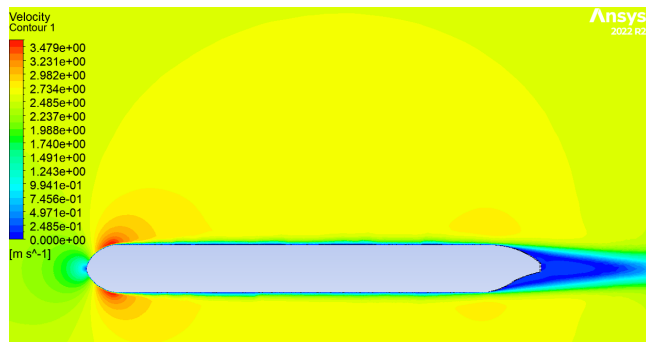


Etude Aérodynamique Bee-Plane

Projet Aéronautique – 3A – ESTACA Bordeaux

Weisse Nicolas – Thomas Mattis – Giampietri Mathis

Hermet Martin – Brachet Quentin – Dudon Siléas

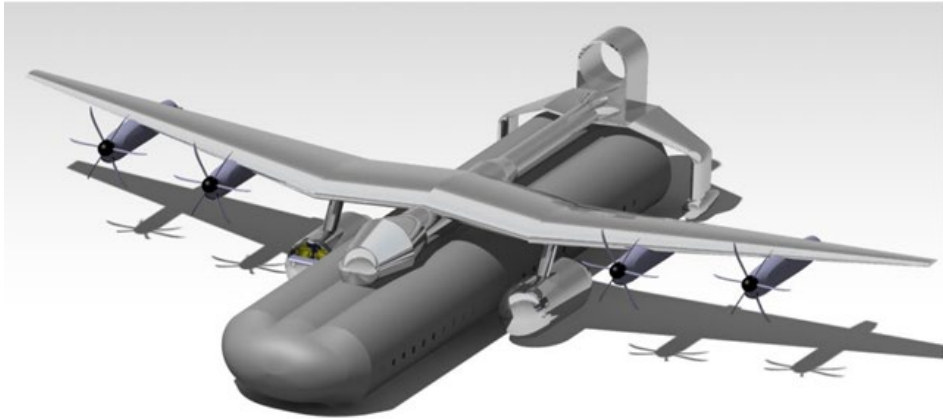


TECHNOPLANE
COLLABORATIVE INNOVATION

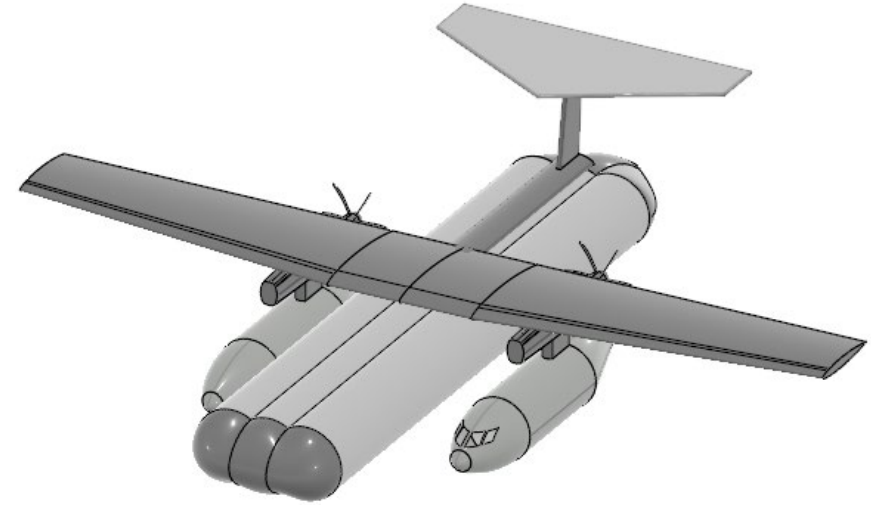




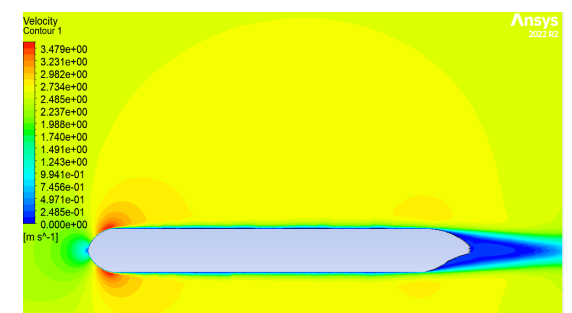
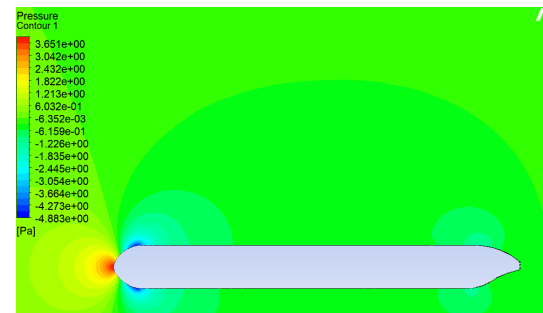
Bee-Plane



Avant



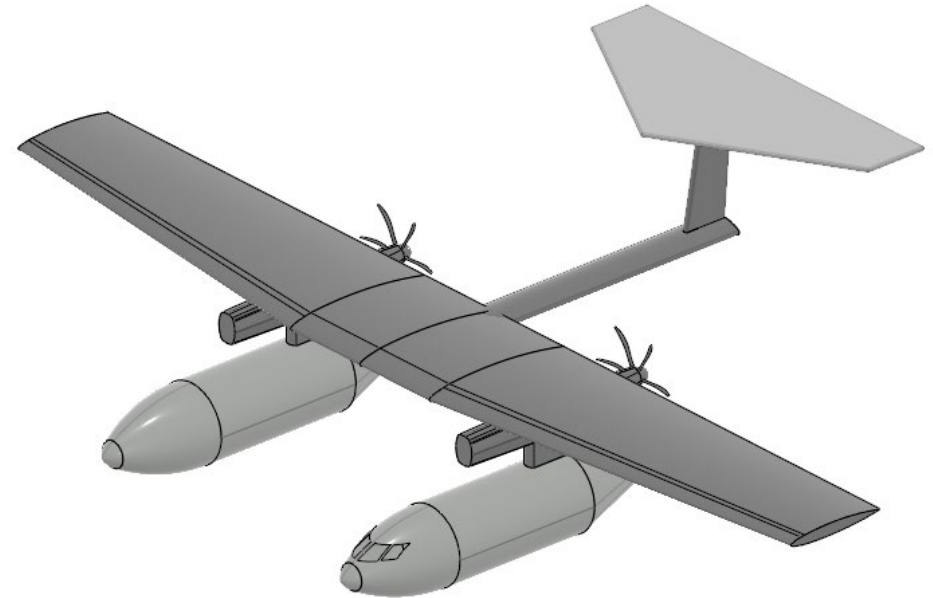
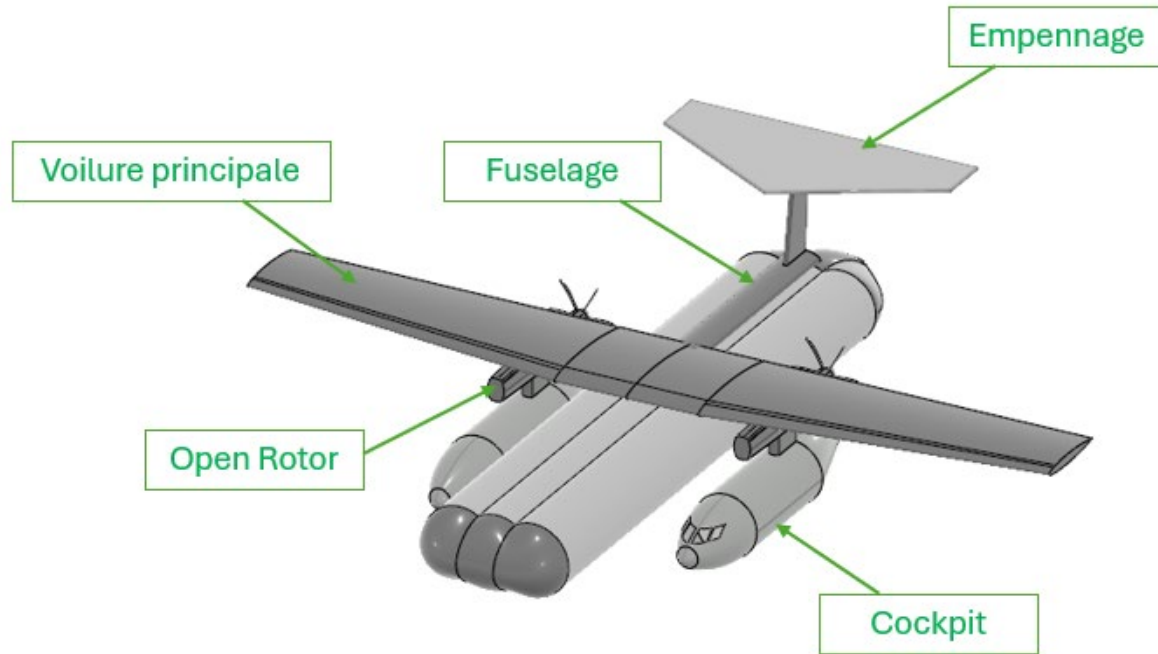
Après



Evolution du Bee-Plane au cours de cette année



Bee-Plane



Avion à fuselage détachable



Inspiration XC-120 Fairchild



Premier vol : 1950

- Fairchild XC-120
- Empennage Bipoutre
 - Train Quadricycle
 - Conteneur Interchangeable



Base de C-119
Puissance insuffisante
Pas rentable



Projet collaboratif



1^{ère} Année – Synthèse de projet et BP

2^{ème} Année – Motorisation , Aérodynamique,
Aménagement de la **version passager**

Site de Bordeaux

Groupe 1: Aérodynamisme et moteurs

Groupe 2: Structure

Groupe 3: Communication



License lesser Open Source



- L'objectif est de **favoriser** le travail collectif et **l'innovation collaborative**
- Le **coordinateur** a le pouvoir d'approuver les tâches et de garantir que le projet avance selon les principes établis.

Lesser Open Bee License

Agreement version 1.3

This is the second released version of the Lesser Open Bee License.

Copyright 2013 Technoplane SAS, Xavier Dutertre.

Everyone is permitted to copy and distribute copies of this license document, but changing it is not allowed. Anyone using the Lesser Open Bee License should reference their project, coordinator and publication means on www.bee-license.com.

