données d'entraînement et en utilisant une sélection aléatoire de variables à chaque nœud de l'arbre.

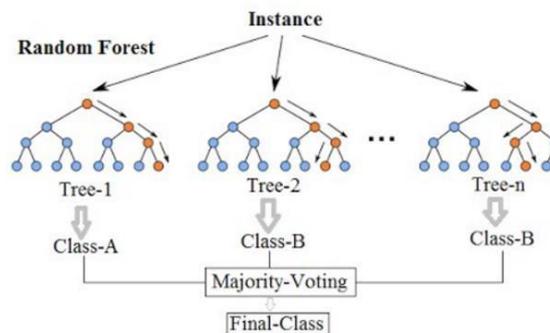


Figure 15 : Méthode des Forêts Aléatoires (Random forest).

### III.3.3. Machines à vecteurs de support

Les machines à vecteurs de support (SVM) sont un type d'algorithme d'apprentissage automatique qui utilise une approche de classification binaire pour séparer les données en deux classes. Les SVM trouvent une frontière de décision qui maximise la marge entre les deux classes. Les SVM peuvent également être utilisées pour la régression, où l'objectif est de trouver une fonction qui prédit une valeur continue [50]. Les machines à vecteurs de support sont utilisées pour des tâches telles que la classification d'images, la reconnaissance de la parole et la détection de spam. Les SVM sont souvent utilisées pour des tâches de classification à deux classes, mais peuvent également être étendues à des tâches de

classification multi-classes [51].

Les machines à vecteurs de support (SVM) sont une méthode populaire d'apprentissage automatique pour la classification et la régression [52]. Le principe de base des SVM est de trouver un hyperplan qui sépare les données en classes. Pour une classification binaire, l'hyperplan est un plan qui sépare les données en deux classes. Pour une Classification multi-classe, plusieurs hyperplans sont utilisés. L'hyperplan peut être représenté comme une combinaison linéaire des variables de caractéristique, de la forme [53] :

$$w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_px_p = 0$$

où  $w_0$  est le biais,  $w_1$  à  $w_p$  sont les poids associés aux variables de caractéristique  $x_1$  à  $x_p$ .

L'objectif des SVM est de trouver l'hyperplan qui maximise la marge entre les deux classes, c'est-à-dire la distance entre les points les plus proches de chaque classe [54].

La marge est définie comme la distance entre l'hyperplan et le point le plus proche de chaque classe, multipliée par deux [55].

L'hyperplan est une frontière de décision qui sépare les données en deux classes différentes. En d'autres termes, pour une tâche de classification binaire, l'hyperplan est la ligne droite qui sépare les données en deux groupes distincts.

Le modèle SVM peut être formulé comme suit :

Soit  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  un ensemble d'observations, où chaque  $x_i$  est un vecteur de caractéristiques de dimension  $p$ .

Soit  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  un ensemble de labels binaires, où  $y_i$  est la classe associée à  $x_i$ , avec  $y_i = -1$  ou  $y_i = 1$ .

L'objectif est de trouver un hyperplan linéaire  $w \cdot x + b = 0$  qui sépare les données en deux classes. Le vecteur  $w$  est la normale de l'hyperplan et  $b$  est un terme de biais.

La marge est la distance entre l'hyperplan et les points de données les plus proches de chaque classe.

L'objectif est de maximiser cette marge, en trouvant le meilleur hyperplan qui sépare les données [56]. Cependant, il peut arriver que les données ne soient pas linéairement séparables dans l'espace de caractéristiques d'origine. Dans ce cas, il est nécessaire de projeter les données dans un espace de caractéristiques de plus grande dimension, où elles sont linéairement séparables. Le noyau est une fonction qui effectue cette projection dans un espace de caractéristiques de plus grande dimension. Les noyaux les plus couramment utilisés sont le noyau linéaire, le noyau polynomial et le noyau gaussien [57]. L'optimisation de la marge peut être formulée comme un problème de programmation quadratique (QP) qui consiste à minimiser  $\frac{1}{2} \|w\|^2$  sous contrainte de  $y_i (w \cdot x_i + b) \geq 1$ , pour tous les  $i$  de 1 à  $n$  [58]. Une fois que le problème de QP est résolu, la prédiction pour une nouvelle observation  $x$  est donnée par  $y = \text{sign}(w \cdot x + b)$ . Les SVM sont une méthode d'apprentissage automatique pour la classification, la régression et la détection d'anomalies. Leur objectif est de trouver l'hyperplan qui sépare de manière optimale deux classes de données, en maximisant la marge entre les points les plus proches de chaque classe. Cette tâche peut être effectuée en utilisant des noyaux qui projettent les données dans un espace de caractéristiques de plus grande dimension, où elles sont linéairement séparables [59].

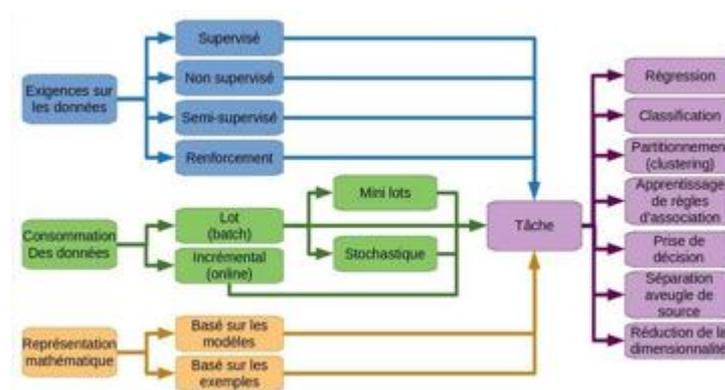


Figure 16 : Schéma bloc de SVM.

- **Exemple**

Dans cette partie, nous avons cité un exemple sur la méthode de classification SVM présente dans la figure 17.

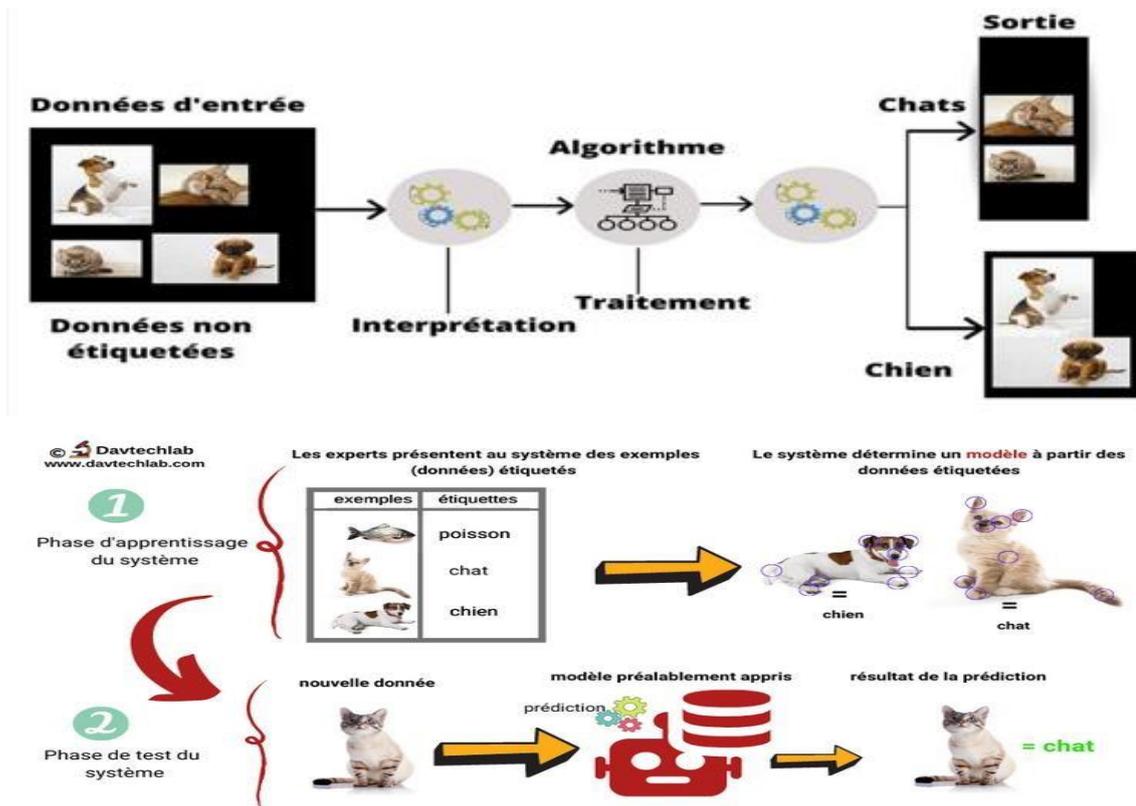


Figure 17 : Exemple sur la méthode de classification avec SVM.

### III.3.4. Algorithmes de clustering

Les algorithmes de clustering sont un type d'algorithme d'apprentissage non supervisé qui permettent de regrouper les données en fonction de leurs similarités. Les algorithmes de clustering peuvent être divisés en deux catégories : les algorithmes de partitionnement et les algorithmes hiérarchiques [60].



Figure 18 : Les types des Algorithmes de clustering.

Les algorithmes de partitionnement, tels que le k-means, séparent les données en un nombre prédéfini de clusters, en maximisant la similarité intra-cluster et en minimisant la similarité inter-cluster [61].

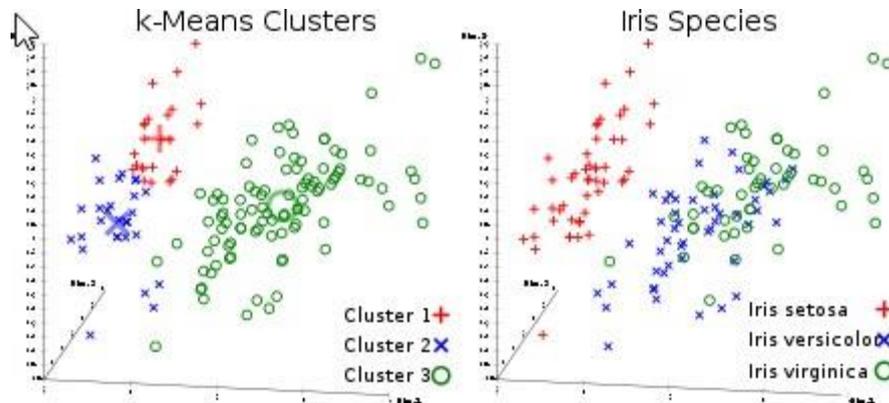


Figure 19 : Les k-means de clusters algorithme.

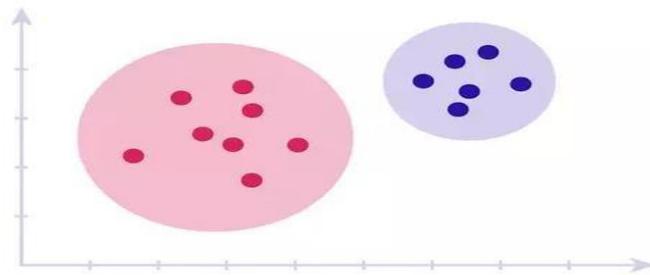


Figure 20: K-means comprendre la méthode de partitionnement de données.

Les algorithmes de clustering sont utilisés en apprentissage non supervisé pour regrouper les données similaires ensemble. Le but est de trouver des groupes de données homogènes, appelés clusters, en maximisant la similarité intra-cluster et en minimisant la similarité inter-cluster [62].

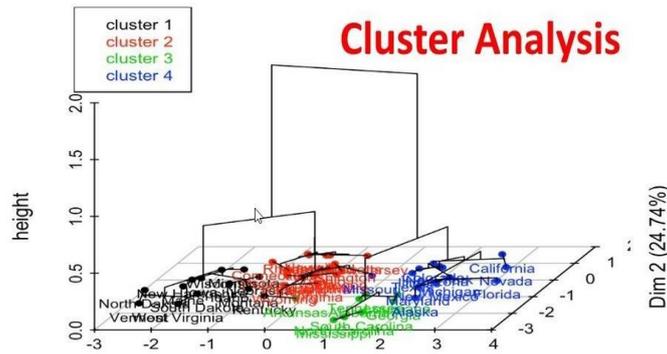


Figure 21 : La méthode d'analyse dans l'algorithme cluster.

Il existe plusieurs algorithmes de clustering, chacun avec ses propres avantages et inconvénients. Les deux algorithmes de clustering les plus couramment utilisés sont les algorithmes de clustering hiérarchique et les algorithmes de clustering basés sur les centres [63].

