

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahlab Blida 1



Institut d'Aéronautique et des Études Spatiales

Département de Navigation Aérienne

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

Master en Aéronautique

Option : Opérations Aériennes

Thème

Intégration des drones dans l'espace aérien en Algérie

Présenté par :

Mr BENZEMRANE Mehdi

Mr MESSAOUI Wail

Encadré par :

Promoteur : M^m BENCHEIKH Saliha

Encadrant : Mr BOULDJEDRI Amine

Promotion : 2023 / 2024

RESUME

Ce mémoire a pour objet de recenser, d'analyser et de recouper les solutions envisageables face à l'essor de la filière du drone civil (UAV), ainsi que les perspectives d'intégration sécurisée de ces nouveaux utilisateurs de l'espace aérien. Dans un premier temps, il conviendra d'évoquer les lacunes afférentes à la répartition de l'espace aérien dans lequel sont employés divers types d'utilisateurs, de comprendre les mécanismes de son fonctionnement et d'identifier les différentes catégories d'utilisateurs. Il s'agira également de définir les limites et les zones d'ombre liées à l'intégration des drones. En deuxième partie, nous nous orienterons vers les perspectives en la matière, notamment les mécanismes et plans d'implémentation de ces vecteurs aériens dans l'espace national, avec l'objectif de les gérer de manière optimale. Enfin, nous mettrons en place les mécanismes idoines pour une gestion sécurisée et efficace de cet espace.

Abstract — This thesis aims to identify, analyze, and cross-reference potential solutions to the rise of the civil drone (UAV) industry, as well as the perspectives for the secure integration of these new airspace users. Initially, it will be necessary to discuss the gaps related to the allocation of airspace, which is utilized by various types of users, to understand the mechanisms of its functioning, and to identify the different categories of users. It will also be essential to define the limitations and uncertainties associated with the integration of drones. In the second part, we will focus on the perspectives in this field, particularly the mechanisms and implementation plan for these aerial vehicles within national airspace, with the goal of managing them optimally. Finally, we will establish appropriate mechanisms for the secure and efficient management of this space.

ملخص -- يهدف هذا البحث إلى حصر وتحليل وتقييم الحلول الممكنة لمواجهة ازدهار قطاع الطائرات المدنية بدون طيار (UAV)، وكذلك آفاق الإدراج الآمن لهؤلاء المستخدمين الجدد للمجال الجوي. في البداية، سيكون من الضروري مناقشة الثغرات المتعلقة بتوزيع المجال الجوي، الذي يستخدمه مختلف أنواع المستخدمين، وفهم آليات عمله وتحديد الفئات المختلفة من المستخدمين. كما سيكون من الضروري تحديد الحدود والمناطق الغامضة المتعلقة بدمج الطائرات بدون طيار. في الجزء الثاني، سنتجه نحو الآفاق في هذا المجال، لا سيما الآليات وخطط تنفيذ هذه الوسائط الجوية في المجال الجوي الوطني، بهدف إدارتها بشكل أمثل. أخيراً، سنقوم بوضع الآليات المناسبة لإدارة هذا المجال بشكل آمن وفعال.

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah, le Tout Puissant, de nous avoir donné la santé, la force, la patience et la capacité de mener à bon terme ce travail.

Nous ne pourrions pas terminer ce travail sans remercier notre promotrice, et notre chef de département, Madame **BENCHIKH Saliha**, pour son soutien dévoué, son expertise et ses conseils précieux tout au long de notre travail. Nous sommes sincèrement reconnaissants envers elle pour son accompagnement et son implication dans notre travail de recherche.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre encadrant, Monsieur **BOULDJEDRI Amine**, qui nous a accompagnés et guidés tout au long de notre stage. Son encadrement attentif, sa disponibilité et son soutien infaillible ont joué un rôle fondamental dans la réussite de notre projet. Ses conseils éclairés et son expertise ont contribué de manière significative à l'avancement de notre travail.

Un remerciement spécial à notre ami **Salim** pour sa patience, son soutien tout au long de ce projet, qui nous a accompagnés et guidés tout au long de notre travail. Grâce à toi, nous avons surmonté les difficultés et accompli ce travail avec succès.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à notre projet de recherche. Votre soutien moral, vos conseils et votre présence ont été d'une importance capitale pour notre réussite.

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers Dieu pour m'avoir donné la force et le courage nécessaires pour accomplir ce travail modeste. Je dédie ce travail :

À ma mère, ma source de vie et de bonheur, tu as été ma plus grande inspiration. Tu m'as toujours soutenue de manière inconditionnelle, m'encourageant à poursuivre mes rêves et surmontant les obstacles à mes côtés.

À Toi, cher papa, qui m'a fait grandir et m'a montrée la voie, Je te suis infiniment reconnaissant pour ton soutien et la confiance que tu m'as accordée, C'est grâce à toi que je suis devenue la personne que je suis aujourd'hui.

Mes frères Hamza, Walid et mes sœurs Sihem et Imène votre présence et votre encouragement ont été d'une importance capitale dans ma vie.

Je tiens à remercier mon binôme Wail pour sa collaboration sérieuse et efficace, qui a permis de mener à bien nos travaux de recherche et d'atteindre nos objectifs académiques.

Mes amis Zaki et Amine, mes âmes frères, Nous avons traversé des moments de bonheur et de douleur. Merci d'être les amis extraordinaires que vous êtes. Je suis honorée et bénie de vous avoir à mes côtés.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué à ma réussite, Qui m'ont aimé, soutenu et encouragé sans limite, Votre présence dans ma vie est un véritable trésor.

MEHDI

Dédicace

À dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies.

À mes chers parents, pour avoir été mes piliers tout au long de ce parcours académique. Votre soutien inconditionnel, vos sacrifices et vos encouragements ont été les clés de mon succès. Chaque étape de ce mémoire est un hommage à votre amour et à votre foi en moi.

À mes amis fidèles, qui ont illuminé mes journées avec leur soutien constant et leur camaraderie. Vos conversations enrichissantes et vos moments de détente m'ont permis de trouver l'équilibre nécessaire pour surmonter les défis académiques.

À mes professeurs et encadrants, je vous suis profondément reconnaissant(e) pour votre expertise, votre patience et votre précieuse guidance. Vos conseils éclairés et vos commentaires constructifs ont joué un rôle déterminant dans l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, à toutes les personnes qui ont croisé ma route et contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce travail, je vous adresse ma sincère reconnaissance. Ce mémoire est le résultat de l'investissement collectif de tant de personnes exceptionnelles. Que cette dédicace soit le témoignage de ma gratitude éternelle envers chacun d'entre vous.

WAIL

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES DRONES ET L'ESPACE AERIEN	
I.1 Introduction	4
I.2 Aperçu sur les drones	4
I.2.1 Présentation des UAV	4
I.2.1.1 Définition et étymologie des drones	4
I.2.1.2 Systèmes de drone.....	5
I.2.1.3 Acteurs des systèmes de drone.....	6
I.2.2 Classification des drones	7
I.2.2.1 Classification des drones selon la masse.....	7
I.2.2.2 Classification des drones selon le mode de propulsion.....	9
I.2.3 Utilisation des drones	11
I.2.4 Avantages et contraintes d'un drone civil	12
I.2.4.1 Les principaux avantages d'un drone civil.....	12
I.2.4.2 Les contraintes rencontrées par les drones civils	12
I.3 L'espace aérien.....	13
I.3.1 Définition de l'espace aérien algérien et de son gestionnaire.....	13
I.3.1.1 Qu'est-ce qu'un l'espace aérien algérien ?	13
I.3.1.2 Limitations de l'espace aérien algérien	13
I.3.1.3 Le gestionnaire d'espace aérien algérien	14
I.3.2 Fonctionnement de l'espace aérien algérien	15
I.3.2.1 Règle de la circulation aérienne	16
I.3.2.2 Subdivision de l'espace aérien.....	17
I.3.2.3 Classification de l'espace aérien algérien	21
I.3.4 La répartition des utilisateurs dans l'espace aérien.....	23
I.4 Conclusion.....	25

CHAPITRE II : QUESTIONS POSEES PAR L'UTILISATION DES DRONES

II.1 Introduction.....	26
II.2 De nombreux risques identifiés	26
II.2.1 Détection difficile des drones	26
II.2.2 Les risques de collision.....	26
II.2.3 Prise en compte des risques d'utilisation malveillante	29
II.2.4 Préservation des libertés publiques et respect de la vie privée	31
II.3 Maîtrise de la sécurité	31
II.4 Exigences vis-à-vis des opérateurs et des télé-pilotes	33
II.5 Technologies en cours de développement	34
II.5.1 La fonction « Détecter et éviter »	35
II.5.2 Les dispositifs anti-drones	37
II.5.3 Système d'interdiction de vol sur certaine zone (Système géo)	37
II.6 Conclusion	38

CHAPITRE III : MODELES D'INTEGRATION

III.1 Introduction	40
III.2 Activités développées par l'OACI.....	40
III.3 Développement des cadres réglementaires (FAA/EASA).....	43
III.3.1 Programmes de développement des cadres réglementaires (FAA/EASA)	44
III.3.1.1 Réglementation FAA	44
III.3.1.2 Réglementation EASA	46
III.3.2 Nouvelles stratégies et réglementation (FAA/EASA).....	49
III.3.2.1 Nouvelle stratégie et réglementation de la FAA	49
III.3.2.2 Nouvelle stratégie et réglementation de l'EASA	51
III.3.3 Analyse comparative des réglementations FAA et EASA	52
III.4 Exemples de réglementations étrangères.....	54
III.4.1 Réglementation de Royaume-Uni	54

III.4.2 Réglementation de Suède	56
III.4.3 Réglementation de la Suisse	57
III.5 Conclusion	61
 CHAPITRE VI: PROBLEMATIQUE D'INTEGRATION DES DRONES EN ALGERIE	
IV.1 Introduction	62
IV.2 Développement du cadre règlementaire national	62
IV.2.1 Recueil réglementaire actuel : Etat des lieux et constats.....	62
IV.2.2 Plan d'implémentation	63
IV.2.2.1 Cas des gros drones (HALE / MALE)	63
IV.2.2.2 Cas des drones très légers.....	64
IV.3 Réalisation et expérimentation	72
IV.3.1 Simulations de scénarios de vol	72
IV.3.1.1 Présentation de Blender.....	72
IV.3.1.2 Utilisation de Blender pour la simulation de scénarios de vol	73
IV.3.2 Application de Visualisation des restrictions UAS	77
IV.3.2.1 Présentation de QGIS	78
IV.3.2.2 Intégration de Python dans notre application	78
IV.3.2.2 La conception de l'application de restriction UAS	79
IV.3.2.2.1 Organigramme de l'application.....	80
IV.3.2.2.2 Création de la carte.....	80
IV.4 Conclusion :.....	87
 CONCLUSION GENERALE.....	 88
 BIBLIOGRAPHIE.....	 90
 ANNEXE.....	 91

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	Classification des drones selon leur masse	8
Figure I.2	Répartition des drones selon leur masse au décollage et le plafond aérien	9
Figure I.3	Répartition des drones selon leur masse au décollage et leur autonomie	9
Figure I.4	Classification des drones selon le mode de propulsion	10
Figure I.5	FIR d'Alger et ses limites	14
Figure I.6	Carte de croisière IFR Algérie	15
Figure I.7	Zone de contrôle CTR	18
Figure I.8	Subdivision de l'espace aérien	20
Figure I.9	Limites de l'espace aérien inférieur	20
Figure I.10	Limites de l'espace aérien supérieur	21
Figure I.11	FIR d'Alger avec sectorisation, zone de contrôle et espaces restreints	21
Figure I.12	La coordination civilo-militaire	23
Figure I.13	Utilisateur de l'espace aérien basse hauteur	24
Figure IV.1	Carte VFR de DAAG	66
Figure IV.2	Télé-pilote dans sa bulle S1, à la campagne	74
Figure IV.3	Télé-pilote dans sa bulle S2, en pleine campagne	75
Figure IV.4	Télé-pilote dans sa bulle S3, en agglomération, drone de 2kg	76
Figure IV.5	Télé-pilote dans sa bulle S3, en agglomération, drone de 8kg	76
Figure IV.6	Télé-pilote le cas du scénario S4	77
Figure IV.7	Console Python dans QGIS.	79
Figure IV.8	Carte de base	81
Figure IV.9	Carte FIR	82
Figure IV.10	Aérodromes de Hassi Messaoud DAUH et de Ouargla DAUU	83
Figure IV.11	Exemples des zones Dangereuses et Interdites dans la région de Tamanrasset	84
Figure IV.12	La zone de restriction de l'aéroport de jijel	85
Figure IV.13	La zone de restriction de l'hélistation du stade Miloud Hadfi (Oran)	86
Figure IV.14	Les différentes restrictions UAS	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1	Secteurs actuels dans l'espace aérien	22
Tableau II.1	Résultats de simulation d'impact de vitesse – UAS quadricoptère de 1,2 kg	28
Tableau II.2	Résultats de simulation d'impact de vitesse – UAS à voilure fixe de 1,8 kg	28
Tableau II.3	Catégories de niveaux de dommages	29
Tableau IV.1	Résumé des scénarios de vol	69

LISTE DES ABREVIATIONS

ADSB	A utomatic D ependent S urveillance- B roadcast / S ystème de S urveillance C oopératif
AIP	A eronautical I nformation P ublication / P ublication d' I nformation A éronautique
ASR	A ir S afety R eport / R apport sur la S écurité A érienne
ATC	A ir T raffic C ontroller / C ontrôle de la C irculation A érienne
ATM	A ir T raffic M anagement/ G estion du T rafic A érien
ATS	A ir T raffic S ervice
AWY	A ir W a Y s / V oies A ériennes
BEA	B ureau d' E nquêtes et d' A nalyses
BVLOS	B eyond V isual L ine of S ight/ V ol H ors V ue
C2	C ommand and C ontrol
CAA	C ivil A viation A uthority
CAG	C irculation A érienne G énérale
CAM	C irculation A érienne M ilitaire
CCR	C entre de C ontrôle R égional
CTA	C ontrol T erminal A rea / Z one de C ontrôle T erminale
CTR	C ontrol T raffic R egion/ R égion de C ontrôle
EASA	E uropean A viation S afety A gency / A gence E uropéenne de la S écurité A érienne
ENNA	E tablishement N ational de la N avigation A érienne
EVLOS	E xtended V isual L ine O f S ight/ V isibilité D irecte E tendue
FAA	F ederal A viation A dmistration
GPS	G lobal P ositioning S ystem
HALE	H igh A ltitude L ong E ndurance
IFR	I nstrument F light R ules / V ol aux I nstruments
LAANC	L ow A ltitude A uthorization and N otification C apability
MALE	M edium A ltitude L ong E ndurance
NOTAM	N OTice T o A ir M en / A vis aux N avigateurs A ériens
OACI	O rganisation de l' A viation C ivile I nternationale

OFAC	Office Fédéral de l'Aviation Civile
RPA	Remotely Piloted Aircraft / Aéronef Piloté à Distance
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System/Système d'Aéronef Piloté à Distance
RTBA	Réseau Très Basse Altitude
SESAR	Single European Sky Air traffic management Research
SGS	Système de Gestion de la Sécurité
SIA	Service de l'Information Aéronautique
TMA	Terminal Manoeuvring Area / Zone de Manoeuvre Terminale
UA	Unmanned Aircraft
UAS	Unmanned Aircraft System
UASSG	Unmanned Aircraft Systems Study Group
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UE	Union Européenne
UTA	Région Supérieure de Contrôle
UTM	Unmanned Traffic Management / Gestion du Trafic Aéronef sans équipage à bord
VFR	Visual Flight Rules / Règles de Vol à Vue
VLL	Very Low Level / Niveau très bas
VLOS	Visual Line of Sight / Vol en Vue du Drone
ZIPVA	Zones Interdites à la Prise de Vue Aérienne

INTRODUCTION GENERALE

La gestion du trafic aérien est une préoccupation constante des autorités de l'aviation depuis l'avènement de l'aviation de transport. Elle vise à assurer la sécurité des vols, notamment en séparant les aéronefs les uns des autres, ainsi que l'efficacité de la circulation aérienne en optimisant les flux de trafic. Elle fournit également des services à l'attention des usagers de l'espace aérien. Les drones, ou aéronefs évoluant sans pilote à bord, constituent une nouvelle catégorie d'aéronef.

Profitant des progrès des technologies numériques, le développement des drones est aujourd'hui exponentiel, tant pour des applications de loisir que professionnelles. L'apparition de ces nouveaux usagers de l'espace aérien pose cependant des problématiques de sécurité des vols pour les autres usagers et constitue une menace pour la sûreté de certaines installations et pour la vie privée des citoyens. L'intégration sûre et efficiente des drones dans le trafic aérien est ainsi aujourd'hui une préoccupation pour l'ensemble de la communauté aéronautique, pour les autorités gouvernementales et les acteurs économiques.

L'accroissement rapide et récent de la circulation de drones doit être pris en compte pour intégrer ces engins dans l'espace aérien sans effet négatif sur les autres trafics. Les drones peuvent être de n'importe quel type et de n'importe quelle taille et leurs missions peuvent se dérouler dans toutes les classes d'espace aérien à n'importe quelle altitude.

« 400.000 drones civils devraient être utilisés à des fins professionnelles d'ici 2050, tandis que 7 millions de drones de loisir sont attendus dans le même temps », [1]. L'usage du drone civil aérien est assez récent depuis une dizaine d'années. Il est devenu un véritable outil de travail pour de nombreux professionnels et un parfait engin de loisir pour les amateurs de technologie. Son utilisation est en très forte évolution dans le monde ainsi sur le territoire algérien. De par son statut d'aéronef, il est au cœur des discussions entre les organismes institutionnels et les acteurs privés dans l'optique d'adopter des textes, qu'ils soient de source internationale, européenne ou encore nationale visant à sécuriser son intégration dans l'espace aérien.

L'histoire de l'aviation nous a montré qu'ignorer la sécurité au sol comme en vol engendre des événements dramatiques. Au vu des prévisions du nombre exponentiel d'aéronefs sans équipage à bord bientôt en circulation, l'ensemble des acteurs de la filière drone doivent participer à cette prise de conscience qui améliorera la sécurité de tous dans un objectif commun de structurer et assurer la pérennité de l'activité.

Dans le cadre national, l'Algérie vient de se doter d'un cadre réglementaire général, régissant exclusivement les systèmes de drones à travers la promulgation du décret présidentiel 21-285 du 13 juillet 2021. Ce décret fixe le cadre général régissant les systèmes d'aéronefs sans pilote à bord, notamment son article 16, et un Centre National des Systèmes d'Aéronefs sans Pilote à Bord a été créé auprès du Ministère de la Défense Nationale.

Le Centre National des Systèmes d'Aéronefs sans Pilote à Bord est un Etablissement Public à caractère Administratif à vocation intersectorielle, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Ses missions sont consacrées aux termes du Décret présidentiel. Etant à la fois une autorité nationale de régulation, un garant de la sûreté et de la sécurité des activités des aéronefs sans pilote à bord. L'objectif principal du centre est de fixer le cadre général régissant cette catégorie de systèmes de drones, en matière de fabrication, d'acquisition, d'importation, d'exploitation, de vente, de cession, de réforme, et d'utilisation, ainsi que toutes autres questions techniques, administratives ou juridiques liées à ces systèmes.

Notre projet de fin d'études aborde la problématique d'utilisation des drones d'une façon personnalisée, inspirée des conceptions de pays leaders dans ce domaine. L'approche consiste en l'intégration des drones dans l'espace aérien, en mettant en exergue la sécurité des vols. L'objectif est de proposer des solutions viables pour leur intégration en tenant compte des questions soulevées par les utilisateurs.

Notre mémoire est articulé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est divisé en deux volets. Le premier volet présente ce que sont les drones, leurs applications actuelles et potentielles et leur classification. Le deuxième volet est concentré sur la définition de l'espace aérien et la subdivision de l'espace aérien algérien ainsi ses gestionnaires.
- Le deuxième chapitre aborde l'ensemble des problématiques associées à un développement plus large des activités des drones. Ceci couvre ce qui touche à la nécessaire maîtrise de la

sécurité, et notamment les perspectives d'une intégration des drones dans l'espace aérien au côté des aéronefs avec pilotes à bord. Les différents sujets de nature non technique susceptibles de freiner le développement des activités utilisant des drones sont également abordés dans ce chapitre : respect de la vie privée, risques d'utilisation malveillante.

- Le troisième chapitre fait un point sur les aspects réglementaires. Sont notamment abordés dans ce chapitre les différents travaux menés pour développer un cadre réglementaire aussi harmonisé que possible au sein de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), de l'Union Européenne (initiatives de la Commission Européenne), de la Federal Aviation Administration (FAA), et les réglementations d'ores et déjà développées dans quelques pays présentant des situations contrastées.
- Le quatrième chapitre de ce mémoire aborde la problématique de l'intégration des drones dans l'espace aérien algérien. Ainsi, une application de visualisation des restrictions UAS, à base de QGIS utilisant des script Python, a été créée.
- Enfin, une conclusion générale résume nos principaux apports et ouvre quelques perspectives à ce travail.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES DRONES ET

L'ESPACE AERIEN

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES DRONES ET L'ESPACE AERIEN

I.1 Introduction

Le terme « drone » est aujourd'hui florissant dans tous les médias et partout sur internet, mais l'utilisation du terme est souvent abusive et floue. Ce premier chapitre éclaircira le lecteur sur la définition d'un drone, ses acteurs, ses classifications et ses récentes applications. Dans ce mémoire, seuls les drones aériens seront abordés, pourtant il existe une multitude de type de drones. Il existe des drones dans le domaine maritime (sous-marins ou de surface) et les industriels expérimentent également des drones terrestres.

Les drones aériens sont en train d'envahir l'espace aérien. Si autrefois leur utilisation et leur développement étaient extrêmement chers et donc réservés aux militaires, aujourd'hui la forte baisse des prix de leur technologie a permis une importante démocratisation des drones. Ils seront devenus alors parmi les utilisateurs principaux de l'espace aérien, vu leurs applications variées. L'espace aérien sera discrétisé dans ce même chapitre en expliquant son fonctionnement et en citant ses utilisateurs et leurs répartitions.

I.2 Aperçu sur les drones

I.2.1 Présentation des UAV

I.2.1.1 Définition et étymologie des drones

Un drone est un aéronef sans pilote à bord qui peut voler de façon autonome ou être contrôlé à distance depuis le sol par le moyen d'un système de commande embarqué (radiocommande, smartphone...).

En français, le mot drone peut s'appliquer à un engin aérien, terrestre ou bien sous-marin. En anglais, le mot drone signifie littéralement « faux-bourdon » (le mâle de l'abeille).

Cette détermination ne s'applique qu'à un engin aérien. Une autre traduction anglaise très connue est UAV. Par ailleurs, le terme UAS est de plus en plus répandu. L'Administration de l'Aviation Fédérale FAA tend à employer les termes UA et UAS et n'utilise plus le terme UAV.

Nous employons couramment le mot drone lors de nos discussions mais il n'est pas utilisé par les institutions pour mentionner celui-ci. Le drone, sera utilisé pour faciliter de langage. Cependant, on parle actuellement dans les textes « d'aéronef sans équipage à bord ». Cette terminologie européenne ayant été préférée à celle d'aéronef ne circulant sans personne à bord. La terminologie "systèmes d'aéronefs sans pilote à bord" est celle utilisée en Algérie qui est mentionnée dans le *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 56*.

De par ses caractéristiques, son fonctionnement, le drone rentre dans la catégorie des aéronefs. La circulaire 128/AN/190 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) sur les systèmes d'aéronefs sans pilote de 2011 précise que le drone est un aéronef opéré sans présence d'un pilote à son bord. Ainsi, il n'est pas nécessaire qu'un pilote soit présent à bord pour que l'appareil soit qualifié d'aéronef.

I.2.1.2 Systèmes de drone

Le règlement d'exécution de l'Union Européen (UE) 2019/947 de la Commission du 24 mai 2019, relatif à l'exploitation d'aéronef sans équipage à bord, ne définit pas le drone en lui-même mais le système d'aéronef sans équipage à bord. Son article 2, consacré aux définitions, définit un système de drone comme étant tout aéronef sans équipage à bord équipé d'un dispositif servant à le contrôler à distance.

Le système de drone fonctionne grâce à trois principaux composants :

- ✓ Le premier composant est le châssis. Il s'agit de la base du drone. Ce châssis, peut être composé de plusieurs bras allant jusqu'à huit.
- ✓ Le deuxième composant est le système de propulsion. On y trouve le moteur, les hélices, un contrôleur de vitesse électronique et la batterie.
- ✓ Le dernier composant est le contrôleur de vol. Il s'agit d'une radiocommande qui assure la communication entre le télé-pilote et le drone. C'est grâce à ce dernier composant qu'on peut manœuvrer l'engin dans son environnement.

I.2.1.3 Acteurs des systèmes de drone

I.2.1.3.1 Le télé-pilote

Il est inconvenant de parler de drone en tant qu'aéronef sans pilote. Il y a bien un pilote lequel ne se situe certes pas au sein de l'aéronef mais à distance. Le drone, en tant qu'un engin aérien, n'est qu'un élément parmi un ensemble dont l'homme reste au cœur. Si le drone est inhabité, il n'en est pas pour autant déshumanisé, il est un aéronef télé-piloté.

Le terme "**télé-pilotage**" est défini comme le fait *(de contrôler manuellement les évolutions d'un aéronef circulant sans personne à bord communément appelé drone, soit en vol automatique qui permet à tout moment au télé-pilote d'intervenir sur la trajectoire, soit en vol autonome, le pilote ayant prévu directement la trajectoire et les points de passage de cet aéronef), [2].*

On distingue trois types de télé-pilotes, que l'on peut identifier comme trois degrés "d'interventionnisme" du télé-pilote vis à-vis du drone. On part du cas où le télé-pilote agit le plus sur le drone pour arriver au cas où il n'a aucune action sur le drone au cours du vol, la trajectoire du drone ayant été paramétrée. Il s'agit :

- Soit d'un pilotage par télécommande directe en vue, où le télé-pilote actionne son drone sans de quitter les yeux ;
- Soit d'un pilotage *hors vu*, ou First Person View (FPV), où le télé-pilote dirige son drone à partir des informations transmises par une caméra embarquée ;
- Soit, enfin, d'un pilotage automatique qui nécessite une programmation et un module de navigation par satellite.

Avant tout vol, le télé-pilote doit assurer la préparation technique et administrative des missions.

L'aéronef du télé-pilote n'est pas prioritaire dans l'espace aérien. Il doit être attentif lors d'opérations afin de détecter visuellement mais aussi auditivement tout rapprochement d'aéronef. Il doit obligatoirement céder le passage à tout aéronef habité et appliquer les dispositions de prévention des abordages prévues par les règles de l'air. Enfin, tous les télé-pilote ont l'obligation de suivre une formation théorique qui donne lieu à certificat d'aptitude théorique de télé-pilote et d'une formation pratique pour l'obtention des licences de pilotage. Ils

ont une responsabilité et des sanctions peuvent être prises à leur encontre en cas de fautes graves.

I.2.1.3.2 L'exploitant

L'exploitant du drone a été défini par Organisation de l'Aviation Civile Internationale comme une personne, un organisme ou une entreprise qui se livre ou propose de se livrer à l'exploitation d'un ou de plusieurs aéronefs.

Le Règlement d'exécution (UE) 2019/947 de la Commission du 24 mai 2019 a défini, en son article 2, l'exploitant de systèmes d'aéronefs sans équipage à bord (exploitant d'UAS) comme toute personne physique ou morale qui exploite ou entend exploiter un ou plusieurs UAS.[3]

L'exploitant doit s'engager à respecter le régime de responsabilité le concernant ainsi que les règles qui visent à maintenir un niveau de sécurité satisfaisant. Egalement, il doit s'assurer du niveau de compétence théorique et pratique des télé-pilotes et établir et tenir à jour un dossier pour chaque télé-pilote contenant notamment les certificats et titres aéronautiques détenus.