This Lesser Open Bee Agreement ("Agreement") defines the rights of use, reproduction, distribution, modification and redistribution of any technical works or any physical products originally developed within Subject Project. Anyone who contributes, uses, reproduces, distributes, modifies or redistributes subjected works, related documentation or related physical products, as defined herein, or any part thereof, is, by that action, accepting, in full, responsibilities and obligations contained in this Agreement.

www.beelicense.com

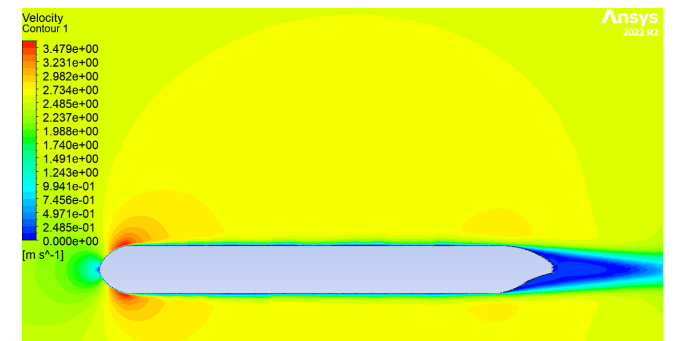
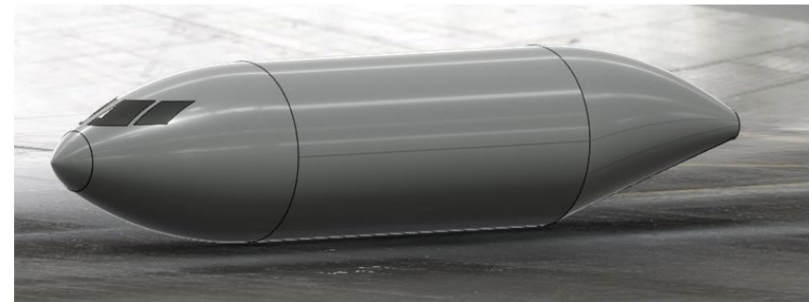
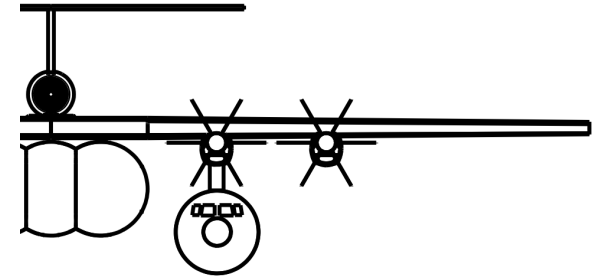
<https://bp03.collaborativebee.com>



Objectifs

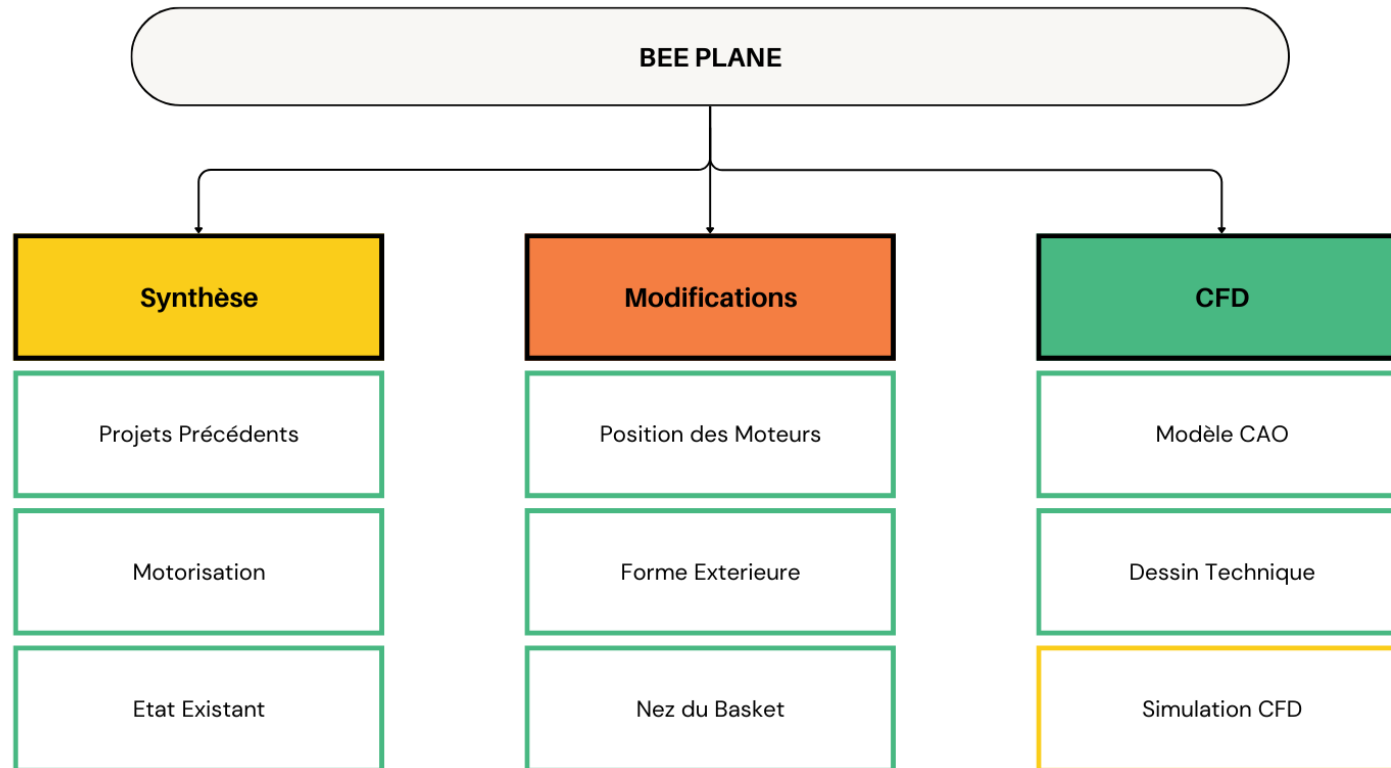


- Etablir une **synthèse** du projet collaboratif au niveau de l'**aérodynamisme et motorisation** de l'appareil
 - Calculs sur l'hybridation turbopropulsion/turbofan
- Prendre en compte les **dernières modifications**
 - sur le train principal et le système d'accrochage
 - Forme des bulbes (cockpit/APU)
- Calculer et **optimiser les formes aérodynamiques (CFD)** de la structure porteuse et du fuselage détachable
 - Voir la forme de l'hélice pour le vol de croisière
 - Vol à vide / vol avec basket (Nez du Basket)








Work Breakdown Structure

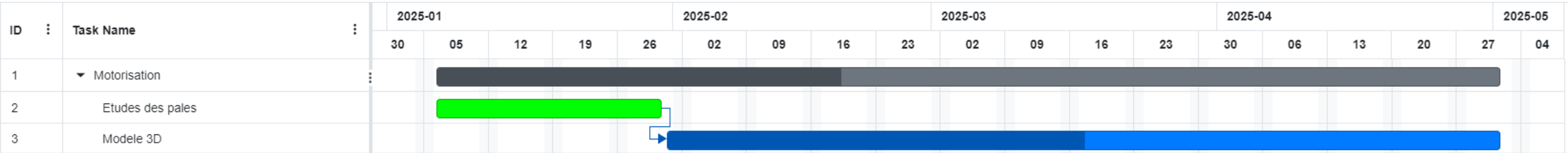


Légende :

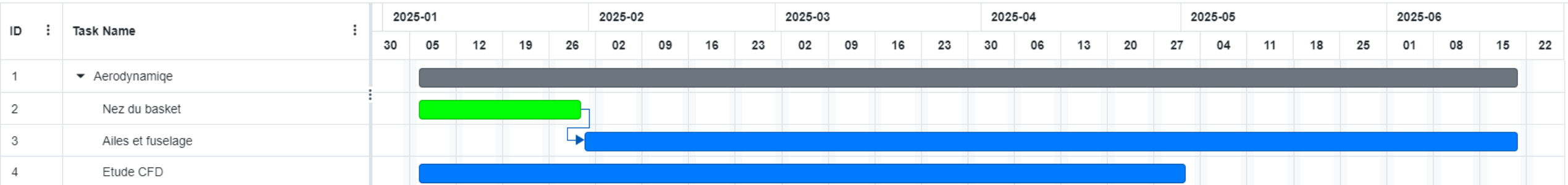
-  Tâche réalisée
-  Tâche en cours
-  Tâche non réalisée



