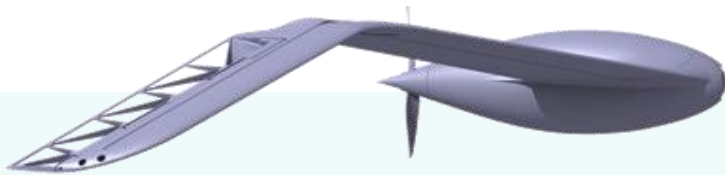




Groupe SdF Occitanie - Toulouse 25/06/2021

Méthode SORA d'évaluation des risques d'opération de drones dans la catégorie spécifique de la réglementation européenne (EASA)

Application aux drones Cabiota



Aurélien / André Cabarbaye

CAB INNOVATION

3 rue de la coquille, 31500 Toulouse – Tel : 05 61 54 68 08

Courriel : contact@cabinnovation.com Site : cabinnovation.com



Plan

- I. Introduction**
- II. Drones Cabiota**
- III. Application de la méthode SORA**
- IV. Conclusion**

I. Introduction

- La réglementation européenne des drones (EASA) est applicable depuis le 01/01/2021.
- Elle impose toujours la présence d'un télépilote à distance et n'autorise pas les applications totalement autonomes.
- Elle est cependant moins prescriptive et se fonde sur la maîtrise des risques en opération.
- Elle vise principalement à prévenir deux types de risques :
 - la chute du drone au sol susceptible de heurter des personnes ou des biens,
 - le vol incontrôlé pouvant engendrer une collision avec un autre usager de l'espace aérien.
- Outre la sécurité des personnes et des biens, la sécurité liée à la malveillance, la vie privée, la protection de l'environnement, l'utilisation de la radio, le spectre de fréquences RF, doivent être évalués conformément aux exigences applicables.

I. Introduction

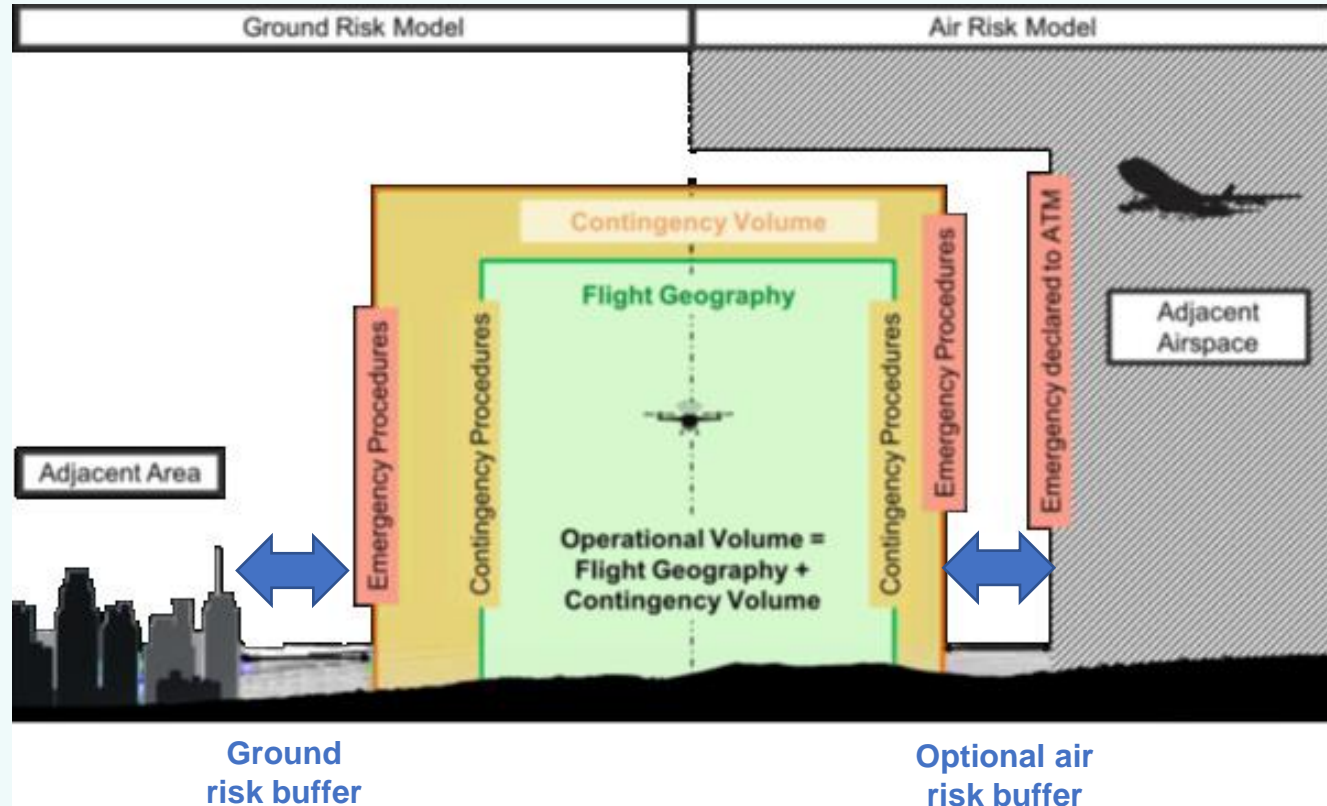
- La réglementation distingue différentes classes de drones :
 - C0 : - de 250 grammes,
 - C1 : - de 900 grammes (identification directe à distance et géovigilance),
 - C2 : - de 4 kg (identification directe à distance, géovigilance et mode basse vitesse),
 - C3 : - de 25 kg et de 3 m d'envergure (identification directe à distance et géovigilance),
 - C4 : - de 25 kg et dépourvus de moyen de contrôle automatique,
 - C5 : vol a vue directe dans un environnement peuplé (ne concerne pas les voilures fixes),
 - C6 : vol avec observateurs de l'espace aérien sur zone contrôlée peu peuplée
- Et trois catégories d'opération :
 - ouverte : à faible risque, tolérée sans autorisation d'exploitation ni déclaration d'exploitation,
 - spécifique : à risque intermédiaire, soumise à une autorisation d'exploitation et à une déclaration de l'exploitant,
 - certifiée : à haut risque, astreinte à une certification du drone et de l'exploitant.

