

Projet de 4<sup>ème</sup> année :  
Certification du Mini-Bee  
(Hybrid VTOL Piloté)

- Antoine DUPRÉ
- Arthur FOL
- Maxime JANSSEN
- Clément ROBERT
- Lucas SANTER

ESTACA SQY

27 Avril 2020

# Un projet collaboratif lancé en 2015



# Rappel des objectifs

- Etat de l'art des VTOL en développement
- Confirmer la certification CS23
- Définir les caractéristiques pour la certification
- Identifier les points critiques
- Moyens à mettre en œuvre pour résoudre les points bloquants
- Etablir les étapes de la certification
- Rédiger les 1ères briques de documentation fabrication et tests prototypes






# Gantt simplifié

Tâches / Semaines	Octobre				Novembre				Décembre				Janvier				Février				Mars				Avril			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Lancement du projet	■	■	■	■																								
Confirmer la CS23/SC VTOL	■	■	■	■	■	■	■																					
Etat de l'art VTOL	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Système anti-crash							■	■	■	■	■	■																
Rapport premier semestre									■	■	■	■	■	■	■	■												
Analyse des défaillances										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
Etude des commandes de vol											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Récapitulatif sur la structure													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Positionnement certification													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Etat de l'art des petits hélicoptères																					■	■	■	■				
Rapport deuxième semestre																					■	■	■	■	■	■	■	■

# Contexte

Aujourd'hui il est encore trop difficile pour les secours d'accéder rapidement à des lieux accidentés suite à des catastrophes naturelles.

Afin d'effectuer des **opérations de sauvetage optimales**, les secours ont besoin :

- D'intervenir **au plus vite** 
- De **se projeter sur les lieux** de la catastrophe 
- De **transporter du matériel** de premiers secours 
- De pouvoir **transporter d'éventuels blessés** vers des centres de soins 
- D'un moyen de transport **moins cher** qu'un hélicoptère 

→ Notre principal objectif : **faire en sorte que l'appareil soit transportable par avion de ligne et soit deux fois moins cher qu'un hélicoptère**

# Etat de l'art des VTOL

## Uber Elevate 2016

- Définie la prochaine évolution du secteur des transport
- Etudier pour désengorger les villes
- S'inscrit dans une démarche éco-responsable



## 3 Types de VTOL



Air taxi  
XTI Aircraft  
4-5 pax  
630km/h  
1200km



Cargo VTOL  
Sans pilote  
Transport de fret  
Livraison



Single Person VTOL  
Tetra Aviation  
GO FLY price  
1 pers  
Electrique

→ Les VTOL se positionnent donc comme l'avenir du transport en zone urbaine

# Positionnement du Mini-Bee

## Caractéristiques:

- Prix d'achat : 350 k\$
- 3 personnes
- Hybride
- SC VTOL
- 2 rotax
- 10 rotors



Mini-Bee Ambulance



Mini-Bee Air Taxi

# MiniBee

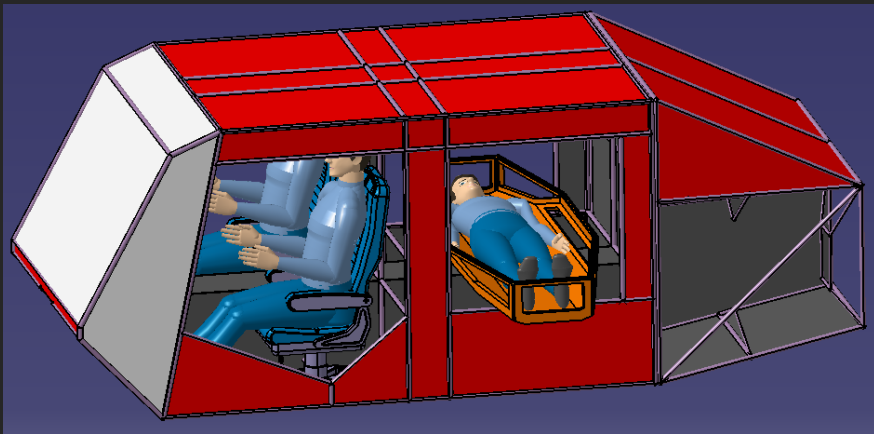




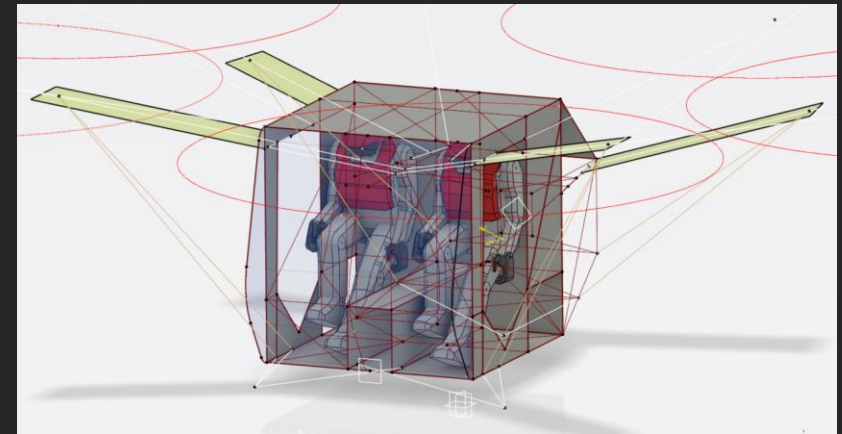
# MiniBee

L'appareil se décline sous deux versions :

R<sub>2</sub>H<sub>10</sub>A<sub>4</sub>P<sub>3</sub>/SC-VTOL :



R<sub>1</sub>H<sub>6</sub>A<sub>0</sub>P<sub>2</sub>/ULM:



R : nombre de Rotax (moteurs thermiques)

H : nombre d'Hélices

A : nombre d'Ailes

P : nombre de Passagers

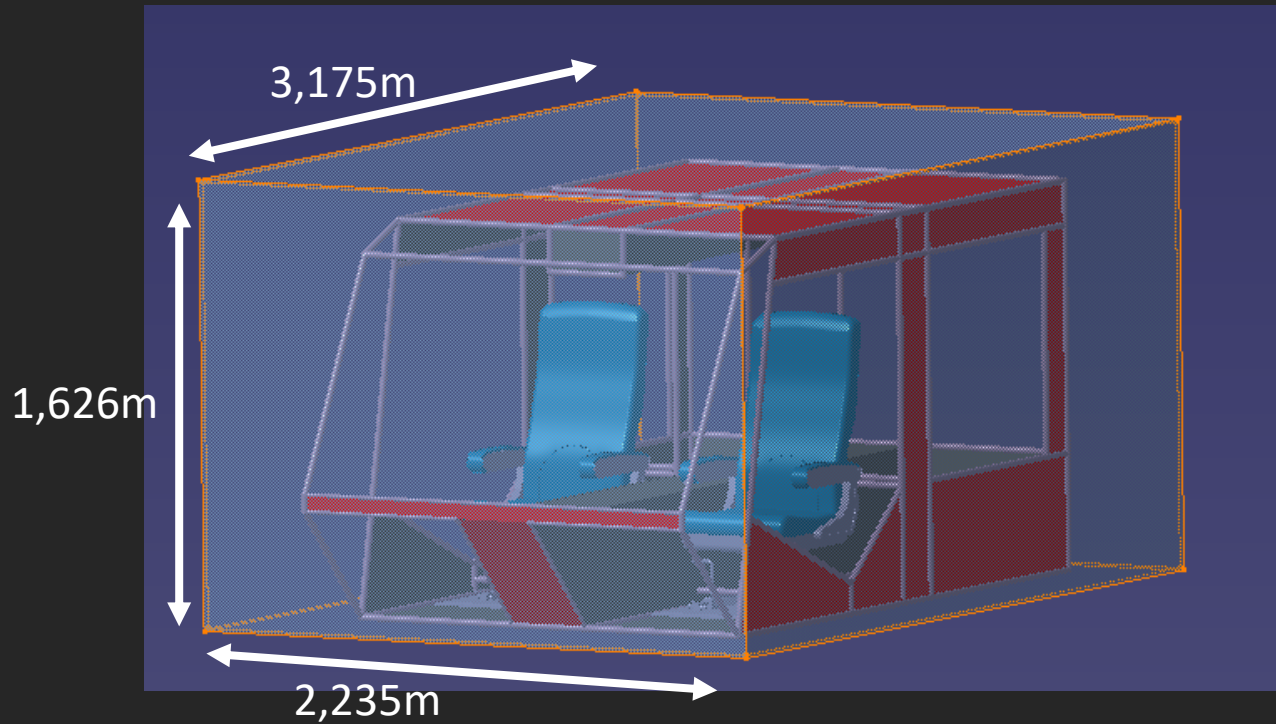
# MiniBee – R2H10A4P3

- VTOL [hybride piloté](#)
- Mission type : [HEMS](#) (Helicopter Emergency Medical Services)
- Nombre de personnes à bord : pilote + 1 passager + 1 personne sur le brancard
- MTOW : [1100 kg](#)
- Distance franchissable : [800 km](#)
- Vitesse de croisière : [200 km/h](#)
- Altitude de croisière : [2000 m](#)
- Motorisation : 2 moteurs thermiques ([Rotax 915](#)) et 10 moteurs électriques ([Emrax 208](#))