I.2.2 Classification des drones

Un drone est un aéronef sans pilote, télécommandé ou bien programmé. Il existe une multitude de drones dont la taille, la masse, la portée, l'altitude et l'autonomie sont des paramètres qui se changent de catégories selon l'application ou la mission que doit réaliser un drone. Ces critères nous permettent de dire qu'il n'existe pas une façon unique de classer les drones.

Cependant, pour des raisons de sécurité dans l'espace aérien national, plusieurs pays se sont penchés sur la classification de ces drones. Les classifications de drones les plus répandues sont fondées sur les critères de la masse et du mode de propulsion.

I.2.2.1 Classification des drones selon la masse

Les Etats-Unis ont proposé une répartition en cinq catégories : micro, mini, tactique, MALE (Medium Altitude Long Endurance) et HALE (High Altitude Long Endurance). Une sixième catégorie pourrait faire son apparition avec des drones gros porteurs type cargo.

Ces catégories sont résumées comme suit :

- **Les micro drones** : Ce sont des drones ayant des tailles variant du centimètre à quelques dizaines de centimètres. Généralement propulsés électriquement. Ils permettent de faire des vols à l'intérieur. Ils emportent de faibles charges.
- **Les mini drones** : Ce sont des drones légers et de taille réduite (jusqu'à quelques kilogrammes et d'une envergure jusqu'à 1 à 2 mètres). Ils ont une autonomie relativement faible (de 10 à 30 minutes) et généralement utilisés pour l'observation de zones difficiles à l'accès.
- **Les drones tactiques** : Ce sont des drones qui constituent un outil de reconnaissance d'un champ de bataille, de ciblage des objectifs, et de guerre électronique. Ces engins ont une portée allant de 70 à 150 km, une endurance de 3 à 10 heures, et une altitude de 150 à 3.000 m.
- **Les drones MALE** : Ils sont utilisés pour des vols de longue durée à moyenne altitude opérationnelle et ayant une grande autonomie.
- **Les drones HALE** : Ce sont des drones de grande taille, le plus souvent à voilure fixe. Ils sont capables de rester très longtemps en vol et de collecter des informations sur de très longues périodes (entre 12 et 48 heures).

Ces deux derniers types de drones font partie de la classe de drone de grande taille. Ils peuvent embarquer des armes, ce qui nécessite généralement d'avoir un humain dans la boucle. Le drone MALE doit garder la décision de tir et pouvoir à tout moment annuler la mission. La Figure I.1 représente le spectre de masse des différents drones.

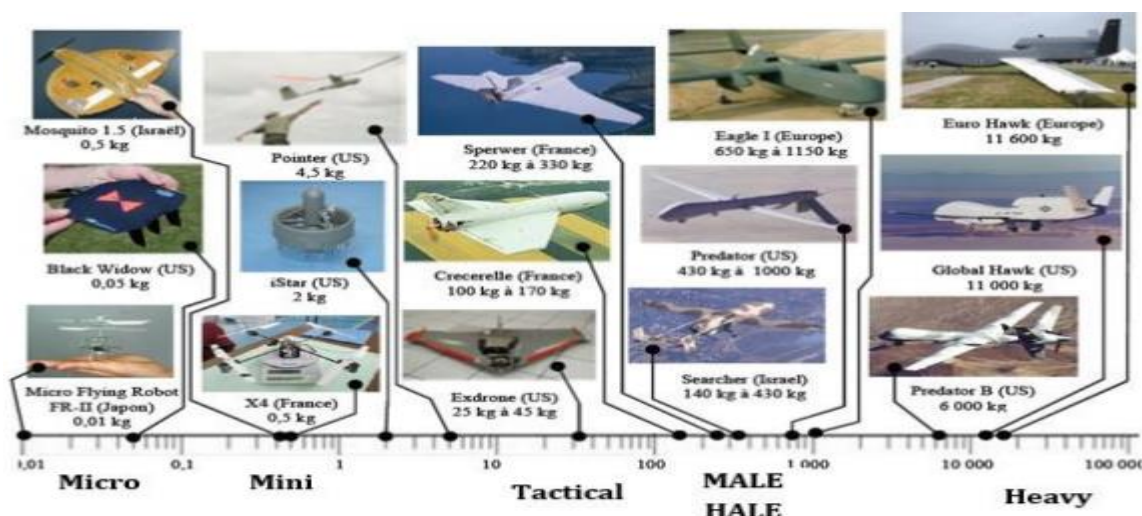


Figure I.1 : Classification des drones selon leur masse (kg)

A partir de ces différentes classes, nous pouvons répertorier les drones selon leur plafond aérien (Figure I.2) ou leur autonomie (Figure I.3).

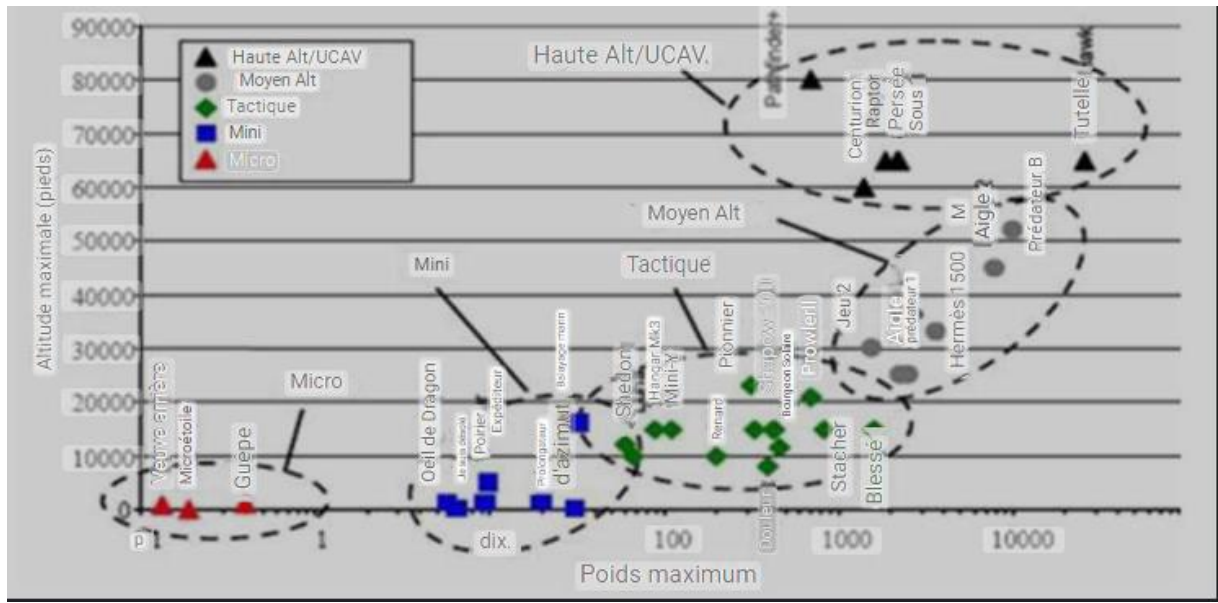


Figure I.2 : Répartition des drones selon leur masse au décollage et le plafond aérien

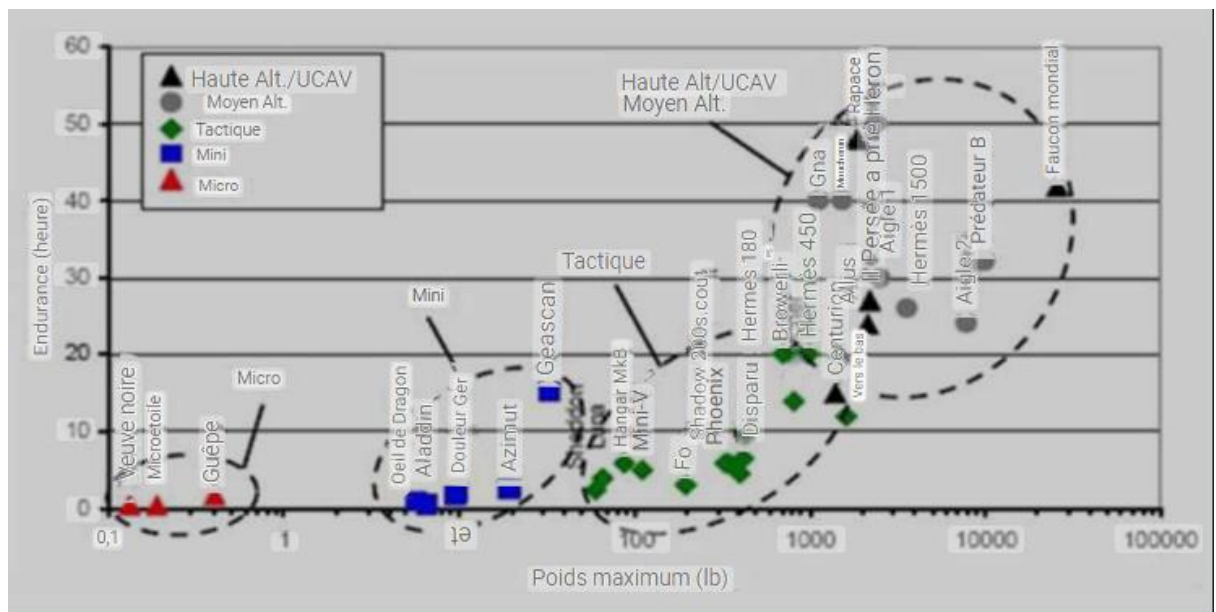


Figure I.3 : Répartition des drones selon leur masse au décollage et leur autonomie

I.2.2.2 Classification des drones selon le mode de propulsion

Les drones peuvent être aussi classés selon le mode de propulsion. Nous distinguons les drones à voilure fixe et les drones à voilure tournante ainsi qu'une autre catégorie les drones hybride dit convertible.

- **Les drones à voilures fixes** : Ce sont des drones utilisant les ailes fixes dans leur mode de déplacement. Ils assurent leur poussée par leur moteur et leur portance par leur moteur et leurs ailes. Cela leur permet de couvrir de longues distances et d'atteindre de hautes altitudes.
- **Les drones à voilures tournantes** : Ce sont des drones qui assurent leur poussée et leur portance par leurs moteurs. Ils se subdivisent en plusieurs sous-classes dont notamment les **Mono-rotors**, les **birotors**, les **tri-rotors** et les **Quadrirotors**. Ils ont l'avantage d'effectuer un vol stationnaire à basse vitesse et à faible altitude. De même, ils assurent les décollages et les atterrissages verticaux.
- **Les drones hybrides** : Ce sont des drones, appelés aussi les convertibles, qui appartiennent aux deux types d'aéronefs, drones à voilure fixe et drones à voilure tournante. Ils effectuent le vol stationnaire avec les mêmes capacités que les aéronefs à voilure tournante (grande manœuvrabilité, survol, ...) et la croisière avec les mêmes caractéristiques que les aéronefs à voilure fixe.
- **Les drones à ailes battantes** : Ce sont des drones dont leur mécanique est inspirée des oiseaux ou des insectes. Ils sont de petite taille, appartenant à la classe des micro drones, donc ils ont la possibilité de pénétrer dans des endroits encombrés ou de petits espaces.

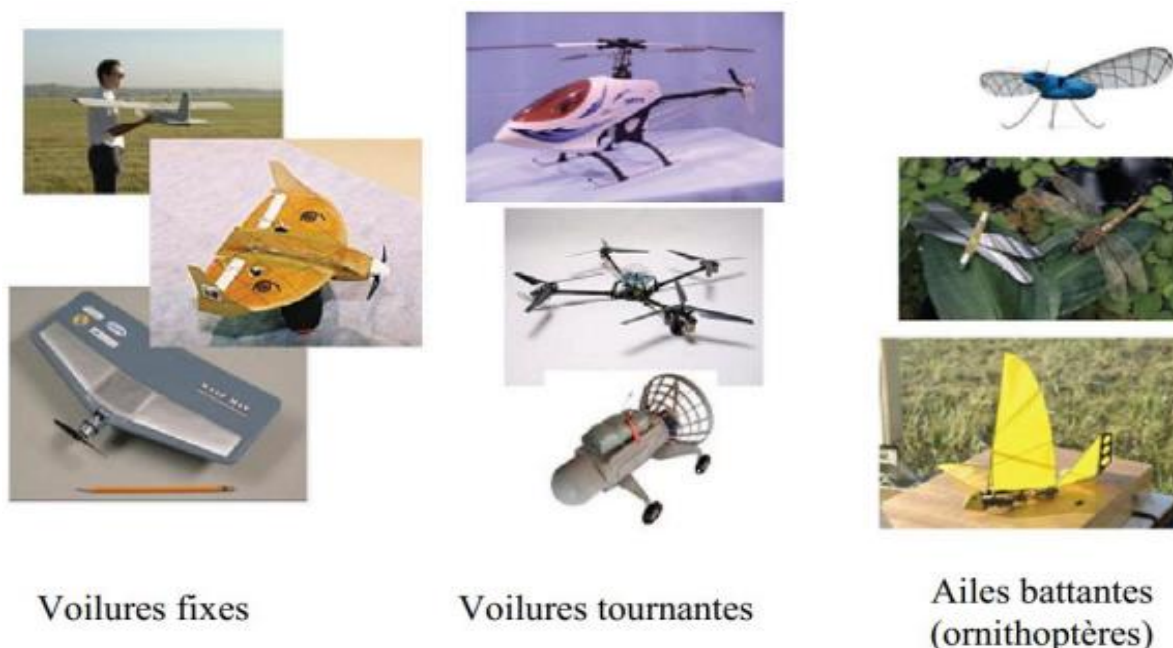


Figure I.4 : Classification des drones selon le mode de propulsion .

I.2.3 Utilisation des drones

Les drones sont utilisés pour plusieurs besoins, militaires ou civils. En ce qui concerne, le **domaine militaire** par exemple, il y'a entre autres :

- ✓ La préservation maximale de la vie des soldats en tenant l'information disponible en temps réel ;
- ✓ La prise de décision tactique en générant des modifications majeures dans la manière de concevoir non seulement les opérations aériennes mais, au-delà, les principes mêmes des opérations inter armées ;
- ✓ Les missions principales telles que la reconnaissance, l'espionnage et l'écoute ;
- ✓ La reconnaissance des frontières.

Dans le **domaine civil**, ils sont également utilisés entre autres pour :

- ✓ La recherche et le sauvetage dans les endroits inaccessibles et dangereux, comme les montagnes, la mer et les centrales chimiques ;
- ✓ L'évaluation des dommages, la surveillance des feux de forêt, des lignes électriques haute tension, le survol des régions éloignées, montagneuses et peu accessibles, des zones de pêche et des routes maritimes très fréquentées et dangereuses, les niveaux de pollution atmosphérique ou en mer, la surveillance du trafic routier, les tracés terrestres et la cartographie ;
- ✓ La surveillance des pipelines de pétrole et de gaz, surveillance de cargaisons dangereuses, des sources d'eau, des vestiges archéologiques, des filons de matières premières ou de combustible ;
- ✓ Les prises de vue aériennes, ainsi que la transmission vidéo (mode temps réel ou mode enregistrement) ;
- ✓ Agriculture (Surveillance des zones agricoles, Analyse des cultures...) ;
- ✓ Cartographie (géomètre expert, Analyse numérique des terrains, reconstitution 3D...).

I.2.4 Avantages et contraintes d'un drone civil

Un drone civil est un robot ou aéronef volant, truffé de capteurs, piloté à distance et qui permet d'embarquer un appareil photo et une caméra. Il possède, comme tout appareil, plusieurs avantages et contraintes.

I.2.4.1 Les principaux avantages d'un drone civil

Parmi la ribambelle d'avantages des drones civils, nous pouvons citer entre autres :

- ✓ Mise en œuvre rapide par une unité proche d'une zone d'opération ou au contact et dont les données sont exploitées sur place ;
- ✓ Souplesse d'opération (envoi, récupération, réutilisation) ;
- ✓ Gain de temps par une mise en œuvre rapide ;
- ✓ Accès à des endroits difficiles voire impossibles pour l'homme, ce qui limite et évite des risques humains dans les environnements dangereux ;
- ✓ Inspection de zones dangereuses ou polluées ;
- ✓ Mise en valeur d'action rapide ;
- ✓ Le plus économique des moyens aériens (coûts financiers de conception et d'entretien réduits,) ;
- ✓ Vol stationnaire ;
- ✓ Vision 360° avec une grande précision et prise d'image de marque ;
- ✓ Missions de plus longue durée grâce à l'absence d'équipage à bord ;
- ✓ Pouvoir d'exécuter des missions de grande flexibilité ;
- ✓ Capacité de charge utile relativement haute et variée ;
- ✓ Mobilité stratégique car ils sont en général aérotransportables et trouveront une place sur des plates-formes d'envol marine réduite comme des patrouilleurs de haute mer,
- ✓ Formidable outil de communication moderne et dynamique.

I.2.4.2 Les contraintes rencontrées par les drones civils

Parmi les bémols auxquels sont confrontés les drones, il y'a entre autres :

- ✓ En tant qu'engins non habités et présentant des risques de défaillances techniques irrécupérables, ils nécessitent des certifications rigoureuses pour être autorisés à voler ;
- ✓ Il y a très peu d'éléments disponibles en matière d'étude de fiabilité, de concept de maintenance sur les drones en général et de couts d'acquisition et de soutien en particulier ;
- ✓ La photographie aérienne peut être sujette à des réclamations pour atteinte à la vie privée et liberté personnelle.
- ✓ Problème de tenue mécanique suites aux dommages subies pendant les atterrissages forcés ;
- ✓ Règlementation contraignante ;
- ✓ Pilotage « sensible ».

I.3 L'espace aérien

I.3.1 Définition de l'espace aérien algérien et de son gestionnaire

I.3.1.1 Qu'est-ce qu'un l'espace aérien algérien ?

La convention de Chicago de 1944 définit les règles internationales concernant les règles de l'air. Cela dit, la zone de l'air, dit territoriale, est la partie du milieu aérien qui se trouve au-dessus du territoire national, des eaux et de la mer territoriale et qui est considéré sous la responsabilité complète et exclusive de l'Etat. En effet, l'article 2 du *Décret présidentiel N°06-151* le stipule : *{L'espace aérien algérien est l'espace aérien qui se trouve au-dessus de régions terrestres et des eaux territoriales adjacentes sur lequel l'Algérie exerce sa souveraineté}.[4]*

Dans un espace aérien algérien, il y a deux typologies de circulation aérienne expliquées plus loin.

I.3.1.2 Limitations de l'espace aérien algérien

La position géographique de l'espace aérien algérien est comprise entre les parallèles 19° N 39°N et entre les méridiens 9°W et 12° E. L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) assure le service du contrôle aérien et d'informations en vol aux aéronefs traversant l'espace aérien national. Ce dernier s'étend à la partie sud de la Méditerranée contiguë aux régions FIR (s) Marseille, Barcelone et Séville au Nord et adjacent à l'ouest à la FIR

Casablanca, à l'est à la FIR Tunis et Tripoli et au Sud à la FIR Dakar et Niamey (voir Figure I.5).

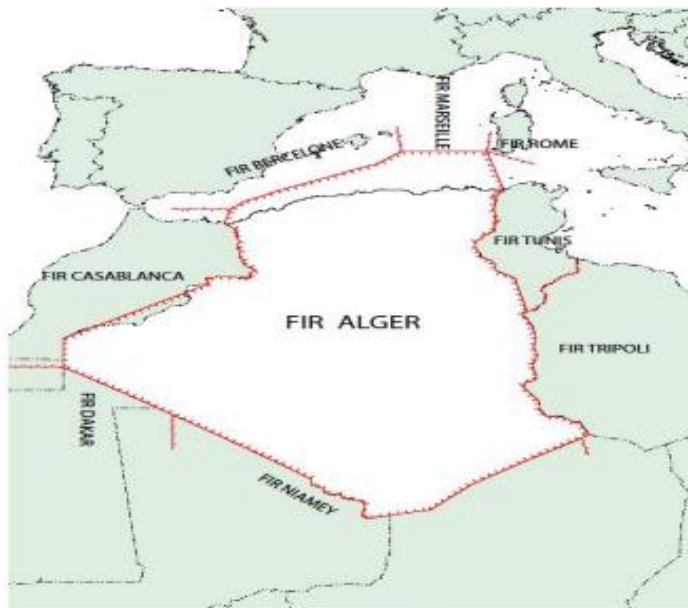


Figure 1.5 : FIR d'Alger et ses limites

I.3.1.3 Le gestionnaire d'espace aérien algérien

En Algérie, ce sont les ministres de la défense National, représentant les Forces de Défense Aérienne du Territoire (CFDAT), et du transport représentant l'Établissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) qui sont compétents pour organiser l'espace aérien. Ils se réunissent durant le Directoire de l'espace aérien pour coordonner les actions de l'Etat dans le but d'organiser l'utilisation de l'espace aérien. Selon L'article n°3 de **Décret présidentiel N° 06-151**, stipule : *(la gestion de l'espace aérien est ordonnée selon le principe de compatibilité qui est assurée par la coordination ou par ségrégation)*. [4]

La coordination a pour objectif la satisfaction des besoins simultanés des circulations aériennes générale et militaire dans un espace aérien donné, en un instant donné ou une période donnée.

La ségrégation consiste à attribuer à chaque type de circulation aérienne des espaces aériens distincts qui n'interfèrent pas les uns avec les autres.

L'Établissement National de la Navigation Aérienne (ENNA), représentant le centre de contrôle régional (CCR), est chargé d'assurer les services de la circulation aérienne générale dans la région d'information (*la FIR algérienne*, code DAAA). A l'intérieur de celle-ci, on

retrouve les espaces aériens contrôlés, les zones réglementées, les zones dangereuses et les zones à utilisation obligatoire de radio ou de transpondeur ainsi que les espaces aérons réservés à des usagers spécifiques pendant une durée déterminée.

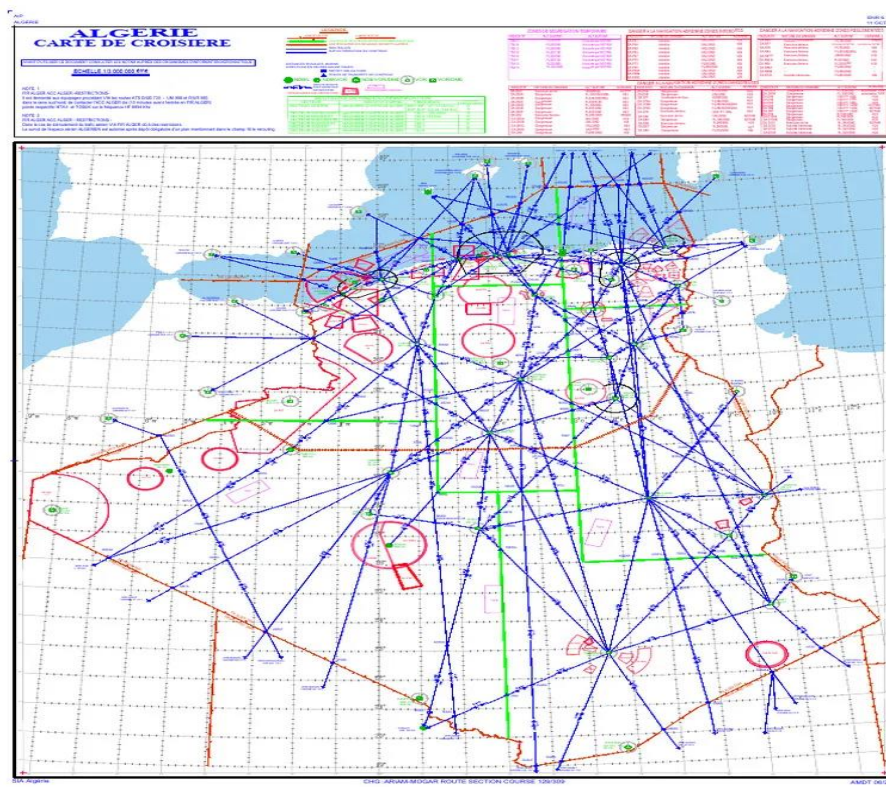


Figure I.6 : Carte de croisière IFR Algérie

I.3.2 Fonctionnement de l'espace aérien algérien

Les règles qui encadrent les activités aériennes sont celles parmi les mieux réglementées et contrôlées de toutes celles qui sont actuellement menées par les hommes. Cet espace original et récent se compose de plusieurs volumes en trois dimensions qui s'imbriquent les uns aux autres pour en faire une architecture complexe et temporaire. Il est géré par les prestataires de la navigation aérienne.

En Algérie, l'ENNA est chargée de rendre les services de la circulation aérienne au moyen des centres de contrôle en route et des tours de contrôle. Nous verrons les règles de la circulation aérienne ainsi que les différents types et classes d'espaces.

I.3.2.1 Règle de la circulation aérienne

La circulation aérienne est divisée en deux catégories dans le but d'éviter les abordages entre les différents types de trafic.

La première catégorie de la circulation aérienne concerne la Circulation Aérienne Générale (CAG). Elle concerne les mouvements des aéronefs civils, des aéronefs de l'aviation légère ainsi que certains aéronefs d'Etats, nationaux ou étrangers. En effet, celle-ci répond à des objectifs économiques et cherche à rendre le trafic plus fluide, plus sûr et moins coûteux. Il est à noter qu'une partie des vols militaires peut se faire sous le régime de la CAG (transport ou vol de liaison).

La CAG est régie par les règles de l'air qui s'adresse à deux types de vols : Règle des vols aux instruments IFR (Instruments Flight Rules) et règle des vols à vue VFR (Visual Flight Rules). La règle des vols aux instruments IFR s'agit d'un mode de vol fréquemment utilisé par les aéronefs commerciaux au départ d'un aéroport jusqu'à l'arrivée à un autre aéroport. Les pilotes à bord naviguent dans l'espace aérien uniquement à l'aide des outils de navigation et à l'aide des contrôleurs aériens, ils ne naviguent donc pas en regardant des repères au sol comme c'est le cas pour les vols VFR. La pratique des vols VFR requiert de respecter des conditions météorologiques. Il s'agit par exemple de la visibilité qui ne doit pas être inférieure à 5 km, mais aussi le respect d'une certaine distance par rapport aux nuages pour assurer la sécurité des vols.[5]

La seconde catégorie de la circulation aérienne est militaire (CAM). Elle concerne les aéronefs militaires et les aéronefs en vol d'essai, et dispose de ses propres services aériens et répond donc à des objectifs opérationnels. Les aéronefs militaires évoluent dans le même espace aérien.

Dans ce résumé des règles de l'air, nous pouvons constater qu'elles ne traitent que des aéronefs habités. Effectivement, les règles de l'air pour les aéronefs sans équipage à bord ne sont pas incluses. Bien que le drone soit affilié à la catégorie juridique des aéronefs, il n'est pas utilisé et ne vole pas de la même manière qu'un aéronef habité. Alors, la consigne destinée à ce type d'appareil est qu'il n'est pas prioritaire lorsqu'un aéronef habité se rapproche de sa zone d'évolution. Il devra donc modifier, écarter sa trajectoire ou poser l'appareil si l'évitement n'est pas réalisable. Il faut bien se rendre compte qu'un aéronef habité qu'il soit en vol VFR ou IFR, n'a pas la capacité de respecter la règle « voir et éviter » connue. C'est le cas habituellement,

du fait de la faible taille, des drones. Ces derniers sont difficilement repérables dans le champ de vision des équipages. C'est pour cela qu'il est demandé aux télé-pilotes de réaliser leurs opérations en vue du drone. Si l'opération se déroule en hors vue, celui-ci devra respecter une limitation de masse du drone à moins de 2 kg s'il évolue au-delà de 50 mètres de hauteur afin de limiter les risques importants d'abordage avec un aéronef volant à basse hauteur.

A noter qu'il existe des règles de hauteurs minimales de survol des agglomérations pour les aéronefs habités. Hormis lors des atterrissages et les décollages, la hauteur minimale hors agglomération est de 500 ft, ce qui équivaut à 150 mètres au-dessus du sol, de l'eau, de toute personne ou obstacle artificiel. Les drones quant à eux peuvent atteindre une hauteur de survol maximale de 120 mètres se trouvant en dessous de ces règles de survol et se retrouvant dans l'espace de niveau très bas VLL (Very Low Level).