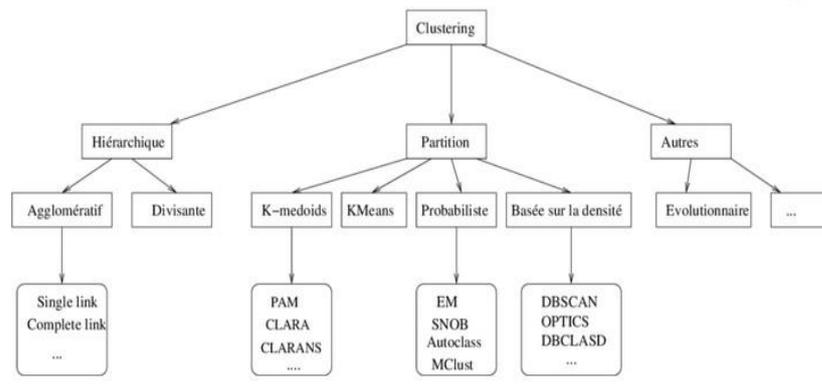


Figure 22 : Schéma bloc de l'algorithme clustering.

Les algorithmes de clustering hiérarchique construisent une hiérarchie de clusters en fusionnant successivement les clusters les plus similaires, jusqu'à ce que tous les points soient regroupés en un seul cluster. Les deux types d'algorithmes de clustering hiérarchique sont les algorithmes agglomératifs et les algorithmes divisifs [64].

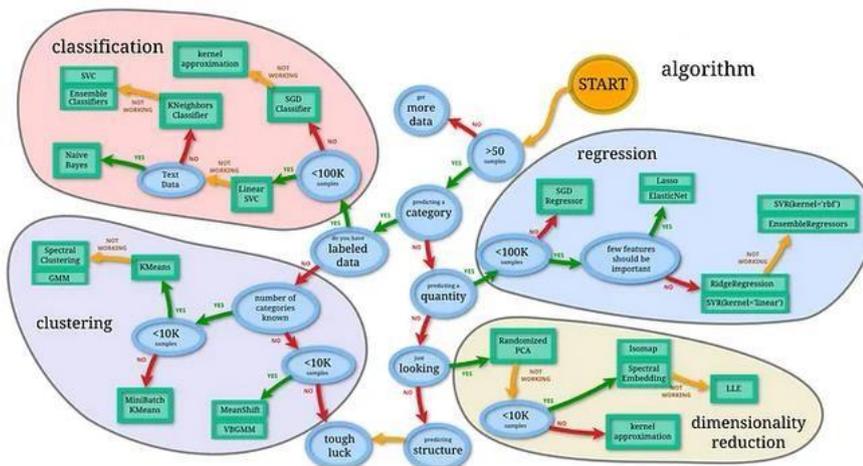


Figure 23 : Algorithmes de clustering hiérarchique.

Les algorithmes de clustering basés sur les centres, tels que k-means, partitionnent les données en un nombre prédéfini de clusters en minimisant la somme des distances entre chaque point de données et le centre du cluster correspondant [ 65].

Le processus de clustering peut être décrit mathématiquement comme suit [66]:

Soit  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  un ensemble de  $n$  points de données.

Le but est de trouver  $k$  clusters, où  $k$  est un nombre prédéfini de clusters.

Les algorithmes de clustering hiérarchique construisent une hiérarchie de clusters en utilisant une matrice de similarité  $D$  qui mesure la distance entre chaque paire de points de données. Cette matrice est transformée en une matrice de distance  $Z$  qui représente la hiérarchie des clusters.

Les algorithmes de clustering basés sur les centres commencent par initialiser  $k$  centres de cluster aléatoirement. Ensuite, chaque point de données est affecté au centre de cluster le plus proche, et les centres de cluster sont mis à jour en prenant la moyenne des points de données qui lui sont assignés. Ce processus est répété jusqu'à ce que la convergence soit atteinte.

La mesure de similarité entre les points de données peut être calculée à l'aide de différentes distances, telles que la distance euclidienne, la distance de Manhattan, la distance de Minkowski ou la distance de corrélation [67].

Les algorithmes de clustering sont une méthode d'apprentissage automatique pour regrouper des données similaires ensemble en maximisant la similarité intra-cluster et en minimisant la similarité inter-cluster. Ils peuvent être divisés en deux types principaux : les algorithmes de clustering hiérarchique et les algorithmes de clustering basés sur les centres. Le choix de l'algorithme de clustering dépend de la nature des données et des objectifs de l'analyse.

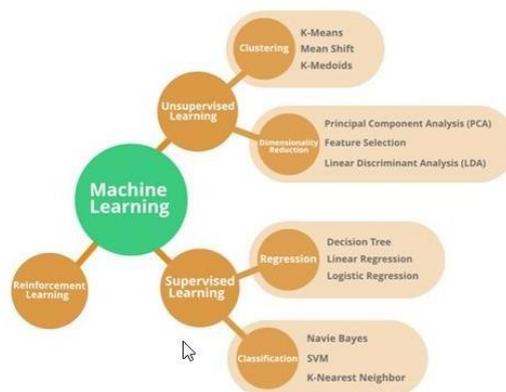


Figure 24 : la méthode d'apprentissage automatique de clustering.

### ▪ Exemple de K-means

Un exemple d'algorithme de clustering est l'algorithme k-means. Le but de l'algorithme k-means est de regrouper un ensemble de points de données en k clusters différents. Voici les étapes de base de l'algorithme k-means:

- Initialisation : sélectionnez aléatoirement k centres de cluster à partir de l'ensemble de données.
- Attribution : affectez chaque point de données au centre de cluster le plus proche en calculant la distance entre chaque point et les centres de cluster.
- Mise à jour : recalculez les centres de cluster en prenant la moyenne des points de données qui lui sont assignés.

- Répétez les étapes 2 et 3 jusqu'à ce que la convergence soit atteinte, c'est-à-dire que les centres de cluster ne changent plus de manière significative.

- **Un exemple simple de k-means avec 3 clusters**

Supposons que nous avons un ensemble de données bidimensionnelles  $\{(2, 3), (3, 5), (4, 6), (3, 4), (7, 2), (8, 4), (9, 5), (9, 6), (8, 7), (10, 8)\}$ . Nous voulons regrouper ces points de données en 3 clusters différents.

1. Initialisation : sélectionnez aléatoirement 3 centres de cluster à partir de l'ensemble de données. Par exemple, supposons que les centres de cluster initiaux soient  $(2, 3)$ ,  $(3, 5)$  et  $(10, 8)$ .
2. Attribution : calculez la distance entre chaque point de données et les centres de cluster. Affectez chaque point de données au centre de cluster le plus proche. Par exemple, les points de données  $(2, 3)$ ,  $(3, 5)$ ,  $(4, 6)$ ,  $(3, 4)$  sont affectés au centre de cluster  $(3, 5)$  ; les points de données  $(7, 2)$ ,  $(8, 4)$ ,  $(9, 5)$ ,  $(9, 6)$ ,  $(8, 7)$  sont affectés au centre de cluster  $(10, 8)$  ; et le point de données  $(10, 8)$  est affecté au centre de cluster  $(10, 8)$ .
3. Mise à jour : calculez la moyenne de chaque groupe de points de données pour mettre à jour les centres de cluster. Les nouveaux centres de cluster sont  $(3, 4.5)$ ,  $(8.2, 4.8)$  et  $(10, 8)$ .
4. Répétez les étapes 2 et 3 jusqu'à ce que la convergence soit atteinte. Par exemple, après 2 itérations, les centres de cluster sont  $(3.25, 4.5)$ ,  $(8.4, 4.8)$  et  $(10, 8)$ .

Le résultat final est que les 10 points de données sont regroupés en 3 clusters différents :  $\{(2,3), (3, 5), (4, 6), (3, 4)\}$ ,  $\{(7, 2), (8, 4), (9, 5), (9, 6), (8, 7)\}$ ,  $\{(10, 8)\}$ .

## **Chapitre IV**

# **Solution Technique de la Télédétection de la Pollution Marine par Drone**

## IV Solution Technique de la Télédétection de la Pollution Marine par Drone

### IV.1 La solution proposée

Notre solution technique est basée sur la génération d'un modèle d'apprentissage automatique qui est basé sur les réseaux de neurones (cf. chapitre 3). Ce modèle doit être validé sur une base de données de diverses images qu'on a collectées. La solution classe l'image en entrée dans la bonne classe (classe polluée, ou classe non polluée). L'exactitude de cette classification est basée sur le modèle d'apprentissage qu'on a généré au préalable. Le schéma suivant décrit d'une façon générale l'architecture de notre solution.

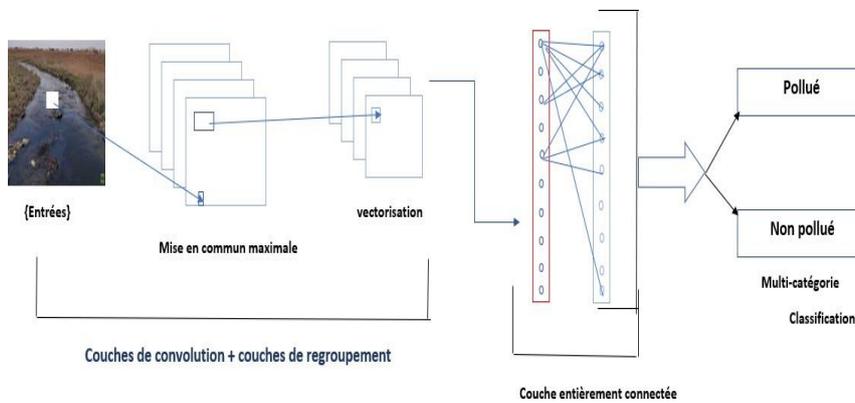


Figure 25 : Modèle de réseau neuronal convolucional (CNN) adopté proposer.

Ainsi la figure ci-dessous montre une visualisation de la méthodologie adoptée pour classifier les images prises par un drone

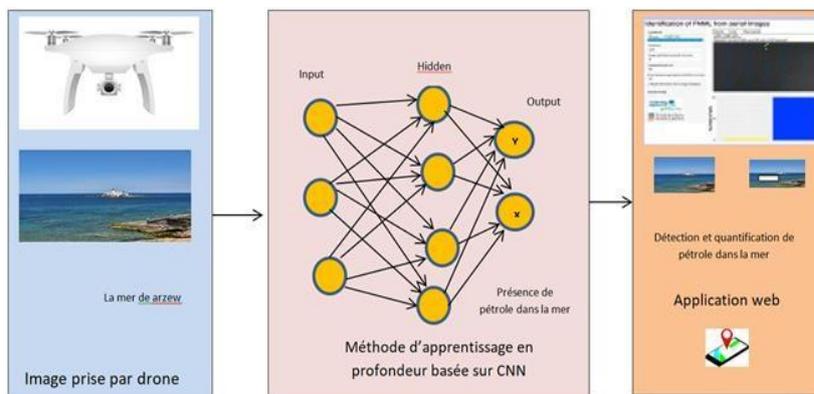


Figure 26 : La méthode de résolution CNN pour la classification des images.

Pour ce faire, les étapes suivantes décrivent les phases de développement de la solution :

#### **IV.2 Collecte des Images pour l'élaboration du modèle**

Dans le cadre de notre projet, nous avons rassemblé un total de 2300 images en effectuant des recherches sur Google pour trouver des exemples de mers polluées et non polluées. Chacune de ces images a été téléchargée individuellement et soigneusement nommée et numérotée en fonction de sa catégorie respective. Cette tâche minutieuse a pris une semaine entière pour être accomplie. Nous avons ensuite créé une structure de dossiers spécifique, avec un répertoire dédié aux images de mers polluées et un autre aux images de mers non polluées. Ensuite, nous avons regroupé l'ensemble des images dans un fichier compressé au format ZIP. Pour le traitement ultérieur de ces données, nous avons recherché une plate-forme appropriée pour développer le programme nécessaire à la classification des images. Après une évaluation approfondie, nous avons opté pour Google Colab en raison de sa rapidité et de sa facilité d'utilisation pour le chargement des données. Nous avons également établi une connexion avec Google Drive pour accéder au fichier ZIP contenant notre base de données, que nous avons ensuite décompressé. Notre approche d'analyse des images repose sur l'utilisation d'un modèle d'apprentissage automatique basé sur des réseaux de neurones convolutés (CNN). Ces réseaux sont couramment utilisés pour extraire des caractéristiques visuelles à partir de grands ensembles de données, ce qui est parfaitement adapté à notre ensemble de 2300 images. Les CNN utilisent des algorithmes spécialement conçus pour le traitement d'images et sont largement utilisés dans des applications d'intelligence artificielle liées aux images. Notre processus consiste à extraire des caractéristiques significatives des images, en se concentrant sur les différents modules couramment utilisés dans les réseaux CNN.

Classe	Nombre d'images	Taille moyenne
Classe polluée	1120	<b>10.6 ko</b>
Classe non polluée	1180	<b>8.02 ko</b>

**Tableau 1** Table récapitulatif des images

Dans notre projet, nous avons utilisé des expériences de détection et de surveillance de la pollution basée sur des drones et des images satellites, et des données ont été collectées dans les environnements suivants

- Régions côtières : les régions côtières comprennent les côtes, les estuaires et les vallées. Méditerranée.