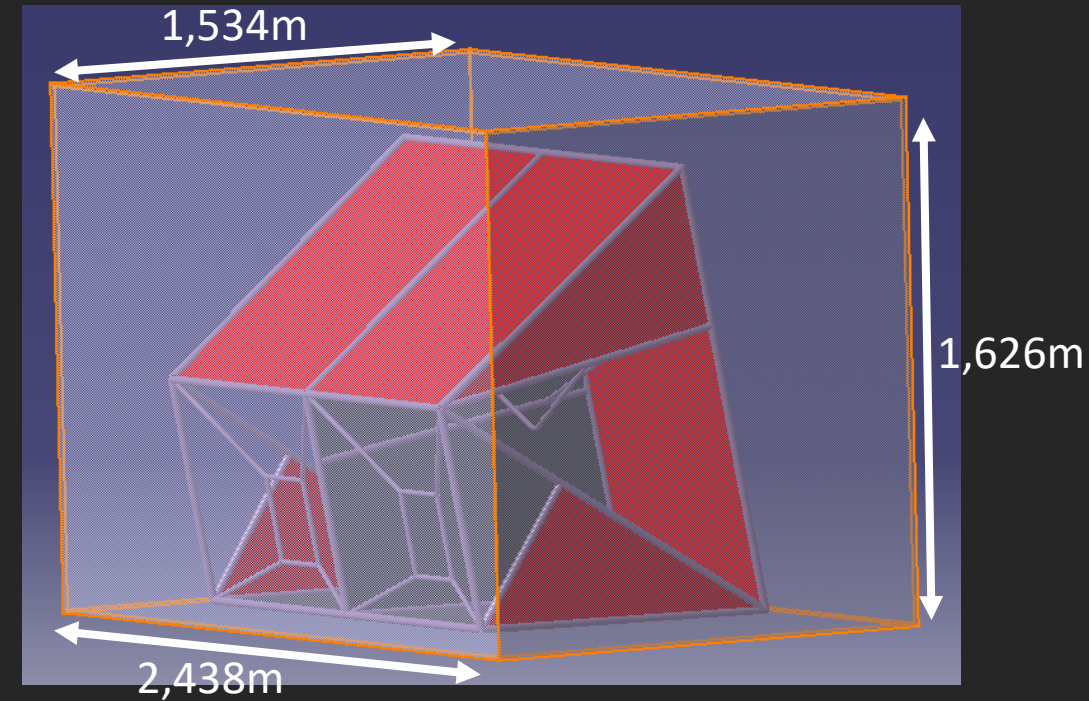


# MiniBee – R2H10A4P3

Une structure **modulaire**



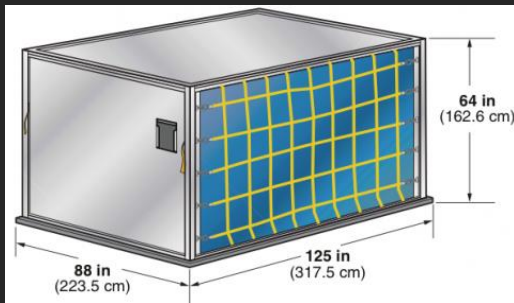
**Module passagers** dans un container LD9



**Module générateur** dans un container LD4

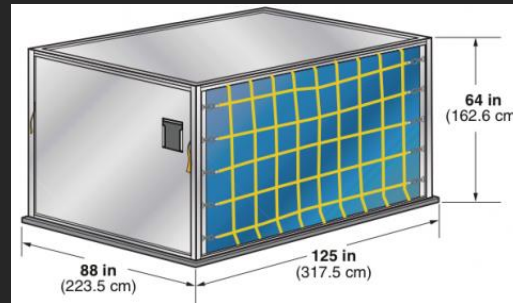
# MiniBee – R2H10A4P3

Problématique : un appareil facilement transportable



LD-9

Bloc passager 2,97m x 1,75m x 1,5m

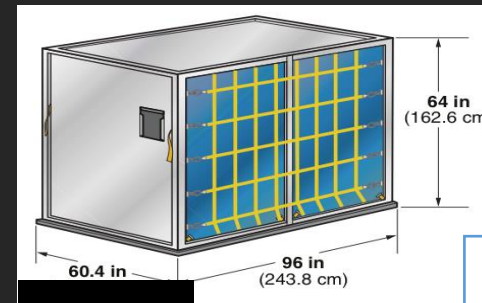


LD-9

Ailes 2 x 2,4m + 2 x 2,3m

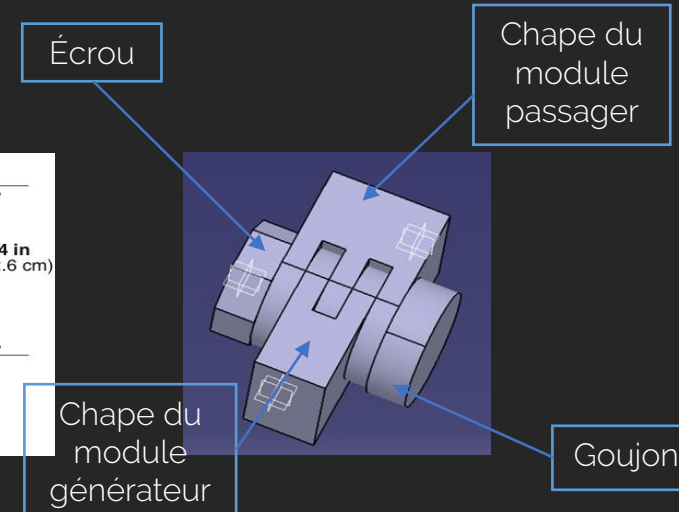
Bras des ailes 2 x 2,53m + 4 x 1,6m + 4 x 2m

Pales rotors 20 pales x 1,5m



LD-4

Bloc générateur 1m x 1,75m x 1,5m



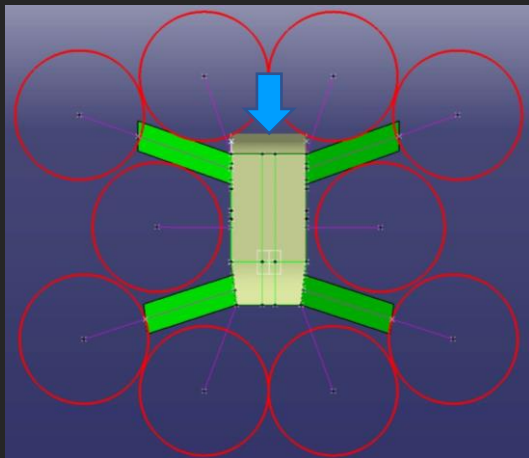
Système de chapes pour assurer la fixation entre le module passager et le module générateur

→ Découpage permettant son transport dans des avions long courrier B777/B747

# MiniBee – R2H10A4P3

Problématique : Comment les déplacements sont-ils assurés ?