I.3.2.2 Subdivision de l'espace aérien

La subdivision de l'espace aérien est faite pour séparer les différents types de trafic (CAM, CAG, IFR, VFR...etc.) et délimiter la responsabilité concernant le service rendu.

L'espace aérien est divisé en plusieurs parties chacune étant adaptée à la densité et au type de trafic auxquels elle est soumise, tout d'abord en espace contrôlé et non contrôlé puis en espace inférieur et supérieur et en différents espaces interdit, réglementé et dangereux.

I.3.2.2.1 Division de l'espace aérien selon le service rendu

La subdivision de l'espace aérien se fait selon le service rendu, que l'espace aérien soit contrôlé ou non contrôlé.

L'**espace aérien contrôlé** est un espace dans lequel les services rendus sont les services de contrôle, d'information de vol et d'alerte. Il comprend les régions suivantes :

- La **région supérieure de contrôle UTA** : créée afin de limiter le nombre de régions de contrôle que les aéronefs volant à haute altitude. Elle englobe tout l'espace aérien supérieur entre le niveau de vol FL245 et le niveau de vol FL460.
- Les **régions Inférieures de Contrôle CTA** : Elles sont délimitées de telle sorte qu'elles englobent un espace aérien suffisant pour contenir les trajectoires ou parties de trajectoires des aéronefs en vol IFR auxquels on désire fournir les services de contrôle de la circulation

aérienne, compte tenu des possibilités des aides à la navigation normalement utilisées dans ces régions. Dans la CTA, on distingue :

- ✓ La **région de contrôle terminale TMA** qui est établie au carrefour de routes ATS (Air Traffic Service), située au-dessus d'un ou plusieurs aérodromes importants. Les TMA peuvent être un espace contenant des trajectoires d'arrivées et de départs d'un ou plusieurs aéroports.
- ✓ Les **voies aériennes AWY** Elles se présentent sous la forme de routes qui relient les TMA entre-elles, équipées d'aide à la navigation, la largeur des voies aériennes est fixée à 10NM.
- Les **zones de contrôle CTR** : C'est un espace aérien contrôlé s'étendant verticalement à partir de la surface jusqu'à une limite supérieure spécifiée. Les limites latérales d'une zone de contrôle sont d'au moins 9,3 km (5 MN) à partir du centre de l'aérodrome.



Figure I.7 : Zone de contrôle CTR

L'espace aérien non contrôlé est un espace de trafic moindre où l'intervention des services de la CA est limitée à l'information et l'alerte. Il comprend les régions suivantes :

- **Régions Inférieures d'information de vol FIR** : Régions dans lesquelles les services d'information de vol sont assurés. Leurs limites géographiques sont déterminées en fonction

des caractéristiques de portée du moyen de liaison au sol. Elles sont généralement adjacentes.

- **Région supérieure d'information de vol UIR** : Elle englobe l'espace aérien situé à l'intérieur des limites latérales d'un certains nombres de FIR.
- **Zones à statut particulier** : Il est admis que les états auront besoin de réglementer certaines zones de l'espace aérien d'une manière plus ou moins stricte. Ces zones sont définies comme suit :
 - ✓ **Zone Interdite P (Prohibited)** qui est un espace aérien de dimensions définies, au-dessus du territoire ou des eaux territoriales d'un état, dans les limites duquel le vol des aéronefs est interdit. La zone est affectée d'une appellation composée de lettres de nationalité- (DA) suivi de la lettre (P) indiquant le type et le numéro de la zone. Un nom géographique peut être utilisé avec l'identification, exemple : DA-P51 AIN OUSSARA.
 - ✓ **Zone Réglementée R (Reglemented)** qui est un espace aérien de dimensions définies, au-dessus du territoire ou des eaux territoriales d'un état dans les limites duquel le vol des aéronefs est subordonné à certaines conditions spécifiées. La zone est affectée d'une appellation composée de lettres de nationalité- (DA) suivi de la lettre (R) indiquant le type et le numéro de la zone. Un nom géographique peut être utilisé avec l'identification, exemple : DA-R49 BOUSFER.
 - ✓ **Zone Dangereuse D (Dangerous)** qui est un espace aérien, de dimensions définies, à l'intérieur duquel des activités dangereuses pour le vol des aéronefs peuvent se dérouler pendant des périodes spécifiées. La zone est affectée d'une appellation composée de lettres de nationalité- (DA) suivi de la lettre (D) indiquant le type et le numéro de la zone. Un nom géographique peut être utilisé avec l'identification, exemple : DA-D74 TAFRAOUI.

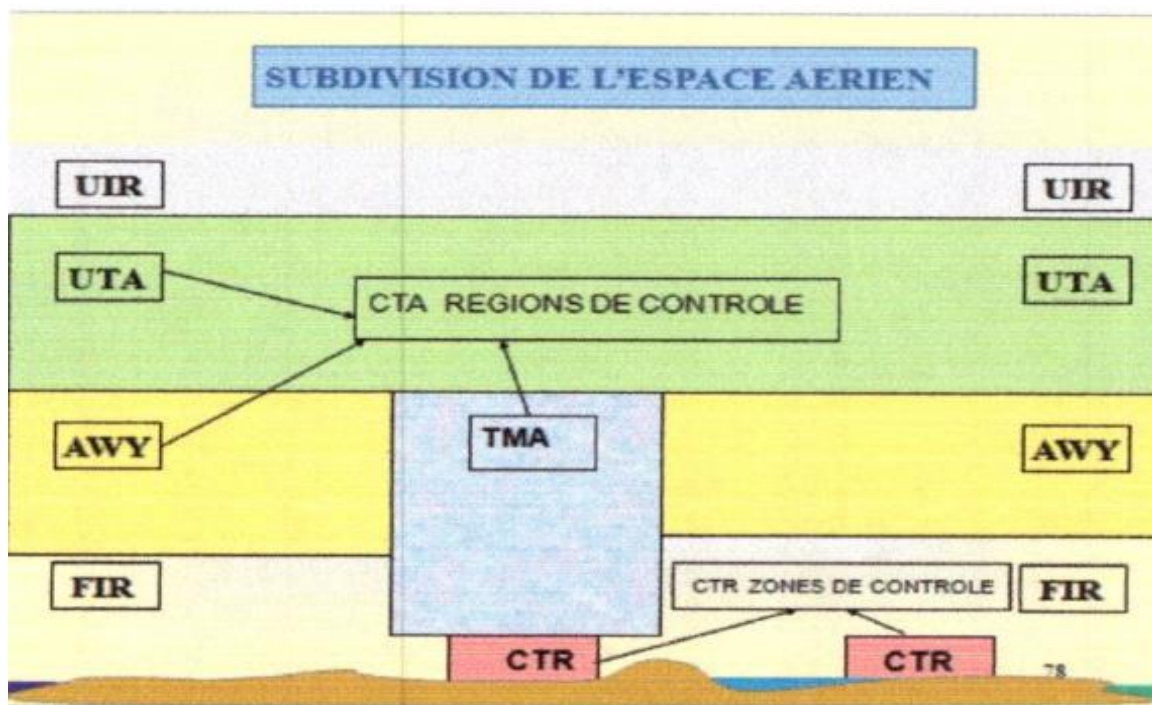


Figure I.8 : Subdivision de l'espace aérien

I.3.2.2.2 Division verticale de l'espace aérien

Selon la verticale, nous distinguons l'espace aérien inférieur et l'espace aérien supérieur.

L'espace aérien inférieur va de 450m de la surface de la terre ou de l'eau jusqu'au niveau FL 245 voir figure.

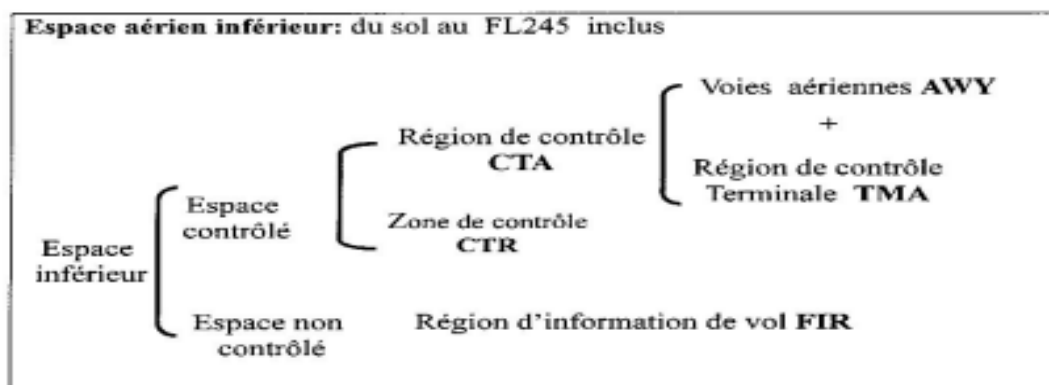


Figure I.9 : Limites de l'espace aérien inférieur

L'espace aérien supérieur va du niveau FL245 sans limitation de plafond (voir Figure I.10).

Espace aérien supérieur:	
Espace contrôlé	Région supérieure de control (U.T.A) <u>De FL245 au FL 460</u>
Espace supérieur	
Espace non contrôlé	Région supérieure d'information (U.I.R) (Service d'information et d'alerte) <u>De FL245 jusqu'à illimité</u>

Figure I.10 : Limites de l'espace aérien supérieur

I.3.2.3 Classification de l'espace aérien algérien

L'espace aérien algérien est composé d'une seule FIR. A l'intérieur de cette FIR, quatre classes d'espace sont utilisées actuellement : A, D, F et G.

Le tableau I.1 donne les (07) secteurs exploités par les contrôleurs de la navigation aérienne de l'ENNA. Chaque secteur est présenté avec ses limites regroupées dans sa classe [3].

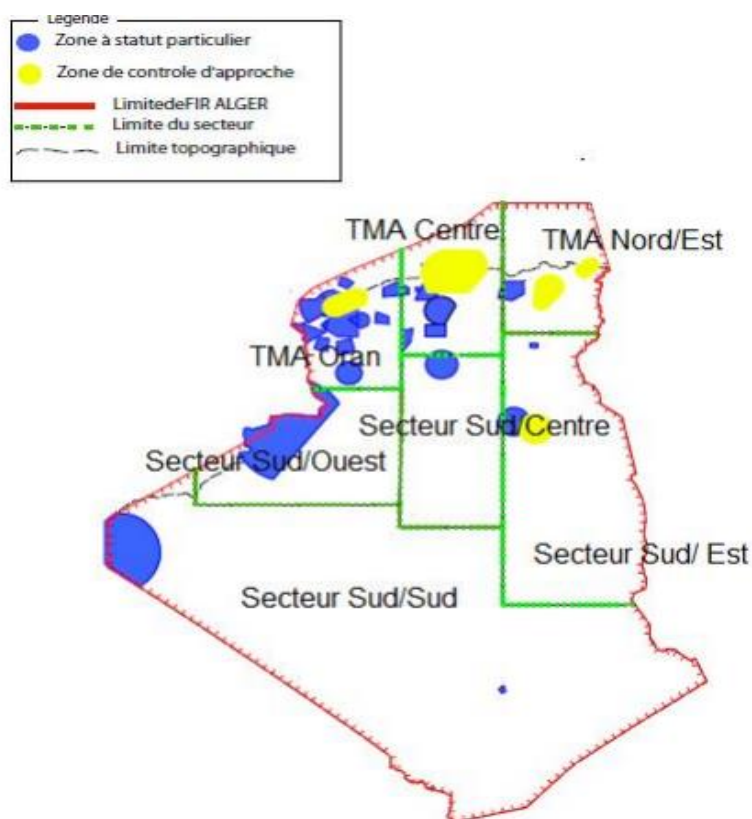


Figure I.11 : FIR d'Alger avec sectorisation, zone de contrôle et espaces restreints

Tableau I.1 : Secteurs actuels dans l'espace aérien

Secteurs	Altitudes	Classe
TMA Alger Centre	FL245/FL450	A
TMA Nord-est	450M/FL450	D
TMA Oran	450M/FL450	D
Sud-Centre	Toutes	F
Sud-Ouest	Toutes	F
Sud-Est	Toutes	F
Sud-Sud	Toutes	G

I.3.3 Les utilisateurs de l'espace aérien

L'espace aérien est public et débute dès les premiers mètres en partant du sol. Il est destiné à tous les aéronefs. Son utilisation doit être partagée entre les acteurs civils et militaires dans le but de leur permettre de répondre à leurs besoins spécifiques et de maintenir le plus haut niveau de sécurité des vols. La coordination civilo-militaire est, dans ce cadre, un outil incontournable pour assurer une utilisation sûre et efficace de l'espace aérien. Cependant, dans la pratique chaque aéronef doit justifier d'un ou plusieurs niveaux de caractéristiques telle que la performance technique et les instruments d'aide à la navigation dont il dispose pour pénétrer dans les différents types d'espace. Tout cela dans le but d'assurer la protection de chaque utilisateur dans les airs.

Pour mieux comprendre, nous allons prendre de la hauteur puis se rapprocher progressivement du sol et/ou de l'eau afin d'atteindre les basses couches où nous trouvons les drones en circulation. En effet, nous partirons depuis le plus haut plafond, qui caractérise les limites de vol et de service d'un espace aérien, vers la surface terrestre. Nous verrons sa structuration, différentes couches contrôlées ou non contrôlées ainsi que les types d'aéronefs que l'on risque de croiser à chaque portion d'espace.

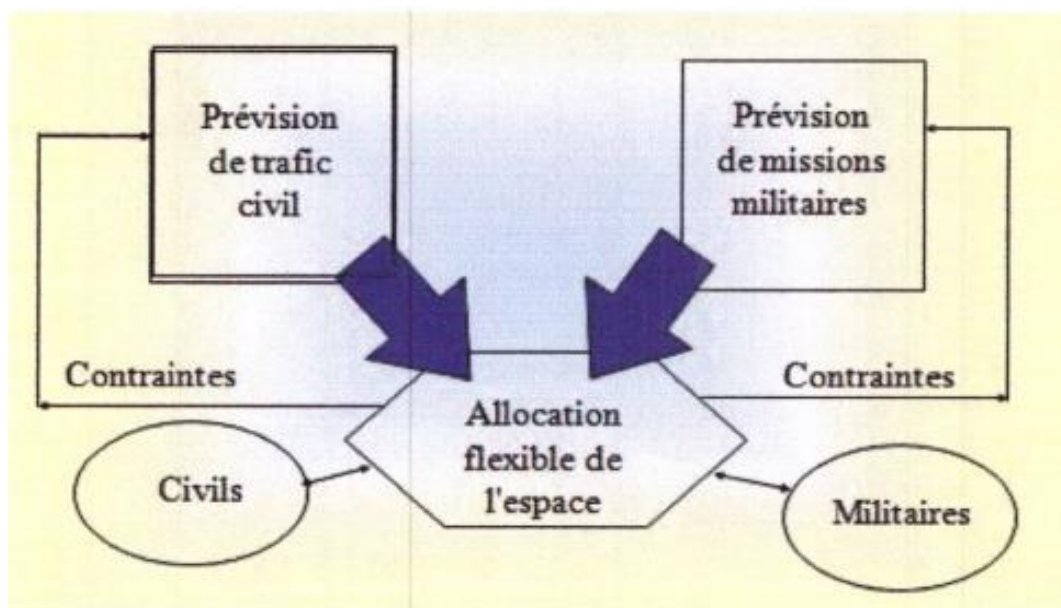


Figure I.12 : La coordination civilo-militaire

I.3.4 La répartition des utilisateurs dans l'espace aérien

Nous avons vu précédemment que de nombreuses activités se déroulent dans les espaces aériens. En effet, nous allons schématiser et comprendre comment sont réparties les aéronefs dans les différentes altitudes. Afin de montrer que les télé-pilotes de drones sont loin d'être seuls lorsqu'ils utilisent leurs drones et que cela peut avoir des conséquences si par manque de vigilance ou de méconnaissance, ils font voler leur drone plus haut que la hauteur maximale définie par la réglementation. Ces risques seront abordés dans la suite de la réflexion.

La majorité des vols commerciaux se déroulent en IFR et n'utilisent que très rarement les espaces aériens à basse altitude hormis lors des phases les plus délicates du vol, soit à l'atterrissage, soit durant le décollage. Le reste du temps ces aéronefs volent lors des phases de croisière entre 9 000 et 12 000 mètres d'altitude. En effet, avec plus de 50 aérodromes (civils et militaires) sur le territoire national sans compter les plateformes, l'aviation générale bénéficie de nombreux passionnés et par conséquent de nombreux vols. Les aéronefs de l'aviation générale ne peuvent pas voler en dessous de 300 pieds (150 mètres) sauf dans les phases d'atterrissage et de décollage. Mais dans la pratique dans le cadre d'exercice ou en cas d'événement urgent, les pilotes peuvent être amenés à voler en dessous de cette altitude, soit en cas de panne ou d'une interruption volontaire du vol qui contraint de se poser sur une surface plane telle qu'un champ agricole, une plaine voire même une route si celui-ci ne peut rejoindre un aérodrome dans les temps. A savoir que pour les autres aéronefs sans moyen de propulsion

tel que le parachutisme ou les vols en planeur, ces activités sont mentionnées et délimitées sur les cartes aéronautiques et sur les cartes d'approches à vue des aérodrômes.

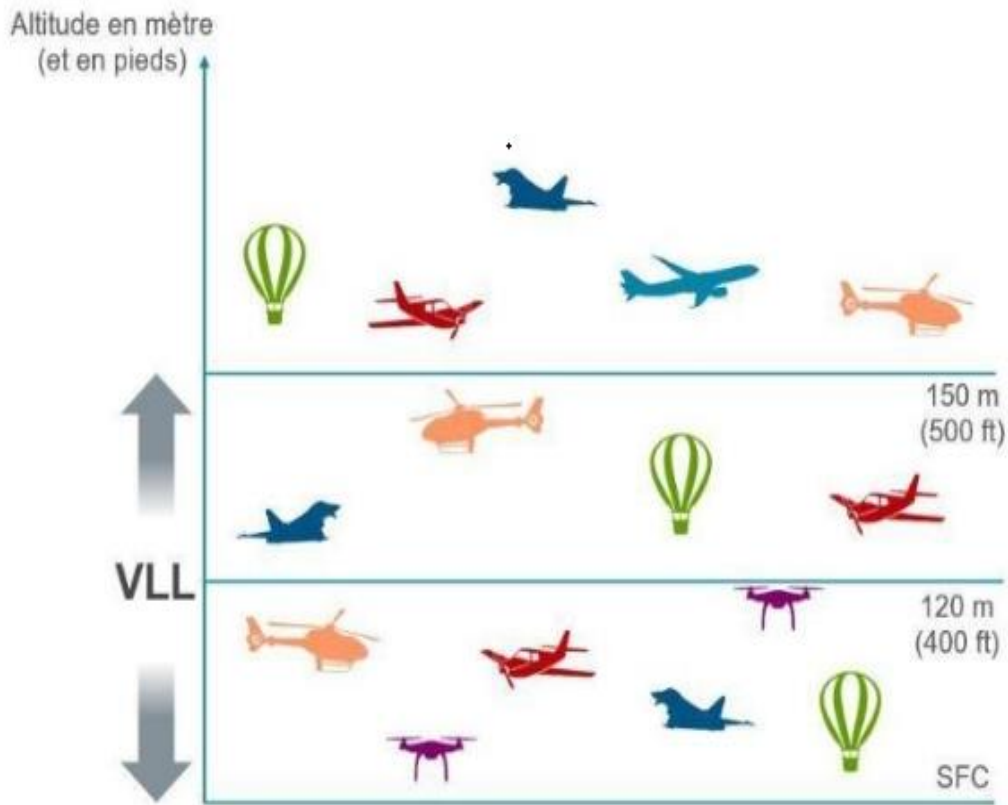


Figure I.13 : Utilisateur de l'espace aérien basse hauteur

Les diverses missions d'entraînement ou de missions étatiques font que dans l'aviation militaire, les altitudes utilisées peuvent varier allant du sol aux espaces supérieurs. Il existe par exemple des blocs d'espaces aériens de la taille d'un département qui sont exclusivement réservés aux entraînements des avions militaires. Ces derniers peuvent voler à des vitesses pouvant dépasser le mur du son et à très haute altitude.

I.4 Conclusion

Durant le chapitre I, nous avons brièvement présenter les véhicules aériens sans pilote à bord. Spécifiquement, nous avons vu le contexte de système de drone, la classification des drones et leurs utilisations dans les différents domaines. Ensuite, nous avons décrit un espace aérien, ses limites et divisions ainsi que la répartition de ses utilisateurs.

Au vu des nombreuses utilisations de l'espace aérien en basse altitude, cela mérite de développer la réflexion sur l'intégration des drones avec les autres utilisateurs. « *Est-ce réellement sans risque ?* »

CHAPITRE II

QUESTIONS POSEES PAR

L'UTILISATION DES DRONES

CHAPITRE II

QUESTIONS POSEES PAR L'UTILISATION DES DRONES

II.1 Introduction

Les drones possèdent un potentiel immense grâce à leurs performances impressionnantes et à la réussite de leurs multiples missions. Pourtant, leurs capacités demeurent largement sous-exploitées, et leur utilisation suscite une pléthore de questions, tant techniques que sociétales. Les défis techniques incluent la sécurité des vols, l'intégration dans un espace aérien déjà saturé et les compétences requises des télé-pilotes. Sur le plan sociétal, des préoccupations émergentes concernent le respect de la vie privée, les responsabilités liées à leur exploitation et les risques d'utilisation à des fins malveillantes. La communauté des drones s'attèle activement à résoudre ces problématiques.

Dans ce chapitre, nous allons mettre en lumière ces problèmes ainsi que les solutions proposées par les institutions.

II.2 De nombreux risques identifiés

Les vols de drones étant toujours de plus en plus nombreux. Ils peuvent s'accompagner de divers manquements aux obligations légales et réglementaires, mais peuvent aussi s'ajouter la survenance de problèmes techniques affectant le drone tels que le déchargement de la batterie, la panne moteur, les conditions météorologiques dégradées ou encore l'inattention qui peut amener la perte de contrôle de l'engin par le télé-pilote. Autre fait, il s'avère difficile de retrouver l'auteur d'une infraction après un vol au-delà d'une zone interdite de survol ou encore après un rapprochement voire une collision avec un autre aéronef. Cela a poussé les autorités et les gestionnaires aéroportuaires à mettre en place des moyens de détection des drones dans le but de prévenir un certain nombre de risques. Dans ce qui suit, nous allons exposer les principaux problèmes causés par les drones.

II.2.1 Détection difficile des drones

Détecter un drone relève d'un réel challenge du fait de sa petite taille. Il se fond bien dans le paysage lorsque l'on est relativement éloigné. Il est difficilement repérable voire invisible par les pilotes des aéronefs habités depuis leur cockpit et les contrôleurs aériens du haut de leur tour. Les conditions météorologiques peuvent rendre difficile leur identification.

D'autant plus que les radars aériens actuels ne détectent pas les drones malgré l'existence de deux types de radar dans l'aviation civile, à savoir le radar primaire et le radar secondaire. A rappeler que le radar primaire envoie des ondes électromagnétiques dans un champ de 360° et reçoit les ondes réfléchies après avoir croisé un objet métallique en déplacement tel qu'un avion. Le radar secondaire quant à lui fonctionne grâce à l'équipement et la présence de transpondeur dans les aéronefs qui permettent de connaître la position géographique en temps réel du trafic. Le problème est qu'aucun de ces deux radars ne peut identifier les drones. Comme mentionnés précédemment, la taille du drone et de sa matière ou de sa base ne sont pas toujours en métal. Il y a des drones en plastique, avec des socles en bois pour les plus artisanaux. L'autre raison est que le signal électromagnétique des drones est trop faible pour les identifier sur les écrans radars des tours de contrôle.[1]

Face à la multiplication des signalements de drone dans des lieux pouvant compromettre la sécurité, il faut avoir les caractéristiques techniques des dispositifs de signalement électronique et lumineux des aéronefs circulant sans personne à bord afin d'obliger les propriétaires de drone ayant un poids supérieur à 800 grammes d'installer un système de signalement électronique.

II.2.2 Les risques de collision

La collision entre un drone et des aéronefs habités fait partie des risques prédominants pouvant causer d'importants dégâts structurels à ces derniers. Cela peut paraître anodin mais la taille, la vitesse, la géométrie et la construction des drones (hélice...) les rendent dangereux pour l'aviation habitée, notamment parce qu'ils peuvent endommager les pare-brise des cockpits, la queue de l'avion (plan horizontal et gouverne de direction), les bords d'attaques des ailes ainsi que les moteurs.

Les tableaux II.1 et II.2 ci-dessous indiquent les conséquences d'une collision entre un système de drone UAS, de type quadricoptère et à voilure fixe respectivement, et un aéronef habité. Le tableau II.3 discrétise les niveaux de dommages indiqués dans les tableaux II.1 et II.2, [6].





Tableau II.1 : Résultats de simulation d'impact de vitesse – UAS quadricoptère de 1,2 kg

	Avion de transport commercial				Jet d'affaires			
	Stabilisateur vertical	Horizontal. Stabilisateur	Aile	Pare-brise	Stabilisateur vertical	Stabilisateur horizontal	Aile	Pare-brise
Vitesse d'atterrissage (110/87 nœuds)	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 1
Vitesse de maintien (250/250 nœuds)	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 2
Vitesse de croisière (365/325 nœuds)	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 3

Tableau II.2 : Résultats de simulation d'impact de vitesse – UAS à voilure fixe de 1,8 kg

	Avion de transport commercial				Jet d'affaires			
	Stabilisateur vertical	Horizontal. Stabilisateur	Aile	Pare-brise	Stabilisateur vertical	Stabilisateur horizontal	Aile	Pare-brise
Vitesse d'atterrissage (110/87 nœuds)	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 1
Vitesse de maintien (250/250 nœuds)	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 4
Vitesse de croisière (365/325 nœuds)	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 3

Tableau II.3 : Catégories de niveaux de dommages

Gravité	Description	Exemple
Niveau 1	<ul style="list-style-type: none"> Cellule en bon état. Petites déformations. 	
Niveau 2	<ul style="list-style-type: none"> Déformation permanente étendue sur les surfaces externes. Une certaine déformation de la structure interne. Aucune défaillance de la peau. 	
Niveau 3	<ul style="list-style-type: none"> Fracture cutanée. Pénétration d'au moins un composant dans la cellule. 	
Niveau 4	<ul style="list-style-type: none"> Pénétration des UAS dans la cellule. Défaillance de parties de la structure primaire. 	

Le risque de collision peut se produire à proximité d'un aéroport, durant l'approche, l'atterrissage et le décollage au sein d'une TMA ou d'un CTR. En France du fait d'un nombre croissant de signalements de drone par des équipages des compagnies aériennes, cela a conduit la direction de sécurité des vols à mettre un procès à suivre nommer « *la guideline Pilote-ATC en TMA* ». Celui-ci est composé de six étapes suivantes :

- Le signalement sur la fréquence : L'ATC assure un report aux trafics concernés pendant 30 minutes. Le service d'information automatique Terminal ATIS (Automatic Terminal Information Service) ne mentionne pas la présence de drones.
- La vitesse : Une réduction de vitesse permet de réduire les conséquences d'un impact. Toute réduction est à l'initiative de l'équipage et doit être coordonnée avec l'ATC.

- L'évitement : Il n'existe pas de certitude qu'un évitement de zone assure un plus haut niveau de sécurité car le drone se déplace et a une autonomie limitée.
- Le délai : Le ralentissement des flux peut impacter la gestion carburant (attente, incertitude, dégagement). L'ATC est sensibilisé au besoin d'information.
- La congestion : L'espace aérien peut saturer rapidement. Il y a en outre un risque de saturation des fréquences.
- La notification : Reporter l'incident par Air Safety Report (ASR) et envisager un dépôt de plainte à la gendarmerie du transport aérien (GTA). Cela permet de tracer et de traiter les problématiques sur le fond.