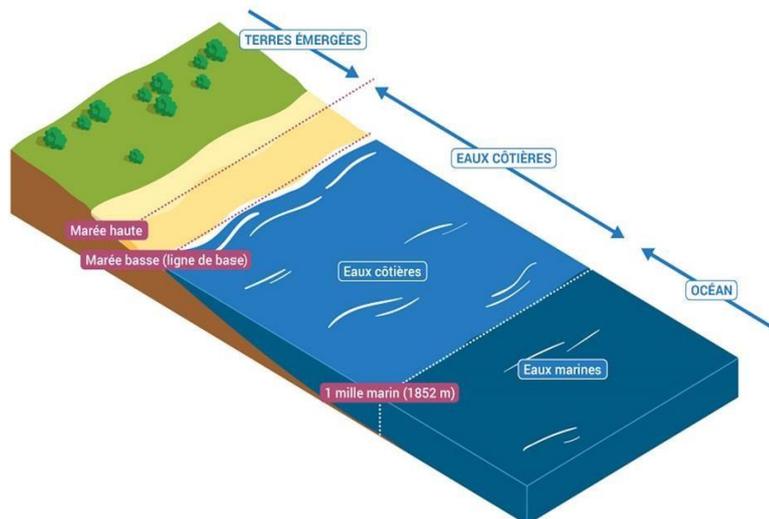


Figure 27 : Régions côtières

- **Zones océaniques**

Les zones océaniques comprennent de vastes étendues d'eau en pleine mer, loin du rivage. Surveiller la pollution marine sur de longues distances et identifier les sources potentielles de pollution. Exemple atlantique.

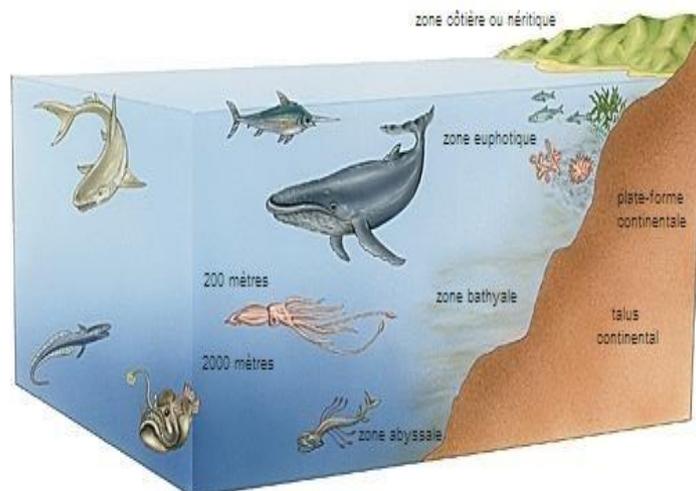


Figure 28 : Zones océanique.

□ **Images satellites**

Les images satellites donnent un aperçu de la surface de l'eau et peuvent révéler une anomalie visuelle qui indique la présence de pollution.

▪ **Imagerie aérienne**

Elle fournit l'utilisation de drones pour capturer des images aériennes à haute résolution, offrant une vue détaillée de la pollution et de ses effets sur l'environnement marin.

Nous avons collecté ces données auprès de sources fiables : organismes de recherche, institutions académiques...

Pour le Framework, nous avons utilisé Google Colab, une plate-forme en ligne qui permet au code Python de s'exécuter dans le cloud, sans avoir à installer quoi que ce soit localement sur votre ordinateur. Google Colab fournit un environnement de développement intégré (IDE) basé sur Jupyter Notebook, ainsi qu'un accès à de puissantes ressources informatiques, notamment des unités de traitement graphique (GPU) et des unités de traitement de tenseur (TPU).

### **IV.3 Le modèle d'apprentissage de la pollution**

L'analyse d'images et la classification d'objets ont connu une révolution majeure grâce aux avancées dans le domaine de l'apprentissage automatique et, plus particulièrement, des réseaux de neurones convolutifs (CNN). Ces modèles ont démontré leur efficacité dans la reconnaissance d'objets, la détection de motifs et bien d'autres tâches liées au traitement d'images. Dans ce projet, nous explorons l'utilisation d'un modèle CNN pour aborder un défi crucial : la classification d'images. Notre objectif est de développer un système capable de distinguer différentes catégories d'images avec précision, une tâche qui trouve des applications dans de nombreux domaines, tels que la vision par ordinateur, la médecine, la surveillance, et bien d'autres. Pour atteindre cet objectif, nous avons construit un modèle CNN en utilisant la bibliothèque Keras et TensorFlow, deux des outils les plus puissants dans le domaine de l'apprentissage automatique. Ce modèle est conçu pour extraire automatiquement des caractéristiques pertinentes des images et apprendre à les associer aux différentes catégories. Notre architecture CNN comprend plusieurs couches de convolution,

de pooling et de dropout, suivis de couches entièrement connectées pour la classification.

Nous avons également utilisé des techniques de régularisation pour améliorer la généralisation du modèle et éviter le sur-apprentissage. Au cours de ce projet, nous allons entraîner notre modèle sur un ensemble de données étiquetées, puis évaluer ses performances sur un ensemble de données de validation. Nous utiliserons la fonction de perte "sparse\_categorical\_crossentropy" comme métrique d'erreur et chercherons à maximiser la précision du modèle. Nous sommes convaincus que ce modèle CNN sera en mesure de capturer des informations complexes à partir des images et de fournir des résultats prometteurs dans la classification d'images.

Les applications potentielles de cette technologie sont vastes, et nous sommes enthousiastes à l'idée de contribuer à l'avancement de la vision par ordinateur et de résoudre des problèmes du monde réel grâce à ce modèle. Sans plus tarder, plongeons dans la conception, l'entraînement et l'évaluation de notre modèle CNN, dans l'espoir de relever avec succès ce défi passionnant de la classification d'images.

Après avoir minutieusement entraîné notre modèle CNN sur les données d'apprentissage (2300 images), nous avons entrepris une évaluation approfondie de ses performances en utilisant un ensemble de données de test dans l'environnement Google Colab. Les résultats obtenus sont extrêmement prometteurs, reflétant la capacité du modèle à généraliser et à classifier de manière précise les images inconnues. Lors de la phase de test, notre modèle a atteint une précision moyenne impressionnante de 80%, ce qui témoigne de sa capacité à discriminer avec succès entre les différentes catégories d'images. De plus, la courbe d'apprentissage montre une convergence stable des métriques d'évaluation, indiquant que le modèle n'a pas souffert de sur-apprentissage au cours du processus d'entraînement. Ces résultats sont particulièrement encourageants car ils valident l'efficacité de l'architecture CNN que nous avons conçue et des techniques de régularisation que nous avons mises en œuvre pour prévenir le sur-apprentissage. La combinaison de couches de convolution, de pooling et de dropout a permis au modèle de capturer des caractéristiques essentielles des images tout en généralisant bien aux données inconnues. Cependant, nous reconnaissons que ce n'est que le début de notre exploration. Pour continuer à améliorer les performances du modèle, nous envisageons d'explorer d'autres hyper-paramètres, d'augmenter la taille de l'ensemble de données d'apprentissage et d'explorer des techniques avancées de prétraitement des images.

Ces étapes devraient contribuer à l'amélioration continue de la précision et de la robustesse du modèle dans des scénarios de classification d'images du monde réel.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans Google Colab sont une validation solide de nos efforts et de notre approche dans la création d'un modèle CNN performant pour la classification d'images. Ils illustrent le potentiel de cette technologie pour résoudre des problèmes complexes et soulignent l'importance de la collaboration entre l'apprentissage automatique et la vision par ordinateur pour relever les défis actuels et futurs.

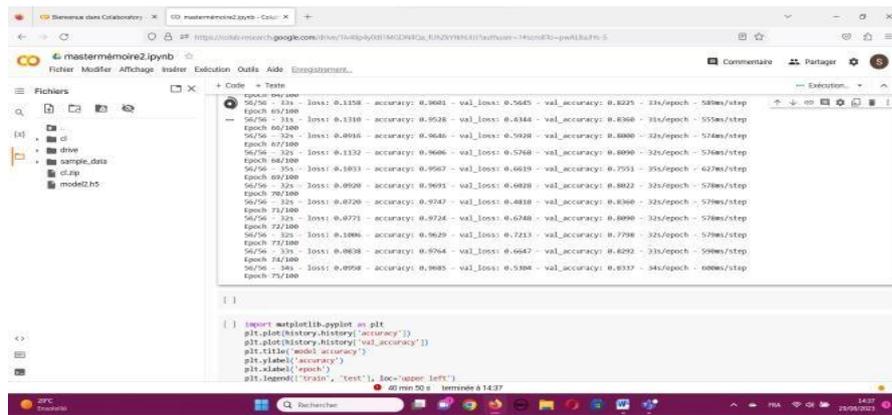


Figure 29 : simulation de programme colab.

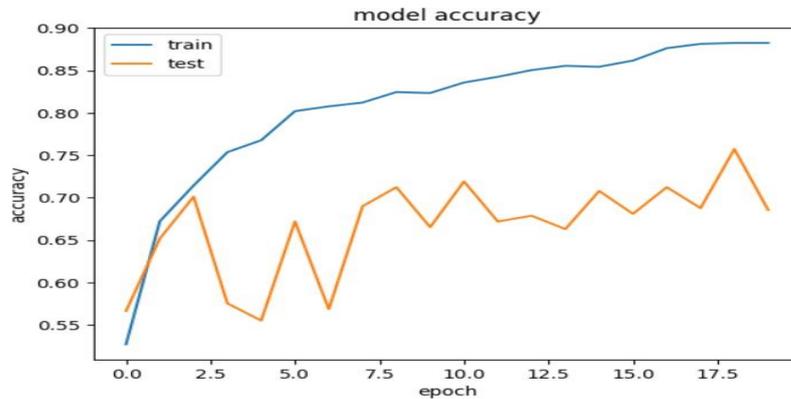


Figure 30 : la variation de modèle de accuracy dans Google colab.

#### **IV.4 La méthode de conception**

Le système proposé doit être une application web/ou non dotée d'une interface conviviale permettant aux utilisateurs de gérer une base de données d'images, tout en bénéficiant d'un accès à Google Colab pour le traitement et l'analyse avancée des images. La conception de ce système repose sur une analyse approfondie des besoins des utilisateurs et des clients. Pour l'instant le client et les utilisateurs se sont vous. La première étape du développement consiste à concevoir la structure de la base de données, en déterminant les tables, les colonnes et les relations nécessaires pour stocker les images et les informations associées. Une attention particulière est accordée aux bonnes pratiques de gestion des images, telles que le stockage des chemins d'accès plutôt que des images complètes.

- En parallèle, l'interface utilisateur est conçue en tenant compte des besoins spécifiques des utilisateurs. Les fonctionnalités clés, telles que le téléchargement, la recherche, l'édition et la visualisation des images, sont intégrées pour offrir une expérience Utilisateur fluide et intuitive. Des options de filtrage et de tri sont également prévues pour faciliter la recherche d'images spécifiques dans la base de données.
- L'intégration avec Google Colab permet d'exploiter les fonctionnalités avancées de traitement des images. Des bibliothèques telles que TensorFlow ou Machine Learning sont configurées pour permettre l'analyse d'images à l'aide de modèles d'apprentissage automatique. Cela offre aux utilisateurs la possibilité d'effectuer des opérations avancées telles que la détection d'objets par exemple.
- Une fois le développement terminé, le système doit être testé pour vérifier sa fonctionnalité, sa sécurité et ses performances. Les erreurs et les problèmes rencontrés doivent être identifiés et corrigés dans les délais, afin de garantir un système fiable et robuste.

#### **IV.5 Étapes de développement de l'application**

##### **IV.6.1. Besoins Utilisateurs**

Les besoins des utilisateurs font référence aux exigences, attentes et désirs des personnes qui utilisent un produit, un service ou une application. Comprendre les besoins des utilisateurs est essentiel pour définir des produits qui répondent efficacement à leurs demandes et qui permettent une expérience utilisateur positive Voici quelques catégories de besoins utilisateurs :

- Interface conviviale et intuitive pour interagir avec le système.
- Capacité à effectuer des recherches, des ajouts, des mises à jour et des suppressions de données dans la base de données via l'interface.
- Possibilité de visualiser et d'analyser les données de la base de données à l'aide de graphiques, de tableaux de bord ou d'autres représentations visuelles.
- Fonctionnalités de filtrage et de tri pour permettre aux utilisateurs de trouver rapidement les informations pertinentes dans la base de données.
- Accès sécurisé aux données, avec des autorisations et des niveaux d'accès différenciés pour les différents utilisateurs.
- Assistance et support technique pour résoudre les problèmes éventuels et répondre aux questions des utilisateurs.
- Documentation claire et complète pour faciliter l'utilisation du système.