Planning



Powered by: onlinegantt.com



Powered by: onlinegantt.com



Equipe



Chef de Projet



Weisse Nicolas

Pôle Motorisation

Pôle Aérodynamique



Hermet Martin

*Planches
Ethique/Ecologique*



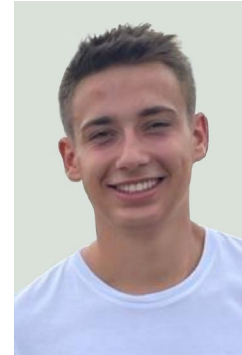
Dudon Siléas

Calcul pentes



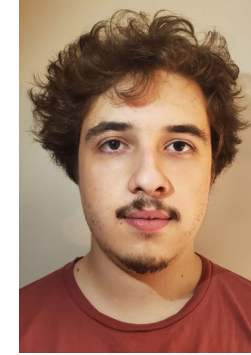
Weisse Nicolas

CFD/Etude des moteurs



Thomas Mattis

Centrage/Synthèse



Brachet Quentin

Dessin 2D



Giampietri Mathis

Modélisation 3D



Cas d'utilisation

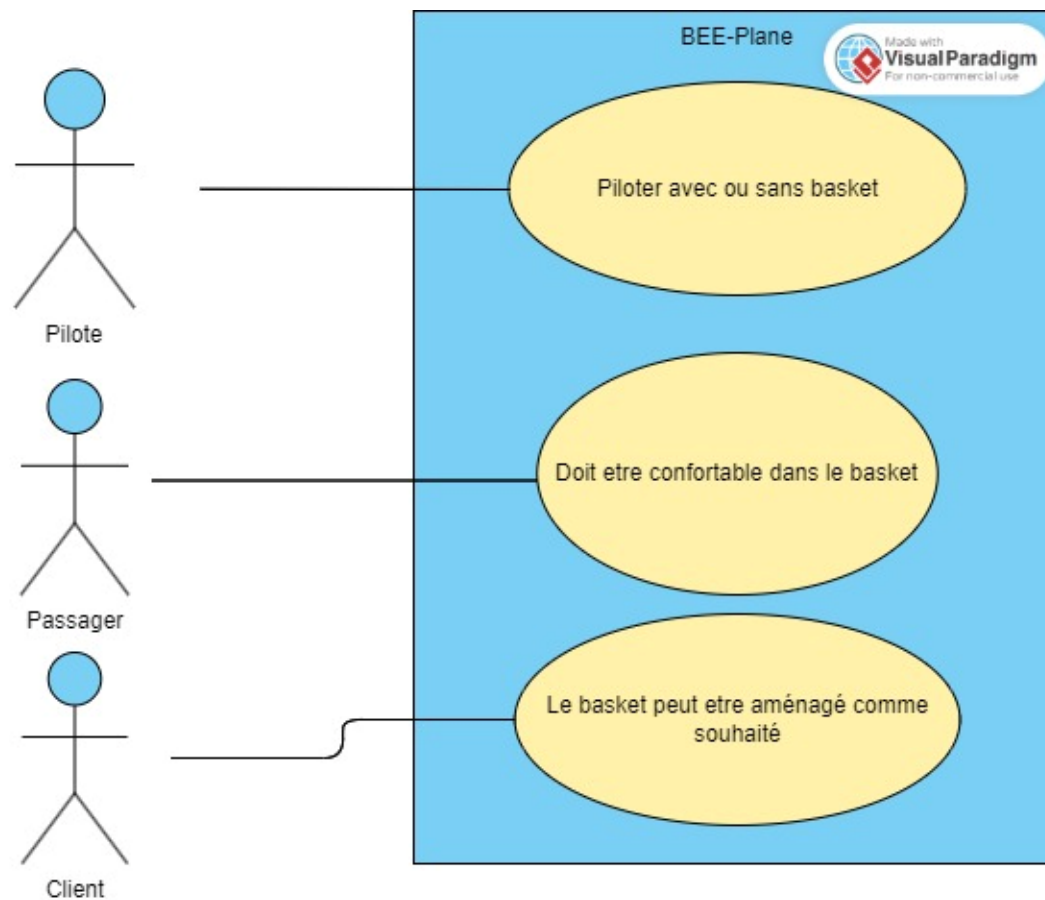




Diagramme d'exigence - Vol

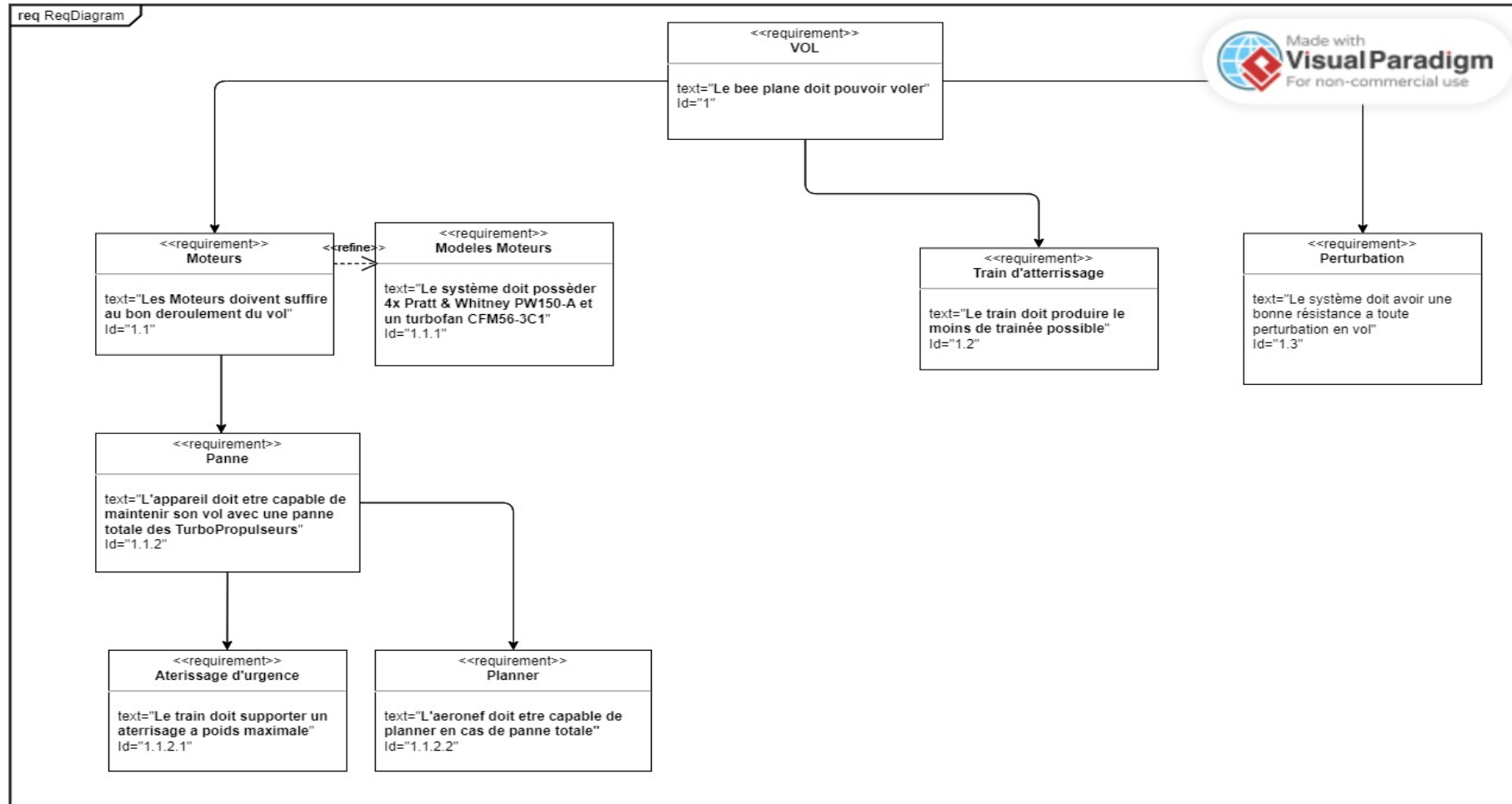
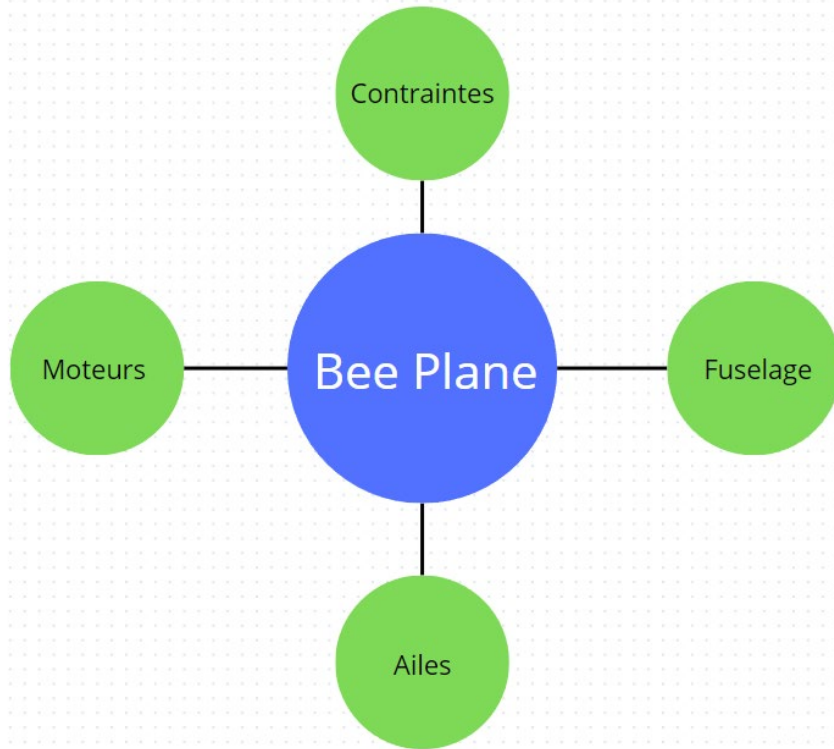




Diagramme de Pieuvre



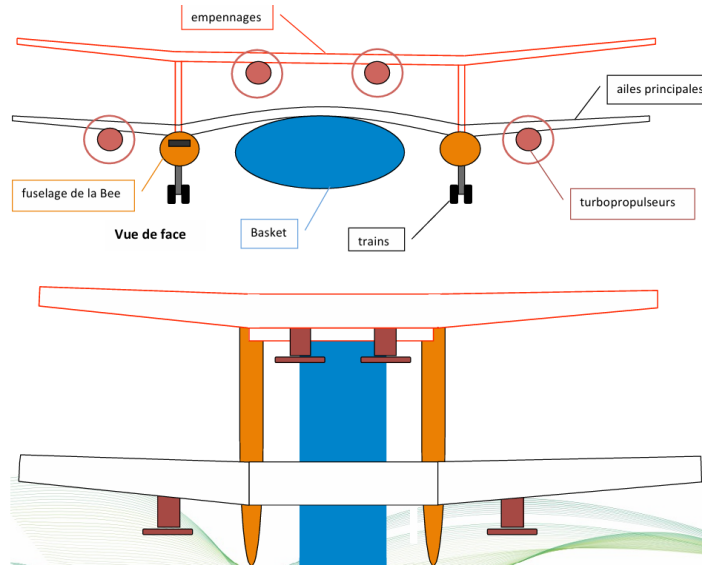
Éléments	Fonction de Service (FS)	Fonction de Contrainte (FC)
Moteurs	FS1 : Assurer la propulsion	FC1 : Réduire les moments de flexion
Fuselage	FS2 : Flexibilité de modules détachables	FC2 : Intégrité structurelle
Ailes	FS3 : Générer la portance	FC3 : Ergonomie
Contraintes	FS4 : Aérodynamique	FC4 : Résistance a la météorologie



Synthèse des projets existants



Vision historique



2012

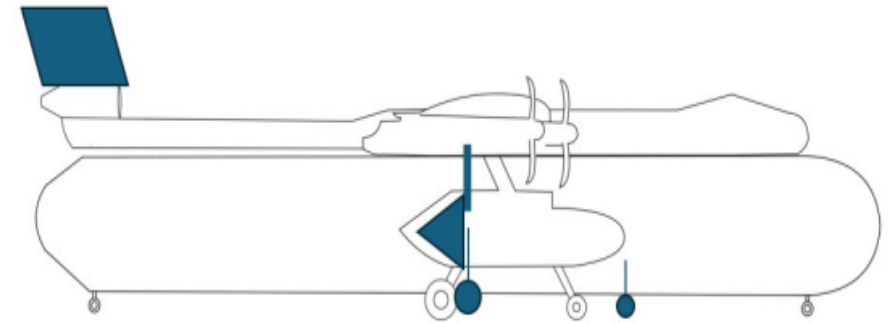
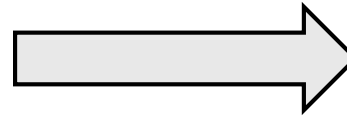
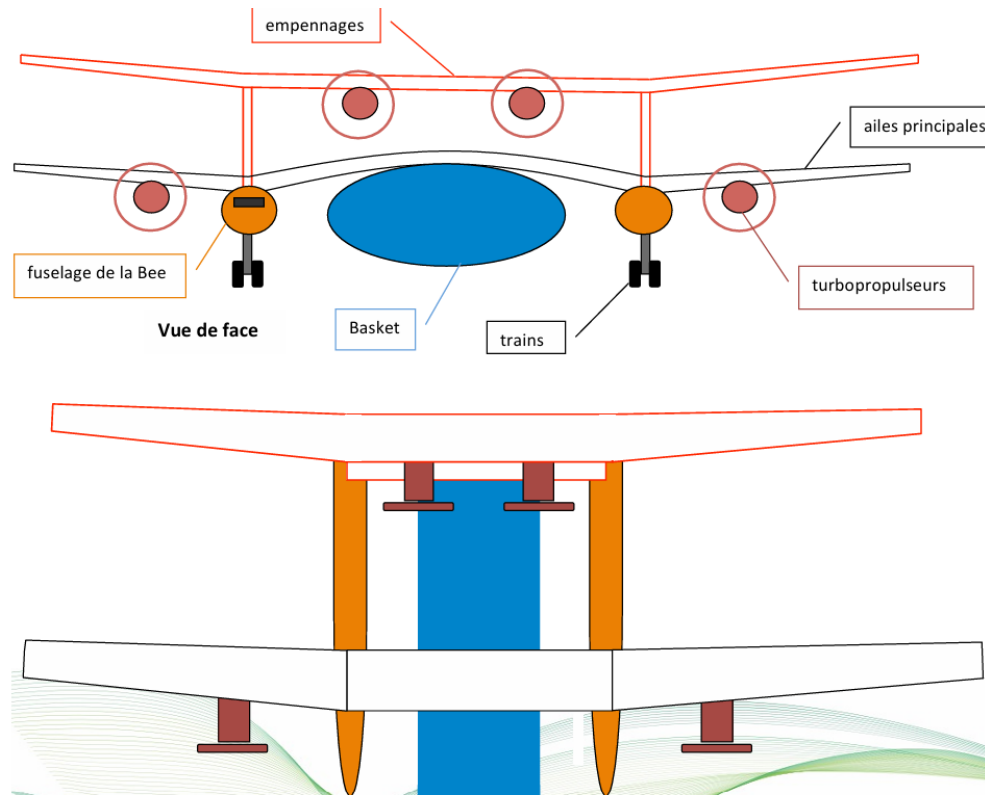