10 hélices pour assurer la sustentation

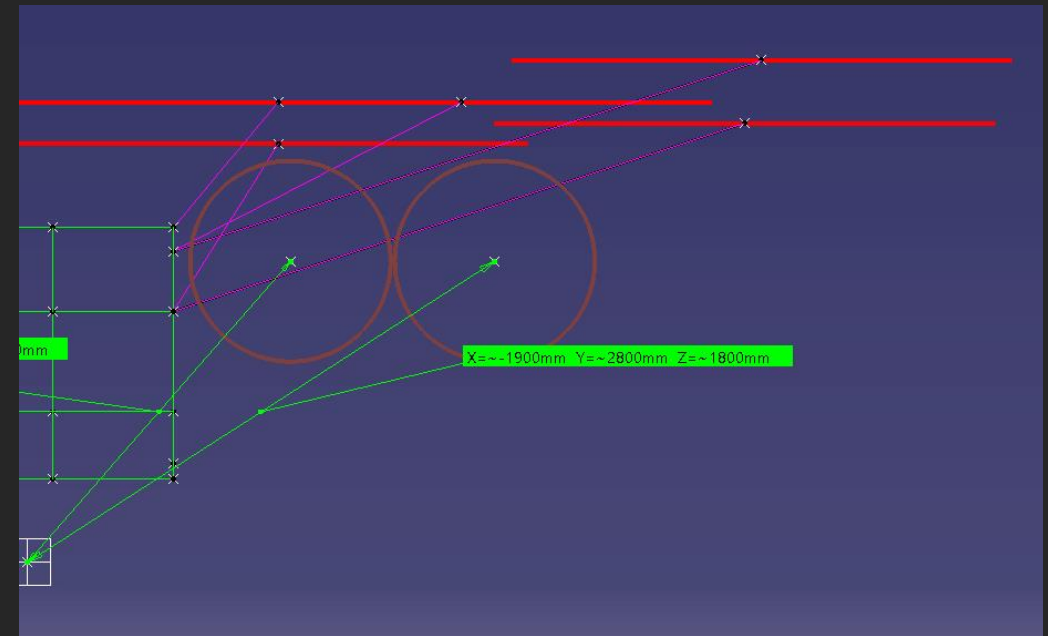


Poussée par hélice : 95kg

Diamètre des hélices : 3,6m

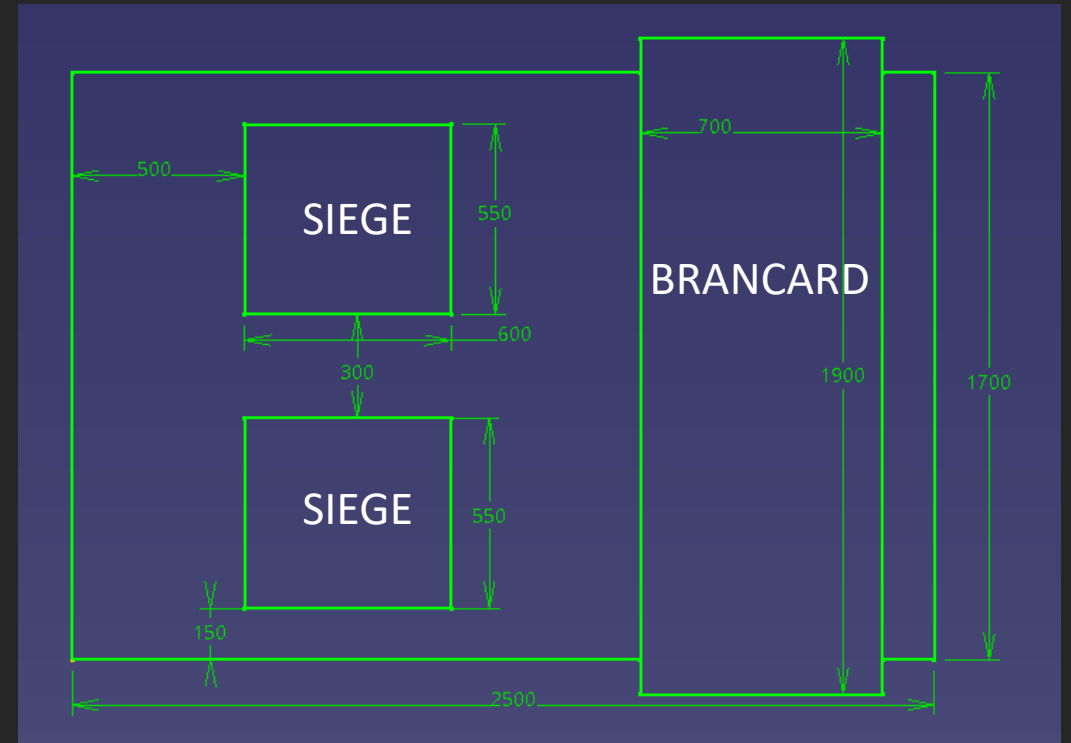
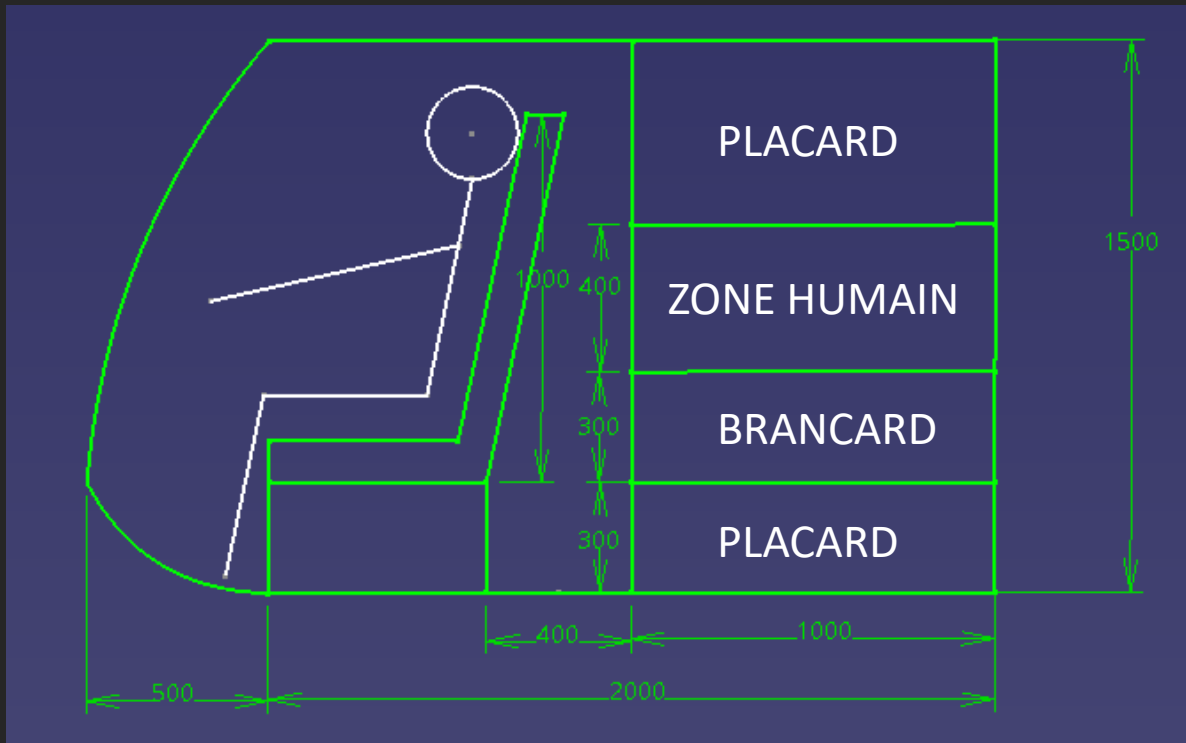
Surface : 10\*10m<sup>2</sup>

4 hélices pour assurer les déplacements horizontaux  
(2 en tractions et 2 en propulsions)