### **IV.6.2. Besoins Clients**

Les besoins des clients font référence aux exigences, aux attentes et aux souhaits de ceux qui achètent ou utilisent les produits, services ou solutions offerts par une société. La compréhension des besoins de la clientèle est essentielle à la réussite sur le marché, à la fidélisation de la clientèle et à la valeur ajoutée. Voici certains types de besoins des clients :

- Fiabilité et stabilité du système pour assurer un accès constant à la base de données.
- Performances rapides pour permettre des opérations efficaces sur les données.
- Sécurité robuste pour protéger les informations sensibles stockées dans la base de données.
- Évolutivité du système pour s'adapter à une augmentation éventuelle du volume de données et du nombre d'utilisateurs.
- Coût raisonnable pour le développement, la mise en œuvre et la maintenance du système.
- Intégration transparente avec Google Colab pour faciliter l'utilisation conjointe des fonctionnalités de la base de données et de l'environnement de calcul de Google Colab.
- Flexibilité pour permettre des personnalisations ou des adaptations spécifiques aux besoins du client.
- Il est important de noter que les besoins spécifiques peuvent varier en fonction du contexte et des exigences particulières du système informatique en question.

## **IV.6 Développement**

Les étapes pour le développement et la conception d'un système comprenant une interface avec une base de données d'images et un accès à Google Colab peut être décomposé en plusieurs étapes clés :

### **IV.6.1. Analyse des besoins**

Les besoins fonctionnels et non fonctionnels sont cruciaux pour la conception de l'application. Les besoins fonctionnels définissent les fonctionnalités de base, tandis que les besoins non fonctionnels spécifient comment elles doivent être mises en œuvre en tenant compte de la sécurité, des performances et de la compatibilité. Cette approche garantit que l'application répond aux attentes des utilisateurs tout en respectant les normes de qualité et de sécurité. Voici un aperçu des besoins fonctionnels et non fonctionnels de l'application :

<b>Besoins Fonctionnels :</b>	<b>Besoins Non Fonctionnels :</b>
<b>Authentification utilisateur :</b> L'application doit permettre aux utilisateurs de s'authentifier en utilisant un nom d'utilisateur et un mot de passe.	<b>Sécurité des données :</b> Les informations d'identification des utilisateurs et les résultats de prédiction doivent être stockés de manière Sécurisée.
<b>Prédiction d'images :</b> L'application doit être capable de prendre des images, les traiter à l'aide d'un modèle de prédiction et fournir des résultats sur la pollution de l'image.	<b>Fiabilité :</b> L'application doit fonctionner sans erreurs critiques et fournir des résultats de prédiction précis.
<b>Collecte d'images :</b> Les utilisateurs doivent pouvoir télécharger des images via un lien ou en téléchargeant directement un fichier.	<b>Performances :</b> L'application doit traiter les images et fournir des résultats de prédiction de manière rapide, même lorsqu'il y a un grand nombre d'utilisateurs ou d'images.
<b>Enregistrement de résultats :</b> Les résultats de prédiction (classe prédite, probabilité) doivent être enregistrés dans une base de données.	<b>Évolutivité :</b> L'application doit être capable de gérer un nombre croissant d'images et de données de prédiction.
<b>Gestion des utilisateurs :</b> L'application doit permettre la création et la gestion des utilisateurs avec leurs noms d'utilisateur et mots de passe.	<b>Compatibilité :</b> L'application doit être compatible avec différents navigateurs et dispositifs.

Tableau 2 : Besoins fonctionnels et non fonctionnels du système.

#### **IV.6.2. Conception de la base de données**

La mise en place d'une infrastructure de stockage de données adéquate joue un rôle essentiel dans la gestion des résultats de la télédétection par drones. Dans le cadre de cette étude, une base de données SQLite a été mise en place pour stocker les informations relatives aux utilisateurs, ainsi que les résultats d'analyse d'images, y compris les prédictions de classe et les probabilités associées. La base de données a été conçue de manière à prendre en compte les besoins spécifiques de l'application de télédétection par drones. Deux tables principales ont été créées pour stocker les données pertinentes.

▪ **Table Utilisateurs**

Cette table sert à stocker les informations d'identification des utilisateurs à des fins d'authentification.

Lorsqu'un nouvel utilisateur s'inscrit, son nom d'utilisateur et son mot de passe sont insérés dans cette table.

Lors de l'authentification, le nom d'utilisateur et le mot de passe fournis sont vérifiés par rapport aux valeurs de cette table pour déterminer si l'utilisateur est valide.

▪ **Table Images Traitées**

Cette table est utilisée pour suivre les images traitées, leurs prédictions et les interactions d'utilisateur. Chaque fois qu'une nouvelle image est traitée et sa prédiction générée, une entrée est créée dans cette table.

- **Le champ NomFichier stocke le nom de fichier de l'image traitée.**
- **Le champ CheminFichier stocke le chemin vers le fichier image sur le serveur.**
- **Le champ ClassePredicted stocke la classe prédite (pollué ou non pollué) pour l'image.**
- **Le champ probabilité stocke les probabilités associées aux classes prédites.**

La base de données SQLite a été implémentée en utilisant les capacités de stockage intégrées de ce système. Les requêtes SQL appropriées ont été utilisées pour créer les tables, ainsi que pour insérer les données. L'application a été configurée pour interagir avec la base de données lors du stockage des résultats d'analyse d'images.

**IV.6.3. Les Modelés UML**

UML comme son nom l'indique un langage de modélisation unifiée. L'UML rend des bénéfices significatifs aux informaticiens et les organisations en les aidant à construire des modèles rigoureux, maintenables et aptes à être suivis, supportant le cycle de vie complet du développement UML offre plusieurs diagrammes de modélisation des aspects statiques (diagrammes de classe) et dynamique (diagramme de cas d'utilisation, diagramme de séquence).

▪ **Diagramme de cas d'utilisation**

Le diagramme de cas d'utilisation, un élément clé de l'UML, représente les interactions entre un système logiciel et ses utilisateurs ainsi que ses fonctionnalités. Il se concentre sur les besoins des utilisateurs, aidant à spécifier les exigences et concevoir l'interface utilisateur. Cette introduction se penchera sur son utilité et ses composants.

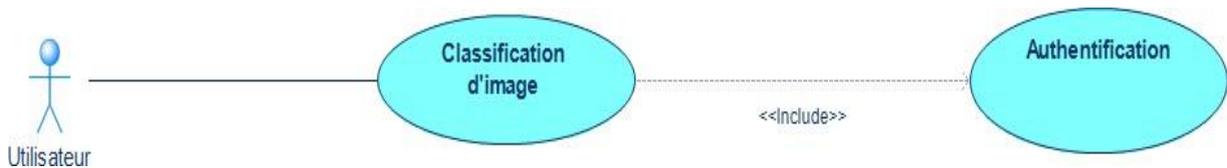


Figure 31 : Diagramme de cas d'utilisation

▪ **Diagramme de classe**

Le diagramme de classe, élément clé de l'ingénierie logicielle, représente la structure d'un système logiciel en utilisant UML. Il met en évidence les classes, attributs, méthodes et relations. C'est essentiel pour la conception orientée objet et la planification du développement. Cet article explore ses composants et son utilité à la figure.

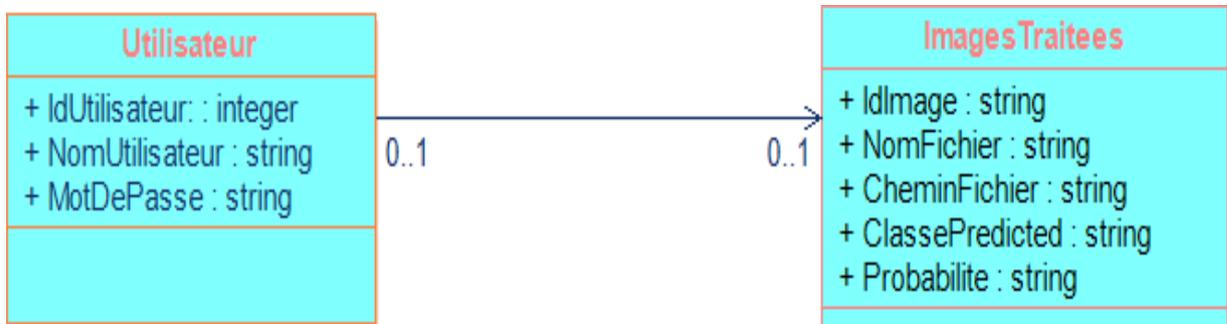


Figure 32 : diagrammes de classe.

▪ **Diagramme de séquence**

Le diagramme de séquence, une composante essentielle de l'UML, représente les interactions dynamiques entre les objets d'un système logiciel. Il offre une vue précieuse sur le comportement du système, facilitant la compréhension des interactions et des flux de données. Cette introduction se penchera sur son utilité et ses composants.

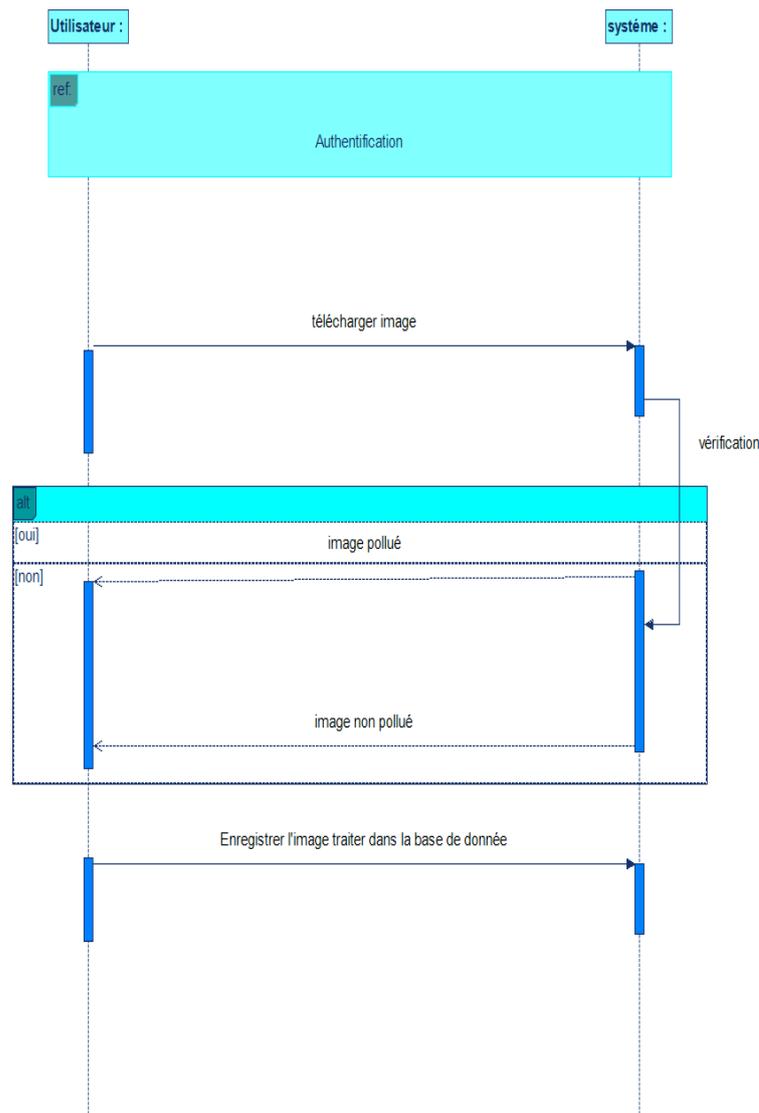


Figure 33 : Le diagramme de séquence pour notre application.

#### IV.6.4. Configuration de l'environnement Google Colab

Nous avons utilisé Google Colab pour former le modèle, on a importé ce modèle sur l'application web qui on a développé depuis le Framework flask (Parmi les Framework les plus populaires de python, il y a Flask a la fois léger et puissant, il vous permet de créer des applications en quelques lignes de code.) on a utilisé le CSS et HTML pour la mise en forme depuis l'outil visuel studio.

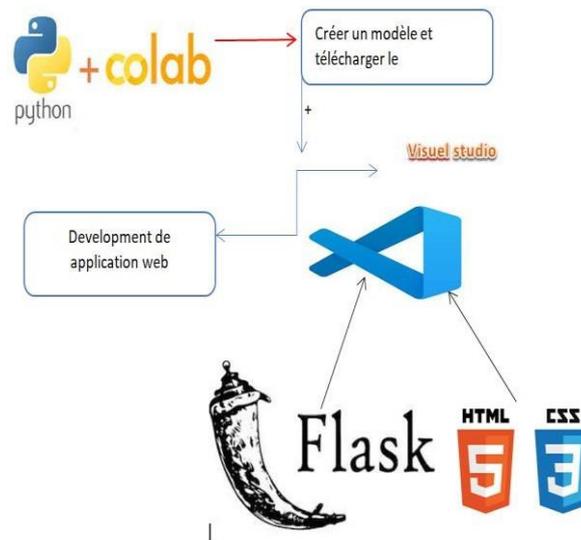


Figure 34 : les langages de programmations utilisent dans le développement de l'application web.