II.2.3 Prise en compte des risques d'utilisation malveillante

Les drones sont peu onéreux, faciles à piloter, furtifs et capables d'emporter une charge. Ceci fait craindre qu'ils puissent être utilisés à des fins malveillantes.

Différents types d'actions malveillantes sont imaginables dont nous pouvons citer par exemple :

- ✓ Utilisation du drone civil comme une arme à l'instar des drones militaires conçus pour détecter et abattre l'ennemi ;
- ✓ Utilisation du drone comme vecteur pour larguer des objets dans des zones d'accès interdit, sur des sites sensibles ou à des fins de contrebande ;
- ✓ Prise de contrôle d'un drone par des cyber-terroristes en agissant sur les liaisons radio utilisées pour son pilotage ou son positionnement, voire en s'emparant de la station de contrôle au sol. En remplaçant le vrai signal par un faux signal, le drone se fiant à ce dernier plus intense, car il est émis à proximité.

S'agissant de cette dernière menace, trois des liaisons classiquement utilisées sont vulnérables, celles permettant des échanges avec le sol (pilotage de l'engin, voire envoi des informations collectées éventuellement déjà traitées), des échanges avec les satellites de géolocalisation (GPS) et des échanges avec d'autres aéronefs pour assurer les évitements. Interférer avec ces liaisons, cela pourrait permettre une perturbation volontaire de l'activité du drone qui ne manquerait pas de poser des problèmes de sécurité ou encore un pillage ou une

altération à distance des informations collectées qui peuvent être stratégiques pour une entreprise ou pour la sécurité d'un site sensible.

Les menaces ci-dessus ne sont pas seulement théoriques. En septembre 2013, un drone est venu perturber un meeting de la chancellerie allemande, il était inoffensif mais aurait pu être chargé d'explosifs. De même, plusieurs prisons ont d'ores et déjà été victimes de largages de colis (tabac, drogues, téléphones portables à l'usage des détenus). Des projets d'attaques terroristes à l'aide de drones chargés d'explosifs auraient été déjoués en septembre 2011 à Boston et en juin 2013 en Allemagne. Il faut souligner que les liaisons radio utilisées pour le pilotage des drones civils ou les liaisons GPS pour leur guidage satellite ne sont aujourd'hui dotées d'aucune protection contrairement aux drones militaires qui elles sont cryptées. Une équipe du laboratoire de radionavigation de l'Université du Texas a réussi en quelques secondes, grâce à un émetteur au sol placé à 500 m de distance, à pirater le signal GPS d'un drone multipale et à en prendre le contrôle. De même, un « hacker » a pu avec un drone prendre le contrôle d'autres drones et les obliger à le suivre...

Les moyens de minimiser les risques de voir des drones utilisés pour des actions malveillantes, prenant pour cible des aéroports ou des sites sensibles, font l'objet de nombreux travaux depuis quelques mois, notamment ceux relatifs aux risques associés à l'utilisation malveillante de petits drones, en travaillant sur leur détection et sur leur neutralisation en cas de besoin. En matière de détection, des solutions associant des radars et des capteurs infrarouges, permettant de distinguer les drones des oiseaux qui présentent parfois des signalements voisins, sont notamment explorées de même que des systèmes de détection acoustique et visuelle. S'agissant de la neutralisation de drones suspects, il apparaît possible de brouiller les communications radio entre le télé-pilote et le module volant et, en cas de vol de manière autonome, de brouiller les signaux GPS utilisés. Des systèmes de capture de drones suspects par d'autres drones équipés de filets, voire de neutralisation par des jets de matière destinés à les engluer, ont été imaginés. Le dépistage le plus en amont possible de comportements suspects permet également de limiter les risques et de surveiller notamment les achats des composants nécessaires à la fabrication de drones.

II.2.4 Préservation des libertés publiques et respect de la vie privée

Les drones offrent un large éventail d'applications civiles potentielles dont certaines peuvent impliquer la collecte de données à caractère personnel et être à l'origine d'interrogations déontologiques ou de craintes concernant la protection de la vie privée ou de données. Ceci concerne leur utilisation dans le cadre de missions de surveillance, de contrôle, de cartographie ou d'enregistrement vidéo réalisés. Cela concerne l'utilisation des drones par des sociétés commerciales ou par des entités gouvernementales que leur utilisation par des particuliers.

Si l'usage de drones par les paparazzis n'est aujourd'hui qu'anecdotique, il reste néanmoins souvent redouté que des drones soient utilisés pour « espionner » les gens dans leur espace privé. Ce qui touche à la protection de la vie privée apparaît aujourd'hui comme l'une des principales préoccupations du public quant à l'utilisation de drones.

Il existe généralement d'ores et déjà dans les différents pays, où des drones sont souvent exploités, un cadre réglementaire applicable en cas de violation des droits fondamentaux notamment du droit au respect de la vie privée et familiale ou relatif à la protection des données à caractère personnel. Mais ce cadre n'est pas toujours bien adapté aux problématiques associées à l'exploitation des drones.

II.3 Maîtrise de la sécurité

De manière générale, pour maintenir la sécurité au meilleur niveau, on s'efforce dans l'aéronautique d'identifier les risques pour les personnes et pour les biens liés à une activité et de les gérer. L'élimination totale des risques étant un objectif que l'on sait irréalisable, on vise en fait plus à l'atteinte d'un niveau de risque socialement acceptable. Pour cela, nous cherchons à maîtriser les risques à trois niveaux :

- ✓ Ce qui touche aux équipements et au matériel volant. Il s'agit du volet navigabilité qui couvre des aspects préventifs et curatifs, conception et production du matériel, maintenance et le cas échéant réparations ;
- ✓ Ce qui concerne les opérateurs et notamment les pilotes, avec notamment les problématiques des méthodes de travail et de la formation ;

- ✓ Et ce qui touche aux opérations aériennes. Cela couvrant les aérodromes, la navigation aérienne, l'application des règles de l'air, les aspects relatifs à la gestion de l'espace aérien, aux communications, à la navigation et à la surveillance, et les niveaux de compétence associés avec la problématique des licences des contrôleurs.

Tous ces aspects sont susceptibles d'interférer en matière de sécurité et doivent donc être étudiés globalement. Ils font classiquement l'objet de prescriptions réglementaires.

Aborder la sécurité des systèmes de drones et définir des objectifs de sécurité pour ces systèmes pose toute une série de questions nouvelles. Ceci tient aux caractéristiques propres de ces systèmes : absence de pilote à bord impliquant de trouver un moyen d'assurer la fonction « *Voir et éviter* » assurée pour les avions par des pilotes embarqués, existence d'une station de pilotage au sol avec les problématiques liées aux liaisons entre le télé-pilote et le drone et à leur fiabilité (liaisons dites de commande et de contrôle C2 ou Command and control en anglais) et, le cas échéant, existence de dispositifs de lancement ou de récupération du module volant, gestion des pannes ou des pertes de contrôle. On ne saurait développer une manière d'approcher la sécurité des drones seulement à partir de ce qui a été développé pour les aéronefs et donc des méthodes nouvelles sont en cours de développement.

Nous avons cherché pour cela à fixer un cadre général aux travaux à engager. L'OACI a ainsi précisé que l'élaboration de normes et de pratiques recommandées pour les systèmes d'aéronef sans pilote devra toujours respecter un principe fondamental : l'introduction de ces engins dans l'espace aérien civil ne devra compromettre la sécurité d'aucun autre utilisateur de l'espace aérien ou d'aucun bien situé à terre. Les attentes en la matière ont parfois été formulées de manière différente : les drones ne devront pas générer de risques nouveaux, ou devront démontrer un niveau de sécurité équivalent à celui des avions habités.

Tous les facteurs qui peuvent générer des risques doivent donc être identifiés et correctement atténués. Il existe des méthodes pour cela, basées sur la quantification des risques et sur la définition de niveaux de risques acceptables. Le risque de futures opérations ne pouvant être mesuré directement. Il faut procéder à des évaluations et deux approches sont traditionnellement utilisées à cet effet :

- La première approche est l'approche par le niveau de sécurité visé TLS (Target Level of Safety), c'est-à-dire par la spécification d'une valeur de risque acceptable qui peut être

utilisée comme une référence pour évaluer des risques associés à un système ou à des procédures ;

- L'approche aussi bas que raisonnablement possible ALARP (As-Low-As Reasonably-Practicable) qui est basée sur une structure de décision qui contient une région tolérable délimitée par des niveaux de risques qui constituent des maxima négligeables et des minima inacceptables.

Une notion de niveau équivalent de sécurité (Equivalent Level of Security, Elos) a également été élaborée dans le document « Guiding principles for the development of a regulatory concept » préparé conjointement par les JAA (Joint Aviation Authorities) et Eurocontrol. Le principe de base proposé vise à être aussi exigeant pour les drones que pour les vols avec pilotes à bord sans toutefois exiger des niveaux plus élevés simplement parce que la technologie le permettrait. Démontrer une équivalence s'avère cependant être un problème délicat qui est toujours l'objet de nombreux travaux. En fin de compte, comme pour les systèmes de gestion de la sécurité, il reviendra à la puissance publique de fixer pour les activités impliquant des drones un niveau de risque acceptable, qui pourra le cas échéant être exprimé en termes de taux d'accident acceptable.[7]

Dans ce contexte, l'exploitation de drones civils n'est aujourd'hui autorisée que dans des conditions particulières (drones de faible masse, évoluant près du sol, en dehors des zones habitées, le plus généralement en vue du télé-pilote, ...) pour lesquelles le risque pris est bien identifié et très limité. On présentera ci-après le cas très particulier des drones légers. Le cas le plus général sera également présenté pour mettre en avant les problèmes techniques restant à résoudre ainsi que les pistes identifiées pour progresser sur ces points.

II.4 Exigences vis-à-vis des opérateurs et des télé-pilotes

Il apparaît relativement facile de transposer pour les opérateurs de drones les prescriptions existantes pour encadrer l'activité des exploitants d'aéronefs pilotés en vue d'assurer la sécurité. Il est notamment envisagé de les soumettre à la délivrance de certificat d'opérateur du type de ceux utilisés pour les opérateurs d'aéronefs pilotés. Ils devront pour cela disposer de systèmes de gestion de la sécurité, de méthodes de préparation, de contrôle et de supervision des vols, d'un programme de maintenance (maintien de la navigabilité...) et de formations adéquates s'agissant notamment de leurs télé-pilotes.

Les interdictions et dérogations de survol des systèmes d'aéronefs sans pilote à bord, selon le « *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 56* », sont résumées comme suit, [8] :

- Les aéronefs sans pilote à bord sont interdits de survoler
 - ✓ Les zones et installations militaires et leurs périmètres de sécurité ;
 - ✓ Les sites, bâtiments et points à caractère sensible et leur périmètre de protection ;
 - ✓ L'emprise d'un aéroport, ou le périmètre de protection réglementaire d'une infrastructure destinée à l'atterrissage ou au décollage et aux espaces associés ;
 - ✓ L'espace aérien contrôlé et les zones réglementées, dangereuses et interdites ;
 - ✓ Il est strictement interdit de faire voler un aéronef sans pilote à bord au-delà de la visibilité directe lorsque le vol constitue un danger pour la sécurité aérienne.
 - ✓ Il est strictement interdit de faire voler un aéronef sans pilote à bord lorsque l'activité porte atteinte à la sécurité et à la vie privée des personnes.
- Les aéronefs sans pilote à bord sont interdits de survol, sauf dérogation accordée par le Centre National d'Aéronefs sans Pilote à Bord, au-dessus
 - ✓ Des zones frontalières ;
 - ✓ Des sites industriels ;
 - ✓ Des agglomérations et des zones urbaines ;
 - ✓ Des rassemblements de personnes.
- Les aéronefs sans pilote à bord sont interdits d'évoluer, sauf dérogation accordée par le Centre National d'Aéronefs sans Pilote à Bord,
 - ✓ De nuit même s'ils sont équipés de dispositifs lumineux ;
 - ✓ Dans des conditions météorologiques défavorables ;
 - ✓ À proximité des réseaux des lignes électriques à haute et à très haute tension.

II.5 Technologies en cours de développement

Pour permettre la certification des drones et leur intégration dans l'espace aérien civil en toute sécurité, les industriels misent sur le développement de nouvelles technologies souvent

complexes. Le nombre des systèmes déjà conçus pour les aéronefs pilotés ne correspondent en effet pas aux besoins des drones compte tenu notamment des contraintes de masse et de volume qui s'imposent pour des drones de petites et moyennes tailles. La plupart des technologies envisagées ne sont pas encore disponibles et de nombreux programmes de recherche et développement sont menés à cet égard. Parmi les technologies et thématiques à approfondir et à valider, nous trouvons :

- ✓ Les technologies relatives à la fonction « Détecter et éviter » (souvent abrégée en DA, DAA ou D&A de l'anglais Detect and Avoid) ;
- ✓ Les dispositifs anti-drones ;
- ✓ Un système d'interdiction de vol sur certaines zone (Système géo).

Nous illustrerons ci-après la diversité des problèmes rencontrés pour la seule fonction DA tout en rappelant que les technologies développées peuvent n'être appropriées qu'à certains types de drones (selon leur masse, leur vitesse, le fait qu'ils disposent de voilures fixes ou tournantes...).

II.5.1 La fonction « Détecter et éviter »

La fonction « Détecter et éviter » vise à assurer la fonction « Voir et éviter » définie pour les aéronefs pilotés, c'est-à-dire être en mesure de détecter un conflit de trafic potentiel ou d'autres risques et de prendre les mesures appropriées. Développer une telle fonction pose des défis importants afin de se conformer, non seulement aux exigences (capacité à détecter, à développer une conscience des risques liés à l'environnement) mais aussi à d'autres exigences telles que la capacité à assurer un respect effectif des règles de priorité, savoir réagir à la présence d'autres aéronefs dans le voisinage (intrus coopératifs ou non) et ce avec des délais de réaction permettant d'éviter une collision, assurer une complète compatibilité avec les systèmes anti-collision embarqués existants (ACAS), ...etc.

Les exigences relatives aux performances attendues de ces systèmes, qui doivent fournir des performances au moins aussi bonnes que dans la détection d'intrus par des pilotes humains, restent encore largement à préciser par exemple le taux de panne acceptable et le fait que ce taux en fait ou non un système critique, avec toutes les conséquences que cela peut avoir sur le coût final du dispositif).

Il existe, selon EUROCONTROL, de nombreuses solutions pour développer une fonction DA en utilisant notamment les données fournies par les systèmes de surveillance dont on pourrait extraire des données supplémentaires pour assurer une séparation sécuritaire. On envisage également d'utiliser les informations fournies par certains des équipements de bord tels que les transpondeurs SSR et les émetteurs récepteurs ADS-B, des capteurs coopératifs ou non, dépendants ou non (radars primaires de surveillance, radars de surface, radars secondaires SSR mode S, ADS-B et C, Wide Area Multilateral Systems, WAM), les systèmes de surveillance de traitement des données et de distribution de données (SDPS, SDDS, ARTAS, RADNET) ou encore les outils de surveillance (systèmes de soutien d'analyse de surveillance, calculatrice de station radar...). Les technologies à développer pour assurer la fonction DA reposeront principalement sur des solutions de coopération entre ces différents systèmes. Aucun capteur unique n'apparaît en effet être suffisant pour satisfaire toutes les exigences de la fonction DA pour tous les drones, la combinaison de plusieurs systèmes tels que TCAS, ADS-B et TIS-B (Traffic Information Service–broadcast) par exemple apparaît pouvoir fournir une solution éprouvée. Ce point a d'ores et déjà été validé par la FAA.

Les travaux engagés sont plus spécialement adaptés à des systèmes destinés à des drones de grande taille en raison des exigences très complexes à prendre en compte relatives à la taille et au poids des équipements concernés. Des travaux sont par ailleurs également engagés par de nombreuses institutions et entreprises pour développer des systèmes DA adaptés aux contraintes en termes de masse, notamment que présentent les drones légers. Pour ces derniers, le recours à d'autres technologies est envisagé et notamment en se basant sur l'utilisation :

- ✓ De capteurs acoustiques, qui sont peu efficaces cependant pour détecter des planeurs ou des ballons ;
- ✓ De système au sol basé sur un radar primaire. Cette technologie est mature et éprouvée mais nécessite une connexion radio continue avec le drone pour lui fournir des données de trafic ;
- ✓ De système multi-statique radar passif (MSPSR) qui repose sur l'usage de signaux radio déjà utilisées à d'autres fins, comme la radio, la télévision et la diffusion du réseau GSM pour détecter un objet dans l'air ;
- ✓ De systèmes LIDAR et ADS-B utilisant un faisceau laser à la place de la réflexion des ondes radio, voire radar automobile...

II.5.2 Les dispositifs anti-drones

Certains gestionnaires d'aérodromes ont pris l'initiative d'installer des dispositifs anti-drones afin de protéger d'éventuelles menaces et des inattentions des télé-pilotes de drones. Les exigences aéroportuaires pour assurer les opérations dans de bonnes conditions sont strictes et demandent d'avoir le meilleur niveau de sécurité mais également un niveau de sûreté aéroportuaire irréprochable. La sûreté correspond à la combinaison de moyens réglementaires, organisationnels humains et matériels visant à protéger l'aviation civile contre les actes d'intervention illicites (actions volontaires).

Les risques d'actes illicites et la pénétration de drones sont bien présents également sur les infrastructures aéroportuaires tels que les terminaux ou les Zones de Sûreté à Accès Réglementé (ZSAR). Effectivement, plein de scénarios sont possibles comme larguer des abîs sur des sites sensibles, mais encore des actes malveillants pour perturber le trafic aérien en volant en essaim délibérément dirigé vers les pistes d'un aéroport. Le souci est que cela représente des coûts astronomiques pour les compagnies aériennes et pour les aéroports.

Il est important de signaler qu'un avion de ligne qui doit se mettre en circuit d'attente suite à une fermeture de l'espace aérien ou d'une piste à cause d'intrusion de drone à un impact environnemental non négligeable. La quantité de kérosène consommée en plus à ce moment-là génère une augmentation des rejets carbonés et nécessite dans certains cas un rechargement complet en carburant de l'appareil.

Des systèmes de détection anti-drones ont donc vu le jour sur certaines plateformes aéroportuaires comme celui de Paris Roissy-Charles de Gaulle grâce à la société CerbAir proposant déjà des moyens très sophistiqués, et permet de localiser un drone avant même qu'il n'ait commencé à décoller. Plusieurs solutions sont proposées par les entreprises telles que des *lancés de filets pour stopper l'engin* en approche d'une zone, des *radars holographiques* ou encore des systèmes utilisant *un faisceau radio pour désactiver les drones*, provoquant leur crash. Ce qui n'est pas nécessairement un résultat souhaitable selon l'endroit où il se plante, et aussi comme perturbateur optique qui peut perturber l'autofocus sur la caméra du drone, le rendant inutile.

II.5.3 Système d'interdiction de vol sur certaine zone (Système géo)

Implémenté dans les drones, le système d'interdiction de vol est système de classification reposant sur des critères légaux mais il est à titre purement indicatif. Plusieurs niveaux de blocage sont définis par des codes couleurs, ce système interdit le décollage sans autorisation préalable dans les zones jaunes et rouges suivantes :

- **Zones d'avertissement** : Dans ces zones, qui n'apparaissent pas nécessairement sur la carte GO, les utilisateurs verront un avertissement s'afficher concernant leur vol. Exemple de zone d'avertissement : une réserve naturelle.
- **Zones d'avertissement avancé** : Dans ces zones, nous devons débloquent le jour du vol sur le site et dans l'application de vol. Cela ne nécessite pas de compte ou d'accès à internet.
- **Zone d'altitude** : Les zones d'altitude apparaîtront dans le gris sur la carte, les utilisateurs reçoivent des avertissements concernant l'altitude de vol qui est limitée.
- **Zones d'autorisation** : Dans ces zones, qui apparaissent en bleu sur la carte, les utilisateurs verront s'afficher un avertissement concernant leur vol qui sera limité par défaut. Ces zones peuvent être déverrouillées par les utilisateurs de compte authentifié. Exemple de zone d'autorisation : Un club de modélisme situé près d'un aéroport nécessite un accès.
- **Zones interdites** : Dans ces zones, qui apparaissent en rouge sur la carte, les utilisateurs verront s'afficher un avertissement concernant leur vol qui sera interdit.

II.6 Conclusion

L'utilisation des drones, bien que prometteuse, se heurte à de nombreux défis techniques et sociétaux nécessitant des solutions innovantes et une réglementation rigoureuse. La communauté des drones s'efforce inlassablement de surmonter ces obstacles, veillant à intégrer ces appareils de manière sûre et efficace dans l'espace aérien, tout en respectant les droits et la sécurité des citoyens.

Dans le prochain chapitre, nous examinerons en détail les modèles d'intégration des drones adoptés par différentes institutions internationales et par les États.

CHAPITRE III

MODELES D'INTEGRATION DES

DRONES

CHAPITRE III

MODELES D'INTEGRATION DES DRONES

III.1 Introduction

La réglementation des drones est essentielle pour assurer leur intégration sécurisée dans l'espace aérien. Avec l'essor rapide de cette technologie, des cadres réglementaires robustes sont nécessaires pour garantir une cohabitation harmonieuse entre drones et autres utilisateurs. Des organisations, comme l'Agence de l'Union Européenne pour la Sécurité Aérienne EASA (European Aviation Safety Agency) et FAA (Fédéral Aviation Administration) aux États-Unis, ont établi des directives strictes pour maximiser la sécurité et minimiser les perturbations aéronautiques. Cependant, chaque État a également développé sa propre réglementation, tenant compte de ses particularités géographiques, technologiques et opérationnelles. Cette approche favorise une application efficace des règles de sécurité et encourage l'innovation à l'échelle nationale.

Dans ce chapitre, nous examinerons les cadres réglementaires de la FAA et de l'EASA, ainsi que les adaptations effectuées par quelque États. Nous analyserons également les défis et les opportunités que ces réglementations présentent pour l'avenir de l'aviation.

III.2 Activités développées par l'OACI

La convention de Chicago (1944) vise à assurer un développement sûr et ordonné des activités aériennes internationales. Les exigences qu'elle formule pour assurer une intégration d'un aéronef à l'espace aérien sont déclinées dans des annexes qui sont des règles édictées par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), en premier lieu des normes et pratiques recommandées.

De manière générale, la sécurité aérienne repose sur 3 articles majeurs de la convention :

- **L'article 31** qui instaure le certificat de navigabilité ;
- **L'article 32** qui aborde la question des brevets et licences à acquérir par les équipages ;

- **L'article 12** qui fixe les règles de l'air et les emports d'équipements de conformité nécessaires (transpondeur, TCAS, ADS-B...).

Le cas des opérations d'aéronefs sans pilote à bord a fait l'objet dès 1944 d'un article spécifique stipulant qu' :

« Aucun aéronef pouvant voler sans pilote ne peut survoler sans pilote le territoire d'un État contractant, sauf autorisation spéciale de cet État et en conformité avec les termes de cette autorisation. Chaque État contractant s'engage à assurer que le vol de ces avions sans pilote dans des régions ouvertes aux aéronefs civils doit être contrôlé de manière à éviter tout danger pour les aéronefs civils ».

La rédaction de cet article peut apparaître comme traitant du cas des drones civils de façon très restrictive mais ceci tient au fait qu'on faisait à l'époque reposer la sécurité des vols essentiellement sur le pilote.

En 2005, au vu du développement des activités impliquant des drones civils, la commission de la navigation aérienne de l'OACI s'est saisie du sujet et a estimé que l'organisation devrait piloter un processus d'harmonisation et produire des éléments pour guider le développement de réglementations nationales concernant les drones.

En 2007, l'organisation OACI a mis en place le groupe UASSG (Unmanned Aircraft Systems Study Group) pour servir de point focal pour tous les sujets relatifs aux drones et pour assister son secrétariat dans la préparation de normes et pratiques recommandées sur ces sujets. Ce groupe devait notamment élaborer un projet de manuel pour guider l'action des États dans les domaines de la navigabilité, des télé-pilotes, des opérateurs, de l'application des règles de l'air, des communications et des aérodromes en relation avec les drones. Il comprenait des représentants d'une vingtaine de pays et d'une dizaine d'organisations et de syndicats professionnels.

Le groupe UASSG a identifié cinq sujets fondamentaux dans la perspective du développement d'un cadre réglementaire, qui sont : Navigabilité et opérations ; commande, contrôle et communications ; licence du personnel (télé-pilotes et observateurs, exigences en termes médicaux) ; gestion du trafic aérien (ATM) et règles de l'air ; « Détecter et éviter ». Il a mis également en place des sous-groupes pour travailler sur ces sujets.

Une des premières productions significatives du groupe UASSG était la publication en Mars 2011 de la circulaire 328 « Unmanned Aircraft System ». Cette circulaire a pour objet d'examiner les différences fondamentales avec l'aviation avec pilote à bord (s'agissant des opérations, des aéronefs et systèmes associés) et du personnel et aborde les sujets à la fois sous un angle technique et juridique. Elle a introduit la notion de télé-pilote.

Certaines annexes de la convention ont d'ores et déjà été amendées pour prendre en compte l'arrivée des drones. C'est le cas des annexes 13 « Enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation » en 2010, 2 « Règles de l'air » et 7 « Marques de nationalité et d'immatriculation des aéronefs » en 2012.

L'annexe 2 a été modifiée par l'amendement 43 qui :

- ✓ Fournit un jeu de définitions (Liaisons de contrôle et de commande ou C2 ; Fonction « Détecter et éviter » ; Opérateur ; pilote à distance ; Station de pilotage à distance ; Observateur ; Opération en ligne de vue ou VLOS ; ...etc).
- ✓ Précise certaines conditions de modification des plans de vol
- ✓ Fournit l'ébauche du texte d'une annexe (l'annexe 4 aux « Règles de l'air ») qui traitera des conditions de mise en œuvre de systèmes d'aéronefs télé-pilotés dans le cadre de vols internationaux en espace non ségrégué.

Le projet de texte envisagé exige notamment

- ✓ L'approbation du système (module volant, lien de commande et station de pilotage),
- ✓ Un certificat de navigabilité de l'aéronef,
- ✓ Un certificat d'opérateur et
- ✓ Une licence pour tout pilote.

Ce texte précise également les conditions qui peuvent être attachées à la délivrance de l'autorisation délivrée par un État pour le survol de son territoire par un drone qui est exigée par l'article 8 de la convention de Chicago.

L'ensemble du dispositif envisagé ne sera opérationnel que lorsqu'il constituera un tout cohérent et qu'auront également été modifiées les annexes 1 « Licences du personnel », 6 « Exploitation, technique des aéronefs », 8 « Navigabilité des aéronefs » et 10 « Télécommunications aéronautiques » de la convention, ce qui devrait intervenir entre 2016 et 2018.

Bien que s'appliquant uniquement aux opérations internationales (à l'exclusion des vols d'État, vols militaires, des douanes, de la police...), les normes et pratiques recommandées de l'OACI contribuent dans une large mesure à la définition des normes qu'appliquent les différents États pour les vols réalisés à l'intérieur de leur territoire.

Le groupe UASSG vient de terminer la rédaction du manuel qui lui avait été demandée. Ce manuel (Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems, Doc 10019) a été présenté à l'occasion du grand symposium sur les drones organisés par l'OACI du 23 au 25 Mars 2015.

Ayant rempli ses objectifs initiaux, le groupe UASSG, après avoir tenu une quinzaine de réunions, a été remplacé en Juillet 2014 par une autre structure à caractère plus pérenne. C'est le groupe RPAS (**R**emotely **P**iloted **A**ircraf **S**ystem) qui a été chargé de la réalisation d'études spécifiques et, par la suite, du développement de dispositions visant à faciliter l'intégration sûre, sécurisée et efficace des drones dans l'espace aérien non ségrégué et sur les aérodromes, tout en confortant le niveau de sécurité pour les vols habités.