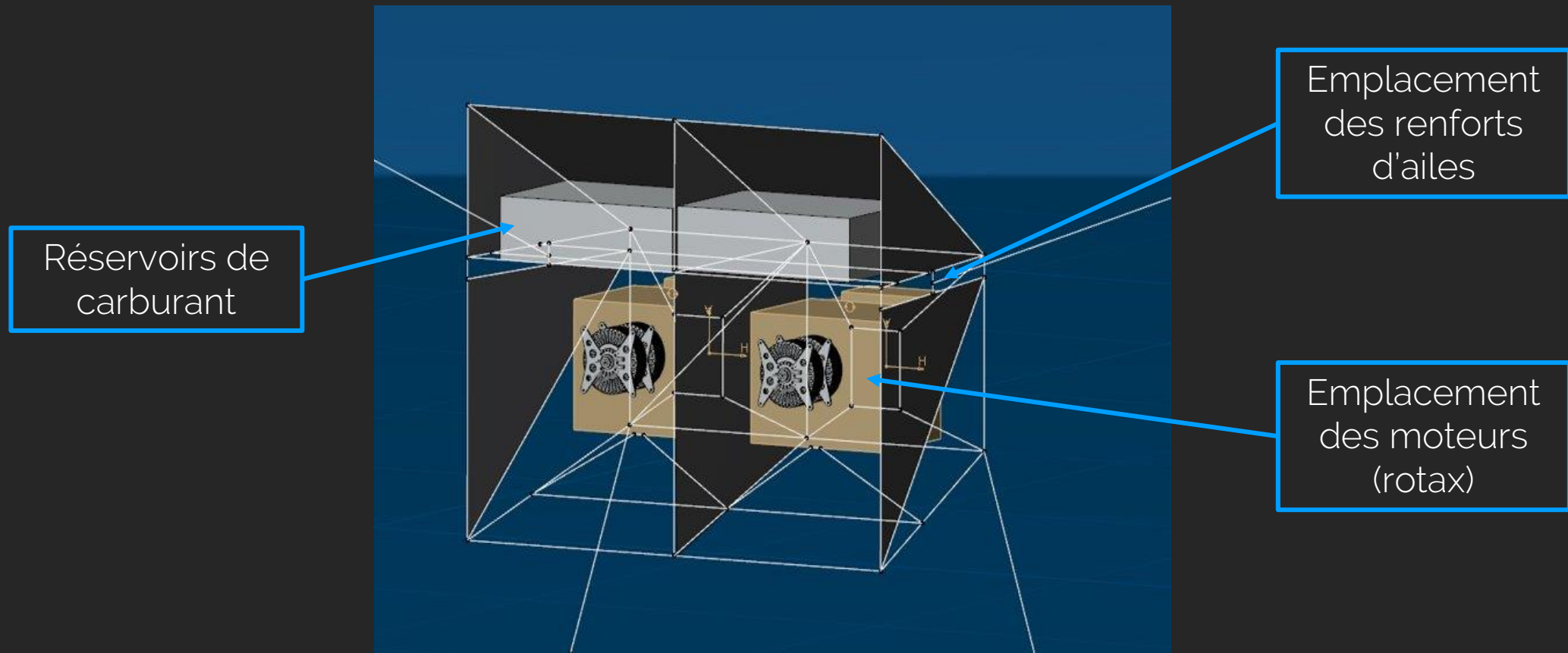
# MiniBee – R2H10A4P3

Aménagement intérieur de la cabine



# MiniBee – R2H10A4P3

Aménagement du module générateur



# MiniBee – R2H10A4P3

Choix des trains d'atterrissage

PATINS



- + Très simple et très robuste
- Ne roule pas

TRAINS FIXES



- + Simple et robuste
- Aérodynamisme

TRAINS ESCAMOTABLES



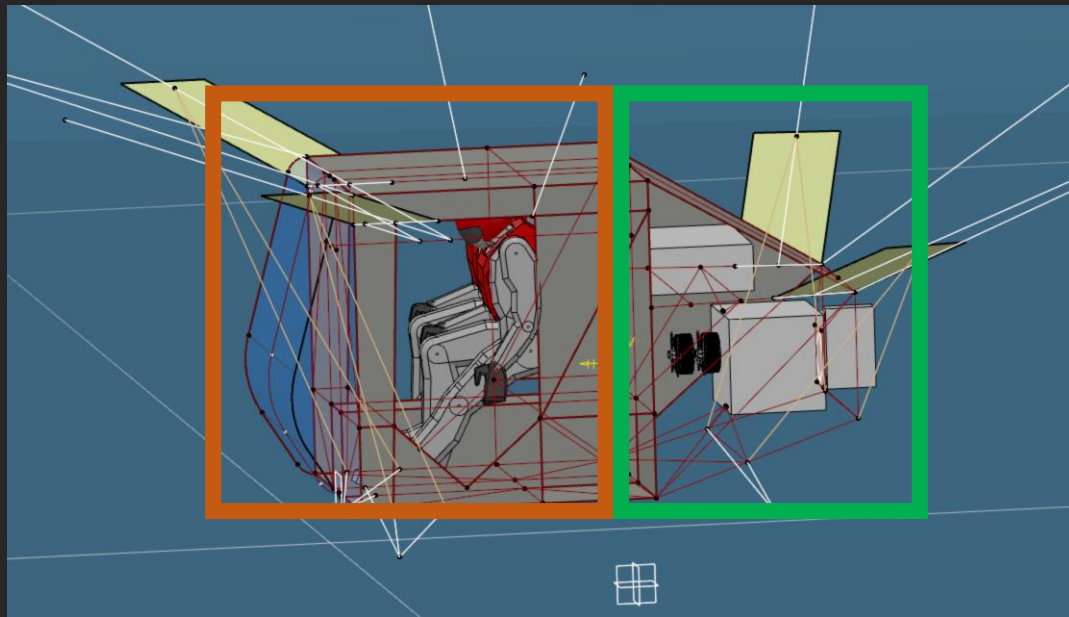
- + Aérodynamisme
- Complexe, lourd, volumineux

→ Les trains fixes présentent des avantages non négligeables : robustesse, système simple (pas de trappe/système hydraulique), plus facile à démonter/remonter (quelques minutes)



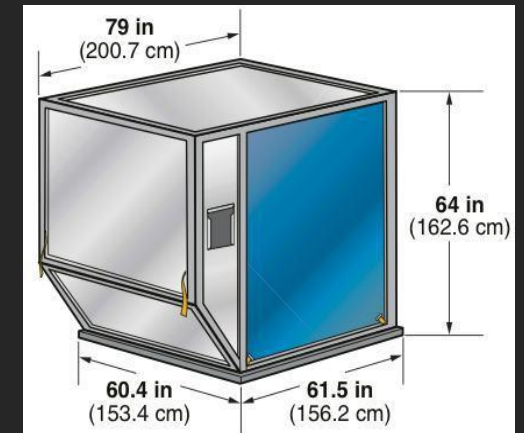
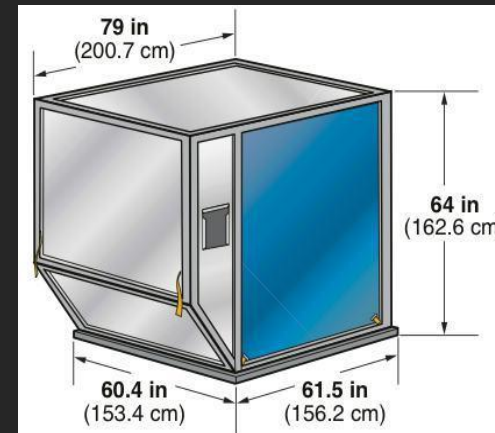
# MiniBee – R1H6A0P2

Une structure modulaire et transportable



Module passager

Module générateur



2 containers LD3 sont nécessaires pour le transport :

- 1 pour le module passager
- 1 pour le module générateur

→ Découpage permettant son transport dans une majorité d'avions de ligne long courrier (B747/B767/B777/B787/A330/A340/A350/A380)

# Certifications et appareils de comparaison R2H10A4P3



## CS23

Applicable aux avions normaux de moins de :

- 19 pax
- 8618 kg



## CS 27

Applicable aux petits hélicoptères de moins de :

- 9 pax
- 3175 kg



## SC-VTOL

Applicable aux aéronefs de moins de :

- 9 pax
- 3175 kg

Pour entamer **la certification**, nécessité de **se comparer** aux aéronefs existants de même gabarit