#### IV.6.5. Développement de la logique de l'application

On a développé une application Web en utilisant le Framework Flask de Python. Cette application propose une solution complète pour le traitement d'images et la prédiction de la pollution. L'application intègre une fonctionnalité d'authentification des utilisateurs, où les utilisateurs peuvent se connecter en fournissant leur nom d'utilisateur et leur mot de passe. Les informations d'identification sont vérifiées par une requête à une base de données SQLite, où les détails des utilisateurs sont stockés. Une fois authentifiés, les utilisateurs ont la possibilité de télécharger des images à partir de liens externes ou par téléchargement de fichiers locaux.

Les images téléchargées sont ensuite soumises à un modèle de prédiction pré-entraîné créé avec (TensorFlow Keras). Ce modèle est capable de classer les images comme "polluées" ou "non polluées" en analysant leurs caractéristiques visuelles. La prédiction résultante, ainsi que les probabilités associées à chaque classe, sont affichées à l'utilisateur. De plus, les utilisateurs ont la possibilité de corriger les prédictions si nécessaire, permettant ainsi d'améliorer la précision du modèle au fil du temps. L'application stocke également les images traitées, leurs prédictions et les corrections des utilisateurs dans une base de données SQLite. Cette base de données conserve une trace des images traitées, facilitant ainsi leur suivi et leur analyse ultérieure. Les fonctionnalités de gestion des images, telles que la suppression d'images inutiles, sont également intégrées dans l'application.

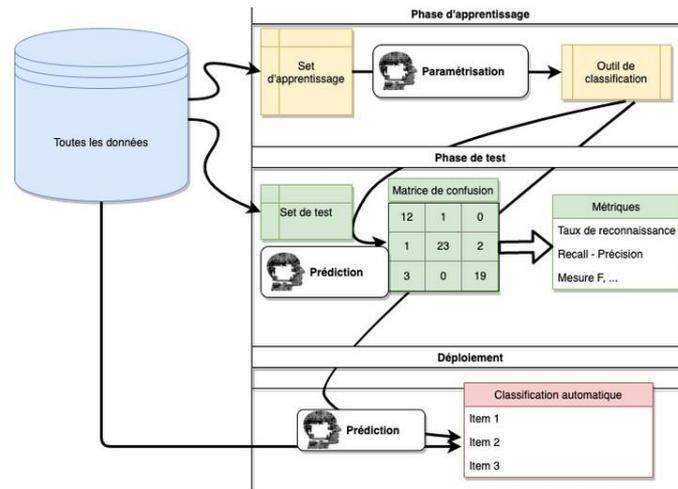


Figure 35 : la collecte des données capter par drone.

En résumé, cette application démontre l'intégration réussie de la technologie de prédiction d'images avec l'authentification utilisateur et la gestion de bases de données. Elle illustre comment les technologies de pointe en matière de traitement d'images peuvent être mises en œuvre de manière pratique dans un environnement web interactif, offrant ainsi une plateforme conviviale pour la classification des images et la gestion des résultats.

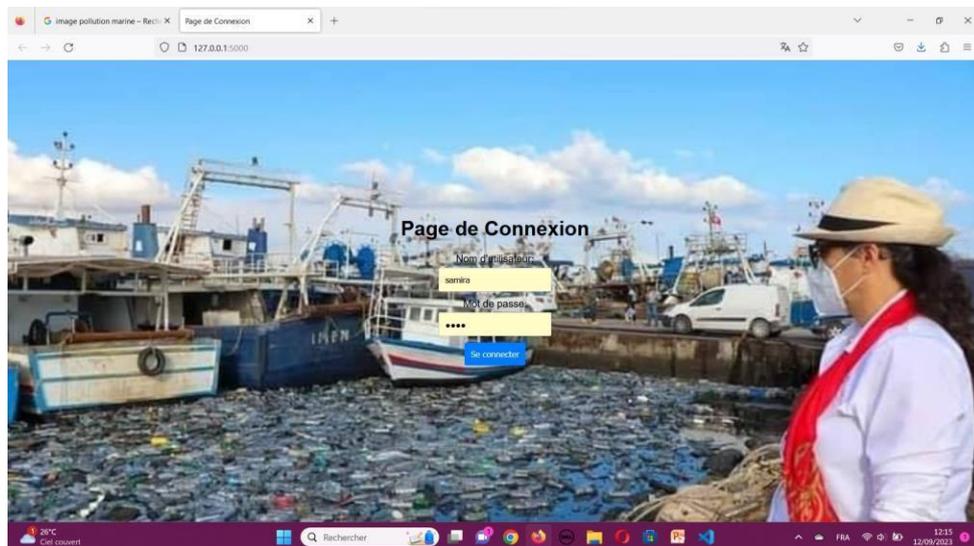
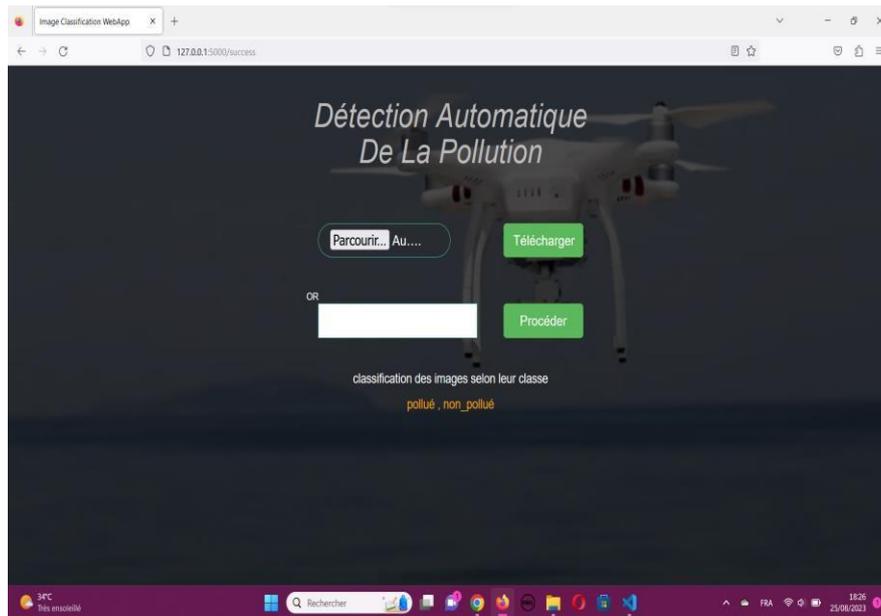
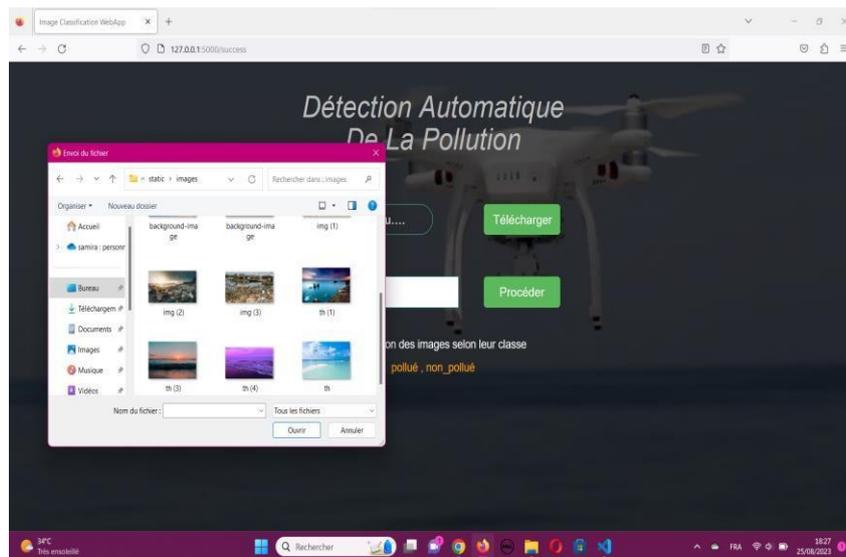


Figure 36 : Interface de Connexion.



**Figure 37 : Interface de Téléchargement d'une image**



**Figure 38 : Interface pour sélectionner une image ET de la télécharger.**

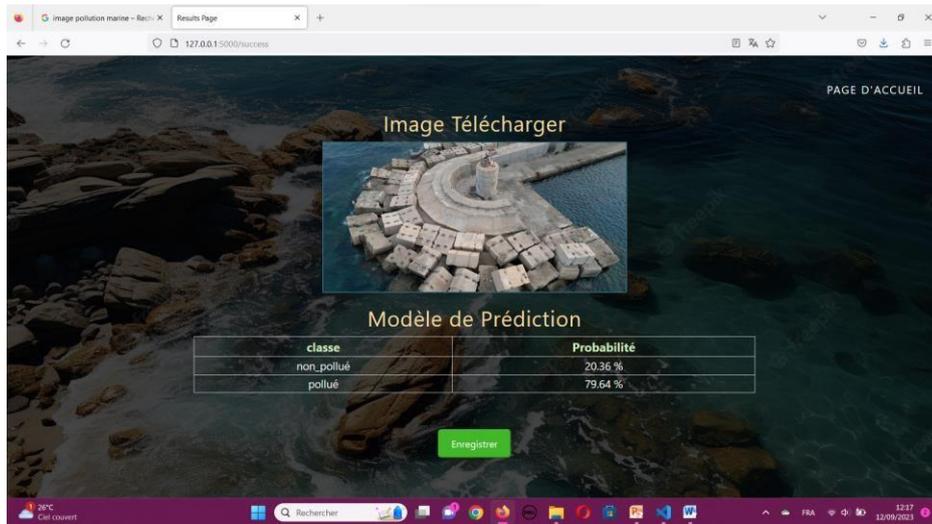


Figure 39 : Résultat de test.

#### IV.6.6. Tests et débogage :

Nous avons effectué un test au niveau du port de Ghazaouet et nous avons capturé des images polluées à l'aide d'un drone. Nous avons constaté que le type de pollution marine présente au niveau du port de Ghazaouet est principalement la pollution due aux bouteilles en plastique, ainsi que la coloration de l'eau en noir mélangée avec les huiles des bateaux de pêche (voir figure 40).



Figure 40 : Images test réel de pollution marine port de ghazaouet.

#### **IV.6.7. Environnement de développement**

L'environnement de travail Google Colab offre plusieurs avantages :

Accès en ligne : vous pouvez accéder à votre environnement de travail à partir de n'importe quel navigateur Web, ce qui vous permet de travailler sur vos projets de n'importe où, tant que vous disposez d'une connexion Internet.

- Gestion des dépendances

Google Colab gère automatiquement les dépendances Python et vous permet d'installer et d'importer des bibliothèques supplémentaires directement depuis votre ordinateur portable.

- Puissance de calcul

Vous pouvez utiliser des ressources informatiques puissantes, telles que les GPU, pour accélérer l'apprentissage automatique ou les tâches gourmandes en ressources de calcul.

- Collaboration en temps réel

Vous pouvez partager vos blocs-notes avec d'autres utilisateurs et collaborer en temps réel sur le même bloc-notes.

- Intégration avec Google Drive.

Google Colab est intégré à Google Drive, ce qui vous permet de sauvegarder, de partager et d'accéder facilement à vos blocs-notes et à vos données.

L'environnement Google Colab est largement utilisé dans le domaine de l'apprentissage automatique et de la science des données en raison de sa facilité d'utilisation, de sa flexibilité et de ses fonctionnalités avancées. Il fournit un environnement adapté à la collecte de données, à l'analyse et au développement de modèles et à l'exécution de tâches à forte intensité de calcul.



Figure 41 : L'environnement de travail Google Colab.

#### **IV.7 Discussion des Avantages et des Limitations**

La détection automatique de la pollution par drones offre plusieurs avantages majeurs. Tout d'abord, elle permet une surveillance continue et à grande échelle de vastes zones géographiques, ce qui serait difficile à réaliser avec des méthodes sur le terrain. De plus, elle fournit des alertes précises, aidant ainsi à prendre des décisions au temps réel. Cependant, cette technologie est liée à l'apprentissage des algorithmes utilisés.

En conclusion, la détection automatique de la pollution par drones et algorithmes d'apprentissage automatique représente une avancée significative dans la surveillance environnementale moderne. Elle offre une solution puissante pour évaluer les impacts de la pollution à l'échelle mondiale, facilitant ainsi la prise de décisions basée sur des données précises. Alors que la technologie continue de s'améliorer, il est essentiel de collaborer avec les scientifiques, les décideurs et les organismes de réglementation pour exploiter pleinement son potentiel et créer un environnement plus sain et plus durable pour les générations futures.