I. Introduction

- Pour la catégorie spécifique, la réglementation préconise l'emploi de la méthode SORA (*Specific Operation Risk Assessment*) développée par le groupe JARUS (*Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems*).
- Cette méthode est décrite dans le document : *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Commission Implementing Regulation (EU) 2019-947 - Issue 1*.
- Elle permet de sécuriser les opérations de drones de cette catégorie et d'obtenir leur agrément par les autorités de l'aviation civile.

I. Introduction

- Modèle de risque SORA :



- Le concept d'opération envisagée est d'abord évalué afin de lui attribuer une classe de risque au sol (GRC : *Ground Risk Class*) et une classe de risque aérien (ARC : *Air Risk Class*).

I. Introduction

- Le GRC et l'ARC permettent de déterminer un niveau SAIL (*Specific Assurance and Integrity Level*) d'assurance spécifique et d'intégrité conduisant à des objectifs à atteindre et des moyens à mettre en œuvre pour rendre les risques acceptables.
- 6 niveaux de SAIL caractérisent ainsi la confiance que l'opération du drone restera sous contrôle dans les limites de l'opération prévue.
- La méthode SORA autorise d'utiliser des barrières ou mesures d'atténuation pour réduire les deux classes de risque et ainsi réduire le SAIL.
- Elle se fonde sur un processus en 10 étapes.

I. Introduction

- Etape 1 : Description des concepts d'opération (ConOps)
- Etape 2 : Détermination de la classe intrinsèque de risque au sol (GRC)
 - Dépend de la dimension maximale de l'UAV, de l'énergie cinétique en cas de crash au sol et du type de scénario opérationnel envisagé : vol à vue (VLOS : Visual Line Of Sight) ou en dehors du champ de vision (BVLOS : Beyond Visual Line of Sight) au-dessus de surfaces au sol comprenant un plus ou moins grand nombre de personnes.*
- Etape 3 : Détermination finale du GRC
 - Après application de mesures d'atténuation.*
- Étape 4 : Détermination de la classe initiale de risque aérien (ARC)
 - Dépend de l'altitude de vol, du type d'environnement (rural ou urbain, à proximité d'un aéroport ou hélicoptère), et de caractéristiques particulières de l'espace aérien (contrôlé, atypique, zone nécessitant l'emport d'un transpondeur).*
- Etape 5 : Détermination de l'ARC final
- Etape 6 : Mesures d'atténuation tactique et niveaux de robustesse
- Étape 7 : Détermination du niveau SAIL d'assurance spécifique et d'intégrité
- Étape 8 : Identification des objectifs de sécurité opérationnelle (OSOs)
- Étape 9 : Considérations sur les zones adjacentes au sol et de l'espace aérien
 - Risque de perte de contrôle entraînant une violation des zones adjacentes*
- Étape 10 : Portefeuille complet de sécurité

II. Drones Cabiota

- Drones de type Type ADAC/V (Aéronef à Décollage Court et Atterrissage Vertical)
- Démonstrateur actuellement opérationnel en limite de la classe C2 (4 kg)
- Fondé sur une code de calcul paramétrique couplé à un outil d'optimisation hybride (globale/locale) qui améliore de 30% environ les performances de l'aéronef

Société	Thalès	Aeronautics	Survey Copter	SAFRAN	ELBIT	DELAIR	Zipline	Cab Innovation
Nom	Spy'Ranger	Orbiter2	ALIACA	FLYEYE	Skylark I	DT26	Zip	Cabiota
Vitesse max	25 m/s	36 m/s	27m/s	47 m/s	20 m/s	18 m/s	30 m/s	30 m/s
Masse max	14.5 kg	10.3 kg	12 kg	11 kg	7.5 kg	18 kg	20 kg	4 kg
Masse CU	1.2 kg	1.5 kg	1.1 kg	4 kg (parachute)	1.2 kg	3 kg	1.75 kg	De 0.5 à 2.5 kg
Envergure	3.8 m	3 m	3 m	3.6 m	2.9 m	3.3 m	3m	1.8m
Opération	Rampe / Ventre	Catapulte / parachute	Catapulte / skis	Manuel / parachute, Ventre	Manuel / Ventre	Catapulte / Ventre	Catapulte / crochet	Fusée/ parachute
Autonomie	2h30	+3h	3h00	3h00	3h00	2h15	1h45	8h00 0,5 kg CU 2h00 2,5 kg CU à 21m/s

II. Drones Cabiota

- Assistance pour dépasser la vitesse de décrochage (16.3 m/s) sans piste de décollage



A la main : trop lent



Bungee (sandow) :
hauteur critique



Catapulte et trébuchet : Accélération trop forte
pour les charges utiles



Véhicule : sur route



Jato : risque d'incendie

II. Drones Cabiota

- Propulsion hydro pneumatique (fusée à eau) pour un déploiement sans danger en tout lieu