Le **Cessna 172** (CS 23)



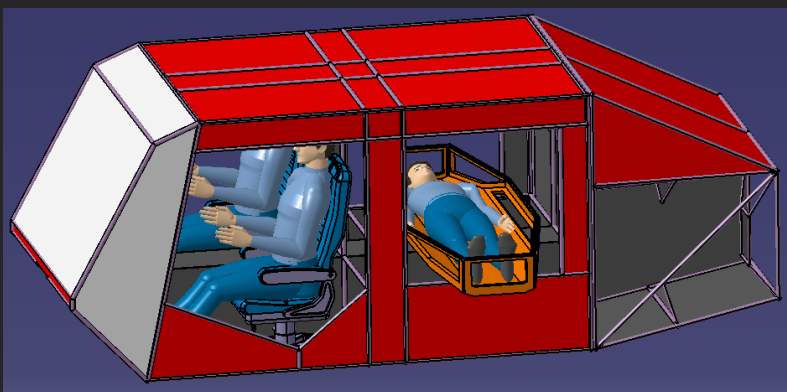
Le **R44** (CS 27)



→ **Trois certifications** possible, **deux appareils** de comparaison

# Application aux prototypes

Le [R2H10A4P3](#)



Catégorie  
Basique

Destinée aux  
opérations non  
commerciales



Catégorie  
Améliorée

Destinée au survol  
d'agglomération et au  
transport commercial



Choix de la [SC-VTOL](#) :

- Certification plus **flexible**
- CS 23 et 27 **pas adapté** ni adaptable
- Paramètre de qualification :

Paramètres	Réglementation SC-VTOL	R2H10A4P3
Nb de place	< 9	4 ou 2 + 1 brancard ✓
Poids	< 3175 kg	1200 kg ✓

→ Le R2H10A4P3 peut être soumis à la [SC-VTOL-01](#) du 2 juillet 2019

# Certifications et appareils de comparaison R1H6A0P2



CS23

Applicable aux avions normaux de moins de :

- 19 pax
- 8618 kg



CS 27

Applicable aux petits hélicoptères de moins de :

- 9 pax
- 3175 kg



SC-VTOL

Applicable aux aéronefs de moins de :

- 9 pax
- 3175 kg



ULM

Cas particulier :

- Pas de certification UE
- < 500 kg

→ **Quatre certifications** possible, **trois appareils** de comparaison

Groupe certification ESTACA SQY 4ème année

Pour entamer **la certification**, nécessité de **se comparer** aux aéronefs existants de même gabarit

Le **Cessna 152** (CS 23)



Le **R22** (CS 27)

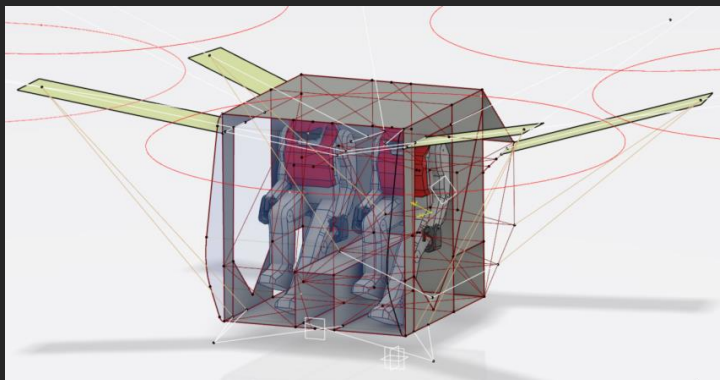


Le **LH212 Delta** (ULM classe 6)



# Application aux prototypes

## Le **R1H6A0P2**



## Choix de l'**ULM**:

- Fournir un prototype **capable de voler** pour essais
- Pas de **certification européenne**
- Produit plus **accessible** au tout-public

EN FRANCE	arrêté du 24 juin 2019	R1H6A0P2
Masse max	500 kg + 25kg (bonifications)	<b>628 kg</b> ❌
Puissance max	105 kW	104 kW ✓
Capacité max d'emport	2 pax = 156 kg + 45L de carburant	2 pax + 45L de carburant ✓

## Deux options:

- **Réduire** la masse
- **Changer** de certification

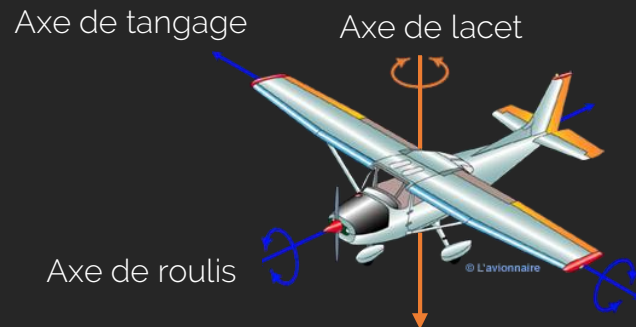
→ Si perte de masse **impossible**,  
basculement en **SC-VTOL**

# Solutions de commandes de vol

## Volant avec joystick

Commandes de pilotage sur les 3 axes :

- Roulis et tangage 🎮
- Lacet en tournant le volant



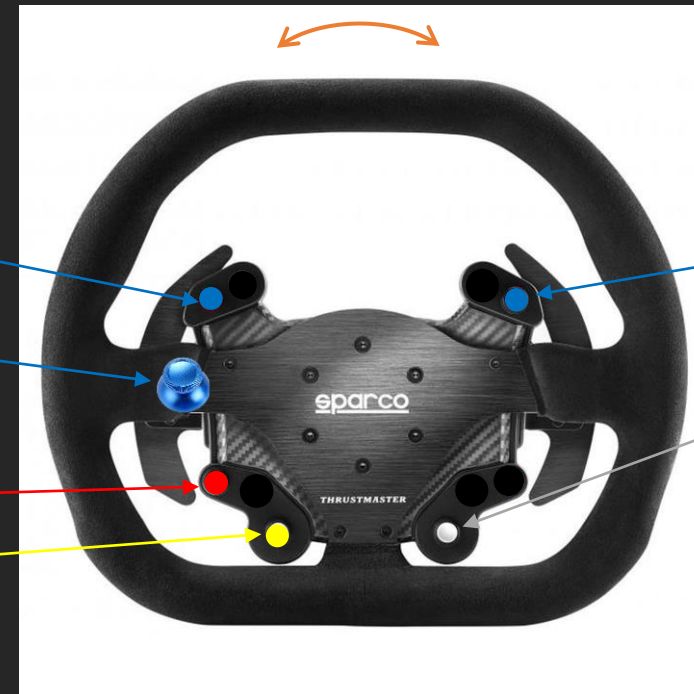
Lacet (similaire au comportement d'une voiture)

Radio ON (push button)

Tangage & Roulis

Stop

Activer autopilote

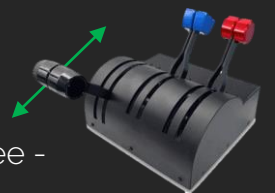


Radio ON (push button)

Activer joystick

Poussée +

Poussée -



Problème du joystick 🎮 : le roulis fait varier l'altitude si on ne gère pas la manette des gaz en simultanée