Par ailleurs, la 4e édition du plan GANP (**G**lobal **A**ir **N**avigation **P**lan) a pris en compte les drones et prévoit leur intégration dans l'espace aérien en 3 étapes :

- **L'étape B1** : Intégration dans des zones ségréguées avec des procédures basiques à définir faisant le cas échéant appel à des dispositifs de type « Détecter et éviter » ;
- **L'étape B2** : Intégration dans le trafic aérien ce qui suppose que des procédures plus sophistiquées soient définies pour couvrir les cas de pertes de liaisons de commande et que les dispositifs « Détecter et éviter » soient très performants ;
- **L'étape B3** : Intégration complète dans le trafic aérien y compris dans les aéroports. Les drones devraient à terme être traités de la même manière que les aéronefs pilotés.

III.3 Développement des cadres réglementaires (FAA/EASA)

L'intégration des drones dans l'espace aérien représente un défi majeur pour les autorités de régulation du monde entier, notamment la Federal Aviation Administration (FAA) aux États-Unis et l'Agence européenne de la sécurité aérienne (EASA) en Europe. Alors que l'utilisation commerciale et récréative des drones connaît une croissance exponentielle, il est impératif de mettre en place des réglementations robustes pour assurer la sécurité des opérations aériennes et la protection de l'espace aérien.

La FAA et l'EASA ont pris des mesures significatives pour développer des cadres réglementaires qui permettent une intégration harmonieuse et sûre des drones dans l'espace aérien existant, tout en tenant compte des préoccupations en matière de sécurité, de confidentialité et d'impact environnemental. Ces réglementations visent à équilibrer la promotion de l'innovation et du développement de l'industrie des drones avec la nécessité de garantir la sécurité publique et l'intégrité du trafic aérien traditionnel.

Au fil des années, la réglementation de la FAA et de l'EASA a évolué pour tenir compte des avancées technologiques et de l'expérience acquise dans l'exploitation des drones. Cela comprend des exigences telles que l'enregistrement des drones, la formation des opérateurs, les restrictions de vol dans certaines zones sensibles et la certification des systèmes de gestion du trafic aérien.

III.3.1 Programmes de développement des cadres réglementaires (FAA/EASA)

III.3.1.1 Réglementation FAA

Alors que les systèmes d'avions sans pilote (UAS) modifient fondamentalement l'aviation, la FAA s'engage toujours à soutenir ce changement et à collaborer avec la communauté des UAS afin de garantir l'intégration en toute sécurité de ce changement dynamique. Pour la FAA, la sécurité est toujours le facteur le plus important pour toute opération, y compris les UAS. Plusieurs actions ont été faites par la FAA, nous citons :

- En 26 Juillet 2013, la FAA a délivré des certificats de type de catégorie restreinte à deux systèmes d'avions sans pilote (UAS), une étape importante menant aux premières opérations commerciales d'UAS approuvées plus tard au cours de l'été.
- En 7 Novembre 2013, la FAA a publié sa première feuille de route pour l'intégration des systèmes sans pilote (UAS) décrivant les efforts nécessaires pour intégrer en toute sécurité les UAS dans l'espace aérien du pays.
- En 12 Janvier 2014, la FAA et l'académie AMA (Academy of Model Aeronautics) ont officialisé une relation dans le cadre de laquelle l'AMA servira de point focal pour la communauté de l'aéromodélisme, l'industrie des loisirs et la FAA afin de communiquer des informations de sécurité pertinentes et opportunes.

- En 22 Décembre 2014, la FAA, en partenariat avec l'Association for Unmanned Vehicle Systems International, l'AMA et la Small UAV Coalition, a lancé un nouveau site Web visant à éduquer le public sur la façon de piloter des systèmes d'avions sans pilote en toute sécurité. La campagne de sécurité s'appelle Know Before You Fly.
- En 8 Janvier 2015, la FAA a publié des lignes directrices à l'intention des forces de l'ordre expliquant le cadre juridique de la surveillance par l'agence de la sécurité aérienne aux États-Unis, y compris les opérations de systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS). Les lignes directrices décrivent comment les UAS et les modèles réduits d'avions peuvent être exploités légalement, ainsi que les options de mesures légales contre les opérateurs d'UAS non autorisés ou dangereux.
- En 15 Février 2015, la FAA a proposé un cadre de réglementation, la partie 107, qui permettrait l'utilisation courante et non récréative des petits systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS).
- En 19 Octobre 2015, la FAA a annoncé la création d'un groupe de travail chargé d'élaborer des recommandations pour un processus d'enregistrement des systèmes d'avions sans pilote.
- En 17 Décembre 2015, la nouvelle fiche d'information de la FAA sur la réglementation nationale et locale des systèmes d'avions sans pilote (UAS) fournit des informations aux États et aux municipalités qui envisagent des lois ou des réglementations concernant l'utilisation des UAS. Le document décrit les raisons de sécurité de la FAA pour la surveillance fédérale de l'aviation et de l'espace aérien, et explique la responsabilité fédérale dans ce domaine.
- En 4 Mai 2016, la FAA a créé un comité consultatif à grande échelle pour fournir des conseils sur les principales questions d'intégration des UAS. Le Comité consultatif sur les drones est le fruit du groupe de travail efficace sur l'enregistrement des UAS, composé de parties prenantes et du comité d'élaboration des règles de l'aviation MicroUAS.
- En 21 Juin 2016, la FAA a finalisé les premières règles opérationnelles, la partie 107, pour l'utilisation commerciale de routine des petits systèmes d'avions sans pilote.

Au cours des dernières années, la FAA a pris diverses mesures pour intégrer efficacement les UAS en toute sécurité dans le système d'espace aérien national américain (NAS), en

commençant par des efforts de réglementation tels que l'introduction d'exigences d'immatriculation et la règle de petite taille des UAS (partie 107).

La partie 107 de la FAA régit les opérations commerciales de systèmes d'aéronefs télé-pilotés (UAS). Elle était fondée sur les sept facteurs ci-dessous.

- **Éligibilité au pilotage commercial de drones :** Pour piloter un drone à des fins commerciales, les opérateurs doivent obtenir une certification de télé-pilote de drone de la FAA en passant un examen de connaissances aéronautiques.
- **Exigences de vol :** Les opérations de drone doivent respecter certaines limites, notamment en ce qui concerne l'altitude maximale de vol (400 pieds au-dessus du sol), la vitesse maximale (100 miles par heure) et la distance visuelle directe du pilote ou de l'opérateur.
- **Conditions de vol :** Les drones ne sont pas autorisés à voler au-dessus de personnes non impliquées dans l'opération, sauf dans certaines conditions spécifiques définies par la réglementation.
- **Enregistrement des drones :** Tous les drones pesants entre 0,55 livre (250 grammes) et 55 livres (25 kilogrammes) doivent être enregistrés auprès de la FAA avant d'être utilisés à des fins commerciales.
- **Exemptions :** La partie 107 offre la possibilité de demander des exemptions aux règles standards pour des opérations spécifiques qui ne peuvent pas être effectuées en conformité avec les réglementations existantes.

En outre, la FAA s'engage auprès de la communauté des systèmes d'aéronef sans pilote (UAS) pour promouvoir une compréhension commune des objectifs et des contraintes et élaborer des exigences spécifiques nécessaires à la prise en charge des opérations et des processus d'approbation. Cet engagement soutient l'éducation mutuelle et facilite des approches et des solutions communes.

III.3.1.2 Réglementation EASA

Pour assurer la libre circulation des drones et l'égalité des conditions de concurrence au sein de l'Union européenne, l'EASA a élaboré des règles européennes communes. L'approche adoptée consiste à appliquer également aux drones les normes de sécurité les plus élevées atteintes dans l'aviation pilotée. Les règles se fondent sur une évaluation du risque

d'exploitation et établissent un équilibre entre les obligations des fabricants de drones et des opérateurs en termes de sécurité, de respect de la vie privée, d'environnement, de protection contre le bruit et de sécurité.

S'agissant des aéronefs sans pilote, l'agence EASA n'est, à ce stade, compétente que pour ce qui concerne ceux d'entre eux dont la masse en ordre d'exploitation excède 150 kg (Annexe II, i du règlement 216/2008). La production de réglementations pour les plus petits drones relève de la compétence des États membres, des aéronefs de construction amateurs ou encore des planeurs de moins de 80 kg. Les États membres doivent, bien entendu, produire en la matière des textes cohérents avec la réglementation communautaire notamment avec ce qu'elle entraîne comme conséquence en matière de gestion du trafic aérien.

Dès 2005, l'agence EASA a publié un premier document relatif à la certification des drones basé sur les travaux d'un groupe de travail réuni par Eurocontrol et les JAA (document A-NPA 16/2005 « Draft Policy for UAV Certification »). Les travaux engagés ont été approfondis et l'agence a publié en 2009 le document « Policy Statement Airworthiness certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS) » qui précisait sa politique vis-à-vis de la certification de navigabilité des drones. [9]

L'EASA a par ailleurs produit en 2012 un avis de proposition de modification (Notice of Proposed Amendment NPA 2012-10) en vue d'amender le règlement d'exécution n° 923/2012 de la Commission établissant les règles de l'air communes et des dispositions opérationnelles relatives aux services et procédures de navigation aérienne, dites SERA (**S**tandardised **E**uropean **R**ules of the **A**ir), pour prendre en compte l'amendement relatif aux drones de l'annexe 2 de la convention de Chicago.

La proposition NPA proposait d'utiliser une double base juridique s'agissant des activités des drones (règlement 216/2008 pour ce qui concerne la navigabilité, les opérations aériennes et les personnels et règlement 551/2004 pour l'accès à l'espace aérien) et concernait de manière générale tous les drones, ceux de plus de 150 kg comme les plus petits. Certaines des dispositions proposées étaient propres aux drones de plus de 150 kg. Ceux-ci devaient avoir un certificat de navigabilité pour eux-mêmes et pour leur station de pilotage. Leurs opérateurs et télé-pilotes devaient également être certifiés. Certaines dispositions de cette proposition avaient vocation à s'appliquer aux drones de moins de 150 kg ce qui remettait en cause le partage de responsabilité actuel.

Fin 2014, l'EASA a indiqué qu'elle souhaitait adopter une nouvelle approche basée sur le type de mission pour l'encadrement réglementaire auquel elle travaille pour les drones. À l'occasion de la conférence organisée par la Commission européenne à Riga, les 5 et 6 Mars 2015, l'agence a rendu publiques les grandes lignes du projet de réglementation sur lequel elle travaille. Ce projet distingue trois grandes catégories d'opérations et pour chacune d'elle présente des exigences spécifiques.

La première catégorie du projet concerne les opérations réalisées avec des drones très légers présentant un faible niveau de risque, que ce soit pour des usages ludiques privés ou professionnels. Ce type d'opérations ne relèverait pas des compétences des autorités nationales de l'aviation civile des États membres mais serait simplement supervisé par les services assurant la police générale des États membres dont les agents devraient être formés pour assumer ces nouvelles responsabilités. Le faible niveau de risque que représente ce type d'exploitation ne paraît à l'agence justifier ni un certificat de navigabilité pour le drone, ni une licence pour le télé-pilote. Les seules restrictions qui pourraient être apportées concerneraient les conditions d'exploitation du drone. Celui-ci devrait rester dans le champ de vision de son télé-pilote et ne pas s'en éloigner de plus de 500 m, ne pas voler au-dessus de 150 m de hauteur et rester en dehors de zones réservées spécifiées tel qu'aéroports, centrales nucléaires... Les vols au-dessus de regroupements de populations seraient interdits, mais pas au-dessus des zones habitées. De plus, les drones de moins de 500 grammes, considérés comme des jouets et ceux pouvant être pilotés par des enfants de moins de 14 ans, seraient exclus de cette catégorie. On ne surveillerait plus dans ce contexte les petits drones comme du matériel aéronautique pour lequel on est plus particulièrement exigeant mais comme d'autres équipements comme les automobiles.

La deuxième catégorie du projet imaginée par l'AESA regrouperait les missions pouvant comporter un niveau de risque « mesuré » pour les populations survolées ou les autres usagers de l'espace aérien. Cette catégorie se rapproche de ce que permet l'actuelle réglementation française qui distingue elle-même quatre cas de figures. L'agence prévoit elle aussi une graduation des possibilités offertes et des contraintes associées, toujours en fonction des risques. C'est ainsi que, concernant les compétences des télé-pilotes, l'agence envisage différents niveaux allant de la simple formation spécifique à la licence européenne. Le dépôt d'un manuel d'activité de l'opérateur devrait être également obligatoire comme c'est le cas en France pour les activités professionnelles.

La troisième catégorie du projet concerne les missions qui présentent le même niveau de risque que l'aviation avec pilotes à bord. Les missions et le drone seraient dès lors traités de la même manière que les aéronefs pilotés. Ils devraient logiquement relever de la même administration de tutelle.

Les frontières entre les deux dernières catégories doivent encore être précisées ce qui, selon l'agence, pourrait faire intervenir des paramètres tels que l'énergie cinétique ou le type d'opérations et la complexité du drone notamment en termes d'autonomie. Les drones employés pour des missions complexes devraient donc faire l'objet d'une certification et leurs pilotes devraient être titulaires d'une licence.

III.3.2 Nouvelles stratégies et réglementation (FAA/EASA)

III.3.2.1 Nouvelle stratégie et réglementation de la FAA

Après la partie 107, la FAA se concentre maintenant sur la création de règles pour les opérations de routine d'UAS sur des personnes. Cependant, les partenaires de sécurité ont mis en lumière d'importantes questions de politique publique concernant la discrimination par la menace et la capacité d'identifier les opérateurs.

Pour avancer, la priorité aux exigences d'identification à distance pour les UAS a été accordée, ce qui devrait permettre une discrimination des menaces par les responsables de la sécurité. D'autres composants sur lesquels repose la nouvelle réglementation de la FAA sont le Programme Pilote Intégré (PPI), la Capacité d'Autorisation et de Notification à Basse Altitude LAANC (**L**ow **A**ltitude **A**uthorization and **N**otification **C**apability) et la gestion du trafic UAS « UTM » (**U**n**m**anned **T**raffic **M**anagement).

III.3.2.1.1 Identification à distance

L'identification à distance est un composant essentiel de la gestion du trafic UAS (UTM) et permettra de nombreuses autres opérations UAS à volume élevé et basse altitude. La FAA s'est engagée à établir les exigences d'identification à distance pour les UAS aussi rapidement que possible, et elle travaille actuellement à l'élaboration d'un projet de règle.

L'identification à distance facilite les efforts d'intégration UAS du point de vue de la sécurité. L'identification à distance est essentielle pour la routine au-delà des opérations en visibilité directe et de la livraison de colis, pour des opérations dans un espace aérien encombré

à basse altitude dans le cadre de l'UTM et pour la poursuite de l'exploitation en toute sécurité de tous les aéronefs du système d'espace aérien partagé.

Du point de vue de la sécurité, l'identification à distance permet de connecter un drone à son opérateur et constitue la pierre angulaire de la détermination de la menace par les forces de l'ordre. Grâce à l'identification à distance universelle, les partenaires chargés de l'application de la loi et de la sécurité nationale seront mieux placés pour localiser l'opérateur, déterminer si un drone est utilisé de manière inconsidérée, négligente ou criminelle et prendre les mesures qui s'imposent.

III.3.2.1.2 Programme Pilote Intégré (PPI) de l'UAS

Le PPI de l'UAS permettra aux gouvernements des États, locaux et tribaux, de travailler avec l'industrie pour rechercher des moyens d'étendre et de gérer en toute sécurité des opérations UAS plus avancées, telles que des opérations de nuit, des vols au-dessus des personnes et au-delà de la ligne de mire du pilote ainsi que la livraison des colis. La FAA espère obtenir des informations précieuses sur l'équilibre entre les responsabilités en matière de gestion sûre et efficace de l'espace aérien et les préoccupations des communautés locales en matière de sécurité et de confidentialité.

III.3.2.1.3 Capacité d'Autorisation et de Notification à Basse Altitude (LAANC) et l'UTM

L'objectif à long terme de la FAA est d'intégrer les UAS, et non de les séparer des NAS. Le développement de LAANC constitue un grand pas en avant en termes d'automatisation des systèmes pour prendre en charge le volume des opérations UAS.

LAANC permet d'accéder à l'espace aérien contrôlé à proximité des aéroports grâce au traitement en temps quasi réel des autorisations d'espace aérien situées en-dessous des altitudes approuvées dans l'espace aérien contrôlé. Il automatise le processus de demande et d'approbation des autorisations d'espace aérien grâce à des applications automatisées développées par des fournisseurs de services UAS approuvés par la FAA.

Les demandes d'autorisation d'espace aérien présentées par les pilotes sont vérifiées par rapport à plusieurs sources de données d'espace aérien dans l'échange de données UAS de la FAA, telles que les restrictions de vol temporaires, les notifications aux aviateurs et les cartes d'installation d'UAS. Si approuvé, les pilotes reçoivent leur autorisation en temps quasi réel. Il convient de noter que LAANC fournit uniquement des autorisations d'espace aérien. Voir le site Web public de la FAA pour plus de renseignements sur LAANC.

LAANC et l'identification à distance sont des composants essentiels des efforts de la FAA pour mettre en œuvre les blocs de construction de l'UTM. La FAA envisage l'UTM comme un écosystème de l'aviation dans lequel les opérateurs de UAS / fournisseurs de services, les aéronefs et la FAA ont tous un rôle à jouer pour séparer en toute sécurité des opérations denses à basse altitude.[10]

III.3.2.2 Nouvelle stratégie et réglementation de l'EASA

Au cours des dernières années, un nombre croissant de « quasi-accidents », lorsqu'un drone vole très près d'un aéronef civil, a été enregistré dans toute l'Europe. Bien qu'il soit très difficile de recueillir des données fiables, des éléments probants émanant de l'agence EASA permettent de penser qu'il se serait produit plus de 2100 incidents de sécurité impliquant des drones entre 2010 et 2016. Sur ce total, 1200 ont été enregistrés sur la seule année 2016.

Ces statistiques mettent en exergue le besoin urgent de mettre en place un cadre réglementaire moderne et flexible à l'échelle de l'UE. En Août 2018, la Commission a donc publié le Règlement (UE) n°2018/1139 du Parlement Européen et du Conseil du 4 Juillet 2018, visant à remplacer et abroger le Règlement (CE) n°216/2008. Ce nouveau texte établit des normes pour l'utilisation des drones qui s'inscrivent dans la stratégie de l'aviation pour l'Europe. Il permet à l'Union Européenne de réglementer les drones de toutes tailles, en particulier les drones de moins de 150kg qui relevaient jusqu'alors de la compétence des Etats. Il a introduit des exigences pour les drones au niveau européen, dans le but de protéger la vie privée, de garantir la sécurité et la sûreté. Le Règlement est entré en vigueur le 11 Septembre 2018.[11]

Le règlement d'exécution (UE) 2019/947 sur l'usage des drones civils et le règlement délégué (UE) 2019/945 sur le marquage CE des drones utilisés dans la catégorie « Ouverte » ont été publiés en Juin 2019. Cette réglementation couvre les catégories « Ouverte » (à faible risque) et « Spécifique » (à risque modéré), mais pas la « Certifiée » (à risque élevé, qui sera soumise à des exigences comparable à l'aviation habitée).

Le texte porte sur des exigences techniques et opérationnelles. Il évoque notamment les qualifications pour les pilotes de drones, un code de bonne conduite, ainsi qu'un enregistrement obligatoire des exploitants dans un fichier, hormis pour les engins d'un poids inférieur à 250 grammes. Ce règlement cherche à aboutir à une homogénéisation de la réglementation des drones civils en Europe pour assurer des opérations sûres, sécurisées et durables. Les

réglementations seront applicables graduellement durant la période de transition, de Juillet 2019 à Juin 2022.

La Commission Européenne a proposé en outre, en Novembre 2016, de créer un système de gestion du trafic des drones UTM dans l'espace aérien de basse altitude, appelé « U-Space ». L'entreprise commune « Programme de recherche sur la gestion du trafic aérien dans le ciel unique européen » (SESAR) de la Commission, dont le rôle est de mettre au point la prochaine génération du système européen de gestion du trafic aérien, a été chargée de mettre en place ce système.

U-Space est un ensemble de services reposant sur la digitalisation et l'automatisation des procédures pour garantir une insertion sûre, sécurisée et efficace des drones dans l'espace aérien.

Parmi les services proposés, la géolimitation, ou geofencing en anglais, utilise le positionnement par satellite pour créer une limite géographique virtuelle et empêcher automatiquement les drones de voler à proximité de certaines zones, telles que les aéroports. En 2017, SESAR a dégagé un demi-million d'euros pour soutenir des activités de démonstration de services de géolimitation. Ce financement vient s'ajouter à l'enveloppe de 9 millions d'euros déjà affectée à des projets exploratoires en vue d'accélérer le développement de l'U-Space, tels que l'identification électronique des drones ou la communication entre drones. En 2019, de nombreux projets sont en phases de développement ou de démonstration.

III.3.3 Analyse comparative des réglementations FAA et EASA

Une analyse comparative entre la réglementation de la FAA et celle de l'EASA, concernant l'intégration des drones, met en évidence plusieurs similitudes et différences importantes.

Les **similitudes** constatées des deux réglementations sont les suivantes :

- **Enregistrement des drones** : Tant l'EASA que la FAA exigent l'enregistrement des drones avant leur utilisation à des fins commerciales ou récréatives. Cela permet de tenir une trace des opérateurs de drones et de garantir une certaine responsabilité.
- **Certification des pilotes** : Les deux agences ont mis en place des exigences de certification pour les pilotes de drones opérant à des fins commerciales. Cela comprend généralement la

réussite d'un examen de connaissances aéronautiques et l'obtention d'une licence ou d'une certification appropriée.

- **Limites opérationnelles** : Les réglementations de l'EASA et de la FAA établissent des limites concernant des aspects tels que l'altitude maximale de vol, la distance visuelle directe du pilote et les zones interdites de vol. Ces limites visent à assurer la sécurité des vols et à réduire les risques de collision avec d'autres aéronefs.

Cependant, les **différences** entre les deux réglementations sont citées comme suit :

- **Approche réglementaire** : L'EASA adopte une approche réglementaire harmonisée pour l'ensemble de l'Union Européenne, ce qui signifie que les règles sont les mêmes dans tous les États membres. En revanche, la FAA établit des règlements qui s'appliquent uniquement aux États-Unis, bien que certains États aient également leurs propres réglementations complémentaires.
- **Classification des drones** : L'EASA a introduit une classification des drones en différentes catégories en fonction de leur poids et de leur risque potentiel, avec des règles différentes pour chaque catégorie. En revanche, la FAA utilise principalement une approche basée sur le poids des drones pour déterminer les règlements applicables.
- **Exigences spécifiques** : Les réglementations de l'EASA et de la FAA peuvent différer dans les détails, notamment en ce qui concerne les exigences spécifiques pour les opérations au-dessus des personnes, les autorisations pour les vols hors de la vue, et les règles pour les opérations de drones à des fins particulières, telles que la livraison de colis.

Dans l'ensemble, bien que les deux agences aient commencé à réglementer les drones il y a quelques années, l'EASA a adopté une approche plus proactive en développant un cadre réglementaire unifié pour l'ensemble de l'Union Européenne, tandis que la FAA a continué à évoluer progressivement avec des mises à jour régulières de ses règlements existants. L'EASA a également mis en place des délais pour la conformité, permettant aux opérateurs de drones et aux fabricants de s'adapter progressivement aux nouvelles exigences, tandis que la FAA a adopté une approche plus itérative avec des modifications apportées au fur et à mesure que nécessaire.[12]

En résumé, bien que l'EASA et la FAA partagent des objectifs similaires en matière de réglementation des drones pour assurer la sécurité des opérations aériennes, leurs approches et

leurs réglementations spécifiques peuvent varier en fonction des contextes juridiques, culturels et opérationnels distincts de l'Union Européenne et des États-Unis.

III.4 Exemples de réglementations étrangères

III.4.1 Réglementation de Royaume-Uni

Le Royaume-Uni s'est attaché à développer un cadre réglementaire pour les drones depuis plus de dix ans avec comme objectif final de permettre une intégration complète et sûre des opérations de drones dans le système de l'aviation.

Ce cadre est basé sur la réglementation communautaire et comprend la loi sur l'aviation civile (Civil Aviation Act de 1982) et en matière de navigation aérienne (le CAP 393). S'agissant des drones, le dispositif qui se met progressivement en place est basé sur les principes suivants : « ce sont des aéronefs, ils ne sont pas pilotés, et les risques qu'ils peuvent générer doivent être analysés de manière équivalente à celle selon laquelle sont analysés les risques générés par les aéronefs disposant d'un pilote à bord ; de plus on ne doit leur accorder aucun droit ou régime particulier notamment en matière d'accès à l'espace aérien ». La réglementation doit être proportionnée aux risques et correctement protéger les tiers qui ne sont pas impliqués dans leur exploitation.

Le règlement sur la navigation aérienne (Air Navigation Order de 2009 qui fait partie du CAP 393) aborde l'exploitation des drones. Certains articles de portée générale rappellent qu'on ne doit pas mettre en danger la vie d'autrui ou endommager des biens d'autrui par imprudence ou négligence (art.138).

Les drones de moins de 20 kg, qualifiés de petits drones, sont exemptés de la plupart des dispositions de cet Order mais les articles 166 et 167 les concernent spécifiquement. Ces articles précisent que ce type de drone ne peut être exploité que si la personne en charge du vol « est raisonnablement convaincue que le vol peut être effectué en toute sécurité ». Ceci n'impose pas à priori de certification. Cette personne doit maintenir un contact visuel avec le mobile volant (vol en condition VLOS). De plus, pour les drones de plus de 7 kg, une autorisation des services de la navigation aérienne est nécessaire pour voler dans des espaces de classe A, C, D ou E, ou au-dessus de 400 pieds, ou encore dans la zone de trafic d'un aéroport. Une autorisation de l'autorité CAA (Civil Aviation Authority) est de plus demandée pour réaliser des activités relevant du travail aérien (Art. 166). Des conditions sont par ailleurs imposées aux drones

engagés dans des activités de surveillance ou d'acquisition de données. Ces conditions concernant le survol de personnes, de zones densément peuplées ou de divers véhicules ou équipements (art.167), et essentiellement des distances de séparation.[13]

Pour les drones de plus de 20 kg, toutes les autres dispositions prévues dans l'Order s'appliquent comme elles s'appliquent aux aéronefs pilotés qu'elles concernent l'immatriculation, les équipements obligatoires, les licences du pilote, l'application des règles de l'air. Certaines dispositions relatives à quelques aspects opérationnels comme les aires de décollage sont cependant par nature propres aux drones. La certification est basée sur les principes développés dans le règlement communautaire n° 216/2008 pour les drones de plus de 150 kg. Ces drones ne peuvent à ce stade, à savoir en l'absence de dispositif « Détecter et éviter », évoluer qu'en espace ségrégué. L'Order définit à cette fin des zones dites « Danger areas ».

Ce dispositif législatif est complété par un règlement d'application publié par la CAA, qui est le CAP 722 (Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace-Guidance) dont la 5e édition date d'Août 2012 et qui devrait bientôt connaître une 6e édition. Ce texte contient des dispositions détaillées concernant la conception et la fabrication de drones ainsi que leur exploitation. En ce qui concerne les opérations et l'utilisation de l'espace aérien, le CAP 722 comprend des principes et exigences concernant le fonctionnement de l'espace aérien pour les drones, y compris les réservations temporaires de l'espace aérien à leur attention, la fonction « Détecter et éviter », les fréquences utilisables, l'utilisation d'un radar de surveillance, la qualification des opérateurs civils, les opérations transfrontalières, l'autonomie des drones et les facteurs humains en relation avec leur exploitation. Il comprend également des dispositions particulières aux opérations civiles tel que l'agrément d'exploitation, y compris les demandes d'autorisation d'exploitation et modèle de manuel d'opérations, procédures et procédures d'urgence ATM, violations des règles de l'air, procédures à suivre en cas d'accident ou d'incident/d'accident et procédures en cas d'exploitation à partir d'aérodromes propres aux opérations par des drones militaires.

Pour les drones d'une masse comprise entre 20 et 150 kg, le CAP 722 ne comprend pas d'exigences de certification d'application obligatoire mais donne une méthode appelée « l'approche CONOPS » qui est basée sur la production d'un dossier de sécurité. L'opérateur doit dans tous les cas justifier que le risque global est identifié de manière adéquate et mitigé tant pour les opérations courantes qu'en cas de panne.