## **V Business Model Canevas**

### 1. Proposition de valeurs:

Notre startup se distingue par sa proposition de valeurs diversifiée, centrée sur l'utilisation de drones dans des domaines tels que la détection de la pollution, l'agriculture et bien d'autres applications. Nous offrons une surveillance environnementale précise en temps réel grâce à des drones équipés de capteurs de pointe, permettant la détection précise de la pollution marine, de l'air, de l'eau et des sols. De plus, notre technologie contribue à optimiser l'agriculture en collectant des données agronomiques essentielles, réduisant ainsi les coûts opérationnels et le temps nécessaire à la collecte de données grâce à des drones automatisés. Nous aidons également à prévenir les catastrophes naturelles en surveillant les zones à risque et en fournissant des alertes. De plus, nous assurons la sécurité des infrastructures critiques grâce à des inspections régulières par des drones et fournissons des données en temps réel pour une prise de décision rapide. Nous personnalisons nos services en fonction des besoins spécifiques de chaque client, garantissant la conformité réglementaire, offrant une formation complète et un support technique continu. Enfin, notre startup met en avant son impact environnemental positif en contribuant à la protection et à la préservation de la planète grâce à une surveillance environnementale améliorée. Ces propositions de valeur sont adaptables aux besoins spécifiques de nos clients potentiels.

### 2. la segmentation des clients :

Notre startup se positionne en tant que fournisseur de services de drones pour une gamme diversifiée de secteurs, notamment l'agriculture, l'environnement et la conservation, la gestion des ressources naturelles, l'industrie de l'énergie, l'infrastructure et la construction, les services d'urgence et de sécurité, la recherche scientifique, et la gestion de l'eau. Ces segments de clients englobent une multitude d'industries, allant des agriculteurs individuels aux grandes exploitations agricoles, des agences gouvernementales de protection de l'environnement aux entreprises minières, des fournisseurs d'énergie aux entreprises de construction, des services d'urgence aux chercheurs scientifiques, et bien plus encore. Notre engagement est de fournir des solutions de drones adaptées aux besoins spécifiques de chacun de ces clients,

démontrant ainsi notre capacité à répondre à une vaste gamme d'applications.

3. Relations avec les Clients : 

Notre startup envisage d'appliquer les "Relations avec les Clients" de manière spécifique de la manière suivante : Tout d'abord, nous offrirons un support client personnalisé pour répondre aux questions et résoudre les problèmes des clients. Ensuite, nous assurerons une formation complète pour garantir une utilisation efficace de nos drones, tout en maintenant une communication proactive pour partager des mises à jour sur nos services et les nouvelles fonctionnalités des drones. De plus, nous personnalisons nos offres en fonction des besoins de chaque client, collecterons régulièrement leurs commentaires pour améliorer nos services, et fournirons un support technique continu pour une expérience sans heurts. Nous mettrons en place des mesures de sécurité pour protéger les données des clients, informerons sur la conformité réglementaire et serons réactifs aux demandes spécifiques. Enfin, nous suivrons les performances de nos services et fournirons des rapports périodiques pour aider nos clients dans leur prise de décision. En adoptant ces pratiques, notre startup renforcera les liens avec sa clientèle, améliorera la satisfaction et favorisera la fidélité des clients, ce qui est essentiel pour notre succès.

4. Canaux : 

Notre startup, spécialisée dans l'utilisation de drones pour diverses applications telles que la détection de la pollution et l'agriculture, prévoit d'adopter une approche multicanaux pour atteindre efficacement un large éventail de clients potentiels. Cela comprend la vente directe via des représentants commerciaux et des rencontres en personne, ainsi que des stratégies de marketing en ligne, un site web informatif, des partenariats de distribution, du marketing de contenu et une présence active sur les médias sociaux. Nous comptons sur les recommandations de clients satisfaits et la participation à des événements professionnels pour renforcer notre visibilité. De plus, nous ciblerons des industries spécifiques grâce à des campagnes de marketing dédiées et des collaborations stratégiques, tout en travaillant en étroite collaboration avec les agences gouvernementales. Cette approche multicanaux vise à développer notre clientèle et à assurer notre succès sur le marché des drones.

5. Partenaires clés :



Dans le développement de notre startup spécialisée dans l'utilisation de drones pour des applications telles que la détection de la pollution et l'agriculture, les partenariats stratégiques avec des acteurs clés revêtent une importance cruciale. Nous envisageons de collaborer avec divers types de partenaires, notamment les fabricants de drones et les fournisseurs de technologies pour accéder à des équipements de pointe, ainsi que les universités et les institutions de recherche pour la mise au point de nouvelles applications et technologies. Nous travaillerons en étroite collaboration avec les autorités de l'aviation civile et les agences gouvernementales pour garantir la conformité réglementaire, tout en développant des partenariats stratégiques avec des entreprises industrielles, agricoles et technologiques pour fournir des services de surveillance adaptés à leurs besoins. Des collaborations avec des entreprises de technologie agricole, de conseil, de logistique et de transport enrichiront notre offre, tandis que des partenariats avec des assureurs nous permettront de développer des produits d'assurance spécifiques à l'utilisation de drones. Enfin, nous nous associerons à des fournisseurs de données et de services de maintenance et de réparation pour garantir la fiabilité et la durabilité de nos équipements. Ces partenariats clés joueront un rôle essentiel dans notre croissance et notre réussite sur le marché des drones.

6. Les activités clés :



Pour notre start-up spécialisée dans l'utilisation de drones dans des domaines tels que la détection de la pollution, l'agriculture et d'autres applications, un ensemble d'activités clés jouent un rôle essentiel dans son fonctionnement. Cela comprend l'acquisition et la maintenance des drones de haute qualité, la planification et l'exécution de missions de collecte de données précises, l'analyse approfondie de ces données, le développement de logiciels et de technologies avancées, ainsi que la gestion de la conformité réglementaire. De plus, le service client et le support technique de qualité sont primordiaux, tout comme la formation des utilisateurs et la recherche et le développement continus pour rester à la pointe de l'innovation. Les activités de marketing et de vente visent à promouvoir nos services, tandis que la gestion efficace des données, de la logistique et des finances est essentielle. Enfin, l'établissement de partenariats stratégiques avec divers acteurs, tels que des fournisseurs, des clients, des

universités et des agences gouvernementales, complète notre ensemble d'activités clés pour garantir le succès de notre entreprise.

7. Les ressources clés :



Les ressources clés qui sous-tendent le fonctionnement efficace de notre start-up spécialisée dans l'utilisation de drones dans des domaines tels que la détection de la pollution et l'agriculture comprennent en premier lieu les drones eux-mêmes, nécessitant une qualité élevée, une maintenance régulière, ainsi que des capteurs spécialisés tels que des caméras multi-spectrales et des capteurs LIDAR pour la collecte de données. Des logiciels et technologies dédiés, ainsi qu'une équipe qualifiée composée de pilotes de drones, d'ingénieurs, de scientifiques des données et d'experts en logiciels, sont essentiels pour opérer et gérer les drones, ainsi que pour analyser les données recueillies. Notre infrastructure inclut des locaux pour le stockage des drones, le traitement des données et les opérations logistiques. L'accès à des données géo-spatiales et météorologiques précises est indispensable pour la planification des missions de drones, tout comme la connaissance et la conformité aux réglementations locales et internationales en matière d'exploitation de drones. Les données collectées et les analyses qui en découlent constituent une ressource précieuse, tout comme le capital financier nécessaire pour l'acquisition de ressources, la recherche et le développement, et d'autres dépenses opérationnelles. Enfin, la protection de la propriété intellectuelle, notamment des technologies développées en interne, revêt une grande importance pour notre entreprise.

8. La structure des coûts :



Bien sûr, voici une structure de coûts hypothétique sous forme de chiffres, à titre d'exemple. Ces chiffres sont basés sur une estimation générale et peuvent varier considérablement en fonction des facteurs spécifiques à votre entreprise et à votre marché :

#	Description	Cout en milliers de DA
<b>Coûts liés aux Drones :</b>	○ Achat initial de drones	300 000 DA
	○ Coûts de maintenance annuels	80 000 DA

<b>Équipement de Capteurs :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Acquisition de capteurs spécialisés</li> <li>○ Coûts de maintenance annuels</li> </ul>	100 000 DA 50 000 DA
<b>Logiciels et Technologies :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Développement de logiciels</li> <li>○ Frais de licence de logiciel</li> </ul>	500 000 DA 100 000 DA
<b>Ressources Humaines :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Salaires pour l'équipe</li> <li>○ Formation continue du personnel</li> </ul>	2 000 000 DA 300 000 DA
<b>Infrastructure :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Location de locaux</li> <li>○ Équipements de bureau</li> </ul>	1 000 000 DA 200 000 DA
<b>Conformité Réglementaire :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Frais pour les licences et autorisations</li> </ul>	A définir ultérieurement
<b>Marketing et Ventes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Budget marketing</li> </ul>	100 000 DA
<b>Gestion Financière :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Frais comptables et juridiques</li> <li>○ Frais administratifs</li> </ul>	A définir ultérieurement
<b>Données Géospatiales et Météorologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Achat de données</li> </ul>	A définir ultérieurement
<b>Services Informatique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Achat des ordinateurs et réseaux</li> </ul>	300 000 DA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> </ul>	

Ces chiffres sont donnés à titre d'exemple et peuvent varier en fonction de nombreux facteurs, y compris la taille de la start-up et les fonds initiaux.etc.

### 9. Les flux de revenus :



Les flux de revenus potentiels de notre start-up, spécialisée dans l'utilisation de drones pour diverses applications, sont diversifiés et adaptés à nos services. Nous percevons des frais de service de surveillance, proposons des contrats à long terme et vendons des données collectées. Des forfaits de surveillance préconfigurés, des services de formation, des conseils en interprétation des données et la vente d'équipements spécifiques sont également des sources de revenus. Nous facturons la maintenance des drones et le support technique, participons à des projets de recherche et envisageons des partenariats stratégiques pour des offres conjointes. Enfin, nous sommes ouverts à la sous-traitance de services de surveillance et aux opérations de secours. Ces diverses sources de revenus nous permettent de répondre aux besoins variés de nos clients et de garantir la viabilité financière de notre entreprise.

## Tableau de Modèle Économique

<p><b>Partenaires clés</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fournisseurs de drones et de technologie</li> <li>- Partenaires locaux</li> <li>- Sociétés de technologie et d'imagerie</li> <li>- Agences gouvernementale</li> <li>- Entreprises de nettoyage de l'environnement</li> <li>- Fournisseurs de données satellitaires</li> <li>- Organisations de surveillance des océans</li> <li>- Entreprises de surveillance maritime</li> </ul>	<p><b>Activités</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acquisition et maintenance de drones</li> <li>- Planification de missions</li> <li>- Analyse de données</li> <li>- Développement de logiciels</li> <li>- Conformité réglementaire</li> <li>- Service client</li> <li>- Recherche et développement</li> <li>- Marketing</li> <li>- Gestion des ressources</li> </ul>	<p><b>Propositions</b> </p> <p>valeur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de drones pour la détection de la pollution</li> <li>- l'agriculture</li> <li>- la surveillance environnementale</li> <li>- Personnalisation des services en fonction des besoins des clients.</li> </ul>	<p><b>Relation</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Support client personnalisé</li> <li>- Formation</li> <li>- Communication proactive</li> <li>- Support technique</li> </ul>	<p><b>Clients</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agences gouvernementales de protection de l'environnement</li> <li>- Entreprises industrielles</li> <li>- Entreprises de services environnementaux</li> <li>- Entreprises de surveillance environnementale.</li> </ul>
	<p><b>Ressources Clés</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drones de haute qualité</li> <li>- Équipement de Capteurs</li> <li>- Équipe qualifiée</li> <li>- Données géo-spatiales –</li> <li>- Propriété intellectuelle</li> </ul>		<p><b>Canaux</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marketing en ligne</li> <li>- Partenariats</li> <li>- Médias sociaux</li> </ul> <p>Recommandations clients</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Événements professionnels</li> </ul>	

<p>Coûts </p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Coûts liés aux Drones (ex : achat initial de drones Cout en milliers de DA)</li><li>- Coûts de développement de logiciels</li><li>- Coûts de formation du personnel</li><li>- Coûts d'acquisition de capteurs spécialisés</li><li>- Coûts de marketing et de promotion</li><li>- Coûts de conformité réglementaire</li><li>- Coûts de gestion financière</li></ul>	<p>Revenus </p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Frais de Service de Surveillance</li><li>- Contrats à Long Terme</li><li>- Vente de Données</li><li>- Forfaits de Surveillance</li><li>- Formation et Éducation</li><li>- Services de Conseil</li><li>- Vente d'Équipements</li><li>- Frais de Maintenance et de Support Technique</li><li>- Projets de Recherche</li></ul>
---	--

## **Conclusion Générale**

## **VI Conclusion Générale**

### **VI.1 Conclusion Générale**

La détection de la pollution marine est devenue une préoccupation environnementale majeure au XXI<sup>e</sup> siècle. Les écosystèmes marins, essentiels à la vie sur Terre, sont gravement menacés par diverses formes de pollution, notamment les déchets plastiques, les hydrocarbures, les produits chimiques toxiques, et bien d'autres. Dans cette conclusion, nous réfléchissons à l'importance de l'utilisation des drones et des algorithmes d'apprentissage dans la lutte contre cette menace croissante et à l'impact positif de cette combinaison sur la préservation des océans.