VID-20210617-WA0041.mp4

II. Drones Cabiota

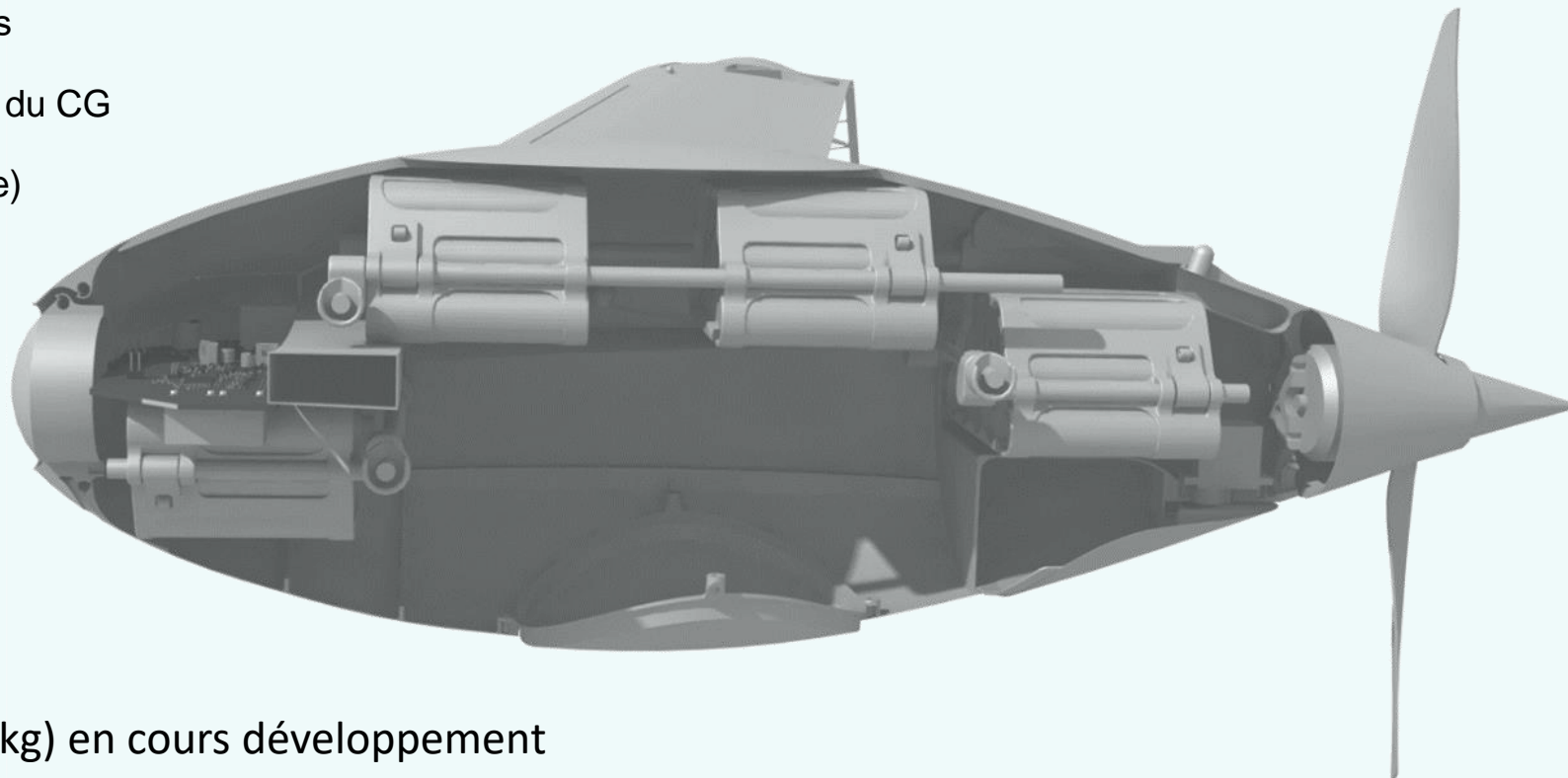


- Descente sous parachute (utilisé également pour l'arrêt d'urgence)
- Drone, propulseur, pompe & rampe de lancement rangés dans un même sac à dos.