Nous pouvons noter que les opérations E-VLOS de petits drones sont autorisées mais nécessitent un NOTAM, ce qui n'est pas requis pour les vols VLOS. Les vols à finalité récréative sont réalisés sous la responsabilité de la personne en charge et ne demandent ni licence, ni immatriculation, ni exigence de certification mais ne sont autorisés qu'en condition VLOS. Les aspects propres à la protection des données à caractère personnel sont couverts par d'autres réglementations.

III.4.2 Réglementation de Suède

Dès 2003, un document de politique pour l'introduction de systèmes de drones en Suède a été élaboré. C'est un document qui introduit une différenciation entre les types de drones en fonction de leur masse et du type d'opérations réalisées. Une réglementation a dans un premier temps été développée pour les drones militaires puis par la suite pour les drones civils. La loi sur l'aviation (Luftartslagen 2010 : 500) et l'ordonnance sur l'aviation (Luftartsförordningen 2010 : 770) donnent un cadre pour le développement de la réglementation pour les vols habités dont les conditions sont, dans une large mesure, applicables aux drones. La réglementation propre aux drones civils a été produite en 2009 par l'agence suédoise des transports et mise à jour en 2013. Celle-ci comprend un ensemble de règles et d'orientations relatives à la conception, la fabrication, la modification, la maintenance et les activités réalisées avec des drones civils. Ces règles varient selon la catégorie dont relève l'exploitation envisagée qui est définie en fonction de paramètres physiques relatifs au module volant et du type de vol envisagé. Trois catégories sont définies :

- **La catégorie 1** qui elle-même divisée en deux sous-catégories 1A et 1B. La catégorie 1A correspond aux drones exploités en condition VLOS, présentant une masse pouvant aller jusqu'à 1,5 kg et une énergie cinétique maximale durant leur exploitation de 150 joules. La catégorie 1B correspond aux drones de 1,5 à 7 kg, exploités en conditions VLOS avec une énergie cinétique maximale de 1000 J. Pour ces appareils, il n'est requis ni certification du module volant, ni qualification particulière des télé-pilotes. En revanche, les opérateurs et les opérations doivent être approuvés.
- **La catégorie 2** correspond aux drones de plus de 7 kg, sans limitation en matière d'énergie cinétique et exploités en condition VLOS. Pour ces drones, il n'est pas requis de certification mais les opérateurs et les opérations doivent être approuvés et les télé-pilotes

doivent être qualifiés.

- **La catégorie 3** correspond aux drones sans limite de poids ni d'énergie mais volant en condition B-VLOS. Pour ces drones, une certification est requise de même qu'une approbation des opérateurs et des opérations et qu'une qualification des télé-pilotes.

Cette réglementation aborde des thématiques de portée générale tels que : définition des catégories de drones, approbations, surveillance des entreprises exploitant des drones, assurance, enregistrement et marquage. Elle comprend également des dispositions applicables aux différentes catégories de drones : organisation, dispositions relatives aux opérations aériennes, pilote-commandant de bord, pilote et autres personnels d'exploitation, manuel d'exploitation, préparation et exécution du vol, comptes rendus d'incidents, équipements nécessaires, communication avec le contrôle du trafic aérien, procédures opérationnelles pour les opérations sur les aérodromes agréés, certification de navigabilité, dispositions relatives à la maintenance, éventuelles exceptions.

Les dispositions prévues sont de plus en plus contraignantes au fur et à mesure que le risque à mitiger est important. Elles sont donc très simples pour les catégories 1A et 1B. Pour la catégorie 2, elles comprennent des exigences relatives à l'organisation mise en place chez l'opérateur (définissant les rôles et les responsabilités de dirigeant responsable, de directeur des opérations de vol et de directeur technique) et des dispositions relatives à l'exploitation des vols, y compris des exigences en matière de manuels d'utilisation et d'entretien, de limitations opérationnelles, de planification, d'application des règles de l'air et de reporting en cas d'incident ou d'accident. Pour la catégorie 3, des exigences plus strictes que celles formulées pour la catégorie 2 sont prévues se rapprochant de celles existant pour les aéronefs avec équipage, par exemple pour ce qui concerne les règles de l'air, le plan de vol, les équipements CNS...etc.

À ce jour, les opérateurs qui ont été approuvés en Suède l'ont été essentiellement pour des opérations relevant des catégories 1 et 2 et pour les activités de travail aérien, en majorité pour de la photographie aérienne.

III.4.3 Réglementation de la Suisse

La réglementation suisse concernant l'utilisation des drones distingue les petits drones, à savoir les engins de moins de 30 kg qui peuvent, moyennant le respect de quelques conditions, être utilisés sans autorisation particulière. Par contre, les plus gros drones sont soumis à autorisation.

Une ordonnance de 2014 n° 748.941 sur les aéronefs de catégories spéciales s'applique aux planeurs de pente, aux cerfs-volants, aux parachutes ascensionnels, aux ballons captifs et aux aéronefs sans occupants. Dans ce texte, les drones légers civils d'une masse inférieure à 30 kg sont traités de la même manière que les modèles réduits d'avion, pour autant que le télépilote maintienne un contact visuel permanent avec le drone, c'est-à-dire que le drone évolue en condition VLOS et que le vol respecte quelques autres contraintes : Le drone ne doit pas dépasser une hauteur de 150 mètres dans les zones de contrôle, il doit rester à une distance de plus de 5 km des pistes d'un aéroport et de plus de 100 m de rassemblements de personnes en plein air (sauf à l'occasion de participations à des manifestations publiques d'aviation pour les modèles réduits ou les drones qui sont à priori autorisés). Aucun agrément particulier n'est requis pour exploiter des drones dans ces conditions que le vol réalisé soit à but commercial, non commercial, professionnel ou scientifique.

Les drones de moins de 30 kg ne sont en Suisse pas inscrits au registre d'immatriculation. Leur navigabilité ne fait pas l'objet d'un examen et aucun certificat de bruit les concernant n'est établi. Ils n'ont bien entendu pas d'obligation d'utiliser un aéroport pour les atterrissages ou les décollages. Quelques particularités du régime très souple mis en place peuvent être relevées :

- ✓ Le recours à des équipements permettant d'accroître la portée du regard (jumelles ou lunettes vidéo) nécessite l'autorisation de l'Office Fédéral de l'Aviation Civile (OFAC). Les lunettes vidéo et dispositifs analogues sont admis si un deuxième opérateur supervise le vol et est en mesure de reprendre en tout temps le contrôle de l'appareil. L'opérateur doit alors se situer au même endroit que le pilote.
- ✓ Les vols automatiques (fonctionnement autonome) dans le champ visuel du pilote sont admis pour autant que le pilote soit en tout temps en mesure de reprendre si nécessaire le contrôle de l'appareil.

- ✓ Les prises de vue aériennes sont admises sous réserve de la réglementation relative à la protection des installations militaires. Il y a lieu également de respecter la sphère privée et plus généralement les dispositions de la loi sur la protection des données.
- ✓ Les cantons et les communes ont le pouvoir de prononcer d'autres restrictions à l'utilisation des aéronefs sans occupants. En matière de responsabilité, l'ordonnance 748.941 précise que « Sont réservés dans tous les cas les droits qu'ont les personnes sur un bien-fonds de se défendre contre les atteintes à leur possession et de demander réparation des dommages ».

L'ordonnance précise enfin qu'afin de garantir les prétentions des tiers au sol, l'exploitant doit conclure une assurance responsabilité civile d'une somme de 1 million de francs (suisses) au moins. À l'exception de l'obligation de voler en condition VLOS, les contraintes énoncées ci-dessus ne s'appliquent pas aux drones de moins de 500 grammes.

Des dérogations aux contraintes existant, pour les vols de petits drones (survol de rassemblement de population, vols en condition BVLOS...), peuvent être accordées par l'OFAC sur la base d'une étude au cas par cas visant donc à s'assurer que le paramètre sécurité est bien maîtrisé, de même nature que celles réalisées pour autoriser les drones plus gros. L'utilisation de drones de plus de 30 kg, comme de tout autre type d'aéronefs de plus de 30 kg couvert par l'ordonnance 748.941, requiert une autorisation de l'OFAC qui fixe dans chaque cas les conditions d'admission et d'utilisation.[13]

Ainsi, avant d'autoriser le vol d'un drone au-dessus d'un rassemblement de personnes ou sans contact visuel direct avec l'appareil, l'OFAC procède à une évaluation de la sécurité du système sur la base des directives et normes aéronautiques en vigueur. L'OFAC estime que les systèmes que l'on trouve dans le commerce ne remplissent en général pas ces exigences ou ne les remplissent que partiellement. Le système de drone doit en effet être en mesure d'éviter que l'appareil, en cas de panne, blesse ou tue des tiers en chutant de manière incontrôlée et, en cas de perte de contrôle (liaison de données ou liaison de contrôle), un mécanisme automatique doit s'enclencher afin de prévenir tout danger pour des tiers au sol ou dans les airs. Afin de permettre à l'OFAC d'évaluer correctement tous les aspects, le requérant doit soumettre, outre la demande d'autorisation, un « Total Hazard and Risk Assessment » comprenant une description détaillée des opérations envisagées, du système utilisé (appareil, station de contrôle, liaison de données,

...etc.) et une analyse du risque que représentent les opérations prévues pour les personnes et les propriétés au sol. Cette analyse doit comprendre :

- ✓ Une analyse du risque que représentent les opérations prévues pour les autres avions qui pourraient se trouver à proximité ;
- ✓ Une description détaillée des moyens qui permettraient d'atténuer les dangers ;
- ✓ Une analyse des conséquences au cas où la solution technique retenue ne fonctionnerait pas et une analyse de la fiabilité de ladite solution technique ;
- ✓ Une présentation des procédures d'urgence prévues.

L'OFAC met à disposition des requérants le guide (Guidance for an Authorisation for Low Level Operation of RPAS) pour les aider à préparer cette évaluation. Au vu du dossier reçu, l'OFAC peut accorder aussi bien des autorisations ponctuelles que des autorisations de longue durée. À terme, ces études au cas par cas pourraient être remplacées par une certification des systèmes de drones et la délivrance de certificat d'opérateurs mais les procédures correspondantes restent à définir et sont dépendantes de développements technologiques attendus (dispositif pour assurer la fonction « Détecter et éviter »).

L'exploitation de drones ou de modèles réduits d'aéronefs au-dessus ou à moins de 100 m de rassemblements de personnes peut faire l'objet d'une procédure d'autorisation simplifiée si l'appareil est captif et qu'il ne met en danger personne en cas de perte de maîtrise.

Les militaires suisses disposent d'une expérience significative avec les drones. La SAF (Swiss Air Force) a exploité des drones en Suisse selon les règles du Trafic Aérien Opérationnel (OAT) depuis 1988 et est actuellement le seul opérateur de drones à voler régulièrement dans l'espace aérien suisse au-delà de la ligne visuelle, soit en condition B-VLOS.

Un groupement comprenant Skyguide, l'OFAC et l'armée de l'air suisse, soutenu par EUROCONTROL a été formé pour travailler sur l'intégration d'un drone de type Ranger dans l'espace aérien non ségrégué. L'objectif initial est de fonctionner en IFR/VFR, en classe C et D de l'espace aérien, dans les TMA de Zurich et Genève en s'appuyant notamment sur un système de connaissance de la situation de terrain basé sur des radars.

III.5 Conclusion

L'élaboration de réglementations robustes pour les drones est essentielle à leur intégration sécurisée dans l'espace aérien. Les efforts conjoints des différentes organisations, telles que l'IOACI, l'EASA et la FAA, ont établi des normes internationales strictes, tandis que chaque État adapte ces directives à ses besoins spécifiques pour optimiser la sécurité et l'innovation. Ces cadres réglementaires posent des défis mais offrent également des opportunités pour l'avenir de l'aviation.

Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur l'intégration des drones dans l'espace aérien algérien et le développement d'une réglementation adaptée. Nous examinerons comment nous pouvons nous inspirer des expériences internationales tout en répondant à nos propres besoins pour une adoption harmonieuse et sécurisée des drones.

CHAPITRE IV

PROBLEMATIQUE D'INTEGRATION

DES DRONES EN ALGERIE

CHAPITRE IV

PROBLÉMATIQUE D'INTÉGRATION DES DRONES EN ALGÉRIE

IV.1 Introduction

L'intégration des drones dans l'espace aérien algérien nécessite une approche réglementaire adaptée et innovante. En s'inspirant des meilleures pratiques internationales, nous avons développé des pratiques visant à assurer la sécurité et l'efficacité.

Dans ce chapitre, nous avons travaillé sur des scénarios de vol auxquels les utilisateurs de drones doivent se conformer pour garantir des opérations sûres et réglementées. Ces scénarios sont simulés par le logiciel Blender. De plus, nous avons développé une application, à base des deux logiciels QGIS et Python, permettant aux utilisateurs de drones de visualiser en temps réel les différentes restrictions de l'espace aérien algérien. Offrant une cartographie interactive et des notifications sur les zones de restriction, cette application vise à améliorer la sécurité et à informer les utilisateurs sur les régulations spécifiques à chaque zone de vol.

IV.2 Développement du cadre réglementaire national

IV.2.1 Recueil réglementaire actuel : Etat des lieux et constats

Au vue de l'importance du drone et de l'impact positif que peut apporter son utilisation dans les différents domaines d'intérêt nationaux, et dans le but d'être au diapason des pays leader dans ce domaine, les orientations de Monsieur le Président de la République, Chef suprême des Forces Armées, Ministre de la Défense Nationale, convergent vers la nécessité de réglementer l'emploi des systèmes d'aéronefs sans pilote à bord par les secteurs étatiques et privés, pris en charge auparavant par le décret exécutif 09-410 du 10/12/2009 fixant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les équipements sensibles.

Par la suite, l'Algérie s'est dotée d'un cadre réglementaire général régissant exclusivement les systèmes d'Aéronefs sans Pilote à Bord à travers la promulgation du décret

présidentiel 21-285 du 13 Juillet 2021, fixant le cadre général régissant ces systèmes, notamment son article 16 où il est créé auprès du Ministère de la Défense Nationale un Centre National des Systèmes d'Aéronefs sans Pilote à Bord.

IV.2.2 Plan d'implémentation

IV.2.2.1 Cas des gros drones (HALE / MALE)

De grands groupes industriels évaluent aujourd'hui des drones nécessitant plus d'autonomie et de capacité d'emport que les engins civils aujourd'hui couramment autorisés. De même, les constructeurs de gros drones militaires imaginent des versions dérivées de leurs drones pour réaliser des missions civiles, y compris des missions pour lesquelles les drones seront intégrés dans la circulation aérienne au même titre que les avions. Il conviendra pour permettre ces évolutions de pouvoir apporter des garanties en termes de sécurité et pour cela de s'appuyer sur des technologies complexes et coûteuses afin notamment de prévenir les risques de perte de contrôle de l'engin.

Peu de drones relevant de cette catégorie sont aujourd'hui autorisés à voler et nombreuses questions restent ouvertes avant qu'ils puissent l'être plus largement. Il s'agit de ce qui touche :

- ✓ À l'intégration dans l'espace aérien avec notamment la prise en compte des attentes en matière de fiabilité technique et comportementale pour ne pas mettre en danger la sécurité des autres aéronefs : capacité des drones à répondre pleinement aux critères de navigabilité (certification, problématiques spécifiques à la motorisation, à l'alimentation en énergie...) et à respecter les règles de la circulation aérienne (détection de proximité, gestion des situations dégradées, des pannes...);
- ✓ À la fiabilité des transmissions de données : fiabilité des stations au sol et des liaisons avec les drones, contraintes en termes de fréquences, de débits, de portées, de résistance aux perturbations radioélectriques et au brouillage ;
- ✓ À la gestion des situations dégradées et des pannes : perte des liaisons sol/air, perte de contrôle ou panne technique du module volant... ;
- ✓ Aux exigences qui restent souvent à formuler à l'égard des opérateurs et du niveau de compétence des télé-pilotes.

Ces points font aujourd'hui l'objet de nombreux travaux en vue de trouver des solutions techniques aux problèmes posés et de mettre en place un cadre réglementaire pour permettre le déploiement des drones. Les types de drones que l'on peut rencontrer étant très variés et chacun de ces types présentant des risques différents dans les différentes classes d'espace aérien existantes. Les points mentionnés ci-dessus devront généralement être déclinés dans de multiples variantes propres à chacun des risques identifiés.

IV.2.2.2 Cas des drones très légers

La philosophie du dispositif mis en place pour les drones légers est de ne pas établir de règles trop contraignantes dans la mesure où leurs usages ne présentent que des risques limités.

Il a ainsi été admis que les drones les plus légers, dans certaines conditions d'utilisation et pour autant que des moyens aient été mis en œuvre pour mitiger les effets de certains risques connus, offraient un niveau de risque faible et acceptable et qu'on pouvait les autoriser à voler sans passer par le processus de certification classiquement utilisé pour les avions pilotés.

Les critères retenus pour autoriser les opérations de drones légers varient selon les pays ayant adoptés une telle approche. S'agissant de la masse maximale au décollage, ne sont généralement autorisés sans exigence de certification que les engins de moins de **20/30 kg**. Certains pays préfèrent cependant se référer à l'énergie cinétique du drone en vol.

Les contraintes opérationnelles généralement imposées concernent la possibilité d'évoluer ou non à vue du télé-pilote, la hauteur maximale d'évolution (de l'ordre de **150 mètres**), la possibilité ou non de survoler des zones habitées et de voler de nuit, les distances minimales à respecter par rapport à des sites sensibles, notamment les aérodromes...

Les contraintes définies sont de plus en plus fortes au fur et à la mesure que va augmenter la masse de drones et que l'on souhaite sortir d'espaces ségrégués prédéfinis, survoler des zones habitées ou encore voler hors de la vue du télé-pilote.

Pour atténuer les risques de collision et garantir un niveau de sécurité maximal, nous recommandons la mise en place des scénarios de vol que les télé-pilotes devront impérativement suivre.

IV.2.2.2.1 Scénarios de vol proposés

Le principe adopté pour les scénarios que nous avons proposé est que les drones ne doivent pas dégrader la sécurité des autres usagers du ciel, ni être dangereux pour les personnes

et les biens au sol. La collision d'un avion avec un drone pourrait avoir des conséquences graves. Le risque est d'autant plus grand qu'un drone est difficile à repérer depuis un cockpit. Pour y remédier, les avions et les drones doivent être dans des zones ségréguées. Pour éviter alors qu'ils se croisent, notre approche les oblige à voler à des altitudes différentes :

- ✓ Moins de 150 m de hauteur (500 ft) pour les drones, et
- ✓ Plus de 150 m pour les aéronefs grandeur nature.

Par hauteur, nous entendons une hauteur par rapport au sol, alors que l'altitude est mesurée par rapport au niveau de la mer. Mais même à basse altitude, il est possible de croiser des hélicoptères, des parapentes, des parachutistes, des planeurs, des avions atterrissant ou décollant et même des engins de trafic militaire. Des distances horizontales maximales du télé-pilote sont donc imposées pour garder une maîtrise du principe du « voir et éviter ». Le télé-pilote doit les respecter en ayant à bord un GPS, un altimètre barométrique avec un limiteur d'altitude et de distance et une liaison descendante télémétrique.

Pour prévenir les accidents, une obligation est de faire respecter une distance horizontale minimale avec les personnes ou animaux qui ne doivent pas être survolés. Cette distance, qui correspond à la chute du drone, ne doit pas être inférieure à 10 m. Elle varie en fonction de la hauteur et de la vitesse du drone. Elle prend la forme d'un cercle dont le drone, en vol, est le centre. Le rayon r de ce cercle est calculé de la façon suivante :

$$r = v\sqrt{2h/g}$$

Avec $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, h la hauteur (en m) et v la vitesse horizontale (en m/s).

Pour fixer les idées :

- Si nous volons à 7 m/s et à 50 m de haut, le cercle a un rayon de 15,8 m ;
- Si nous volons à 7 m/s et à 100 m de haut, le cercle a un rayon de 22,3 m.

Autrement dit, plus nous volons haut et/ou vite, plus la distance de sécurité est grande. Pour utiliser la formule, il faut bien sûr disposer d'un compteur de vitesse.

Des conditions plus restrictives existent en zone habitée au sens large. Il s'agit des agglomérations telles que définies en jaune ou orange sur les cartes aéronautiques, mais aussi des zones de rassemblement de personnes (plages, concerts...).

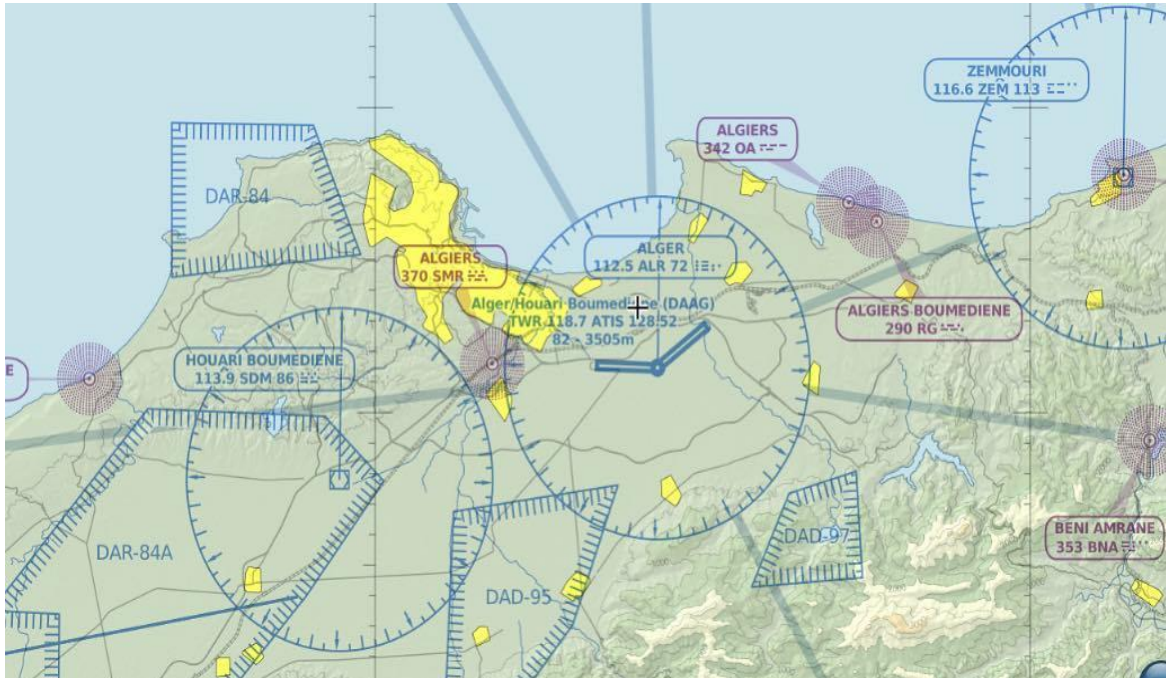


Figure IV.1 : Carte VFR de DAAG

Plus un drone est lourd, plus il est dangereux. Des limites de masse sont donc définies.

Les conditions maximales de poids, hauteurs et distances des zones habitées ou non sont combinées dans quatre scénarios de vol intitulés S1, S2, S3 et S4. Ces scénarios sont caractérisés comme suit :

- **SCENARIO S1**

- ✓ Distance max : 200 m
- ✓ Hauteur max : 150 m
- ✓ Poids max : 25 kg
- ✓ Zone autorisée : hors zone peuplée

Il s'agit du scénario le moins complexe, car hors agglomération et à faible distance du pilote. Il autorise les machines les plus lourdes (25 kg) et seule une voilure tournante peut opérer dans cet espace si restreint. Ce scénario est relativement facile à obtenir pour des opérateurs débutants, parce qu'il ne nécessite pas de dispositif particulier de sécurité à bord.

- **SCENARIO S2**

- ✓ Distance max : < 1 km
- ✓ Hauteur max : 50 m si drone \leq 2 kg, ou 150 m si drone > 2 kg
- ✓ Poids max : 25 kg
- ✓ Zone autorisée : hors zone peuplée

Le grand espace de vol, d'un rayon allant jusqu'à 1 km, est intéressant pour les voilures fixes, autant que les voilures tournantes performantes pour réaliser, par exemple, des relevés topographiques.

A plusieurs centaines de mètres, le drone peut ne pas être visible. Pour connaître à tout moment sa position exacte et assurer l'évitement de tout avion qui, lui, reste bien visible à cette distance, il y a obligation de disposer d'une station de contrôle avec un logiciel de navigation cartographique et d'un logiciel empêchant la sortie d'un périmètre prédéfini (fencing) avec une alarme. L'opérateur doit aussi s'assurer de l'absence de personnes dans la zone d'évolution.

De plus, les paramètres de vols doivent être enregistrés et, en général, les autopilotes respectent cette contrainte. En cas de dépassement de la distance autorisée, le drone doit atterrir automatiquement.

- **SCENARIO S3**

- ✓ Distance max : 100 m
- ✓ Hauteur max : 150m
- ✓ Poids max : 2 kg (ou 8kg max. avec parachute)
- ✓ Zone autorisée : en agglomération

Ce scénario S3 est celui qui suscite le plus d'intérêt, car c'est en zone peuplée que se situe le plus gros potentiel de travail aérien. Les distances et les hauteurs sont les mêmes que pour le scénario S1. Pour réduire les conséquences d'une chute, il y a une obligation de disposer d'équipements de sécurité particuliers (parachute).

Pour limiter l'impact d'une chute, le poids est limité à 8 kg s'il dispose d'un parachute et à 2 kg seulement sans celui-ci. Le parachute doit s'actionner automatiquement en cas de sortie de

zone et doit aussi pouvoir être ouvert manuellement par le télé-pilote et limiter l'impact à 65 joules.

- **SCENARIO S4**

- ✓ Distance max : pas de limite imposée
- ✓ Hauteur max : 150m
- ✓ Poids max : 2kg
- ✓ Zone autorisée : hors zone peuplée

C'est le seul des quatre scénarios qui n'a pas de distance préétablie, pour laisser la place à l'expérimentation, à condition qu'il n'y ait pas de perte de liaisons. La hauteur maximale reste de 150 m. Compte tenu des risques pour le trafic aérien, il s'agit d'un scénario expérimental avec des exigences fortes, adapté principalement à l'inspection de linéaires tels que les réseaux électrique, gazier, ferroviaire ou fluvial.

Le poids du drone est limité à 2 kg, celui théorique d'un oiseau au sens aéronautique. Comme pour le scénario S3, le drone doit être équipé d'un logiciel de navigation cartographique et voler hors zone habitée à cela s'ajoute l'obligation d'être équipé d'un retour vidéo filmant vers l'avant. Ce dispositif permet au télé-pilote d'éviter une zone peuplée en cas de problème.

Les conditions sont également contraignantes pour le télé-pilote, qui doit être titulaire d'un brevet de pilote d'avions PPL/A ou d'hélicoptères, ou encore d'une licence de pilote de planeurs, et avoir effectué 100 heures de vols comme commandant de bord et 20 heures sur le drone.

Les quatre scénarios sont résumés dans le Tableau IV.1. Des exigences d'équipements de sécurité et de qualification du pilote y sont ajoutées dans les scénarios les plus complexes.

Compte tenu des faibles hauteurs de vols pratiquées, les liaisons sont perdues après environ 15 km de ligne droite et plus rapidement encore en présence d'obstacles. En plaçant la station de contrôle au milieu du tronçon, la longueur théorique par vol est tout de même de 30 km.

Il s'agit d'une valeur limite que seule la présence de relais (peu pratiques) ou une liaison satellitaire (trop chère, volumineuse et lourde) peuvent atteindre et dépasser.