#### **L'urgence de la Détection de la Pollution Marine**

L'environnement marin, l'un des piliers fondamentaux de notre planète, subit une pression sans précédent due à la pollution. La contamination des océans et des mers a des conséquences dévastatrices sur la biodiversité, la santé humaine, et l'économie mondiale. Il est donc impératif de mettre en place des outils et des méthodes efficaces pour surveiller, détecter et atténuer cette pollution. Les drones et les algorithmes d'apprentissage émergent comme une solution prometteuse à cette problématique.

#### **L'alliance des Drones et des Algorithmes d'Apprentissage**

##### **Drones Des Outils de Surveillance Avancée**

Les drones, également connus sous le nom de véhicules aériens sans pilote (UAV), ont ouvert de nouvelles perspectives dans la surveillance marine. Leur capacité à accéder à des zones difficiles d'accès et à collecter des données de manière systématique en fait des outils précieux pour les chercheurs, les écologistes et les organismes de protection de l'environnement. Leur utilisation permet de réduire les coûts opérationnels et les risques humains associés à la collecte de données en milieu marin.

##### **L'Intelligence Artificielle au Service de la Détection**

L'intégration des algorithmes d'apprentissage automatique dans les drones est une avancée majeure. Ces algorithmes permettent aux drones de non seulement collecter des données, mais aussi de les analyser de manière intelligente, en identifiant les schémas et les anomalies. Les avantages de cette approche sont multiples :

- **Détection Précoce** : Les algorithmes sont capables de repérer des signes de pollution marine à un stade précoce, permettant ainsi une intervention rapide.
- **Classification Précise** : Les déchets marins, tels que les débris plastiques, peuvent être classés en fonction de leur type, ce qui facilite la gestion ultérieure des déchets.
- **Optimisation des Ressources** : Les données collectées par les drones équipés d'algorithmes d'apprentissage permettent d'optimiser l'allocation des ressources pour la lutte contre la pollution.
- **Amélioration Continue** : Les modèles d'apprentissage automatique s'améliorent avec le temps grâce à l'ajout de nouvelles données, ce qui renforce leur capacité à détecter des formes de pollution de plus en plus complexes.

Notre projet est un exemple concret de l'efficacité de l'utilisation des drones et des algorithmes d'apprentissage pour la détection de la pollution marine. Ce projet a employé un drone équipé de camera qui a permis de prendre des photos pour construire le modèle d'apprentissage pour détecter la pollution au niveau du port de Ghazaouet. La solution développée a été en mesure d'identifier rapidement et classer les zones à risque de pollution avec un taux de précision très élevé. L'efficacité de ce système a permis de réduire considérablement les dégâts environnementaux en lançant en détection la pollution en moindre coût. Le modèle peut être amélioré en utilisant une large base de données d'images pour augmenter la précision du modèle. Aussi, une amélioration du système en ajoutant des notifications au garde cotes pour la vérification sur les lieux d'éventuelle pollution.

## Références

- [1] David Goeury " La pollution marine " Raymond Woessner. Mers et océans, Atlante, pp.234-247, 2014, Clefs Concours, ISBN-13 : 978-2350302751.
- [2] HAMMOUD Bilal. "Détection de pollution maritime en utilisant un télédétection radar" PhD Thesis. Université Grenoble Alpes (ComUE) Soutenu en 2018.
- [3] TURMINE, Vincent ; BINET, Thomas ; FAILLER, Pierre. L'usage de la télédétection pour l'évaluation économique des écosystèmes marins: application à l'aire marine protégée de Tristão en Guinée. VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, 2012, vol .1. No.3.
- [4] Bouchelaghem, Soufyane. "Télédétection aérienne des déchets de plastiques utilisant les images hyper-spectrales et l'apprentissage automatique" (2022).
- [5] Alvarez-Vanhard, Emilien. Les synergies de la télédétection optique par drone et satellite: changement d'échelle et application à la conservation des prairies humides. Diss. Université Rennes 2, 2021.
- [6] Ranaivoson, Bemana Njara José. Monitoring des forêts de mangrove exploitées à Madagascar par télédétection: de l'observation du géo système à l'estimation d'un potentiel de la ressource crabe de mangrove. Diss. Université de la Réunion, 2022.
- [7] Clermont, Maxime. Évaluation de l'impact des pratiques agricoles sur la turbidité de l'eau dans le littoral du lac Saint-Pierre par télédétection. Diss. Université du Québec à Trois-Rivières, 2022.
- [8] GHENNAM, KAMEL. "POLYCOPIE DE COURS CARTOGRAPHIE ET TELEDETECTION DES FLEAUX AGRICOLES." (2020).
- [9] Amar, R. (2010). Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins: exemple de la Manche-Mer du Nord. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, (8).
- [10] MARINE, C. D. S. D. P., DU GRAND, E. C. D. P., & DES CANARIES, E. M. D. C. Canary Current Large Marine Ecosystem Project (CCLME).
- [11] MATHIS, Emilie. Étude de la répartition spatiale des déchets marins flottants au sein de la mer Égée. 2021. PhD Thesis. Université de Franche-Comté (UFC)

- [12] Marjolaine, OKANGA-GUAY, et al. "Suivi des changements spatiaux et environnementaux dans les mangroves de la province de l'Estuaire du Gabon." Actes de la conférence scientifique internationale.
- [13] Melet, Angelique, et al. "Earth observations for monitoring marine coastal hazards and their drivers." *Surveys in Geophysics* 41 (2020): 1489-1534.
- [14] Takva, Çağatay, and Zeynep Yeşim İlerisoy. "Flying Robot Technology (Drone) Trends: A Review in the Building and Construction Industry." *Architecture, Civil Engineering, Environment* 16.1: 47-68.
- [15] Jaud, Marion, et al. "Diachronic UAV photogrammetry of a sandy beach in Brittany (France) for a long-term coastal observatory." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8.6 (2019): 267
- [16] SABLONNIÈRE, Samuel. *Caractérisation de la bande riveraine en milieu agricole à l'aide de réseaux de neurones convolutifs profonds multi-vues (MVDCNN) et d'images satellites*. 2022.
- [17] Vu, Phuong Lan. *Spatial altimetry, GNSS reflectometry and marine surcotes*. Diss. Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2019.
- [18] Dallaire-Nicholas, P. N. "L'impact de l'intelligence artificielle en droit de l'environnement." *Essai soumis à l'université de Sherbrooke, Québec* (2021): 67
- [19] Dupont, Clément. *Contribution des données de surveillance maritime à la Planification de l'Espace Maritime français-AIS, VMS, Radar: Entre potentiels techniques et contraintes politiques*. Diss. Université de Bretagne Occidentale, 2021
- [20] Vincent, Warwick F., et al. "Terrestrial geosystems, ecosystems, and human systems in the fast-changing Arctic: research themes and connections to the Arctic Ocean." *Arctic Science* 9.2 (2023): 258-265.
- [21] Schreiber, Floriane. *Estimation des conditions océanographiques par inversion de données issues d'un radar imageur non calibré*. Diss. Université de Toulon, 2020
- Letard, Mathilde, et al. "Classification of coastal and estuarine ecosystems using full-waveform topo-bathymetric lidar data and artificial intelligence." *OCEANS 2021: San Diego– Porto*. IEEE, 2021

- [22] Bouafia, Nadjat. Classification efficace des vêtements de mode basée sur les approches: apprentissage automatique ml et apprentissage profond dl. Diss. FACULTE MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE-DEPARTEMENT INFORMATIQUE-OPTION: Informatique Décisionnelle Et Optimisation, 2020.
- [23] Ouail, Beziez, and Hidouci Adenane. "Etude et comparaison de modèles de prédiction basés sur l'apprentissage automatique." (2021)
- [24] BARAKAT, Yassine, et al. "Réseaux de Neurones et Apprentissage Automatique des Systèmes Informatiques." *International Journal of Innovation and Modern Applied Science*, volume 3, issue 3, 2020,ISSN: 2665-8984.
- [25] Krichen, Moez. "Les méthodes formelles sont-elles applicables à l'apprentissage automatique et à l'intelligence artificielle." (2022).
- [26] Thome, Nicolas, and Christian Wolf. "Histoire des réseaux de neurones et du deep learning en traitement des signaux et des images." (2023).
- [27] Marie, Lunda Ilunga Jean. "Cartographie Géotechnique par Deep Learning Approche par Réseaux de Neurones Artificiels ‘ ‘ European Scientific Journal April 2019 edition Vol.15, No.12ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- [28] Bourgeais, Victoria. Interpretation of deep learning for phenotype prediction from gene expression data. Diss. Université Paris-Saclay, 2022.
- [29] MIMOUNE, Zakarya, and Abdelwhab OUAHAB. Développement d'une Architecture Basée sur l'Apprentissage Profond (Deep Learning) pour la Détection d'Intrusion dans les Réseaux. Diss. Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [30] Merrouki, Ahmed. "Implémentation d'un réseau de neurone convolutionnel CNN pour le tri automatique de bouteilles en plastique." (2022)
- [31] Khattri, Sidi Mohammed, Oussama Boulfous, and Souad Encadreur Biad. Classification des images par apprentissage profond deep learning. Diss. Université de Jijel, 2022.
- [32] Chabbi, Lillia, Affaf Chellouche, and Sabrina Encadreur Bouatmane. Classification d'images de textile par les réseaux de neurones Convolutionnels (CNN). Diss. Université de Jijel, 2022
- [33] Lounis, Katia, and Dahbia Moussi. La Classification d'images d'insectes ravageurs en utilisant le Deep Learning. Diss. Université Mouloud Mammeri, 2020.

- [34] Chebout, Lamia, Hamla Abdennour, and Abdelmadjid Nouicer. "Reconnaissance automatique de gestes manuels en langues des signes avec le Deep learning." (2022).
- [35] Lefza, A., Doufar, F., & Haddad, S. E. (2014). Prédiction du débit d'eau d'un système de pompage photovoltaïque par les réseaux de neurones artificiels (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [36] TARED, I., & MAAZOUZ, M. (2020). Reconnaissance automatique des plaques d'immatriculation par réseau CNN.
- [37] Herinckx, Julien, Pierre Defourny, and Julien Radoux. "" Développement d'une méthode de traitement des séries temporelles des satellites Sentinel-1 permettant la discrimination des écosystèmes forestiers du bassin du Congo." Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain. Prom. : Defourny, Pierre ; Radoux, Julien 2019.
- [38] Slimani, Camélia. Vers des algorithmes d'apprentissage automatique économes en E/S pour les systèmes embarqués: application aux K-means et Random Forests. Diss. Université de Bretagne occidentale-Brest, 2022.
- [39] Dallaire-Nicholas, P. N. "L'impact de l'intelligence artificielle en droit de l'environnement." Essai soumis à l'université de Sherbrooke, Québec (2021): 67.
- [40] Fornacca, Davide. "Reconstructing Fire History in Mountain's Complex Environments Using Satellite Time-Series" 2020.
- [41] Le Flecher, Emile. Coordination des mouvements d'un système mobile bi-bras pour la réalisation de tâches complexes de navigation et de manipulation dans un environnement fortement dynamique. Diss. Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2020.
- [42] Bellahmer, H. (2020). Implémentation et évaluation d'un modèle d'apprentissage automatique pour l'estimation de la valeur marchande de propriétés immobilières (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [44] Rezki, D. (2016). Système intelligent d'aide à la décision pour le pilotage d'un processus de forage pétrolier (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [45] BELAZOUG, Mouhoub. Interrogation d'une Base de Données à partir d'une Base de connaissances dans un Environnement de Développement de connaissances. 2015. Thèse de doctorat.

- [46] Chucya Lozano, W. K. (2020). Développement d'un modèle de prédiction de retours de vêtements en fonction des caractéristiques des clients et des produits (Doctoral dissertation, Polytechnique Montréal).
- [47] TAHAR, B. B. (2020). MEMOIRE DE FIN D'ETUDE.
- [48] Rezki, D. (2016). Système intelligent d'aide à la décision pour le pilotage d'un processus de forage pétrolier (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [49] Joela, R. A. PREDICTION DE CHURN ETUDE DESCRIPTIVE ET PREDICTIVE AU SEIN DE LA SOCIETE TELMA.
- [50] Djeflal, A. (2014). Cours Fouille de données avancée. Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie: Université Mohamed Khider-Biskra, 6-8.
- [51] Benhammoud, R., & Kacha, A. R. (2022). Classification automatique de la parole continue basée sur des indices acoustiques en vue de la caractérisation des troubles de la voix (Doctoral dissertation).
- [52] Lopez Gonzalez, J. A. (2016). Exploration des arbres de décision et des support vector machines en vue d'applications dans l'analyse de texte (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
- [53] Bouafia, N. (2020). Classification efficace des vêtements de mode basée sur les approches: apprentissage automatique ml et apprentissage profond dl (Doctoral dissertation, FACULTE MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE-DEPARTEMENT INFORMATIQUE-OPTION: Informatique Décisionnelle Et Optimisation).
- [54] DJEFFAL, A. (2012). Utilisation des méthodes Support Vector Machine (SVM) dans l'analyse des bases de données (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [55] Abdelhamid, D., Salah, R., Chaouki, B. M., & Abdelmalik, T. A. (2010). Classification des images des dattes par SVM: contribution à l'amélioration du processus de tri.
- [56] Cornuéjols, A. (2002). Une nouvelle méthode d'apprentissage: Les SVM. Séparateurs à vaste marge. Bulletin de l'AFIA, 51, 14-23.
- [57] Benbahria, R., & Megri, A. F. (2021). Prédiction Des Systèmes Par Apprentissage Automatique Dans Un Environnement Imprécis.