# Solutions de commandes de vol

## Joystick simple

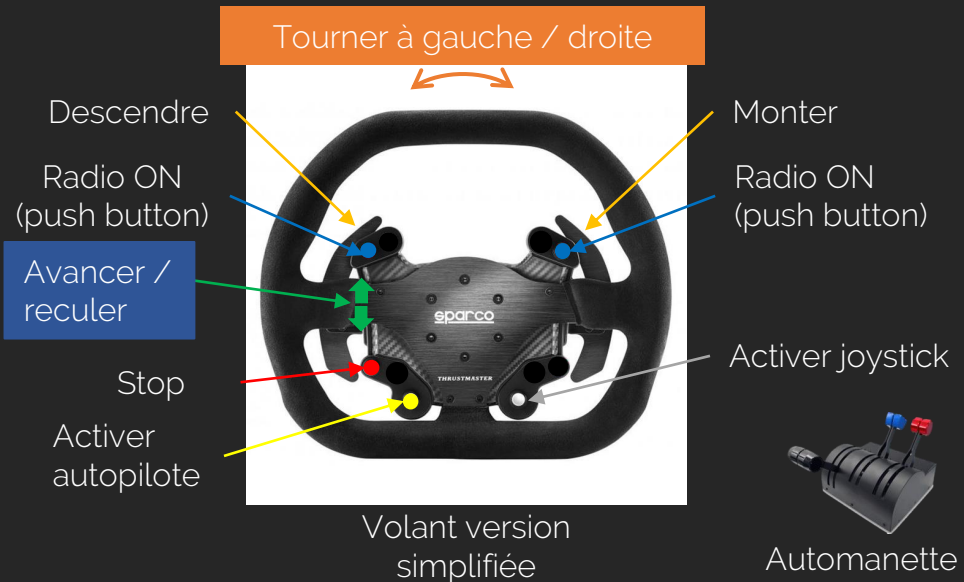


Peu encombrant

A relier directement système de commande de vol, rien d'autre à acheter

Groupe certification ESTACA SQY 4ème année

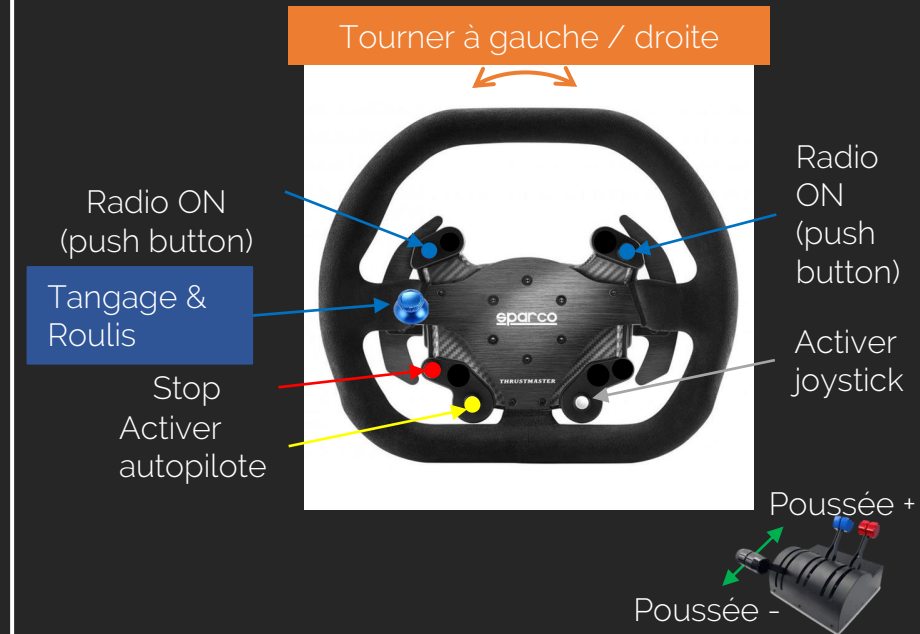
## Volant avec flèches avant / arrière et automanette



Boîtier encombrant

Nécessite un boîtier d'acquisition et un support dédié

## Volant avec joystick



Nécessite de gérer le volant et les gaz simultanément

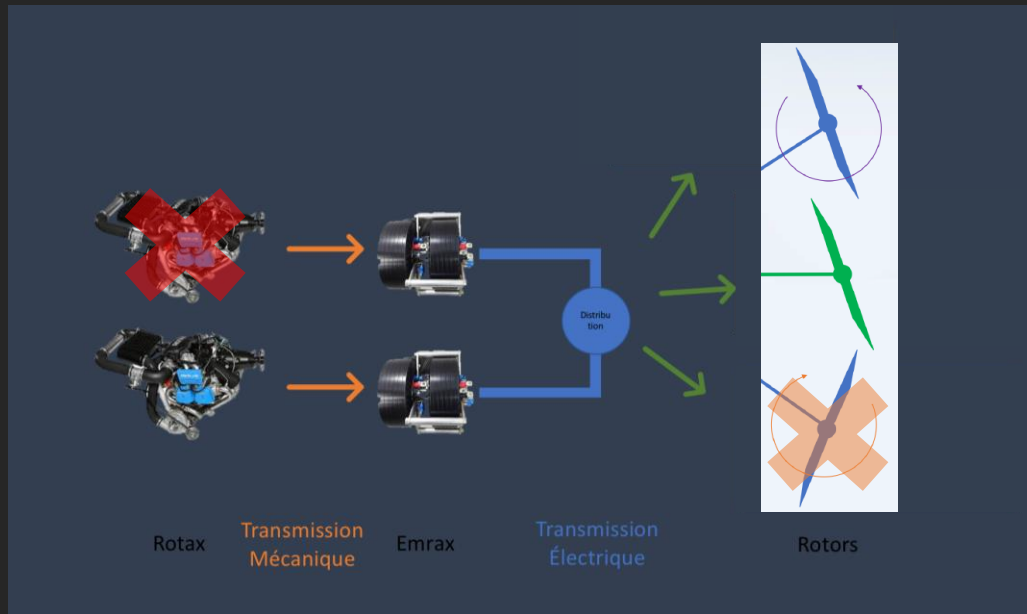
# Avantages / inconvénients joystick volant

	Avantages	Inconvénients
Volant	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comportement similaire à une voiture</li><li>• Regroupe les boutons de manière visuelle pour le pilote</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nécessite un logiciel pour traiter une entrée (ex: tourner à gauche = roulis + lacet)</li><li>• Prend de l'espace visuel dans le cockpit -&gt; moins de place pour instruments de navigation<ul style="list-style-type: none"><li>• Besoin d'une structure supplémentaire pour tenir le volant dans le cockpit<ul style="list-style-type: none"><li>• Poids ~ 3kg</li></ul></li></ul></li></ul>
Joystick (Le + utilisé dans les VTOL)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comportement similaire aux avions / hélicoptères</li><li>• Plus compact que le volant</li><li>• Situé au centre, pas besoin de structure portante<ul style="list-style-type: none"><li>• Poids ~ 1kg</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moins intuitif à prendre en main par un néophyte</li><li>• Plus de chances d'actionner une autre commande en faisant un mauvais geste</li></ul>

Le joystick semble le plus simple et avantageux à installer



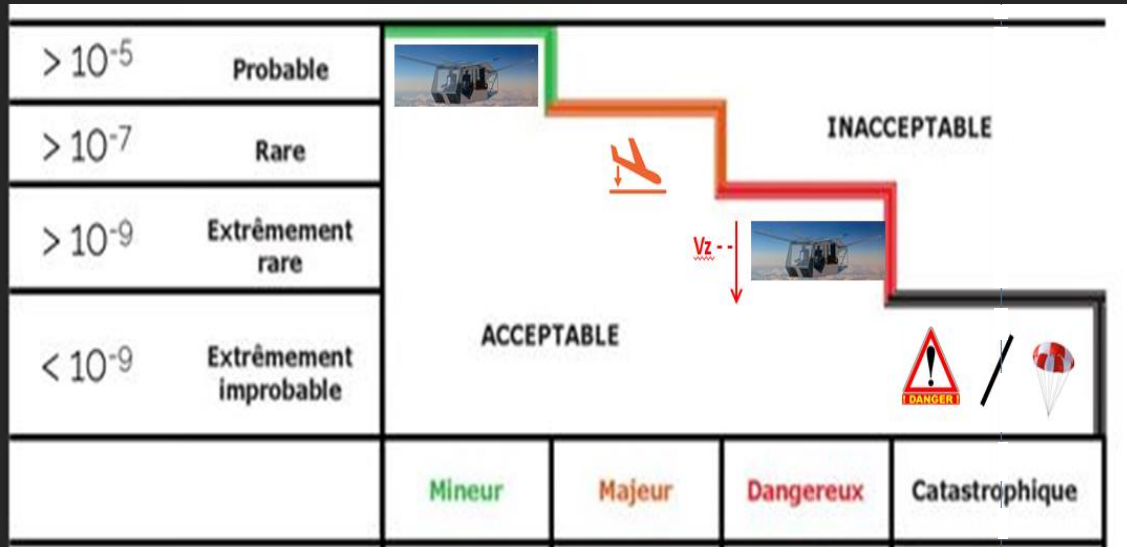
# Cas de pannes groupe motopropulseur (modèle R2H10A4P3)



Chacun de ses éléments peuvent être soumis à des **pannes** ou **dysfonctionnements différents** qui auront des **conséquences multiples**.