FIGURE 9 – Schématisation de la configuration retenue (profil)

2024



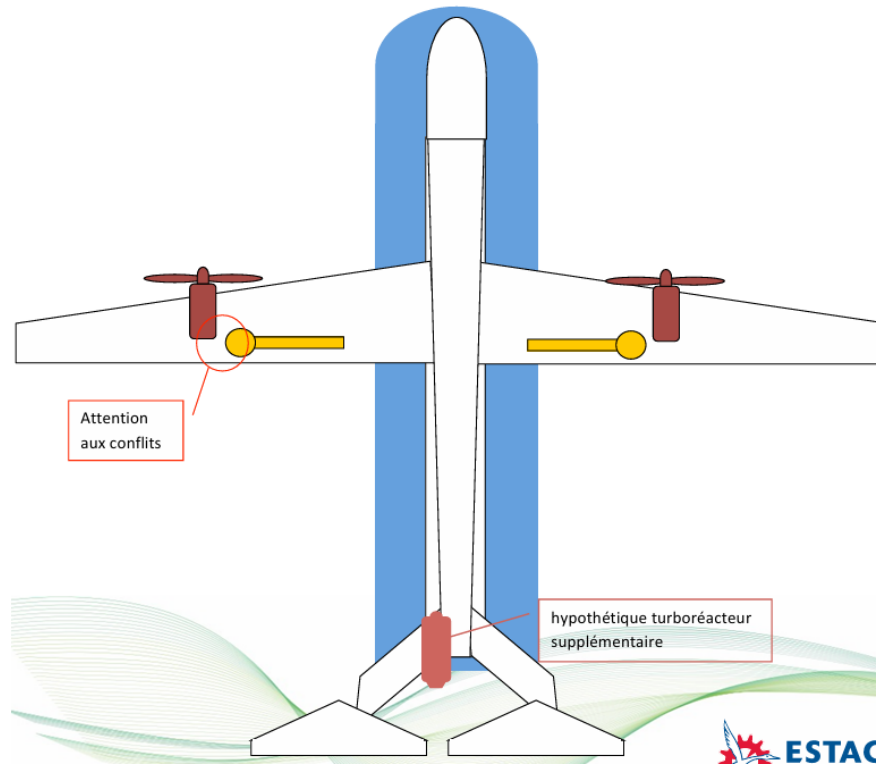
2012-2013



- **Surface frontale**, impacte la traînée liée au double fuselage



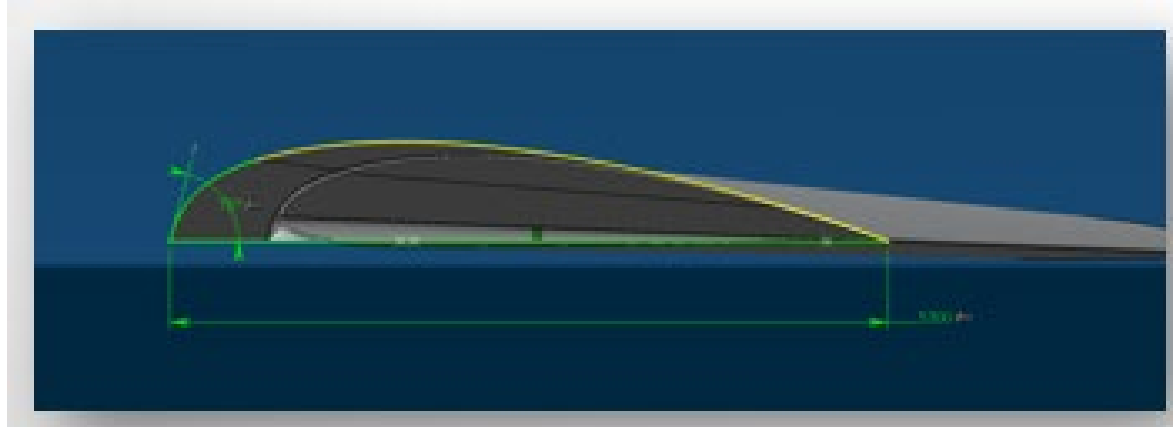
2012-2013



- Configuration du basket : 18 rangées de sièges
- Stockage des valises à l'avant et à l'arrière
- Basket de 25m de long
- Cockpit au milieu
- 2 TP400 + 1 turbofan



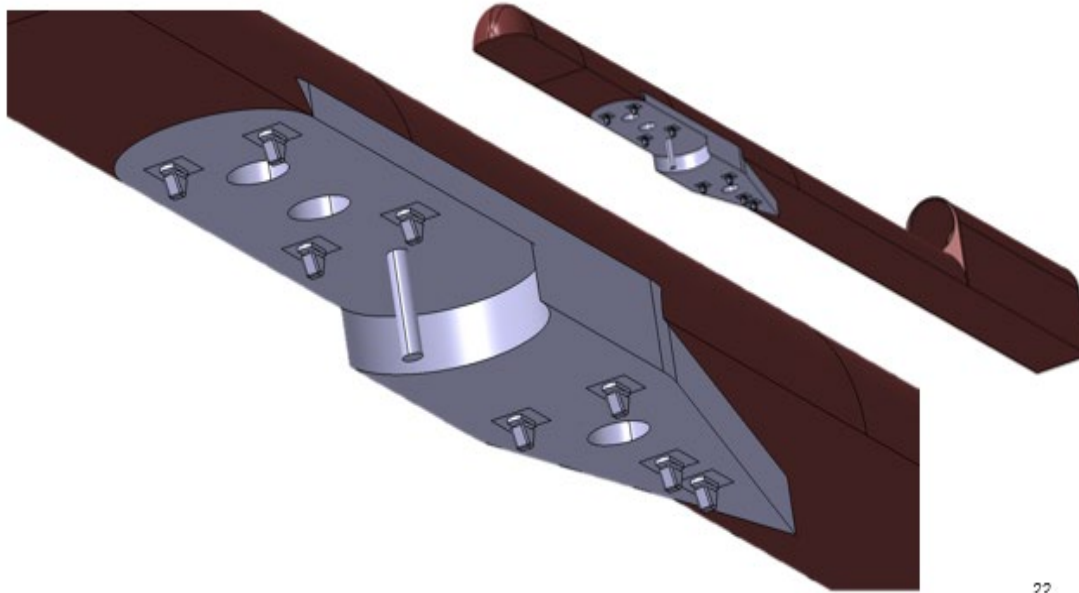
2013-2014



- **2 empennages verticaux distants** de 2.44m pour permettre une meilleure implantation du turbofan
- Moteurs **sur les ailes** et le turbofan arrière **sur le fuselage**
- **2 trains** sur les ailes et **2 sur les empennages**



2017-2018



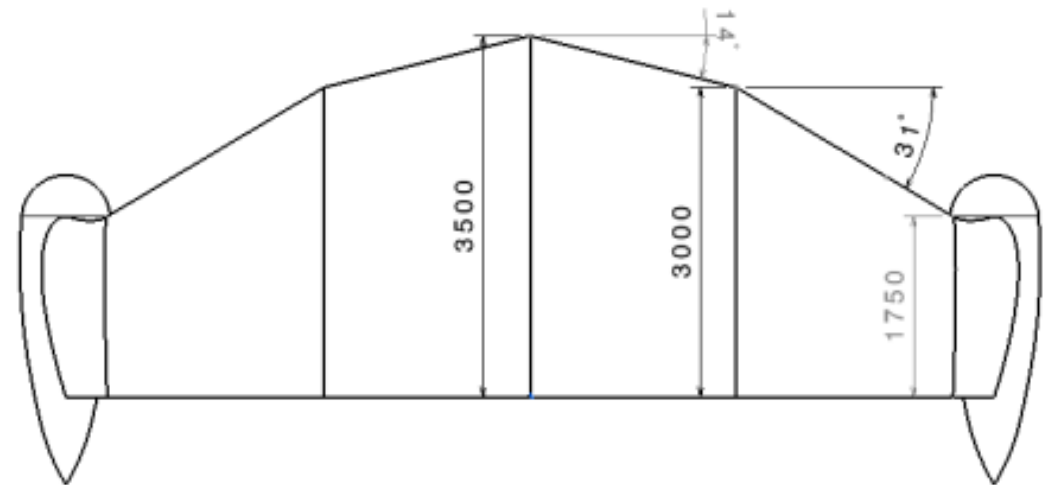
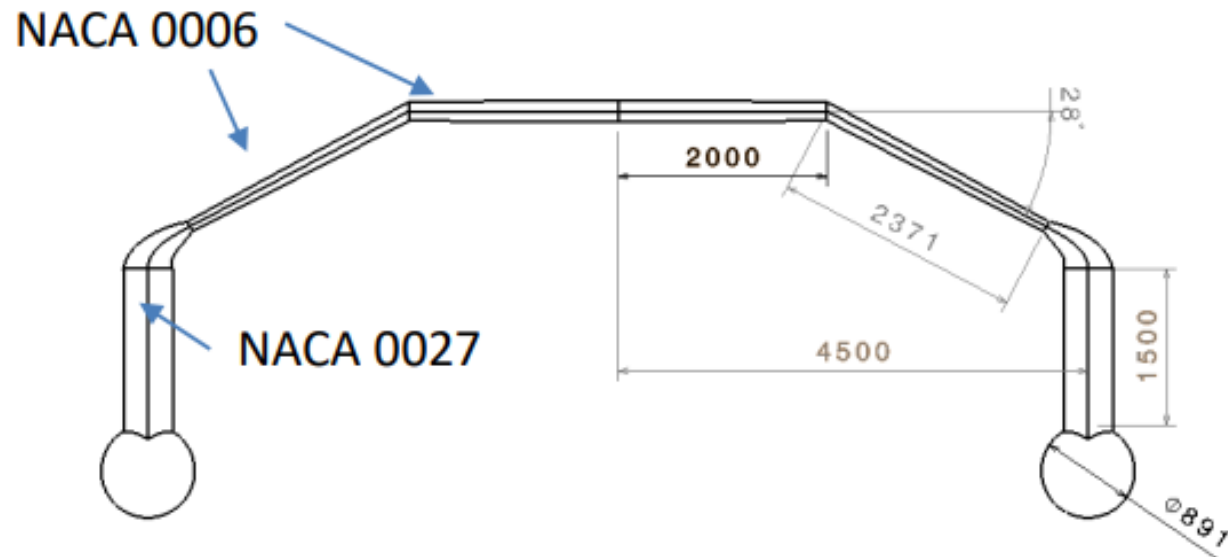
- Amélioration du système de fixation du basket
- **Twist lock**