Tableau IV.1 : Résumé des scénarios de vol

SCENARIO	S1	S2	S3	S4
MASSE MAX	25 kg	25 kg	2 kg sans parachute 8 kg avec parachute	2 kg
HAUTEUR MAX	150 m	- 50 m pour les Drones > 2 kg -150 m pour les drones ≤ a 2 kg	150 m	150 m
DISTANCE MAX, DU TÉLÉ-PILOTE	En Vue	Hors Vue	En Vue	Hors Vue
	200 m	1000 m	100 m	Pas de limite prédéfinie
Zone autorisée	Hors zone peuplée	Sans aucune personne dans cette zone	Agglomération ou à proximité de personnes ou d'animaux	Hors zone peuplée

IV.2.2.2.2 Restriction d'utilisation des drones

Utiliser un aéronef télé-piloté peut-être dangereux ! C'est pourquoi la réglementation de sécurité applicable aux aéronefs télé-pilotés a deux grands objectifs :

- ✓ Assurer la sécurité des autres usagers de l'espace aérien (risque de collision en vol)
- ✓ Assurer la sécurité des biens et des personnes au sol (risque de crash)

Pour ce faire, des restrictions liées au lieu du vol et à la hauteur maximale de vol autorisée sont définies :

- Pour limiter le risque de collision. La réglementation fixe
 - Une hauteur maximale de vol de 150m pour les aéronefs télé-pilotés.
 - Des hauteurs maximales réduites à proximité des aéroports.
 - Des zones dans lesquelles les vols d'aéronefs télé-pilotés sont interdits ou

réglementés.

- Pour limiter le risque de dommages aux biens et personnes au sol. La réglementation impose
 - La mise en place d'un périmètre de sécurité au sol.
 - La restriction des vols en agglomération (en vue du télé-pilote, dispositif de protection des tiers, ...etc.).
 - La fixation des zones interdites de survol par les aéronefs sans pilote à bord afin de protéger les sites sensibles.

Les drones ne peuvent être alors déployés dans certains espaces aériens. Ils doivent même être interdits sans autorisations particulières. Ces espaces de vol restreints, fixés par la réglementation, sont :

- **Au voisinage des aérodromes et hélistation présents en Algérie**

Les drones sont notamment interdits dans des espaces aériens en contact direct avec les aérodromes. Sauf autorisations particulières, ils doivent respecter une hauteur maximale de vol au voisinage de ces zones. La hauteur autorisée dépend de l'éloignement des axes de pistes. Nous avons défini trois cas de restriction au voisinage des aérodromes, selon le type d'aérodrome :

- ➔ **Cas 1 : Aérodrome dont la longueur de piste est inférieure à 1 200 m ou dépourvue de procédures aux instruments.**

Tout vol est interdit dans un rectangle de 10x1 km, orienté dans le sens de la piste et dont le centre est celui de la piste. En dehors de ce rectangle, la hauteur de vol est limitée à 50 m sur une bande de 3,5 km de large, puis à 100 m sur la bande de 1,5 km suivante.

- ➔ **Cas 2 : Aéroport dont la longueur de piste est supérieure à 1 200 m ou pourvue de procédures aux instruments.**

Tout vol est interdit dans un rectangle dont la longueur est composée de la longueur de piste à laquelle on ajoute 10 km à chaque extrémité (soit près de 21 km) et dont la largeur vaut

5 km. En dehors de ce rectangle, la hauteur de vol est limitée à 30 m sur une bande de 2,5 km de large, puis à 60 m sur la bande des 3 km suivants, puis à 100 m sur les 2 km suivants.

→ **Cas 3 : Hélistation**

La zone d'interdiction ressemble à des cercles concentriques autour de l'hélistation. Les drones sont interdits dans un rayon de 1 km. L'altitude maximale est ensuite de 50 m sur un anneau d'une largeur de 1,5 km, puis de 100 m sur l'anneau suivant d'une largeur de 1 km.

• **Portions d'espace aérien à statut particulier**

Il s'agit des zones interdites (**P**), réglementées (**R**), et dangereuses (**D**), qui doivent être publiées dans l'AIP (Publication d'Information Aéronautique), contenant l'ensemble des informations destinées à assurer la sécurité, la régularité et l'efficacité de la navigation aérienne.

L'utilisation des drones dans les zones **P** y est interdite, sauf en respectant les conditions de pénétration publiées.

Les drones doivent rester à l'écart des zones dangereuses **D** (les champs de tir de l'armée, par exemple) et réglementées **R** (où la pénétration est interdite quand elles sont actives) et même des zones de ségrégation temporaire. Leur utilisation de ces zones n'y est possible qu'avec l'accord du gestionnaire de la zone. Pour certaines de ces zones, l'AIP ne mentionne aucun gestionnaire. Dans ce cas, l'évolution des aéronefs télé-pilotés à l'intérieure de ces zones sont interdite.

• **Zones sensibles ou établissements faisant l'objet d'une interdiction de survol à basse hauteur**

Ils correspondent aux parcs nationaux et réserves naturelles, hôpitaux, de prisons et de sites industries portant des marques distinctives d'interdiction de survol à basse altitude et aux établissements portant des marques distinctives d'interdiction de survol à basse attitude. Ces établissements sont identifiés dans l'AIP.

• **Zones de manœuvres et d'entraînement militaires**

Aéronefs militaires sont susceptibles d'évoluer à basse altitude. Les zones d'activité à très grande vitesse et très basse altitude, dans lesquelles le pilote militaire ne peut assurer la prévention des collisions, sont des portions d'espaces aériens règlementés dont la pénétration

est soumise à accord préalable pendant les heures d'activité. Il existe d'autres zones d'activité basse hauteur dans lesquelles le pilote militaire est censé pouvoir prévenir la collision par détection visuelle. Comme cela ne peut être garanti dans le cas d'aéronefs télé-pilotés, ceux-ci ne peuvent être utilisés dans ces zones pendant les heures d'activité.

IV.3 Réalisation et expérimentation

Dans cette partie, nous présentons les simulations de scénarios de vol mentionnés dans le paragraphe IV.2.2.2.1 ainsi que l'application de visualisation des restrictions que nous avons développé à l'aide des logiciels QGIS et Python.

IV.3.1 Simulations de scénarios de vol

La modélisation 3D est le processus de développement d'objets virtuels. Ceux-ci sont importants dans la construction de scènes destinées à procurer l'expérience optimale chez l'utilisateur, comme par exemple en situation d'apprentissage par mises en situations et pratiques de tâches en virtuel. Il existe des logiciels spécifiques pour les divers domaines auxquels elle peut s'intégrer. Dans cette simulation on a utilisé le logiciel Blender qui est un logiciel complet de modélisation 3D souvent exploité par les débutants, en raison de sa gratuité et de ses ressources d'aide en ligne. Cependant, il reste tout de même complexe et difficile à apprendre pour un nouvel utilisateur en modélisation.

IV.3.1.1 Présentation de Blender

Blender est un logiciel libre et open-source de modélisation 3D, d'animation, de rendu, de simulation, de composition et de suivi de mouvement, ainsi que d'édition vidéo et de création de jeux. Il est largement utilisé dans l'industrie de l'animation, du design, de la visualisation architecturale, de la réalité virtuelle et bien plus encore.

Blender est utilisé dans le domaine aéronautique pour une variété de tâches allant de la conception et la modélisation à la visualisation et la simulation. Voici quelques-unes des utilisations spécifiques de Blender dans ce domaine :

- **Modélisation et Conception**

- **Prototypage virtuel** : Blender est utilisé pour créer des prototypes virtuels de composants d'avions, d'hélicoptères et d'autres aéronefs. Ces modèles 3D permettent de visualiser les conceptions avant de passer à la fabrication.

- **Assemblage numérique** : Les ingénieurs peuvent modéliser l'assemblage complet d'un aéronef pour vérifier l'ajustement et la fonctionnalité des pièces. Cela inclut la modélisation des structures internes et des systèmes mécaniques.
- **Visualisation**
 - **Visualisation de concept** : Blender permet de créer des rendus photoréalistes de concepts d'aéronefs, ce qui est utile pour les présentations aux clients, investisseurs ou équipes de développement.
 - **Simulation de scénarios** : Les scénarios de vol ou d'atterrissage peuvent être visualisés en 3D, permettant aux ingénieurs d'identifier et de résoudre des problèmes potentiels avant la mise en œuvre.
- **Simulation et Analyse**
 - **Simulation aérodynamique** : Bien que Blender ne soit pas un outil de simulation aérodynamique avancé, il peut être utilisé pour préparer des modèles géométriques qui sont ensuite exportés vers des logiciels de simulation.
 - **Analyse structurelle** : Les modèles créés dans Blender peuvent être utilisés pour effectuer des analyses structurelles en les exportant vers des logiciels spécialisés.

IV.3.1.2 Utilisation de Blender pour la simulation de scénarios de vol

Dans notre travail, nous avons utilisé le logiciel Blender pour créer les quatre (04) scénarios de vol, mentionnés dans le paragraphe IV.2.2.2.1, d'un drone télé-piloté par un opérateur. Chaque scénario prend en compte les caractéristiques spécifiques, telles que les conditions maximales de poids, les hauteurs et les distances par rapport aux zones habitées ou non, comme il est indiqué par le tableau IV.1. Ces éléments sont combinés dans quatre scénarios de vol distincts, intitulés S1, S2, S3, et S4.

- **Simulation du scénario S1**

Distance max : 200 m

Hauteur max : 150 m

Poids max : 25 kg

Zone autorisée : hors zone peuplée

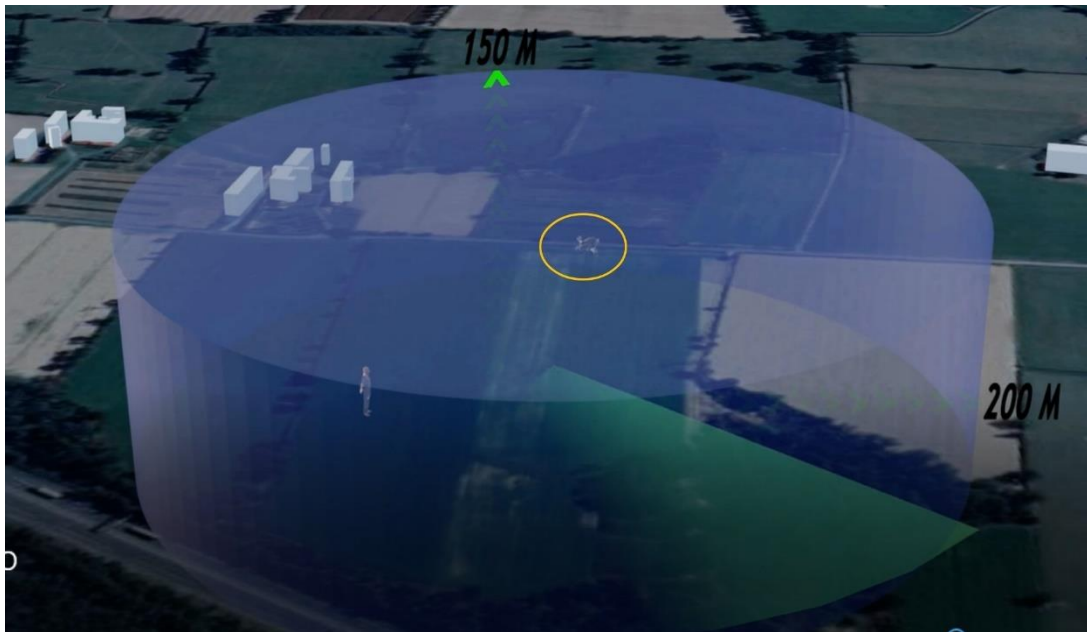


Figure IV.2 : Télé-pilote dans sa bulle S1, à la campagne

Dans ce scénario, le télé-pilote se situe au centre de la bulle S1 et à la campagne, dont pas présence d'habitat. Le drone dans ce cas ne pas évolué hors de ses limites mentionnées ci-dessus (150m d'altitude et un rayon qui ne dépasse 200m)

- **Simulation du scénario S2**

Distance max : < 1 km

Hauteur max : 50 m si drone \leq 2 kg, ou 150 m si drone > 2 kg

Poids max : 25 kg

Zone autorisée : hors zone peuplée

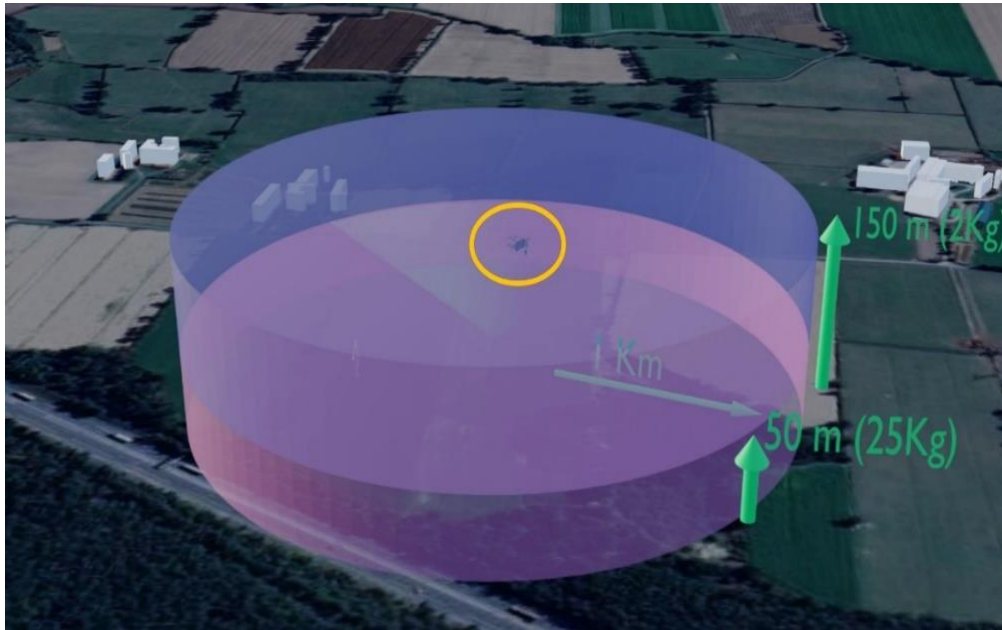


Figure IV.3 : Télé-pilote dans sa bulle S2, en pleine campagne

Dans ce scénario, le télé-pilote se situe au centre de la bulle S2 de rayon inférieur à 1 km, dont pas présence d'habitat. La hauteur est liée au poids de drone Si le drone dépasse la distance autorisée, il doit atterrir automatiquement.

- **Simulation du scénario S3**

Distance max : 100 m

Hauteur max : 150m

Poids max : 2 kg (ou 8kg max. avec parachute)

Zone autorisée : en agglomération

Pour ce scénario, deux cas sont envisagés : le cas d'un drone de 2kg (Figure IV.4) et le cas d'un drone de 8kg maximum (Figure IV.5).

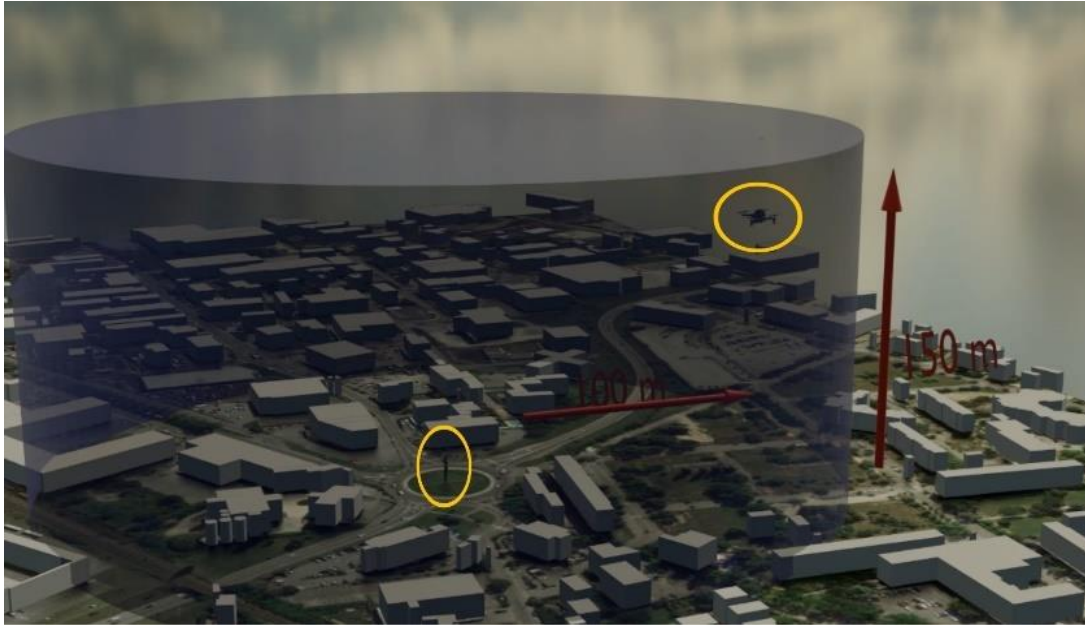


Figure IV.4 : Télé-pilote dans sa bulle S3, en agglomération, drone de 2kg



Figure IV.5 : Télé-pilote dans sa bulle S3, en agglomération, drone de 8kg

La Figure IV.8, dans le cas de drone max 8Kg ; Si le drone quitte sa zone de vol prédéfinie ou perd la liaison radio, un parachute doit s'ouvrir. Cette mesure est particulièrement cruciale

lorsque le drone évolue au-dessus d'une zone peuplée, car une perte de contact entre le télépilote et le drone pourrait entraîner une chute au sol, causant d'importants dégâts matériels et des blessures aux personnes.

- **Simulation du scénario S4**

Distance max : pas de limite imposée

Hauteur max : 150m

Poids max : 2kg

Zone autorisée : hors zone peuplée



Figure IV.6 : Télé-pilote le cas du scénario S4

Le scénario S4 traite le cas d'un suivi d'une ligne de chemin de fer ou réseaux électrique, gazier ; avec une aile volante, hors agglomération, sur une distance de 15 km de part et d'autre du télé-pilote, ce dernier devrait rester au centre.

IV.3.2 Application de Visualisation des restrictions UAS

Dans le cadre de la visualisation des restrictions pour les systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS), nous avons utilisé les systèmes d'information géographique (SIG) comme outil informatisé de gestion de bases de données. Ces systèmes permettent non seulement la collecte et le stockage, mais aussi l'extraction, la manipulation, l'analyse et l'affichage de données à

référence spatiale. Grâce aux SIG, nous avons pu créer des cartes personnalisées représentant les zones de restriction de vol pour les UAS et effectuer des analyses géospatiales approfondies. Pour cela, nous avons principalement utilisé **QGIS**, un logiciel SIG puissant et polyvalent. Cette approche nous aide à prendre des décisions éclairées concernant la planification et la gestion des opérations de vol des UAS, assurant ainsi une meilleure sécurité et conformité réglementaire.

IV.3.2.1 Présentation de QGIS

QGIS est un logiciel SIG qui a débuté en mai 2002 open source et multiplateforme, conçu pour la collecte, l'analyse, la visualisation et la gestion de données géographiques. Il permet aux utilisateurs de créer et de modifier des cartes, des graphiques et des données spatiales en utilisant une interface utilisateur conviviale. Le logiciel offre une grande variété d'outils pour la manipulation de données géographiques, tels que l'analyse spatiale, l'interpolation, la géocodification, ...etc. [14]

Dans cette application, QGIS permet de créer des cartes affichant les données géographiques de l'application, en affichant des couches de données géographiques, en modifiant les symboles et les couleurs des données, en créant la carte en plusieurs étapes pour montrer l'évolution de certaines zones géographiques, ...etc. QGIS dispose également de nombreuses extensions (plugins) qui permettent d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires à l'application.[15]

IV.3.2.2 Intégration de Python dans notre application :

Python est un langage de programmation polyvalent, populaire et facile à apprendre. Sa simplicité syntaxique et sa vaste bibliothèque en font un choix idéal pour développer des applications géospatiales.[16]

Dans notre application, Python joue un rôle central en intégrant les différentes composantes. Nous avons utilisé une bibliothèques clés "PyQGIS".

- **PyQGIS:**

PyQGIS est une bibliothèque Python puissante qui facilite la manipulation des outils de QGIS pour créer et visualiser des polygones, des lignes et des points. Cette bibliothèque offre

une gamme complète de fonctionnalités pour travailler avec des données géospatiales de manière efficace. Avec PyQGIS, il devient possible d'interagir avec les éléments géographiques de manière simple et intuitive. On peut créer ces éléments en définissant leurs coordonnées géographiques, leurs attributs et leurs propriétés spatiales.

De plus, il est possible de les modifier en mettant à jour leurs coordonnées, leurs attributs ou en appliquant des opérations spatiales telles que la fusion, la découpe ou la transformation. Il simplifie la manipulation des outils de QGIS en fournissant une interface Python conviviale pour créer, modifier et visualiser des éléments géographiques. Cela permet de travailler efficacement avec les données géospatiales et de représenter graphiquement les entités géographiques spécifiées dans l'AIP.[17]

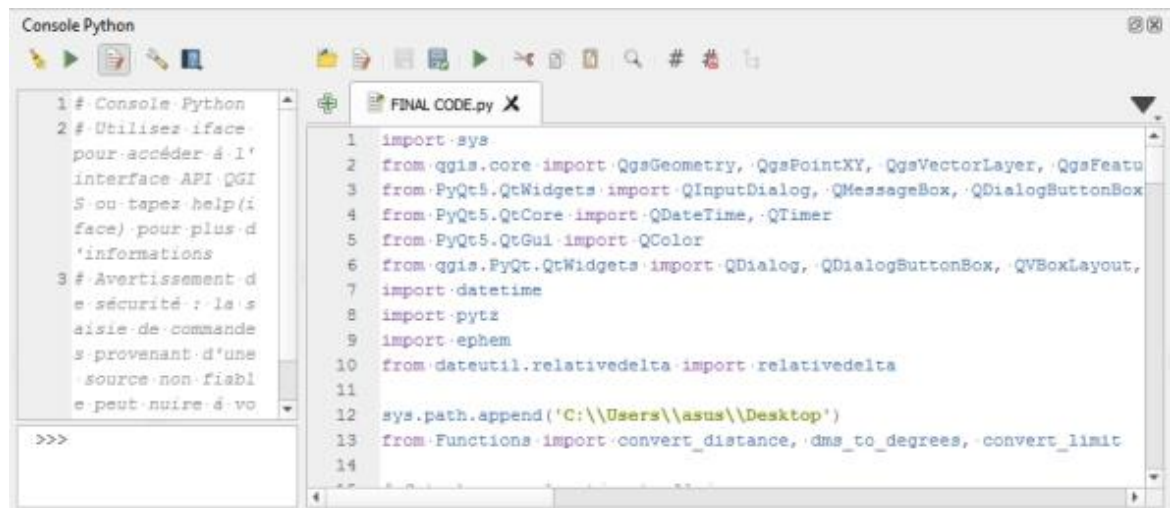
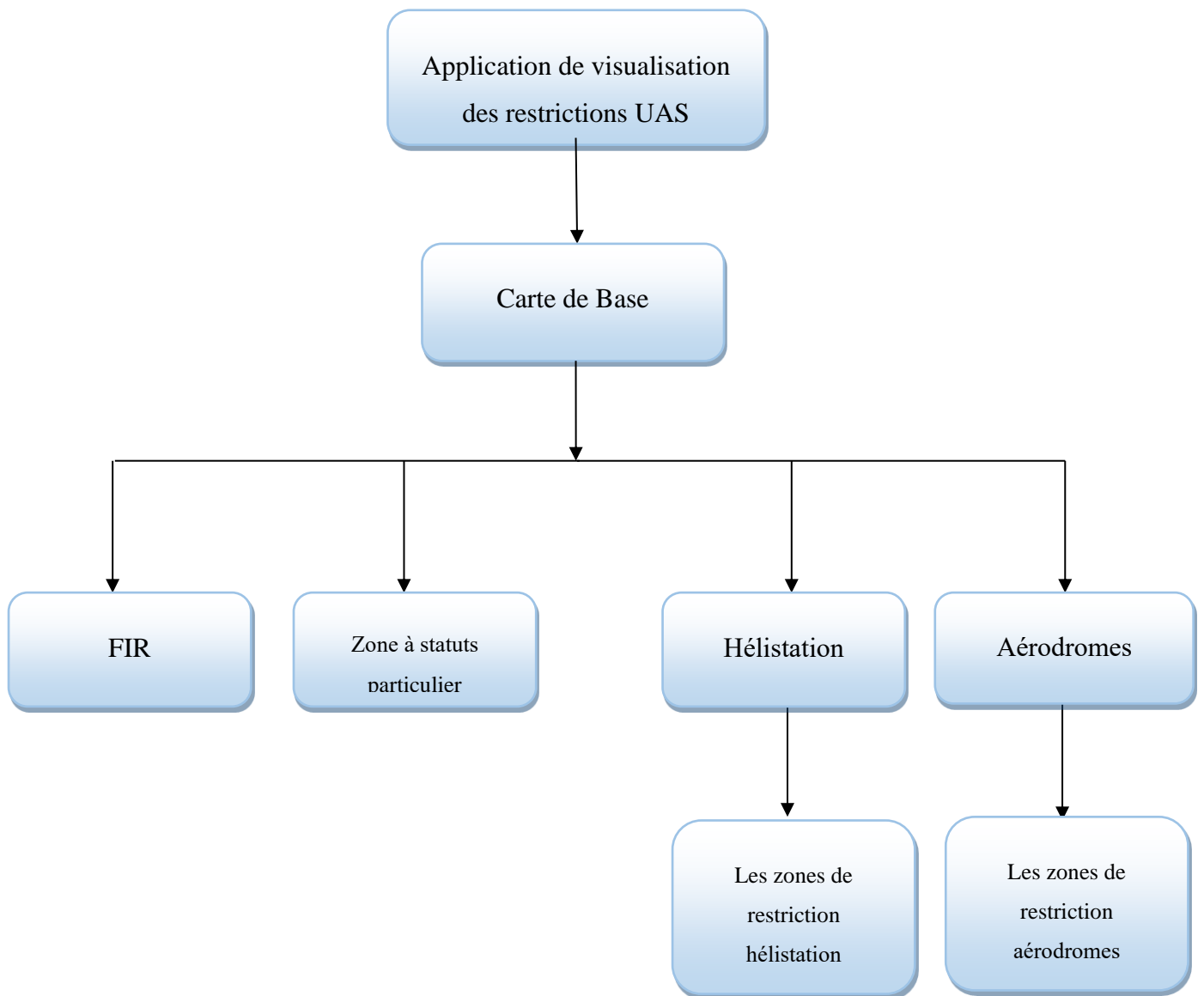


Figure IV. 7 : Console Python dans QGIS.

IV.3.2.2 La conception de l'application de restriction UAS

Pour la conception de notre application, plusieurs étapes ont été suivies pour la réaliser dont la création de la carte est la base de cette réalisation.

IV.3.2.2.1 Organigramme de l'application



IV.3.2.2.2 Création de la carte

Une carte aéronautique est constituée de plusieurs couches, chacune représentant :

- La FIR ;
- Les aérodromes ;
- Les zones à statuts particulier ;
- Les zones de restrictions aérodromes ;
- Les zones de restrictions des hélistations.

Pour visualiser une carte aéronautique, il est nécessaire de traiter les données comme des couches distinctes. Chaque couche peut être superposée aux autres pour créer une représentation visuelle complète de la carte.

Pour la création des différentes couches nécessaires à notre carte, nous avons utilisé une combinaison d'outils et de techniques adaptés à nos besoins spécifiques. Les informations, extraites de l'AIP, ont été d'une grande utilité pour la création de ces couches. Dans ce qui suit, un aperçu des couches que nous avons créées et des outils, que nous avons utilisés pour les réaliser, sont présentés.

1- La carte de base (Base map)

Pour afficher une carte de base, nous avons utilisé des services de cartographie en ligne disponibles dans QGIS. Nous avons utilisé une extension appelée "QuickMapServices" pour télécharger des fonds de carte provenant de différentes sources. Par exemple, nous avons utilisé "CartoDB Positron" comme fond de carte qui fournit un style clair et moderne.