II. Drones Cabiota

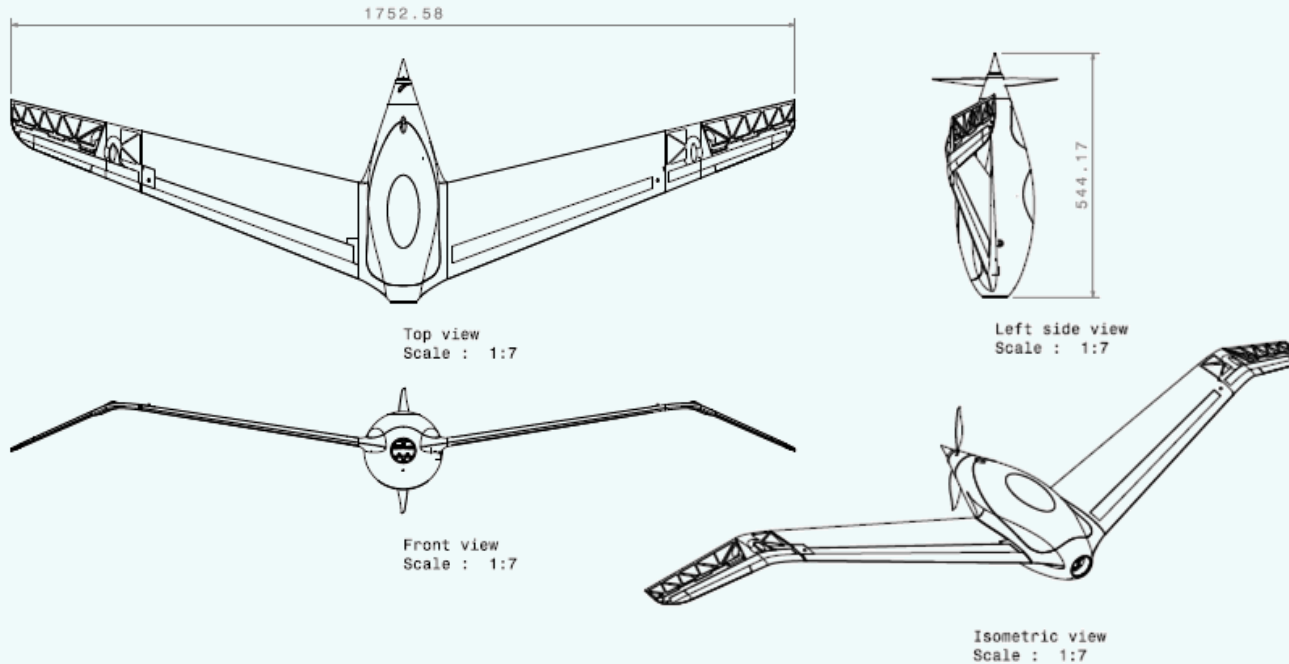
- Conception modulaire
 - Large espace de charge utile et méthode de fabrication adaptative (impression 3 D)
 - 1 à 4 packs de batterie d'accumulateurs
 - Mécanisme d'ajustement de la position du CG
 - Filtre à particule intégré (eau /poussière)



- Version XL en limite de la classe C3 (25 kg) en cours développement

II. Le drone Cabiota

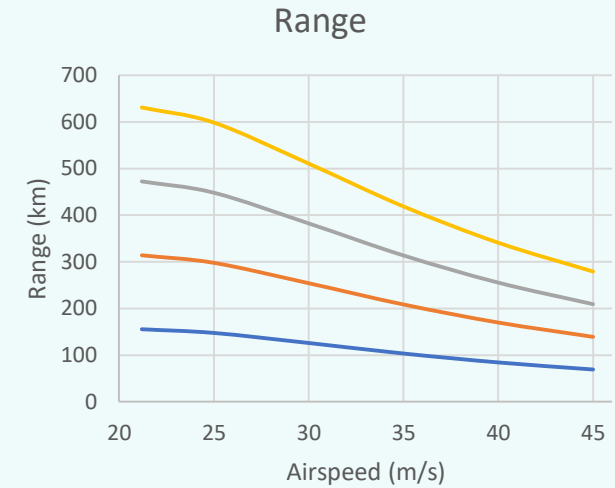
CABIOTA



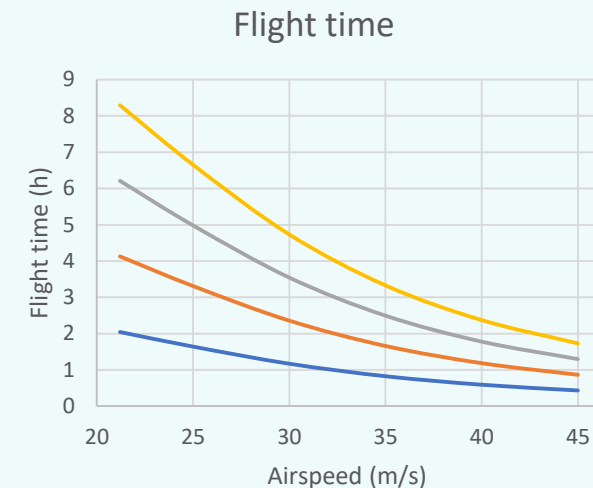
Drone polyvalent

- Type : ADAC / V (décollage court et atterrissage vertical)
- Décollage hydropneumatique et atterrissage sous parachute
- Poids: 4 kg (limite supérieure de la catégorie C2 de la réglementation EASA)
- Altitude de croisière: 500 m
- Charge utile en fonction du nombre de batteries :

2,4 kg avec 1 pack batterie	1,2 kg avec 3 packs
1,8 kg avec 2 packs	0,6 kg avec 4 packs
- Autonomie: en fonction de la charge utile et de la vitesse de croisière (voir figures)