- B – Flight
  - VTOL.2170 Operating limitations
    - Procedures and instructions for the safe operation of the aircraft
- C – Structures
  - VTOL.2265 Special factors of Safety
  - VTOL.2270 Emergency Conditions
- G – Flight Crew Interface and other information
  - AMC VTOL.2510 Equipment, systems and installation

# Analyse AMDEC différents éléments



→ Le danger est à son maximum quand ces pannes ont lieu en dessous de la hauteur mini d'ouverture du parachute.

## Défaillances Rotors/hélices

Rotors perdus	Poussée Restante (kg)
1	1251
2	1112
3	973 < MTOW
4	834

### 3 Rotors en panne

Poussée totale disponible : **975 Kg**  
 Vitesse de chute : 27,5 m/s  
 → **99 Km/h**

→ La vitesse de la chute est bien diminuée mais pas suffisamment pour ne pas déployer le parachute.

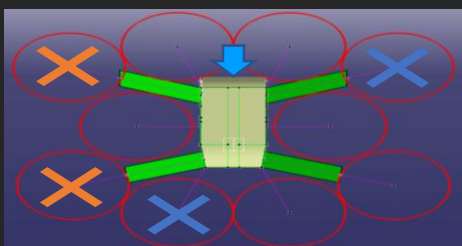
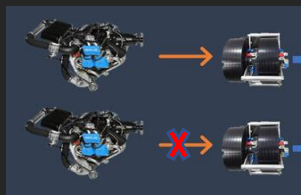
## Défaillances Rotax/Emraxe

Perte **2** rotax/emraxe : puissance et poussée verticale **nulle**.

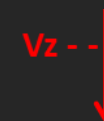
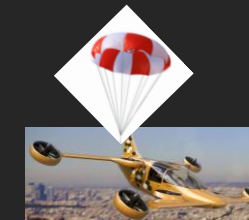
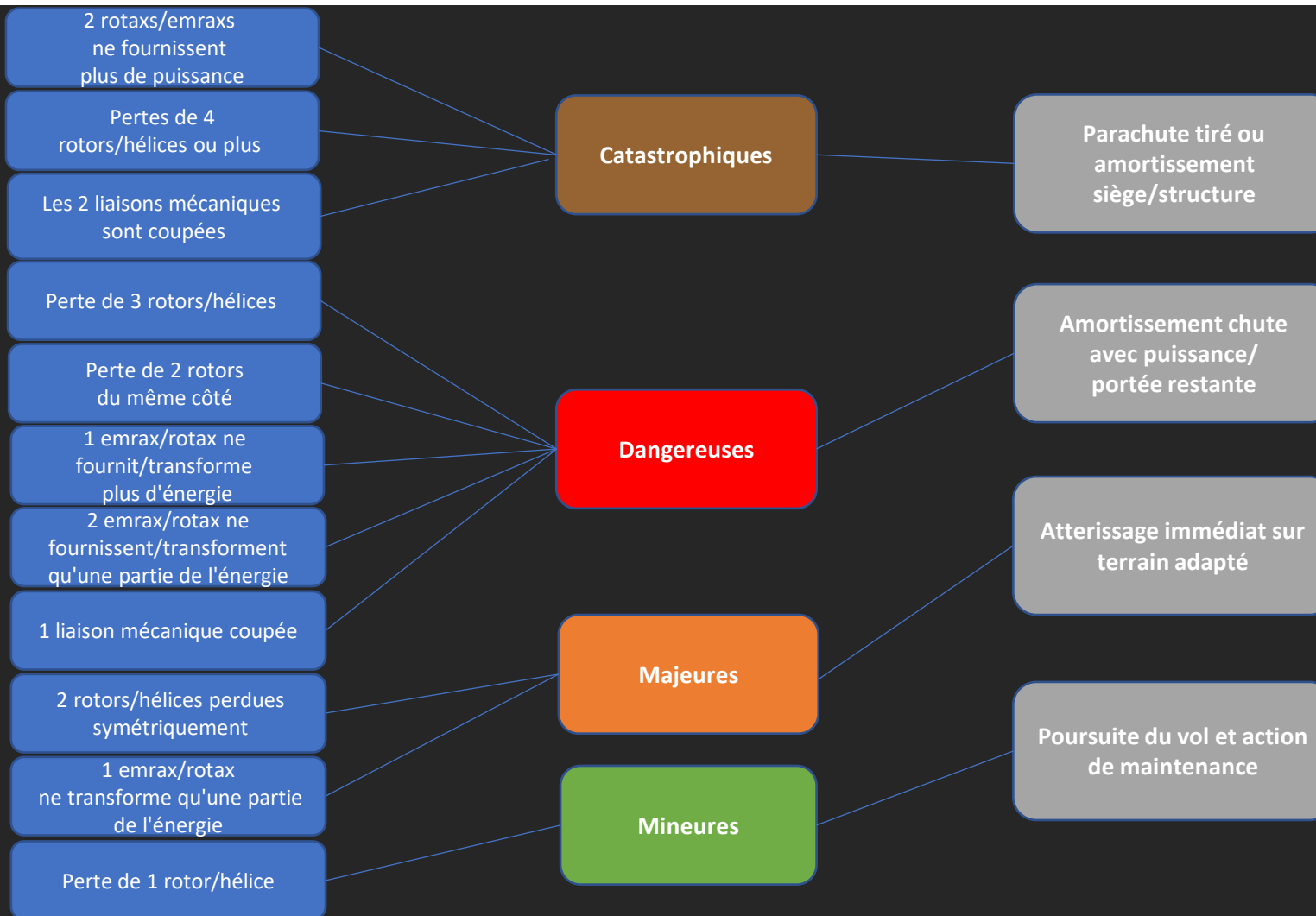
### 1 Rotax en panne

Poussée totale disponible : **876 Kg**  
 Vitesse de chute : 36,9 m/s  
 → **132 Km/h**

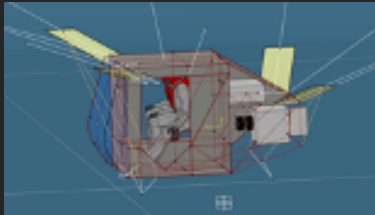
# Pannes et solutions



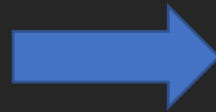
✗ Unilatérale    ✗ Symétrique



# Systemes anti-crash



Siège amorti  
Amortissement  
= 10m/s



Amortisseur de train: Piper PA 19  
Amortissement = 4 m/s

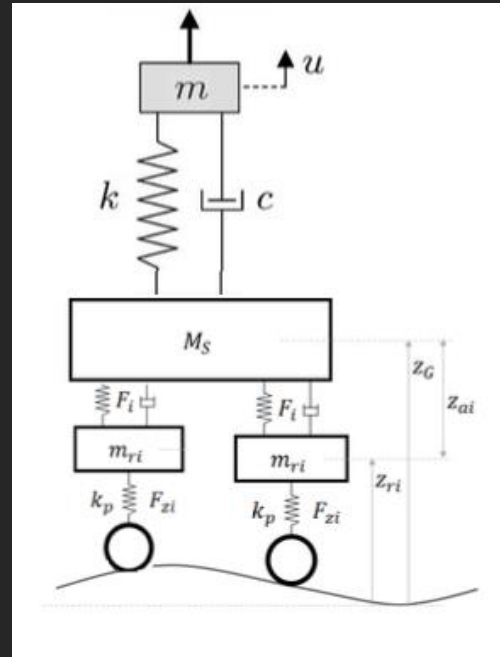


Schéma général du système



SPECIAL CONDITION  
Vertical Take-Off and Landing (VTOL)  
Aircraft

Doc. No: SC-VTOL-01  
Issue: 1  
Date: 2 July 2019

Les points de la CS VTOL à étudier :