2021-2022



Changement du type d'empennage

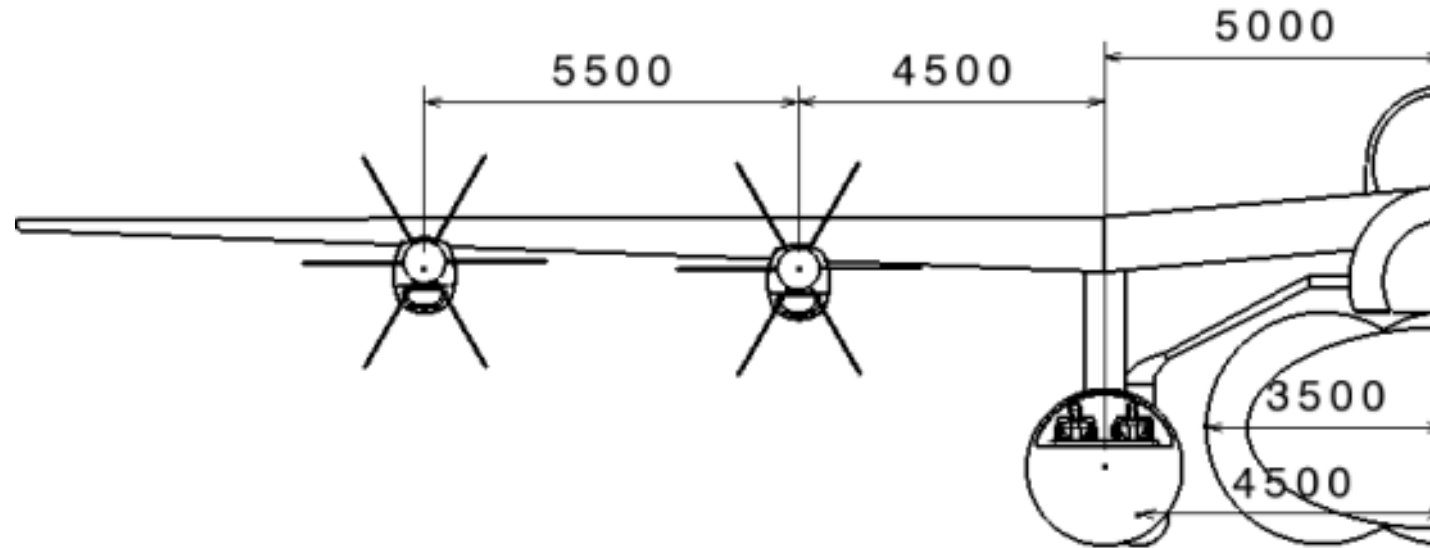




2021-2022



Changement du cockpit

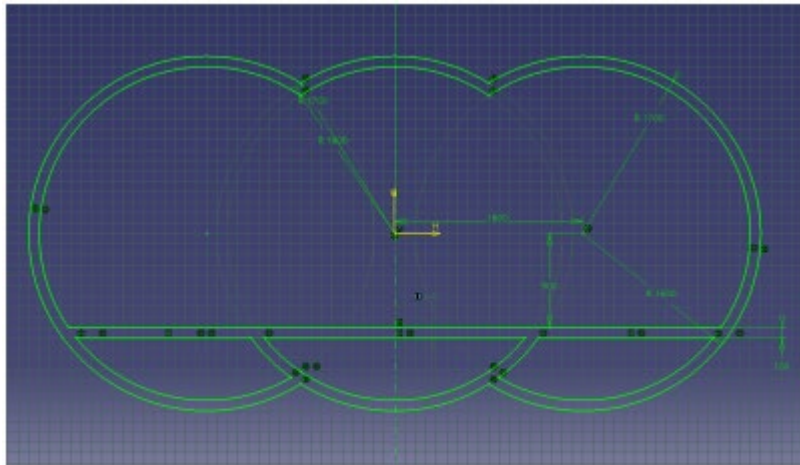




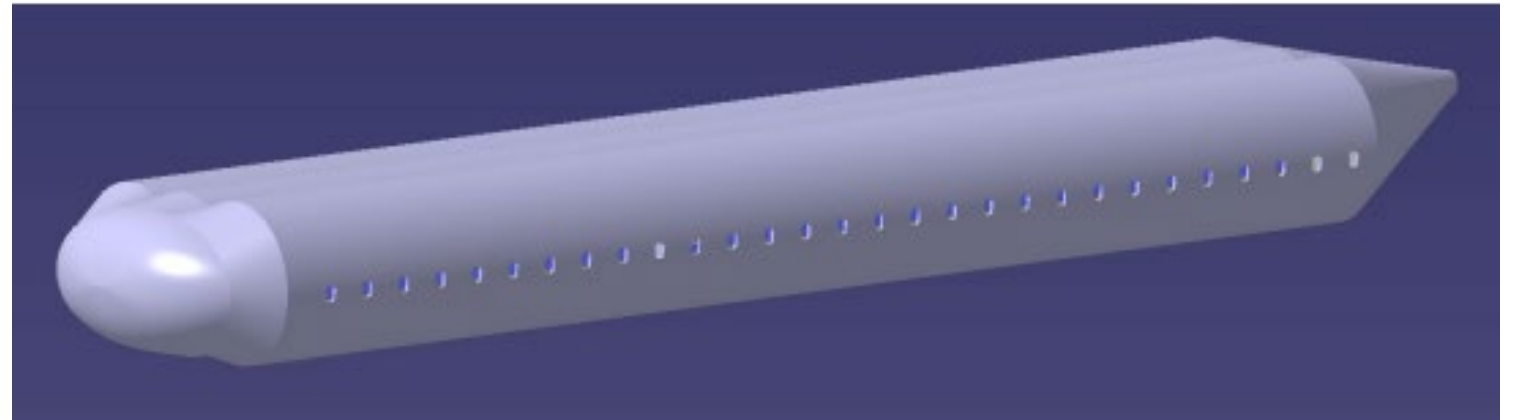
2021-2022



Dimensionnement du Basket



Esquisse corps principal -
Estaca 2022

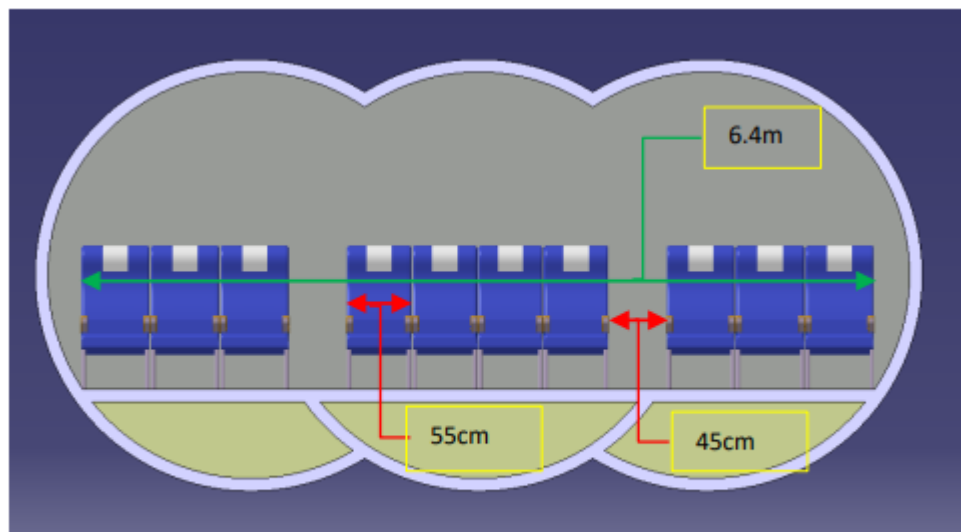




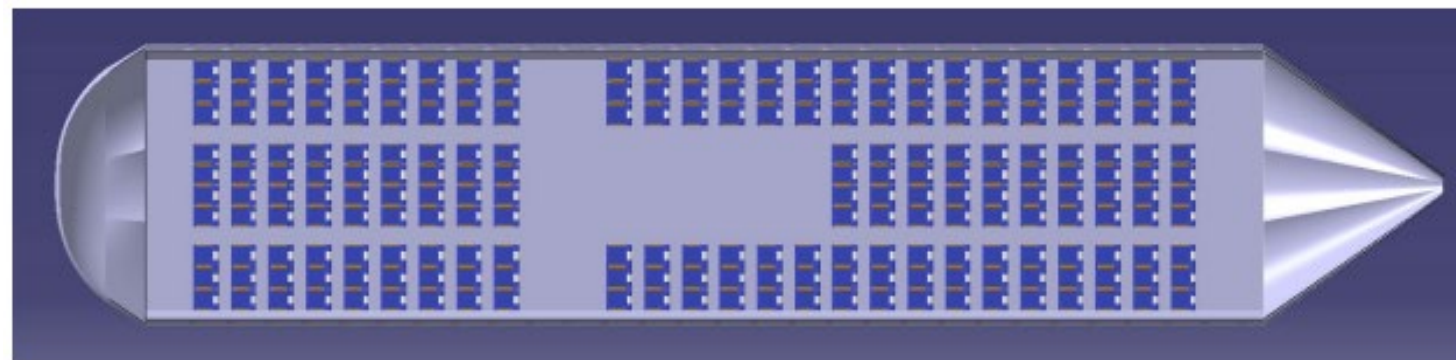
2021-2022



Aménagement du Basket



Disposition de la cabine de face
- Estaca 2022



Disposition de la cabine vue de dessus (226 places)
- Estaca 2022



2023-2024

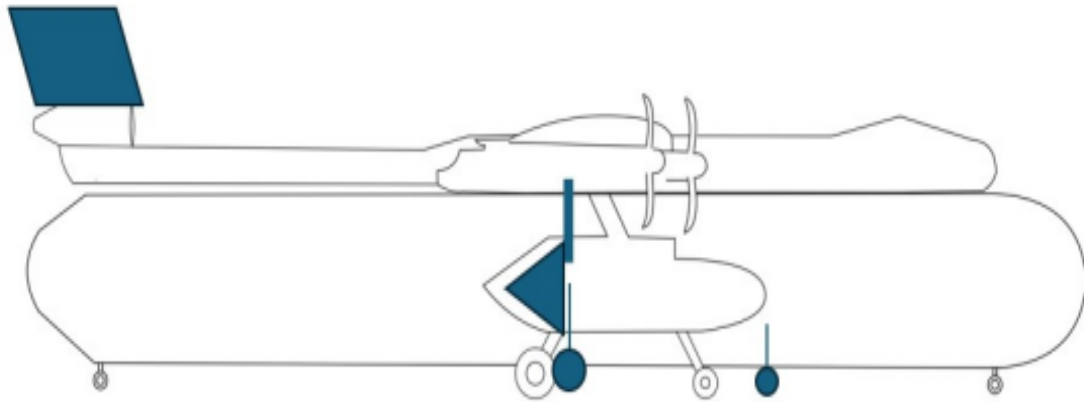


FIGURE 9 – Schématisation de la configuration retenue (profil)