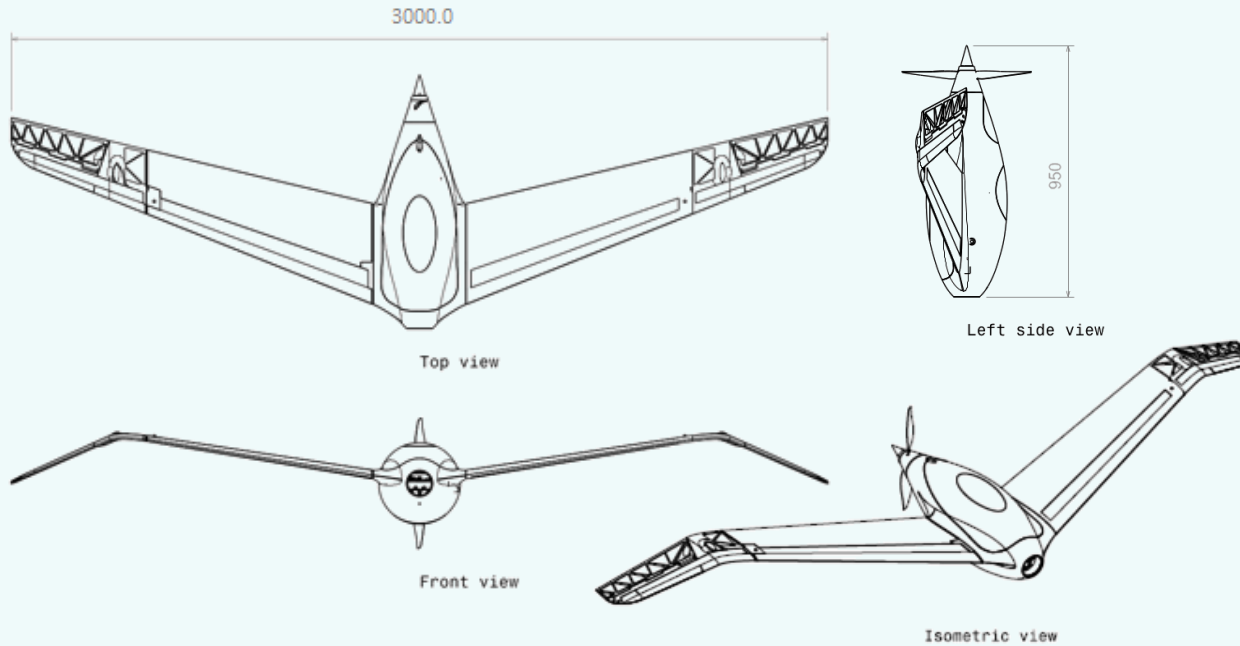
— 1 pack — 2 packs — 3 packs — 4 packs



— 1 pack — 2 packs — 3 packs — 4 packs

II. Le drone Cabiota

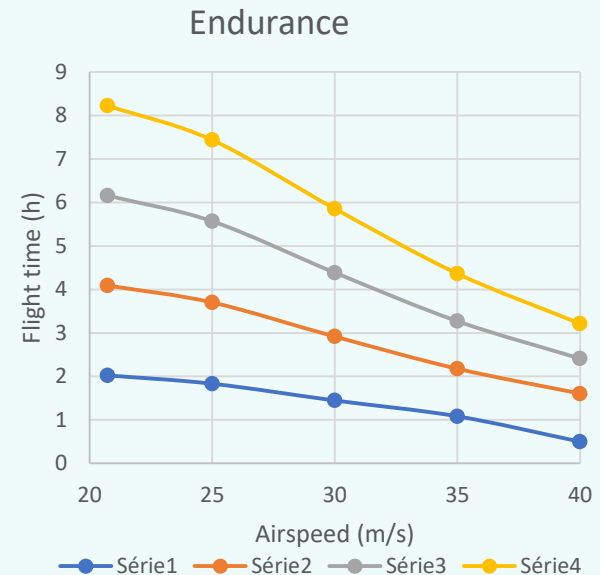
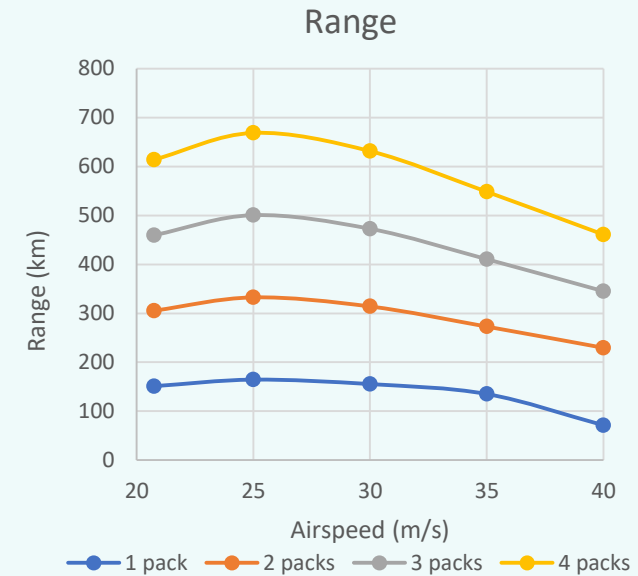
CABIOTA XL



Drone polyvalent

- Type : ADAC / V (décollage court et atterrissage vertical)
- Décollage hydro-pneumatique et atterrissage sous parachute
- Poids: 25 kg (limite supérieure de la catégorie C3 de la réglementation EASA)
- Altitude de croisière: 500 m
- Charge utile en fonction du nombre de batteries :

16 kg avec 1 pack batterie	8 kg avec 3 packs
12 kg avec 2 packs	4 kg avec 4 packs
- Autonomie: en fonction de la charge utile et de la vitesse de croisière (voir figures)



III. Application de la méthode SORA

- Concept d'opérations
 - Imagerie aérienne ou transport de matériel ou de produit :
 - ✓ Observation, transport de charge, lutte contre les départs de feu (largage d'agent inhibiteur), épandage de produits agricoles de précision (15 kg environ), etc.

Ne concerne pas le transport de marchandises dangereuses sauf si l'emballage de ces dernières est antichoc (ex. poche de sang).

III. Application de la méthode SORA

- Niveau d'intervention humaine
 - Pas d'opérations autonomes : le télépilote contrôle le drone sauf en cas de perte de liaison.
 - Il n'utilise qu'un seul drone à la fois.

- Limite de portée
 - En VLOS, le drone est exploité à moins de 1 km du télépilote (ou à une autre distance définie par l'autorité compétente).
 - En BVLOS, la distance du télépilote est limitée par la capacité de la liaison de données RF (environ 10 Km pour l'option RF de base).

III. Application de la méthode SORA

- Zones survolées

- Aire au sol contrôlée ou environnement peu peuplé en VLOS / BVLOS,
- Environnement peuplé en VLOS.