- B – Flight
  - VTOL.2170
  - Operating limitations
  - Structural durability
  - Special factor of safety
  - Emergency condition

# Systemes anti-crash

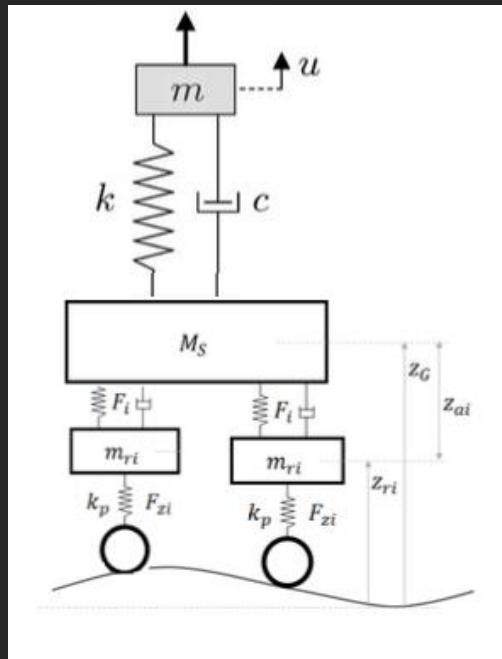
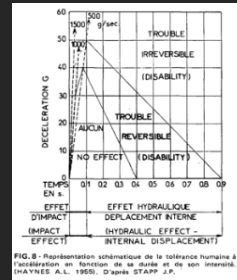


Schéma général du système




Décès: choc > 40G/s  
Soit un amortissement de 5 m/s

En isolant le pilote et en effectuant un bilan des forces

Poids du mini-Bee version R2H10A4	Altitude max crash
MTOW=1200kg	9m
A vide= 850KG+pilotes	14m

Poids du mini-Bee version R1H6A0	Altitude max crash
MTOW=780KG	12m
A vide= 620KG+pilote	17m

 European Union Aviation Safety Agency	<b>SPECIAL CONDITION</b> <b>Vertical Take-Off and Landing (VTOL)</b> <b>Aircraft</b>	Doc. No: SC-VTOL-01 Issue: 1 Date: 2 July 2019

Les points de la CS VTOL à étudier :

- B – Flight
  - VTOL.2170
  - Operating limitations
  - Structural durability
  - Special factor of safety
  - Emergency condition









# Certification du cockpit

## Etude de certification préliminaire de l'ENSAM

 European Union Aviation Safety Agency	<b>SPECIAL CONDITION</b> <b>Vertical Take-Off and Landing (VTOL)</b> <b>Aircraft</b>	Doc. No: SC-VTOL-01 Issue: 1 Date: 2 July 2019

- Listing des éléments essentiels au pilotage
- VFR jour/ Nuit et IFR
- Etude de marché

- F – System and equipment
  - VTOL.2570
  - System, equipment and installation
  - The equipment and systems identified in SC VTOL.2500, considered separately and in relation to other systems, must be designed and installed
- B – Flight
  - VTOL.2145
  - Flight controllability
    - The aircraft must be controllable and maneuverable, without requiring exceptional piloting skills,

Dispositif de secours de mesure de l'assiette	 <b>Produit</b> TruTrak Gemini PFD Disponibilité:  Habituel Code: PFD <b>Quantité</b> 1   <b>Prix à l'unité</b> € 1 168,20 <b>Prix HT</b> € 1 168,20					0 €	1	1	2 400 €	1	1	2 400 €	1 200 €		
Vitesse de l'air indiquée supplémentaire	Compris dans l'horizon de secours					0 €	1	1	0 €	1	1	0 €			
Vitesse ascensionnelle supplémentaire	Compris dans l'horizon de secours					0 €	1	1	0 €	1	1	0 €			
Radar météo	A priori non indispensable					0 €			0 €				0 €		
Interphone	 <b>Produit</b> Flightcom 403 Disponibilité:  Habituel Code: 101-0243-10 <b>Quantité</b> 1   <b>Prix à l'unité</b> € 266,60 <b>Prix HT</b> € 266,60	1	0	0		270 €	1	0	0	270 €	1	0	0	270 €	270 €

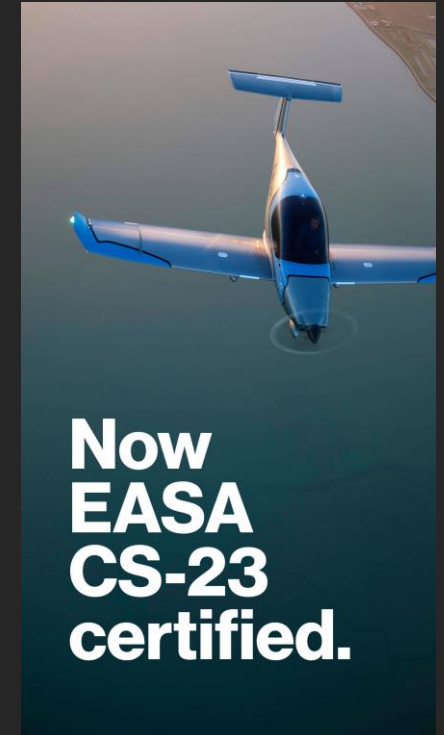
# Le futur de la certification

## Processus de certification :

### 4 étapes de certification :

- Familiarisation technique et base de certification
- Établissement d'un programme de certification
- Démonstration de conformité : tests de structure / fatigue, essais en vol, phase de 5 ans maximum
- Clôture technique et délivrance du certificat de type

→ Processus long qui nécessite une grande maturité du projet



Elixir Aircraft certifié en CS-23  
Durée du processus : 3 ans

# Introspection de l'équipe

## Sur nous-même:

- Notre expérience en certification s'est grandement enrichie
- Limite de nos capacités en la matière
- Difficultés à évaluer le travail nécessaire en début de projet

## Sur le projet:

- Points très régulier avec notre tuteur pour rediriger le projet et donner les axes d'avancement
- Une update mensuelle résumant l'avancement du projet pour chaque équipe y travaillant



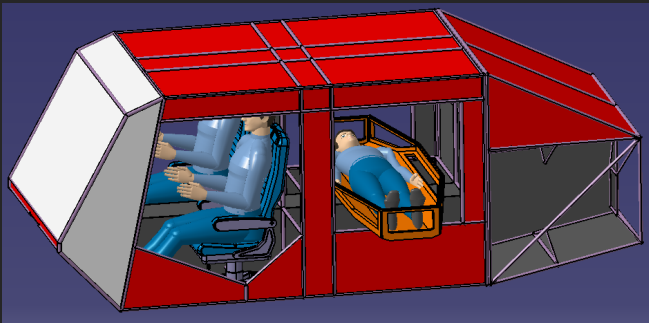
# Conclusion générale

- Découverte d'un projet innovant
- Travailler avec d'autres écoles/ entreprises
- Mise en place d'outils pour ce projet
- Découverte du monde des VTOL
- Initiation à la certification d'un projet
- Retour d'expérience



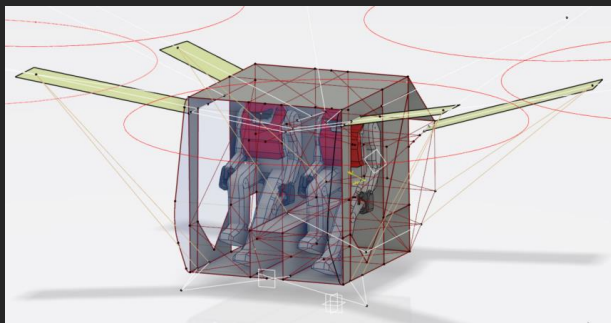
# Conclusion

## Résumé :



R2H10A4P3 certifiable en:

- SC-VTOL



R1H6A0P2 certifiable en:

- SC-VTOL
- potentiellement ULM

## À poursuivre:

- Prise de contact avec responsable certification à la DGAC pour validation et point de vue expert
- Allègement structure du module R1H6A0P2
  - Passage en ULM
- Questionnement autour de l'électronique de bord essentiel pour le R1
  - Gain de poids
- Vérification des critères de certifications au cours de l'avancement du projet