Solution Retenue

- empennage en T
- train quadricycle sur les côtés
- Twist-Locks (système retenu)



Solutions Ethiques



Problèmes actuels :

- Transporter des hôpitaux dans les zones de conflit difficile d'accès.
- Transporter les infrastructures/équipements médicaux/nourritures

➔ Le BeePlane répond à cette demande





Solutions Environnementales



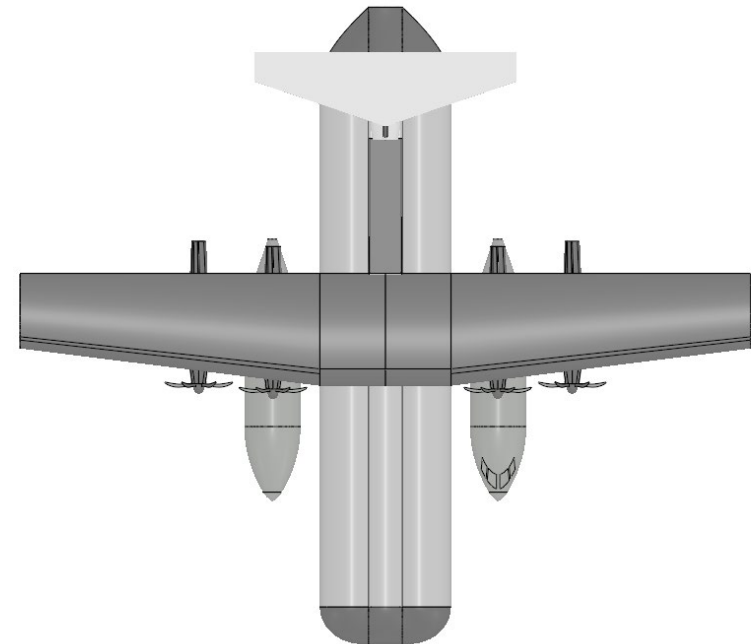
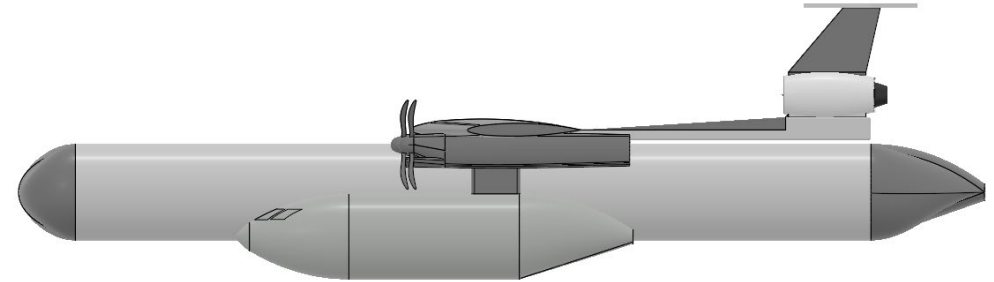
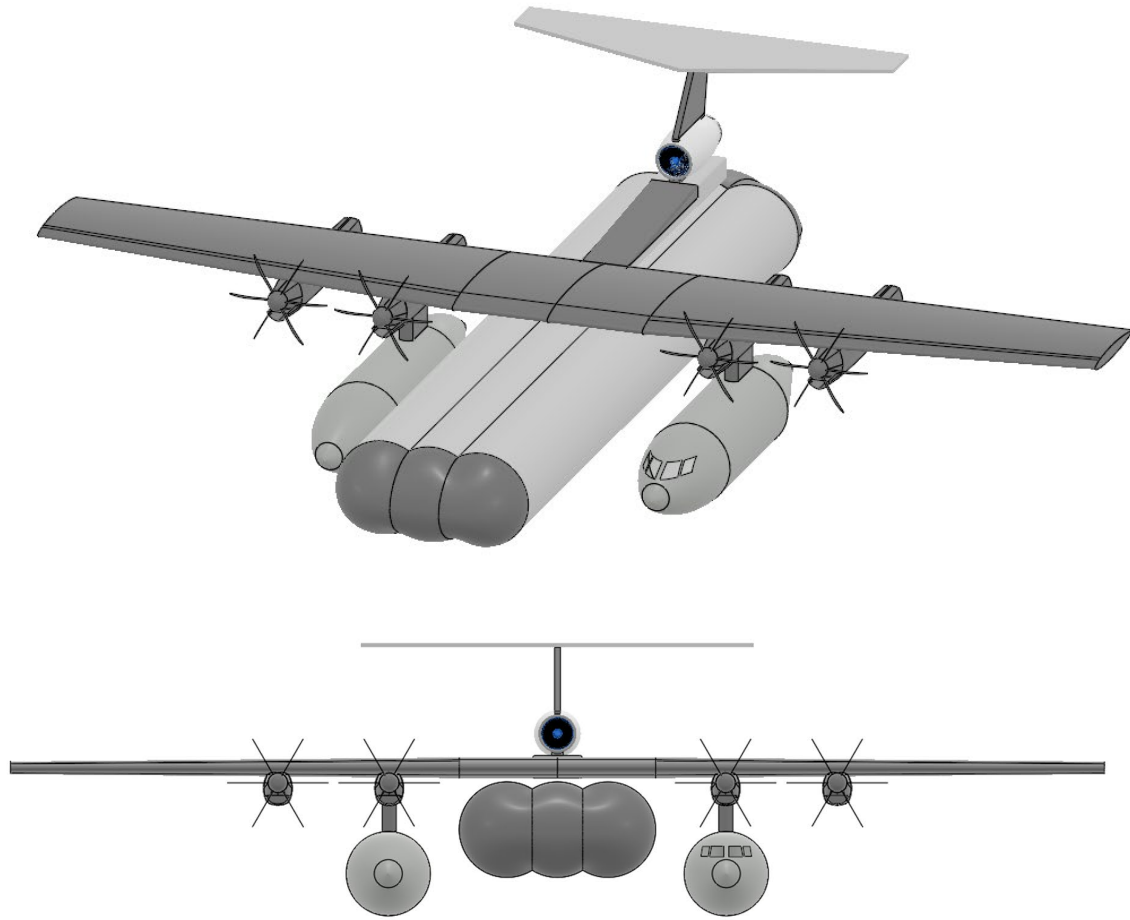
Problèmes actuels :

- L'impact écologique lors de la construction d'un avion dû au choix de certain matériaux
 - ➔ Le basket du BeePlane peut être entièrement construit en matériaux composite
- L'acheminement des passagers d'un avion classique entraine une consommation d'électricité importante (utilisation des GPU de l'aéroport durant le temps d'attente)
 - ➔ Le basket facilite un acheminement beaucoup plus rapide ce qui réduit considérablement le temps.





Modèle Etudié

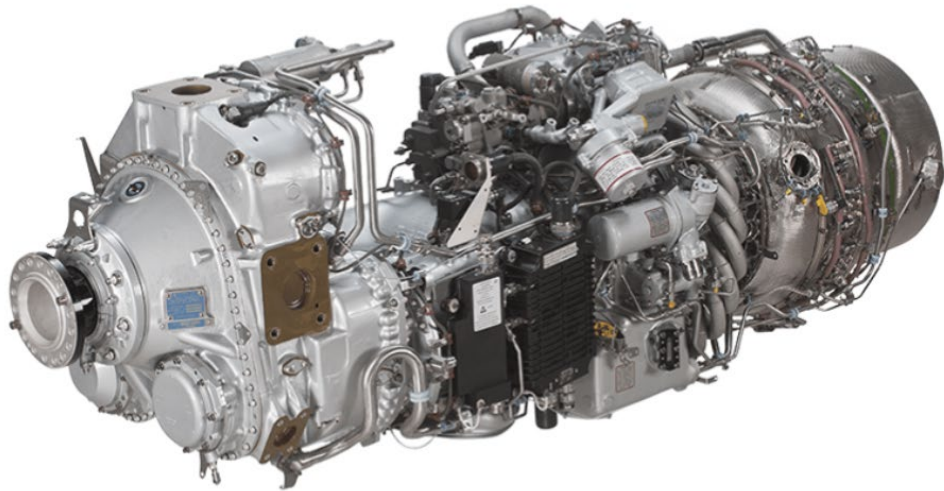




Synthèse de la motorisation



4x Pratt-Whitney 150A



Puissance (shp)	5071
Longueur (m)	2,42
Largeur (m)	0,77
Hauteur (m)	1,1
Poids (kg)	718
Poussée (kN)	48,41



1x CFM56-3C1



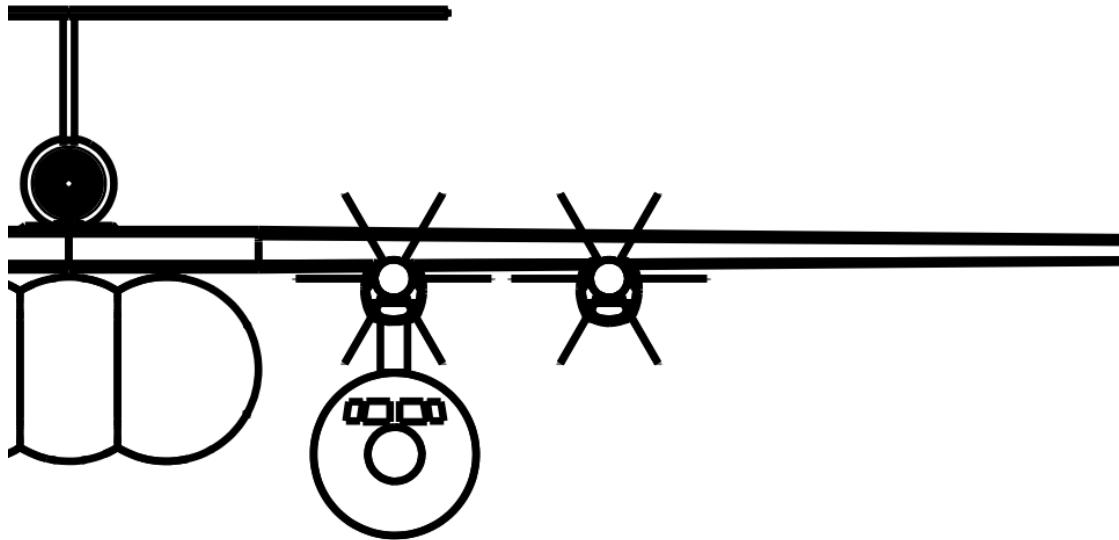
Longueur (m)	2,36
Largeur (m)	1,61
Hauteur (m)	1,69
Poids (kg)	1966
Poussée en continue (kN)	97,19
Poussée au décollage (kN)	104,60



Position des moteurs



Positionnement Moteurs



La résistance des matériaux, impose de placer les moteurs le plus proche de la base de l'aile.