En BVLOS et en VLOS en milieu peuplé, le télépilote assure une atténuation visuelle des risques aériens et terrestres grâce aux images transmises par une caméra frontale embarquée.

- Limitations du drone

- Dimension caractéristique maximale (envergure) : Cabiota = 1,75 m / Cabiota XL= 3 m (≤ 3 m)
- Vitesse de croisière maximale : 45 ms (162 km/h)
- Énergie cinétique typique ($E = \frac{1}{2} MV^2$) :

$$\text{Cabiota} = \frac{1}{2} 4 * 45^2 = 4 \text{ kJ} / \text{Cabiota XL} = \frac{1}{2} 25 * 45^2 = 25 \text{ KJ} \quad (\leq 34 \text{ kJ})$$

III. Application de la méthode SORA

- Limite de hauteur de vol
 - La hauteur maximale du volume opérationnel ne doit pas être supérieure à 120 m (400 ft) au-dessus de la surface survolée (ou de toute autre référence d'altitude définie par les autorités).

- Espace aérien
 - Dans l'espace aérien non contrôlé, au-dessus de zones rurales ou urbaine,
 - En espace aérien contrôlé,
 - en zone de mode-C Veil ou TMZ si un transpondeur est intégré dans la charge utile,
 - en zone ségréguée établie par les États membres conformément à l'article 15.

III. Application de la méthode SORA

- Visibilité

- Drone exploité en VLOS dans une zone où la visibilité minimale en vol est supérieure à 3 km.

Cette visibilité en vol s'entend comme la distance à laquelle un aéronef peut être détecté visuellement par l'équipage distant.

- Drone exploité en BVLOS dans une zone où la visibilité minimale en vol est supérieure à 3 km.

Cette visibilité en vol s'entend comme la distance à laquelle un aéronef peut être détecté visuellement par la caméra embarquée.

Elle correspond à la distance que peut parcourir le drone pendant une minute à pleine vitesse.

III. Application de la méthode SORA

- Détermination du GRC initial :

Dimension maximale UAV :	1 m / env. 3ft	3 m / env. 10ft	8 m / env. 25ft	> 8 m / env. 25ft
Énergie cinétique typique :	< 700 J (environ 529 ft lb)	< 34 kJ (environ 25 000 ft lb)	< 1 084 J (environ 800 000 ft lb)	> 1 084 J (environ 800 000 ft lb)
Scénarios opérationnels :				
VLOS / BVLOS sur une surface au sol contrôlée	1	2	3	4
VLOS dans un environnement peu peuplé	2	3	4	5
BVLOS sur une population clairsemée	3	4	5	6
VLOS dans un environnement peuplé	4	5	6	8
BVLOS dans un environnement peuplé	TBD*	TBD*	TBD*	TBD*
VLOS sur un rassemblement de personnes	7	*TBD dans une future édition de la méthode SORA		
BVLOS sur un rassemblement de personnes	TBD*			

III. Application de la méthode SORA

- Détermination du GRC final après atténuation :

Séquence	Atténuation du risque au sol	Robustesse		
		Faible / Aucun	Moyen	Haute
1	M1 - Atténuation stratégique diminuant le risque de collision avec des personnes	0 : aucun -1 : faible	-2	-4
2	M2 - Les effets de l'impact au sol sont réduits	0	-1	-2
3	M3 - Un plan d'intervention d'urgence (ERP) est en place, l'opérateur de l'UAS est validé et efficace	1	0	-1

Le GRC final ne doit pas être supérieur à 7

- Atténuations stratégiques (faible robustesse : simple déclaration par le demandeur)
 - Surveillance et évitement d'éventuels groupes de personnes par le télépilote au moyen des images transmises par une caméra frontale embarquée.
 - Activation automatique d'une alarme sonore en cas d'atterrissage d'urgence permettant à toute personne au sol de s'éloigner du point de chute (> 100 décibels à 15 cm).
 - Un radar de suivi et d'évitement de terrain est actuellement à l'étude (dépôt d'un brevet en cours).