- [58] Goulon-Sigwalt-Abram, A. (2008). Une nouvelle méthode d'apprentissage de données structurées: applications à l'aide à la découverte de médicaments (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- [59] Mohamed, D. J. E. R. I. O. U. I. (2016). METHODES DE REGRESSION POUR LA SURVEILLANCE DES EAUX PROPRES (Doctoral dissertation, UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE).
- [60] MIMOUNE, Z., & OUAHAB, A. (2019). Développement d'une Architecture Basée sur l'Apprentissage Profond (Deep Learning) pour la Détection d'Intrusion dans Les Réseaux (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draïa-Adrar).
- [61] mohamed Amine, A., Zakaria, E., & Abdelmalek, A. Expérimentations sur la Classification Non Supervisée de Textes Arabes.
- [62] Ke, G. (2014). Mesures de comparabilité pour la construction assistée de corpus comparables bilingues thématiques (Doctoral dissertation, Université de Bretagne Sud).
- [63] Mourali, Y. (2022). Evaluation automatique des contenus éducatifs en ligne basée sur l'analyse de l'apprentissage (Doctoral dissertation, Université Polytechnique Hauts-de-France; University of Sfax; Institut national des sciences appliquées Hauts-de-France).
- [64] BOUCHENAF, I., BOURACHEDI, A., & BOUDJEBBOUR, K. (2020). Segmentation hybride à base de différentes techniques de clustering (Doctoral dissertation).
- [65] Masmoudi, N. (2017). Modèle bio-inspiré pour le clustering de graphes: application à la fouille de données et à la distribution de simulations (Doctoral dissertation, Normandie).
- [66] ESI, M. B. S. M. P. (2022). Techniques de vidéosurveillance embarquées basées sur l'algorithme parallèle K-means, cas de détection d'objets abandonnés (Doctoral dissertation, Université Djillali LIABES).
- [67] Larbi, R. (2021). Déploiement optimal des nœuds de capteurs employant le clustering K-means et un algorithme génétique (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
- [68] BELAID, A., & YAHIAOUI, K. Un système basé sur la vision par ordinateur pour la prévention des dangers des chameaux dans les routes sahariennes.

- [69] LAKHLEF, Yousra, BOUNAR, Rostan, et BOUCHAIR, Ammar Encadreur. L'intelligence artificielle: Quel rôle joue-t-elle dans l'évolution de la maîtrise d'œuvre à Jijel?. 2021. Thèse de doctorat. Université de Jijel.
- [70] United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. UNEP/MAP, Athens.
- [71] United States Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Real-Time Air Quality Monitoring. EPA-454/R-18-003.] [72] BOYLE, Alan E. Marine pollution under the Law of the Sea Convention. *American Journal of International Law*, 1985, vol. 79, no 2, p. 347-372
- [73] Wulder, M.A., White, J.C., Loveland, T.R. et al. (2020). The global characterization of landchange from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 243, 111792. doi: 10.1016/j.rse.2020.111792.
- [74] Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- [75] EPA (Environmental Protection Agency). (2019). *Air Quality Monitoring: Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*.
- [76] Azouz, N. (2017). *Modélisation des flux d'ammoniac aux échelles locale et régionale dans des paysages hétérogènes: application à l'évaluation des dépassements des charges critiques* (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- [77] Desgranges, N. (2015). *Développement d'échantillonneurs passifs de type POCIS pour l'évaluation de la contamination en pesticides des eaux de bassins versants languedociens* (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux).
- [78] Monaco, A., & Prouzet, P. (2016). *Outils pour une approche systémique de l'océan* (Vol. 7). ISTE Group.
- [79] Cretin, A. (2021). *Conception et génération de tests par altération de données pour les systèmes de contrôle et de surveillance des transports: application aux domaines aérien et maritime* (Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté).
- [80] Asensio, M. (2010). *Les drones tactiques à voilure tournante dans les engagements contemporains*. *Recherches & Documents*, (08).

- [81] Seye, M. R. (2022). Intégration d'un nouveau modèle de communication entre acteurs dans une architecture de simulation multi agent (application à deux cas d'étude du Sénégal) (Doctoral dissertation, Sorbonne Université; Université Cheikh Anta Diop (Dakar)).
- [82] Yasmine, M., & Romila, K. (2022). Traitement des eaux turbides par un bio-floculant figue de barbarie (Doctoral dissertation).
- [83] Cugier, P. (1999). Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et le sédiment des éléments majeurs (N, P, Si) rejetés par la Seine en Baie de Seine (Doctoral dissertation, Université de Caen).
- [84] Gueye, M. T., Bop, D., Sorlini, S., Ndoye, A., & Gueye, O. (2023). Impacts de la qualité des ressources en eau sur la biodiversité de l'écosystème aquatique du lac de Technopole et sur les produits agricoles dans cette zone humide de Pikine (Dakar, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(1), 173-191.
- [85] Organisation mondiale de la Santé, O. (2020). Promouvoir les mesures de santé publique dans le cadre de la riposte à la COVID-19 sur les cargos et les navires de pêche: orientations provisoires, 25 août 2020 (No. WHO/2019-nCoV/Non-passenger\_ships/2020.1). Organisation mondiale de la Santé.
- [86] Dansou, C. S. S. (2019). STRUCTURATION ET DYNAMIQUE SPATIALES DES VILLES DE OUIDAH ET DE GRAND-POPO SUR LE LITTORAL BÉNINOIS: ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET PERSPECTIVES (Doctoral dissertation, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)).
- [87] AZZOPARDI, F. LES DRONES AÉRIENS SUR LE TERRITOIRE NATIONAL.
- [88] Palermo, V., Kona, A., Pinedo Pascua, I., Rivas, S., Hernandez, Y., Barbosa, P., ... & Taylor, N. (2019). Résumé du guide: «Comment établir un plan d'action en faveur d'un accès à l'énergie durable et du climat (PAAEDC) en Afrique subsaharienne».
- [89] Bachèlery, P. (2022). La connaissance de l'histoire géologique des volcans: un préalable indispensable à leur surveillance. *Aléas et surveillance de l'activité volcanique 1: Approches géologiques et historiques*, 7.
- [90] GREULICH, S., & KREMER, S. Méthodes de suivis de la biodiversité: Possibilités de suivis automatisés dans les.

- [91] LAHRECHr, A. Nouveau modèle de mobilité Pour le réseau de communication de véhicule aérien sans pilote Approche basée sur les processus décisionnels de chaîne de Markov (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).
- [92] Bouachir, O. (2014). Conception et mise en oeuvre d'une architecture de communication pour mini-drones civils (Doctoral dissertation, Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)).
- [93] Bonnieux, S. (2020). Flotteur pour la surveillance pluridisciplinaire de l'environnement marin. De l'expertise métier aux codes embarqués (Doctoral dissertation, Université Côte d'Azur).
- [94] Bajjouk, T., & PETIT, T. (2023). Inversion de modèle de transfert radiatif et application à l'observation en zone côtière. Inversion et assimilation de données de télédétection: Estimation des paramètres géophysiques, 271.
- [95] Espel, D. (2020). Développement d'une boîte à outils pour comprendre et prédire la dynamique spatiale et temporelle des macrophytes submergés: application aux écosystèmesfluviaux (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse).
- [96] Bonnieux, S. (2020). Flotteur pour la surveillance pluridisciplinaire de l'environnement marin. De l'expertise métier aux codes embarqués (Doctoral dissertation, Université Côte d'Azur).
- [97] Alvarez-Vanhard, E. (2021). Les synergies de la télédétection optique par drone et satellite: changement d'échelle et application à la conservation des prairies humides (Doctoral dissertation, Université Rennes 2).
- [98] HUA, Ang Kean. Land use land cover changes in detection of water quality: a study based on remote sensing and multivariate statistics. *Journal of environmental and public health*, 2017, vol. 2017.
- [99] VÎRGHILEANU, Marina, SĂVULESCU, Ionuț, MIHAI, Bogdan-Andrei, et al. Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Pollution monitoring with Sentinel-5P satellite imagery over Europe during the coronavirus pandemic outbreak. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no 21, p. 3575 .
- [100] EL-ZEINY, Ahmed et EL-KAFRAWY, Sameh. Assessment of water pollution induced byhuman activities in Burullus Lake using Landsat 8 operational land imager and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2017, vol. 20, p. S49-S56.

- [101] THEMISTOCLEOUS, Kyriacos, PAPOUTSA, Christiana, MICHAELIDES, Silas, et al. Investigating detection of floating plastic litter from space using sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no 16, p. 2648.
- [102] OZIGIS, Mohammed S., KADUK, Jorg D., JARVIS, Claire H., et al. Detection of oil pollution impacts on vegetation using multifrequency SAR, multispectral images with fuzzy forest and random forest methods. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 256, p. 113360.
- [103] GHAZALI, Mochamad Firman, WIKANTIKA, Ketut, HARTO, Agung Budi, et al. Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. *Information Processing in Agriculture*, 2020, vol. 7, no 2, p. 294-306.
- [104] WANG, Guoqiang, LI, Jiawei, SUN, Wenchao, et al. Non-point source pollution risks in drinking water protection zone based on remote sensing data embedded within a nutrient budget model. *Water research*, 2019, vol. 157, p. 238-246.

## **Résumé**

La surveillance de la pollution marine est récemment devenue un enjeu de la plus haute importance dans notre société. Bien que les approches de multi-captures en mer puissent être une solution adéquate pour les zones côtières, elles ne peuvent pas toujours être mises en œuvre en pleine mer. Le déploiement d'un drone marin pourrait être considéré comme une alternative acceptable et efficace. Ajoutant à la capacité des drones à la lecture des données réelles et le traitement des images par des algorithmes avancés d'intelligence artificielle tel que les algorithmes d'apprentissage automatique sont d'un apport considérable. Adoptant cette approche, ce projet propose l'utilisation de drones équipés de capteurs standards pour effectuer des tâches de surveillance de la pollution marine. Ces drones sont guidés par notre algorithme d'apprentissage automatique pour la surveillance de la pollution. Ils permettent d'effectuer automatiquement la surveillance d'une zone spécifiée en mer à l'aide de drones marins avec une haute précision.

## Abstract

Monitoring marine pollution has recently become an issue of utmost importance in our society. Although multi-sensors approaches at sea may be an adequate solution for coastal areas, they cannot always be implemented in the open sea. Instead, the deployment of a marine drone could be considered an acceptable and effective alternative. Adding to the ability of drones to read real data, the information provided by satellites on marine pollution is of considerable contribution. Adopting this approach, this project proposes the use of drones equipped with camera to perform marine pollution monitoring tasks. These drones are guided by our drone control algorithm for pollution monitoring. The algorithm embedded into our system uses a machine learning algorithm that learns to detection the pollution automatically. Thus, it can automatically monitor a specified area at sea in efficient manner.

### ملخص

مراقبة التلوث البحري أصبحت مؤخرًا قضية ذات أهمية قصوى في مجتمعنا. على الرغم من أن أساليب الاستقطاب المتعددة في البحر قد تكون حلاً مناسباً للمناطق الساحلية، إلا أنها لا تستطيع دائمًا تنفيذها في كامل البحر. يمكن اعتبار استخدام طائرة بدون طيار بديلاً مقبولاً وفعالاً. بالإضافة إلى قدرة الطائرات بدون طيار على قراءة البيانات الواقعية ومعالجة الصور باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي المتقدمة مثل خوارزميات التعلم الآلي، فإن هذا يمثل إسهامًا كبيرًا. من خلال اعتماد هذا النهج، يقترح هذا المشروع استخدام الطائرات بدون طيار المزودة بمستشعرات قياسية لأداء مهام مراقبة التلوث البحري. يتم توجيه هذه الطائرات بواسطة خوارزميتنا للتعلم الآلي لمراقبة التلوث. تتيح لنا هذه الطائرات مراقبة منطقة محددة في البحر تلقائيًا باستخدام الطائرات بدون طيار بدقة عالية.