Cependant les dimensions des hélices imposent de garder une légère marge de sécurité entre les moteurs, le basket et les cockpits.

Ce placement des moteurs respecte ces deux conditions.



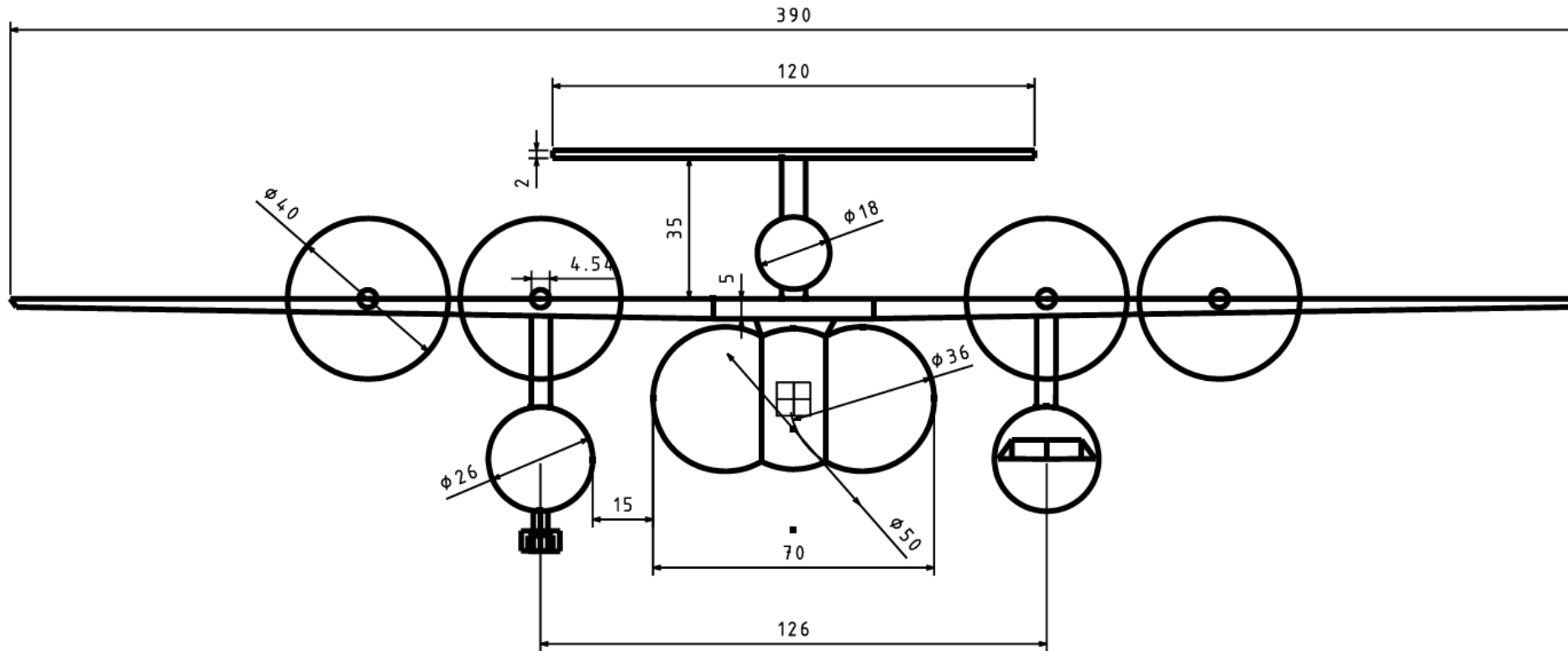
Données Bee-Plane



- Longueur de la Bee : 27 m
- Longueur du Basket : 33 m
- Longueur Bee + Basket : 35 m
- Largeur maximale extérieure (Basket) : 7 m
- Corde à l'implanture : 6 m
- Corde au saumon : 2 m
- Envergure : 38,4 m
- Envergure empennage horizontal : 14,52 m
- Aile : NACA 4415
- MTOW : 100 tonnes
- Surface de référence : 178 m²



Choix initial retenu



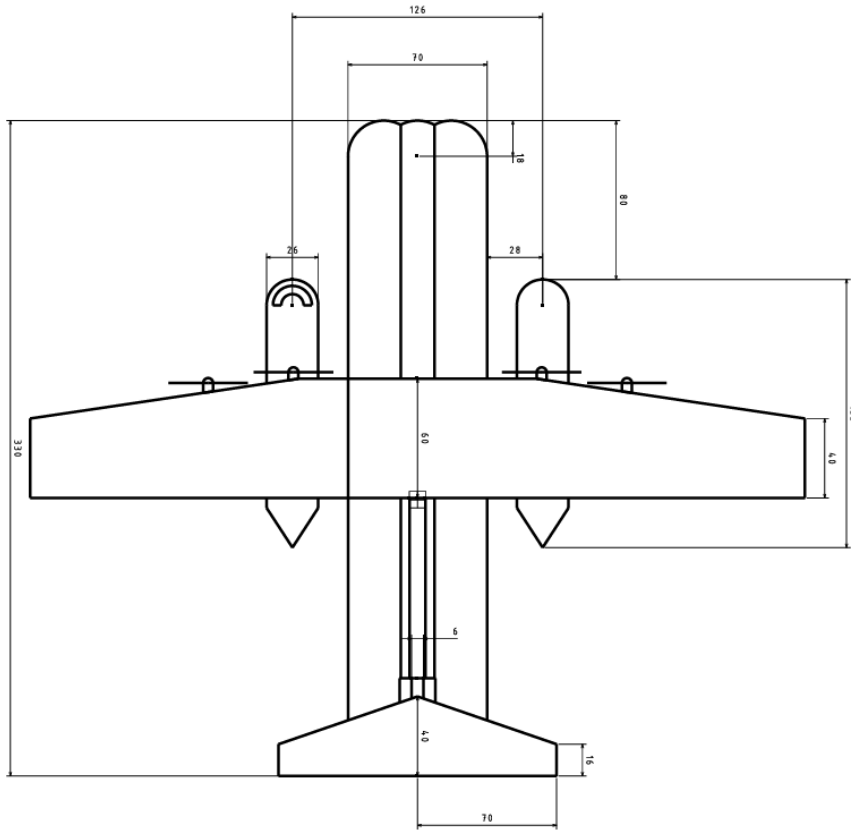
Vue de face

L'architecture actuelle est l'évolution des architectures précédentes.

Voilure haute, ailes droites, empennage en T, espace entre les bulbes pour accueillir les baskets.