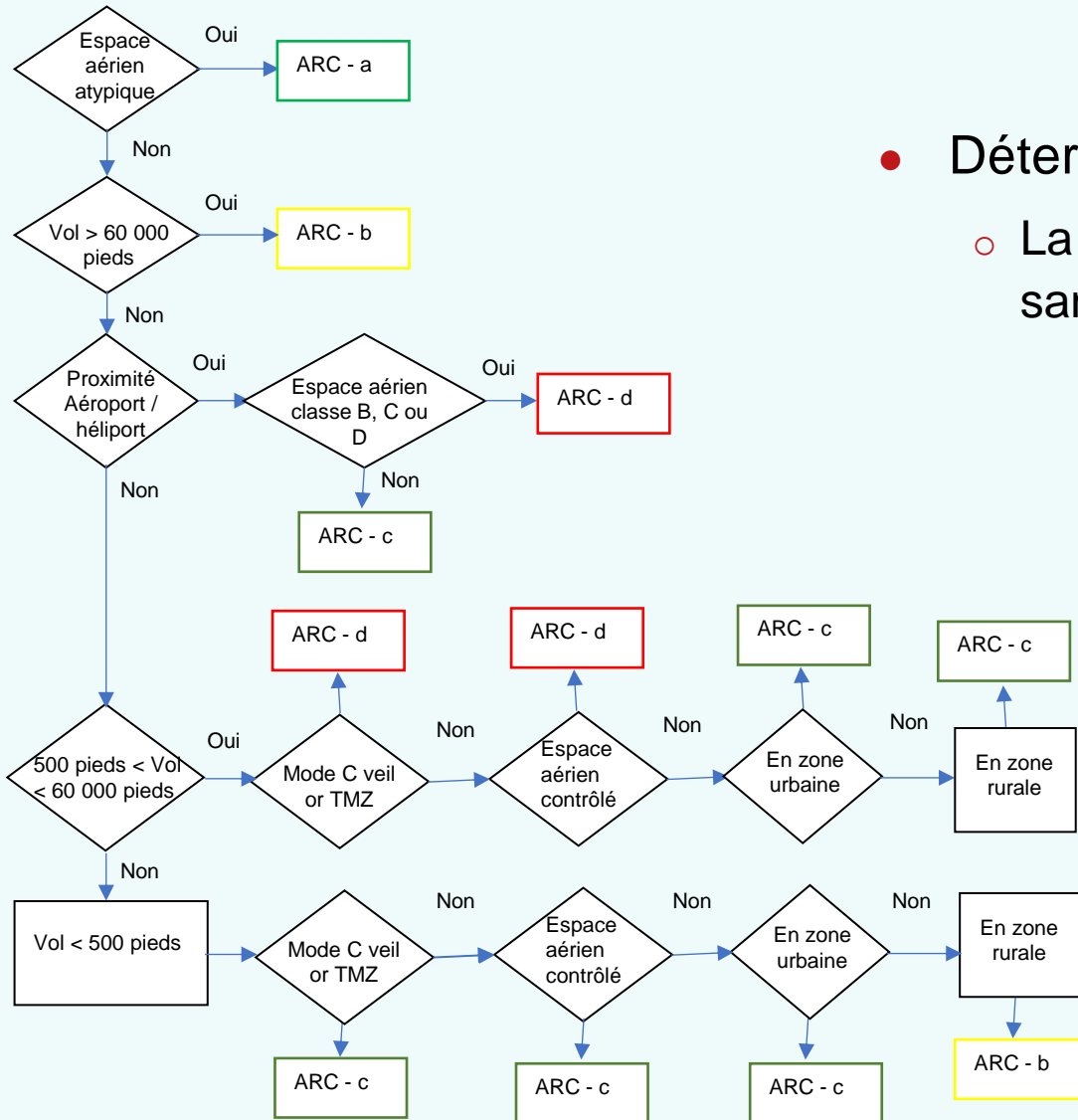
III. Application de la méthode SORA

- Réduction de l'impact au sol (robustesse moyenne : décrite dans le Plan de Sécurité)
 - Drone conçu pour limiter la gravité des accidents (aile cassante et bord d'attaque en mousse).
 - Ouverture automatique du parachute en cas d'atterrissage d'urgence déclenché par le télépilote ou les surveillances embarquées.
 - Commande d'atterrissage d'urgence vérifiée par le télépilote lors de la procédure d'essai pré-vol
- Pas de plan d'intervention d'urgence pour les opérations

● GRC final :

Operational scenarios	Intrinsic GRC	M1 - Strategic mitigations	M2 - ground impact reduced	Final GRC
VLOS/BVLOS over a controlled ground area	2			2
VLOS in a sparsely populated environment	3		-1 Medium robustness	2
BVLOS in a sparsely populated environment	4		-1 Medium robustness	3
VLOS in a populated environment	5	-1 Low robustness	-1 Medium robustness	3

III. Application de la méthode SORA



- Détermination de l'ARC

- La classe supérieure de risque aérien initial est ARC-c sans possibilité d'appliquer une atténuation stratégique

- ✓ Espace aérien non contrôlé, au-dessus de zones rurales ou urbaine,
- ✓ Espace aérien contrôlé,
- ✓ Zone de mode-C Veil ou TMZ si un transpondeur est intégré dans la charge utile,
- ✓ Zone ségréguée établie par les États membres conformément à l'article 15.

III. Application de la méthode SORA

- Exigences de performance d'atténuation tactique TMPR (*Tactical Mitigation Performance Requirement*) et niveaux de robustesse requis
 - La VLOS est considérée comme une atténuation tactique acceptable du risque de collision pour tous les niveaux d'ARC.
 - En BVLOS, le tableau suivant détermine le niveau de TMPR et de robustesse

ARC résiduel	TMPR	Niveau de robustesse
ARC-d	Haut	Haut
ARC-c	Moyen	Moyen
ARC-b	Bas	Bas
ARC-a	Non requis	Non requis

Selon la mission, l'atténuation est assurée par :

- ✓ l'usage de la caméra en vol,
- ✓ un transpondeur passif adapté à la zone de vol (ADS-B /FLARM),
- ✓ un systèmes de détection et d'évitement DAA (*Detect and Avoid*),
- ✓ une procédure particulière en dehors du champ de vision.

III. Application de la méthode SORA

- Détermination du SAIL (Specific Assurance and Integrity Level)

GRC final	ARC résiduel			
	a	b	c	d
≤ 2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
> 7	Operations certifiées			

SAIL maximale de niveau IV

III. Application de la méthode SORA

- Objectifs de sécurité opérationnelle (OSOs)

OSO	Problème technique avec l'UAS	SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
1	S'assurer que l'opérateur de l'UAS est compétent et / ou éprouvé	O	L	M	H	H	H
2	S'assurer que le fabricant de l'UAS est compétent et / ou éprouvé	O	O	L	M	H	H
3	L'UAS est maintenu par une entité compétente et / ou éprouvée	L	L	M	M	H	H
4	L'UAS est développé selon les normes de conception reconnues	O	O	O	L	M	H
5	L'UAS est conçu en tenant compte de la sécurité et de la fiabilité du système	O	O	L	M	H	H
6	Les performances de la liaison C3 (Command, Control and Communication) sont appropriées pour l'opération	O	L	L	M	H	H
7	L'inspection des UAS (inspection des produits) pour assurer la cohérence avec les ConOps	L	L	M	M	H	H
8	Procédures opérationnelles définies, validées et respectées	L	M	H	H	H	H
9	Autopilote formé et à jour et capable de contrôler la situation anormale	L	L	M	M	H	H
10	Récupération sûre d'un problème technique	L	L	M	M	H	H