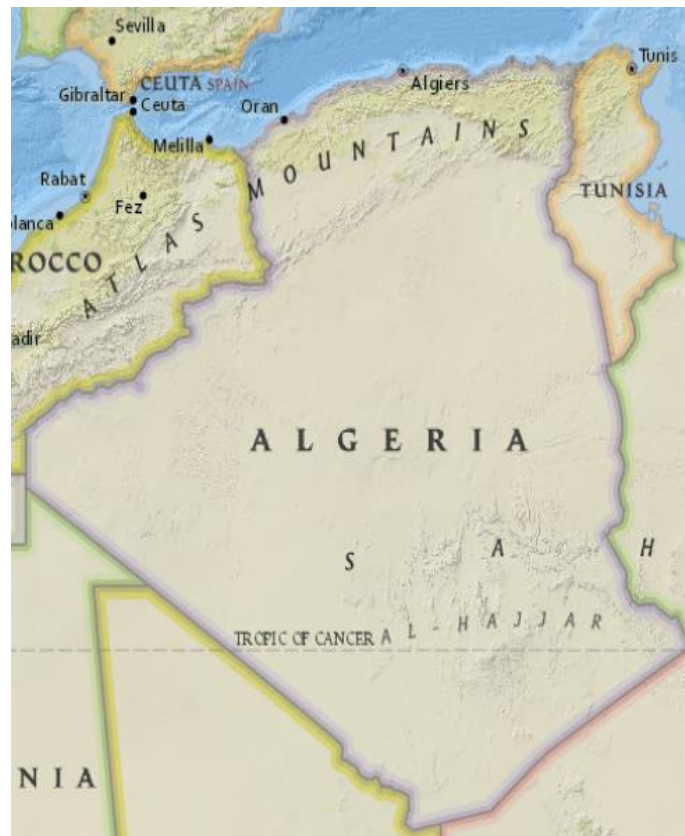


Figure IV.8 : Carte de base

2- La FIR

Afin de créer une frontière précise et conforme aux normes et exigences de l'aviation, pour notre FIR, cette couche est créée en utilisant une combinaison de frontières algériennes et des limites FIR d'Alger spécifiées dans l'AIP, garantissant ainsi la précision et l'exactitude de la frontière de la FIR.

Dans un premier temps, nous avons utilisé les frontières algériennes comme référence initiale pour délimiter grossièrement la zone de la FIR. Ensuite, en nous basant sur les coordonnées géographiques spécifiées dans l'AIP, nous avons affiné et ajusté la frontière de la FIR pour correspondre avec précision à ces coordonnées.

Pour réaliser cette tâche, nous avons utilisé les outils de numérisation et d'édition avancés de QGIS. Ces outils nous ont permis de tracer une frontière précise sur notre carte de croisière, en suivant avec précision les limites exactes de la FIR.



Figure IV.9 : Carte FIR

3- Les aérodromes

Pour intégrer les 33 Aérodromes dans notre carte de croisière, nous avons suivi les étapes suivantes :

- ✓ Nous avons automatisé le processus à l'aide d'un script PyQGIS afin d'importer rapidement et efficacement les données de chaque aéroport et les placer avec précision sur la carte ;
- ✓ Nous avons utilisé des symboles identiques à ceux présents sur les cartes aéronautiques afin de représenter de manière distinctive les aéroports. Les symboles des aérodromes ont été étiquetés pour afficher leur identifiant et leur indicatif OACI.

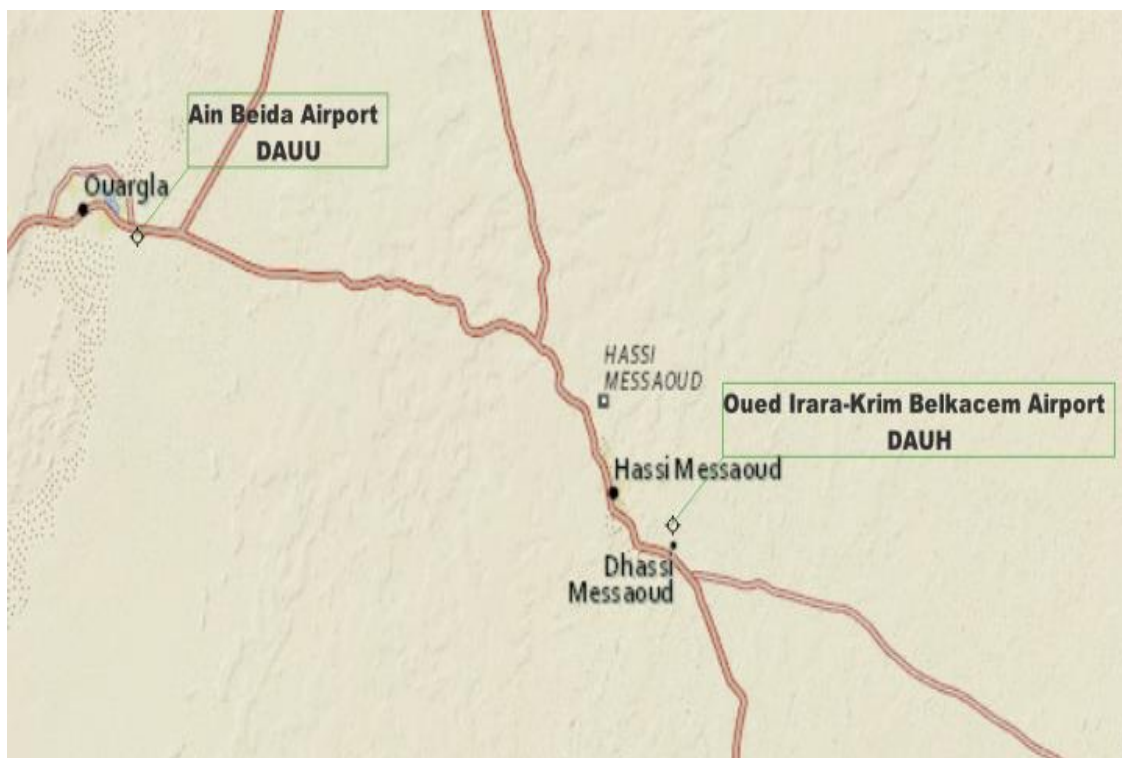


Figure IV.10 : Aérodromes de Hassi Messaoud DAUH et de Ouargla DAUU

4- Les zones à statuts particuliers

Dans notre carte de croisière, nous avons intégré quatre types de zones à statuts particuliers : les zones règlementées (09 zones), les zones dangereuses (42 zones), les zones interdites (16 zones) et les zones réservées temporairement (08 zones). Pour réaliser cette tâche, nous avons utilisé plusieurs outils et techniques dans QGIS.

Pour créer les différentes zones de notre carte, nous avons utilisé deux méthodes. La première méthode est un script PyQGIS pour tracer les zones simples. La deuxième méthode est la boîte à outils de traitement de QGIS pour obtenir des zones plus complexes et personnalisées.

Pour représenter visuellement les différentes zones, nous avons choisi une symbologie similaire à celle utilisée sur les cartes aéronautiques, offrant ainsi une familiarité aux utilisateurs et facilitant la compréhension des informations affichées. Pour une meilleure lisibilité et une compréhension claire des différentes zones, nous avons enrichi les étiquettes en affichant l'identifiant de la zone.

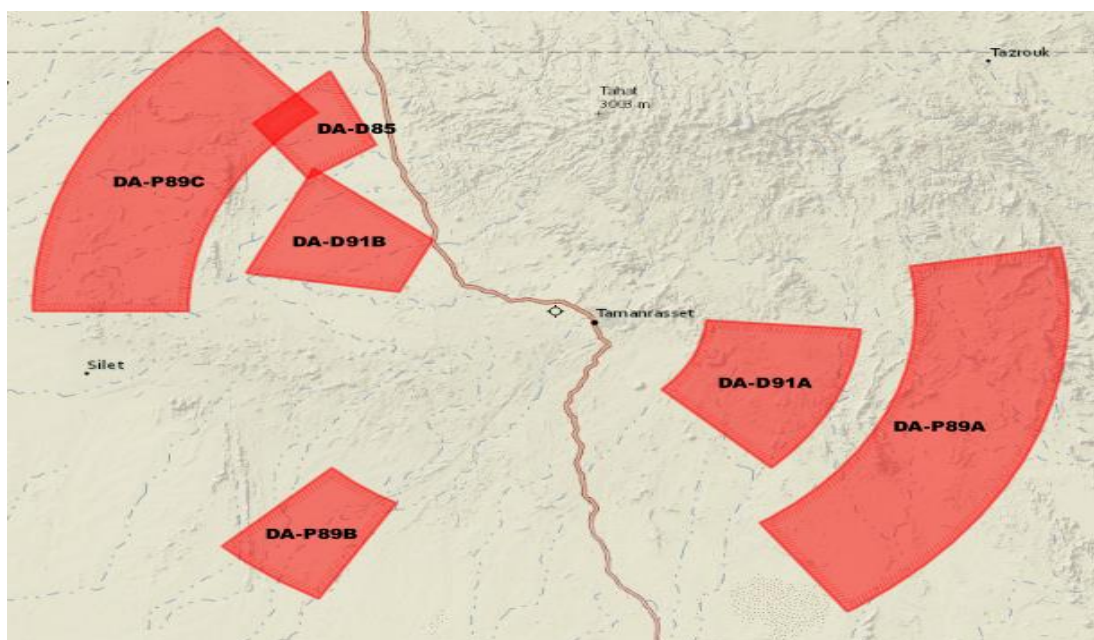


Figure IV.11 : Exemples des zones Dangereuses et Interdites dans la région de Tamanrasset

5- Les zones de restrictions des aérodrômes

Dans notre carte de croisière, nous avons intégré des zones de restrictions au sein de tous les aérodrômes nationaux. Pour réaliser cette tâche, nous avons utilisé plusieurs outils et techniques dans QGIS tels que :

- ✓ **Création** pour créer les différentes zones de la carte de croisière en suivant une approche en deux étapes. Dans un premier temps, nous avons utilisé PYQGIS pour tracer les points centraux des diverses pistes des aérodromes. Ensuite, grâce à l'extension "Rectangle, ovales, diamants", nous avons dessiné les zones de restrictions en utilisant les points centraux, l'orientation des pistes, ainsi que la longueur et la largeur des zones.
- ✓ **Code couleur** pour faciliter la visualisation des diverses restrictions pour les utilisateurs de drones en adoptant un système de quatre couleurs distinctes. Chaque couleur correspond à une hauteur maximale d'évolution des drones :
 - **Le rouge** signale une interdiction de vol totale ;
 - **Le rose** autorise une hauteur maximale de 30 mètres ;
 - **L'orange** permet une hauteur maximale de 60 mètres ;
 - **Le jaune** tolère une hauteur maximale de 100 mètres.

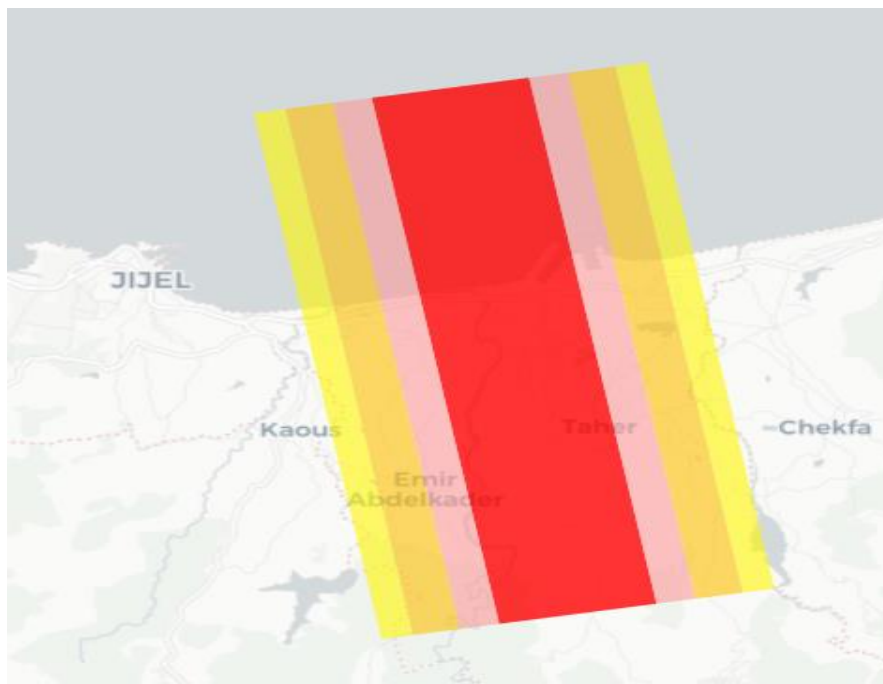


Figure IV. 12 : La zone de restriction de l'aéroport de Jijel

6- Les zones de restrictions des hélistations

Dans notre carte de croisière, nous avons intégré les zones de restrictions pour certaines hélistations, car les coordonnées géographiques des hélistations ne sont pas disponibles dans l'AIP. Pour réaliser cette tâche, nous avons utilisé plusieurs outils et techniques dans QGIS :

- ✓ **La création** : Pour dessiner les différentes zones sur notre carte de croisière, nous avons employé un script PYQGIS. Ce script nous a permis de tracer les points centraux des hélistations. Par la suite, grâce à un autre script PYQGIS, nous avons dessiné les zones de restrictions en utilisant les points centraux et les rayons de restriction.
- ✓ **Code couleur** : Pour faciliter la visualisation des diverses restrictions pour les utilisateurs de drones, nous avons adopté un système de quatre couleurs distinctes. Chaque couleur correspond à une hauteur maximale d'évolution des drones.
 - **Le rouge** signale une interdiction de vol totale ;
 - **Le rose** autorise une hauteur maximale de 30 mètres ;
 - **L'orange** permet une hauteur maximale de 60 mètres ;

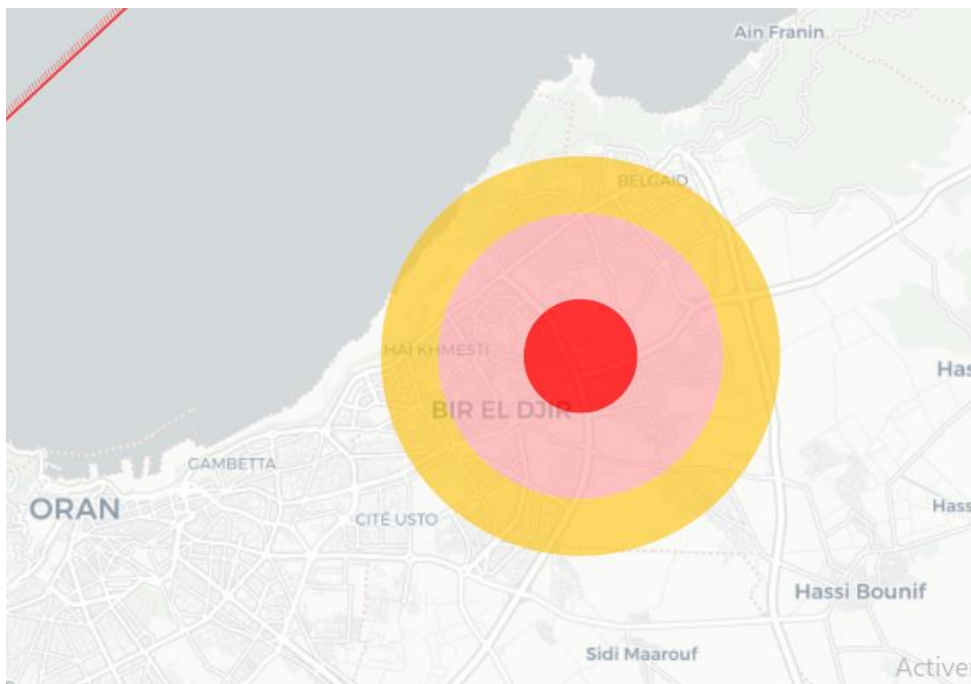


Figure IV. 13 : La zone de restriction de l'hélistation du stade Miloud Hadfi (Oran)

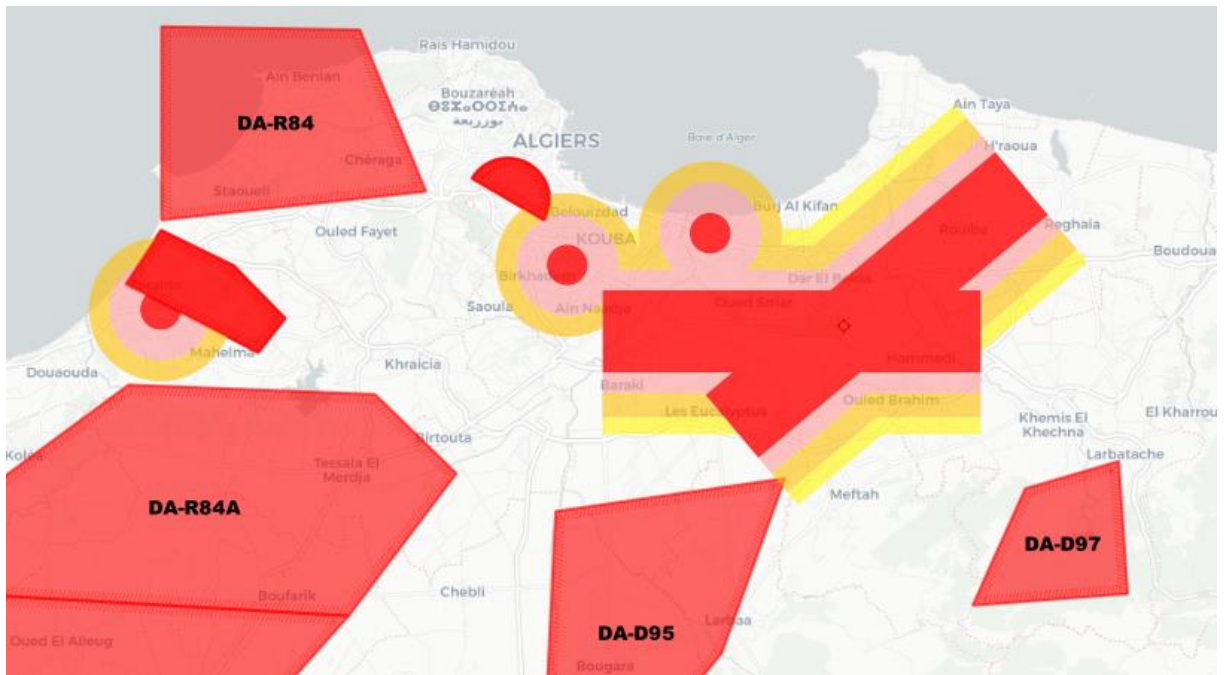


Figure IV. 14 : Les différentes restrictions UAS

IV.4 Conclusion :

L'intégration des drones dans l'espace aérien algérien exige une approche rigoureuse et adaptée aux spécificités locales. Les directives sur les scénarios de vol et une application dédiée sont essentielles pour des opérations sécurisées et efficaces. En adoptant ces mesures, l'Algérie peut encourager une utilisation responsable des drones, tout en minimisant les différents risques associés à ces nouveaux utilisateurs de l'espace.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire a permis de développer une réglementation détaillée pour l'utilisation des drones en Algérie, un domaine en pleine expansion et encore largement inexploré. En combinant des approches théoriques et pratiques, nous avons proposé des solutions adaptées aux spécificités locales tout en s'inspirant des meilleures pratiques internationales.

Notre travail inclut une simulation par Blender, qui nous a permis de modéliser diverses situations de vol. Cette simulation a été essentielle pour comprendre les interactions complexes entre drones et autres aéronefs, et pour identifier les zones où des régulations strictes sont nécessaires. Les résultats obtenus par cette simulation ont aidé à formuler des recommandations précises concernant les altitudes de vol, les distances de sécurité, et les procédures d'évitement.

Nous avons développé une application cartographique avec QGIS pour visualiser les zones de restrictions de vol en temps réel ; cette application est un outil crucial pour les opérateurs de drones, leur permettant de planifier leurs missions en toute sécurité et en conformité avec les régulations en vigueur. En offrant une cartographie interactive et des notifications sur les zones de restriction, nous visons à améliorer la sécurité des opérations de vol et à informer les utilisateurs sur les régulations spécifiques à chaque zone.

Cependant, nous avons rencontré plusieurs difficultés, notamment en raison du caractère nouveau du sujet en Algérie et le manque de sources et de données locales a compliqué notre travail de recherche et de développement. Le soutien du Centre National des Aéronefs Sans Pilote à Bord ou on a fait notre stage a été inestimable, nous fournissant le recueil réglementaire actuel en Algérie, ce qui a constitué une base solide pour notre travail.

Pour l'avenir il est impératif de continuer à développer et à affiner ces réglementations. Nous recommandons la création d'une base de données nationale centralisée pour les drones, regroupant toutes les informations pertinentes sur les opérations de vol, les incidents, et les régulations et de proposé Une collaboration accrue avec des institutions internationales qui pourrait également enrichir les connaissances locales et améliorer les pratiques.

De plus, l'intégration d'une application de gestion de mission de drone plus avancée est une perspective prometteuse qui pourrait être une continuité de notre application. Cette application permettrait de saisir la route, la hauteur, la catégorie de drone ainsi que son poids, facilitant la planification des missions et assurant une surveillance en temps réel. Elle contribuerait également à une meilleure conformité réglementaire et à une gestion plus efficace des drones dans l'espace aérien.

À ce titre, l'amélioration de notre application pourrait s'inspirer du programme U-space, développé par l'Union européenne, est un cadre conçu pour intégrer les drones dans l'espace aérien de manière sûre et efficace. Il propose des services tels que la gestion du trafic, la surveillance en temps réel, et des systèmes d'évitement automatisés, qui vont bien au-delà de la simple visualisation des zones de restriction. En intégrant des fonctionnalités similaires, notre application pourrait offrir une gestion plus complète et sophistiquée des opérations de drones, assurant une plus grande sécurité et une meilleure coordination avec l'aviation habitée.

En outre, il faut sensibiliser les utilisateurs de drones à l'importance de la sécurité et du respect des réglementations avec des programmes de formation et de certification des télépilotes devraient être mis en place pour garantir que les opérateurs possèdent les compétences nécessaires pour mener des opérations sûres et responsables.

Enfin, l'Algérie doit continuer à investir dans la recherche et le développement pour suivre l'évolution rapide de la technologie des drones. L'amélioration continue des moyens de tracking et de déconfliction, ainsi que la mise en place de mesures de sécurité robustes, sont essentielles pour maximiser les avantages des drones tout en minimisant les risques associés.

En conclusion, ce mémoire pose les bases d'une réglementation adaptée et innovante pour l'utilisation des drones en Algérie. Les efforts déployés pour comprendre et réguler cet espace aérien émergent sont un pas important vers une adoption harmonieuse et sécurisée des drones, stimulant ainsi l'innovation tout en assurant la sécurité et le respect des lois.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Arthur Justine - L'intégration des drones dans l'espace aérien – (2021)
- [2] <https://www.mesrs.dz/crafe/?p=1011>
- [3] Herrmann A, Brenner W, Stadler R. Autonomous Driving: How the Driverless Revolution will Change the World. Emerald Group Publishing ; 2018
- [4] chapitre 1, JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 29. (3 mai 2006)
- [5] <https://baatraining.com/fr/abinitio/programmes-de-formation-des-pilotes/ifr/>
- [6] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/integration_drones_dans_espace_arien.0pdf (2019)
- [7] <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/164000015.pdf> (2015)
- [8] section 3, chapitre 5, JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 56. (18 juillet 2021)
- [9] <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-16-> (2005)
- [10] https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf
- [11] <https://www.faa.gov/about/reauthorization>
- [12] Dominique DAVID (coordonnateur) et Jean PANHALEUX -Les drones civils, enjeux et perspectives- Rapport n° 008816-01 (octobre 2015)
- [13] Sergi Giménez -aviation world drone regulations- l2b aviation (2018).
- [14] « Manuel d'utilisation SIG desktop QGIS pdf ». (6 janvier 2022).
- [15] « ManuelQGIS ». https://docs.qgis.org/3.28/fr/docs/user_manual/introduction/qgis_gui.html.
- [16] « PYQT PYTHON » <https://geekflare.com/fr/python-gui-libraries/>
- [17] « PyQGIS 3.10 developer cookbook », (9 décembre 2020). <https://docs.qgis.org/3.10/pdf/fr/QGIS-3.10-PyQGISDeveloperCookbook-fr.pdf>

ANNEXE

Aérodrome & gestionnaires d'espaces :

Aérodrome : correspond à l'ensemble des aménagements mis en place pour le décollage et l'atterrissage des avions.

Aéroport : regroupe toutes les infrastructures destinées au trafic aérien commercial de passagers, de fret ainsi qu'à toutes les activités commerciales et administratives (vente de billets, douane, etc.) qui s'y rattachent.

CTR (Control Traffic Region) : Zone de Contrôle définit un espace contrôlé débutant à la surface du sol et s'étendant jusqu'à une altitude spécifiée. Elles englobent les trajectoires de décollage, d'atterrissage et de circulation des aérodromes. Les contrôleurs aériens contrôlent et guident les aéronefs dans cet espace.

Zone de survol P (Prohibited) : Ces zones de protection concernent notamment des sites EDF (centrales nucléaires), autres sites industriels (complexes pétrochimiques notamment), militaires...

Zone de survol D (Dangerous) : pour signaler un danger permanent ou temporaire.

Zone de survol R (Réglementées) : définies pour protéger une zone principalement d'évolution d'avions militaires.

Zone ségréguée : partie de l'espace aérien qui réservée pour des opérations spécifiques ou qui nécessite des restrictions particulières.

ATM (Air Traffic Management) : ensemble des activités menées pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic aérien.

UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) : Gestion du trafic aéronef sans équipage à bord.

LES BASES DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE :

SIA (Service de l'Information Aéronautique) : service central de la Direction des Services de la Navigation Aérienne au sein de la Direction Générale de l'Aviation Civile, chargé de rendre les services d'information aéronautique nécessaires à la sécurité, à la régularité et à l'efficacité de la navigation aérienne nationale et internationale, dans les zones de responsabilité française.

NOTAM (Notice to Airmen) : Avis aux navigateurs aériens : avis diffusé par télécommunication donnant une information essentielle sur l'état ou la modification d'un moyen ou d'un service ou d'un danger pour la navigation aérienne. (Exemple obstacle temporaire pour le survol, infrastructure aéroportuaire, horaire d'un exercice militaire, heure d'activité de parachutage, fermeture temporaire d'un espace aérien etc..)

AIP (Aeronautical Information Publication) : Publication d'info aéronautique.

On y trouve :

- ✓ Les manuels d'informations aéronautiques
- ✓ Les cartes d'approche et d'atterrissage de chaque aéroport
- ✓ Les cartes de trajectoires de vol et de l'espace aérien

METAR (METeorological Aerodrome Report) : message météo qui rapporte le temps effectif sur un aéroport. Il fait état d'une observation et non d'une prévision.

Drones :

UAV : Unmanned Aerial Vehicle, ce qui signifie véhicule aérien sans humain à bord. Aéronef sans passager, ni pilote qui peut voler de façon autonome ou être contrôlé à distance depuis le sol.

UAS : Unmanned Aircraft System, Un aéronef et les éléments qui lui sont associés, exploités sans pilote à bord.

Télépilote : Personne qui pilote le drone manuellement, à l'exclusion du pilotage automatique.

INSTITUTIONS :

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale, a pour but d'assurer le développement ordonné et sûr de l'aviation civile internationale, sous tous ses aspects. Elle sert de tribune où les règles et procédures à normaliser peuvent être présentées, analysées et débattues avant de faire l'objet d'une décision.

EASA : Agence Européenne de la Sécurité Aérienne, créée en 2002 et opérationnelle depuis 2003. Sa mission principale est de promouvoir le plus haut niveau possible de sécurité et de protection environnementale de l'aviation civile en Europe.

FAA : Federal Aviation Administration, créée en 1958, est une agence gouvernementale chargée des réglementations et des contrôles concernant l'aviation civile aux États-Unis.

ENNA : Etablissement National de la Navigation Aérienne, est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle du Ministère des Transports Algériens. Il a pour mission d'assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien Algérien pour le compte et au nom de l'état algérien.