OSO	Détérioration des systèmes externes prenant en charge les opérations UAS	SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
11	Des procédures sont en place pour gérer la détérioration des systèmes externes prenant en charge les opérations UAS	L	M	H	H	H	H
12	L'UAS est conçu pour gérer la détérioration des systèmes externes supportant les opérations UAS	L	L	M	M	H	H
13	Les services externes soutenant les opérations UAS sont adéquats pour l'opération	L	L	M	H	H	H

OSO	Erreur humaine	SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
14	Les procédures opérationnelles sont définies, validées et respectées	L	M	H	H	H	H
15	Équipage à distance formé et à jour et capable de contrôler la situation anormale	L	L	M	M	H	H
16	Coordination multi-équipage	L	L	M	M	H	H
17	L'équipage à distance est apte à fonctionner	L	L	M	M	H	H
18	Protection automatique de l'enveloppe de vol contre les erreurs humaines	O	O	L	M	H	H
19	Récupération sûre après une erreur humaine	O	O	L	M	M	H
20	Une évaluation des facteurs humains a été effectuée et l'interface homme-machine (IHM) a été jugée appropriée pour la mission	O	L	L	M	M	H

OSO	Conditions de fonctionnement défavorables	SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
21	Les procédures opérationnelles sont définies, validées et respectées	L	M	H	H	H	H
22	L'équipage distant est formé pour identifier les conditions environnementales critiques et les éviter	L	L	M	M	M	H
23	Les conditions environnementales pour des opérations sûres sont définies, mesurables et respectées	L	L	M	M	H	H
24	L'UAS est conçu et qualifié pour des conditions environnementales défavorables	O	O	M	H	H	H

O : facultatif

L : recommandé avec une faible robustesse

M : recommandé avec une robustesse moyenne

H : recommandé avec une robustesse élevée

III. Application de la méthode SORA

- Considérations sur la zone adjacente / l'espace aérien
 - Aucune panne probable du drone ou des systèmes externes ne conduit à une opération en dehors du volume opérationnel.
 - Le respect de cette exigence est justifié par :
 - ✓ la stricte indépendance de la commande à distance d'arrêt d'urgence de la mission et d'atterrissage sous parachute qui s'effectue par une carte de sécurité indépendante de la carte de contrôle du drone,
 - ✓ l'activation d'une commande similaire par la carte de contrôle du drone en cas de défaillance auto-détectée (chien de garde),
 - ✓ la prise en compte de tout risque particulier pertinent (par exemple, grêle, verglas, neige, perturbations électromagnétiques, etc.) dans la procédure de préparation du vol.

Aucune défaillance unique du drone ou des systèmes externes supportant l'opération ne l'amène à fonctionner en dehors du tampon de risque sol, et la probabilité de sortir du volume opérationnel est inférieure à $10^{-4}/FH$.

Les logiciels (SW) et le matériel électronique embarqué (AEH), dont les erreurs de développement pourraient conduire à des opérations en dehors de la zone tampon de risque sol, ont été développés selon un standard industriel.

IV. Conclusion

- La méthode Sora offre une réelle opportunité pour développer de nouveaux usages de drones dans la catégorie spécifique et obtenir leur agrément par les autorités de l'aviation civile, sans devoir suivre un lourd processus de certification.
- Les opérations de drones peuvent être autant (voir plus) fiabilisées et sécurisées que celles des avions et hélicoptères.
 - fonctions critiques peu nombreuses,
 - Pannes de matériels sécurisées par un mode de secours robuste (arrêt d'urgence).
 - Algorithmes de surveillance permettant d'éviter la multiplication des redondances matériels toujours pénalisantes en poids, consommation d'énergie et indisponibilité opérationnelle.
- Cab Innovation mène une activité de R&D sur le sujet portant notamment sur :
 - la consolidation des mesures de vitesse et d'attitude au moyen d'observateurs statistiques,
 - la conception d'un radar de suivi et d'évitement de terrain à faible coût,
 - l'embarquement d'un système anticollision,
 - la mise en œuvre du suivi en ligne de l'état de dégradation des matériels (maintenance prédictive),
 - l'élargissement du champ d'opération en conformité avec les exigences de la réglementation.

Ouvrages de références



LA FIABILITÉ AUJOURD'HUI – *AURÉLIEN, ADRIEN & ANDRÉ CABARBAYE*

ISBN : 979-10-97287-12-2

Cette encyclopédie présente les différents aspects de la Sûreté de Fonctionnement et de l'optimisation des systèmes, dont les plus novateurs tels que l'optimisation multidisciplinaire, le dimensionnement probabiliste, la planification optimale des essais, le Health Monitoring et la maintenance prédictive.

Elle décrit la méthode SORA de sécurisation des opérations de drones.



L'OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE, L'AUTRE ENJEU DU BIG DATA - *AURÉLIEN & ADRIEN CABARBAYE*

ISBN : 979-10-97287-05-4

Ce livre vulgarise les techniques d'optimisation et présente les enjeux de l'optimisation multidisciplinaire. Au-delà des techniques utilisées en aéronautique pour améliorer localement des concepts existants, il montre comment faire émerger des solutions radicalement nouvelles par des méthodes d'optimisation hybrides, dans tous les domaines d'ingénierie.