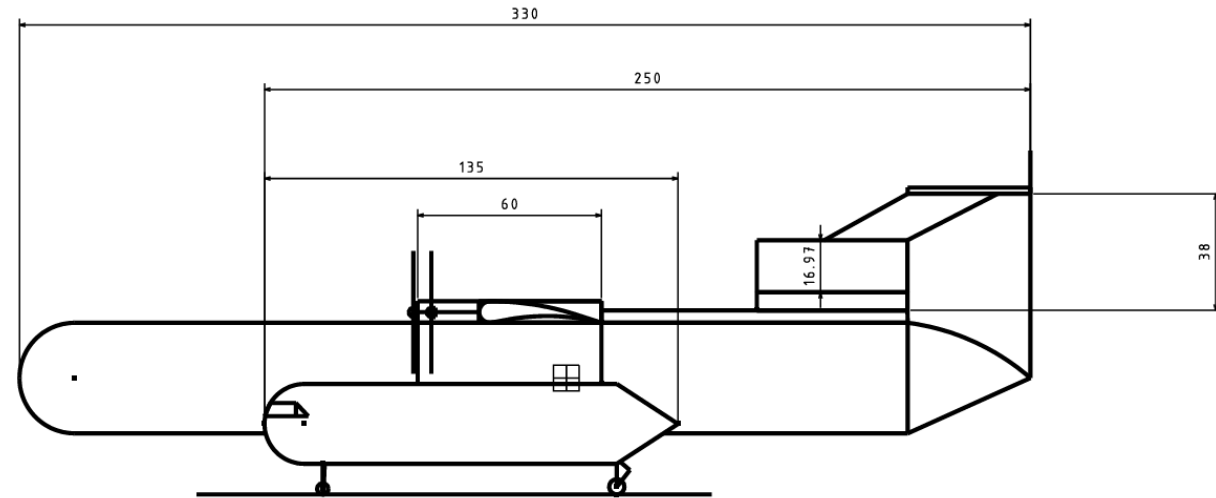
Choix initial retenu



Vue du dessus

4 PW150A sur les ailes
1 CFM56 sur l'empennage en T

Cockpits plus longs

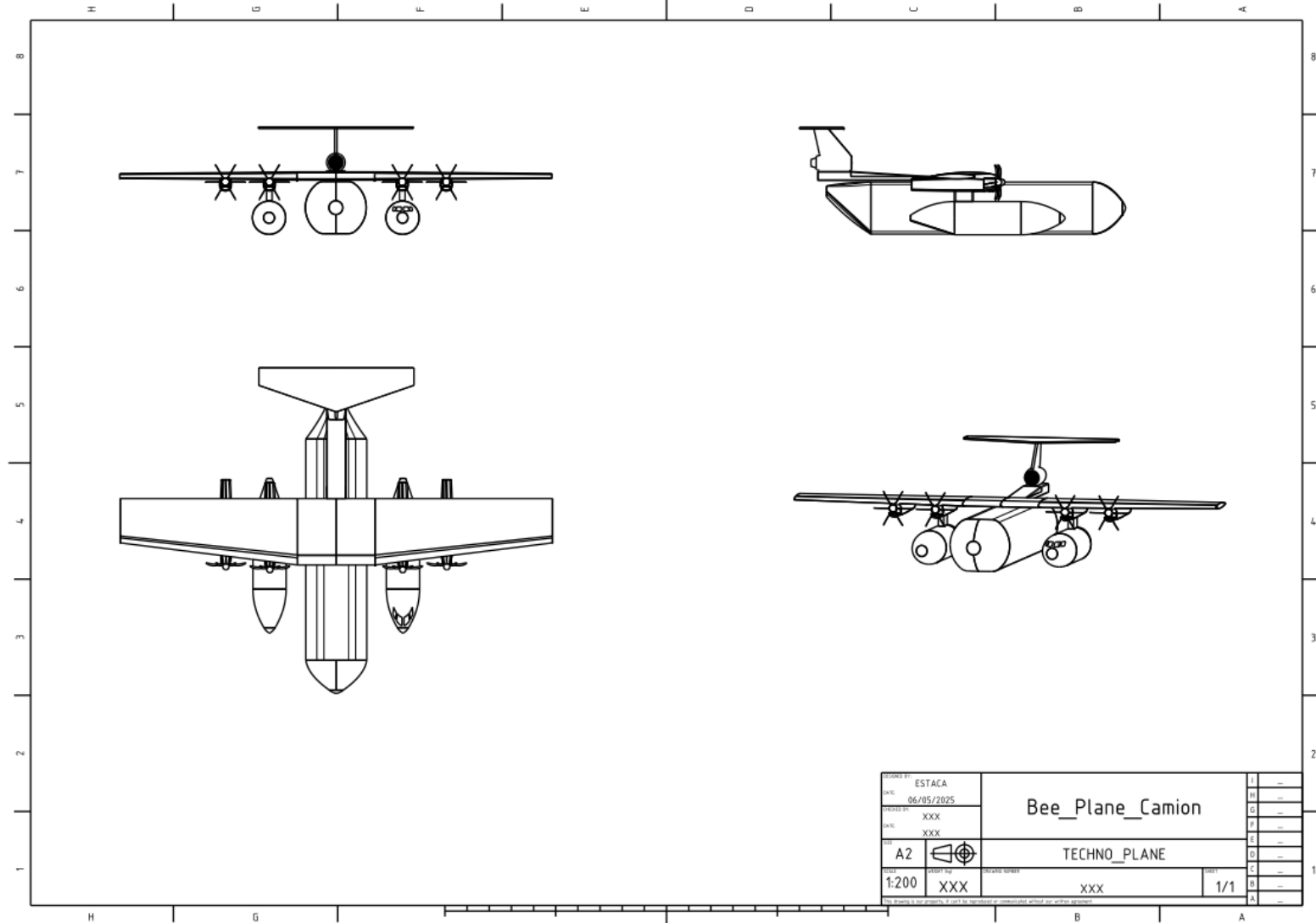


Vue du côté

Plus d'empennage en U à l'arrière mais un
empennage en T



Dessins finaux





Devis de Masse



Cas 1

	Weight (kg)	Arm (m)	Moment/100
Weight\Motors,payload	37462	17	6369
Fuel	35000	17	5950
Motors	4838	19	919
Train nez	450	9,3	41,85
Train arrière	2250	20,3	457

Personnel-Passagers			
Captain	76	8	6
PNC	228	2,5	5,7
Row 1 LH	1323	3,88	51,34
Row 2 LH	1323	5,76	76,21
Row 3 LH	1323	7,64	101,1
Row 4 LH	1323	9,52	125,96
Row 5 LH	1323	11,4	150,8
Row 6 LH	1323	13,28	175,7
Row 7 LH	1323	15,16	200,6
Row 8 LH	1323	17,06	225,7
Row 9 LH	1323	20,88	276,3
Row 1 RH	1323	22,76	301,2
Row 2 RH	1323	24,64	326,03
Row 3 RH	1323	25,52	337,7
Row 4 RH	1323	27,4	362,5
	17505		2723

Bagages et équipement			
Bagages et équipement	3700	14	518

Conclusion			
OEW	45000		7786
Takeoff Weight	101205		16977
Takeoff CG	16,78		
Aero Engine Core	16		
C Ref	0,4		
Marge statique	-1,94		

Passagers	Fret ou bagages	Fuel	Marge statique
100%	100%	100%	-1,94 %
100%	100%	0	-1,64 %
0	0	100%	-2,80 %
0	0	0	-3,03 %

Exemple : Cas 1 avec 100% des passagers, du fret/bagages et du fuel

On obtient des marges statiques négatives résultant d'un positionnement du foyer aérodynamique et du centre de gravité pas optimale.



Calcul poussée PW 150 A



D'après les données de Pratt & Whitney les moteurs ont une puissance mécanique de 5000 shp
: <https://www.prattwhitney.com/fr/products/regional-aviation-engines/pw100-150>

On la convertie en Watt : $5000 \times 74,7 = 3\,728\,500\text{ W}$

Puis on utilise la formule Poussée (N) = Puissance (W) / Vitesse (m/s)

En supposant $V = 60\text{ m/s}$ on a : **Poussée (1 PW-150A) = 62,1 kN**



Thrust to Weight Ratio



- Le rapport $\frac{L}{W}$ supérieur à 0,2 → Vol est maintenu
(d'après la EASA)



Cas de Panne Bee-plane



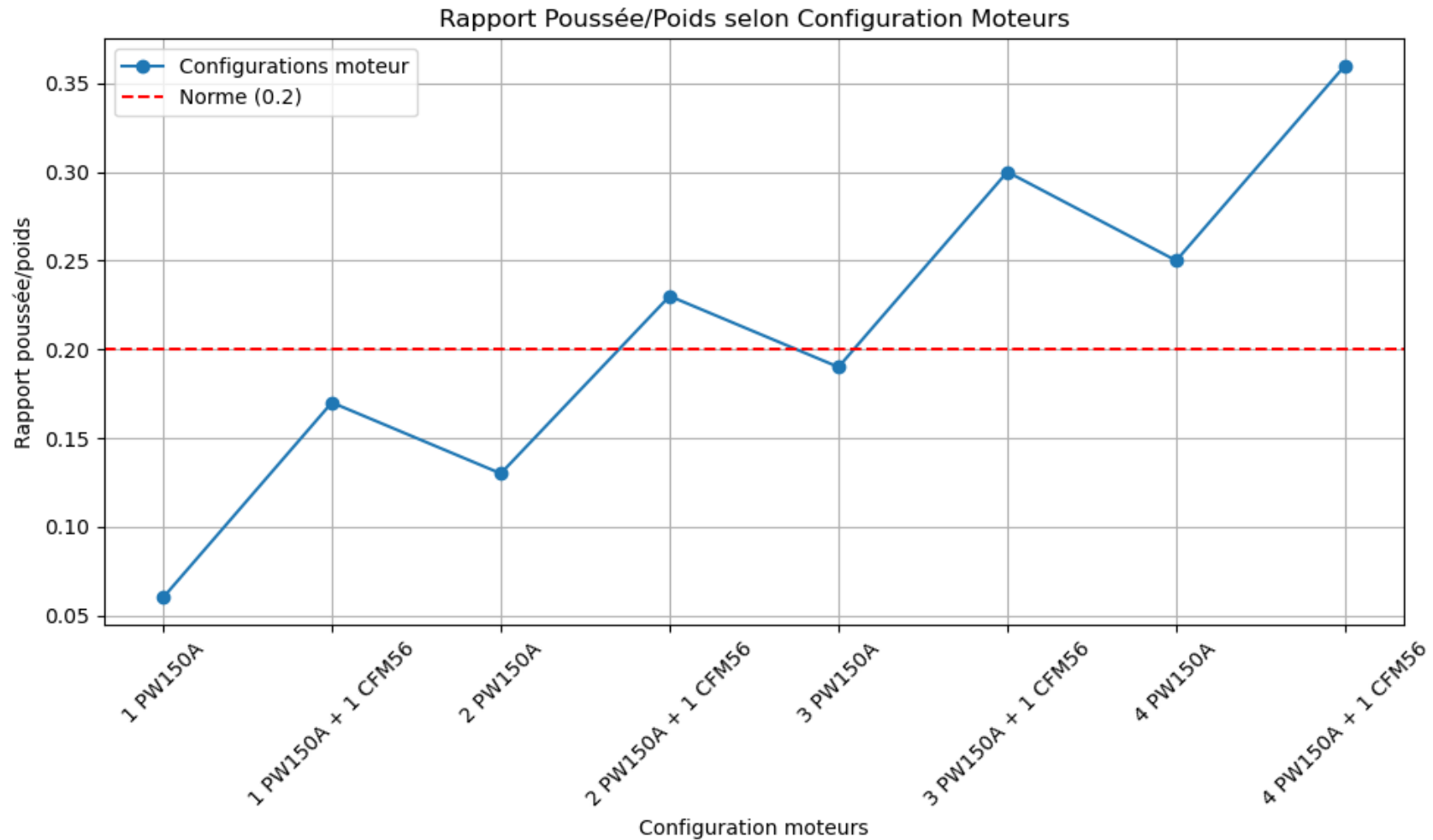
PW 150 A	CFM 56	Poussée (kN)	Poids (kN)	F/P	
1	1	166,7	981	0,17	
1	0	62,1	981	0,06	
2	1	228,8	981	0,23	
2	0	124,2	981	0,13	
3	0	186,3	981	0,19	
3	1	290,9	981	0,30	N-1
4	0	248,4	981	0,25	N-1
4	1	353	981	0,36	N

ne respecte pas la norme	Yellow
respecte la norme (ratio >= 0.2)	Green

➔ La force de poussée est satisfaisante car elle respecte la norme et cela même si le CFM 56 tombe en panne. (en prenant une vitesse de décollage de 60 m/s)



Cas de Panne Beeplane





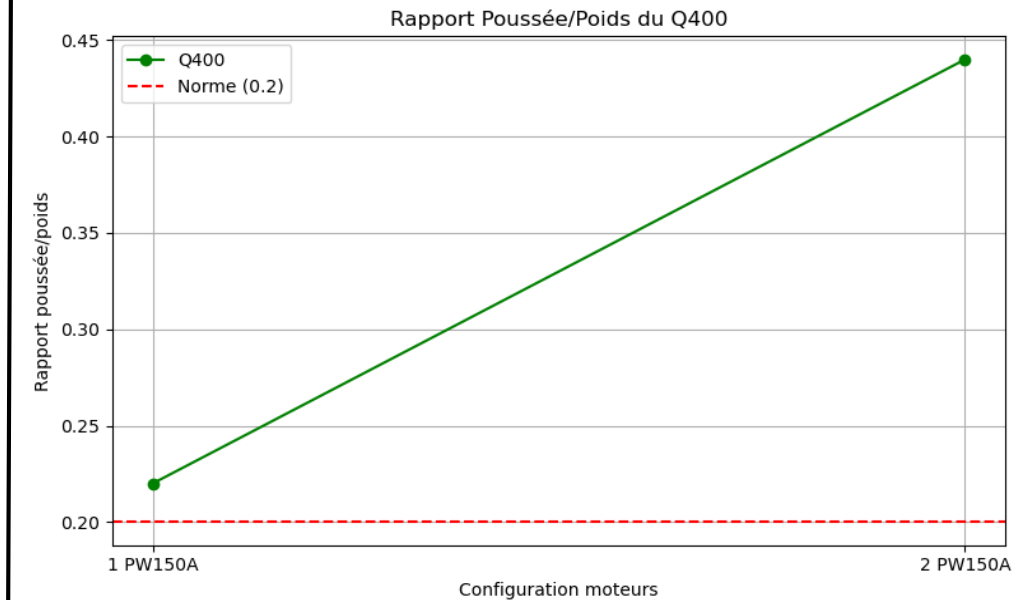
Cas de Panne Q 400



- Hypothèse : masse Q 400 = 29 tonnes
- Poussée PW-150A = 62,1 kN

PW 150 A		Poussée (kN)	Poids (kN)	F/P
	1	62,1	284,49	0,22
	2	124,2	284,49	0,44

ne respecte pas la norme	Orange
respecte la norme (ratio \geq 0.2)	Green



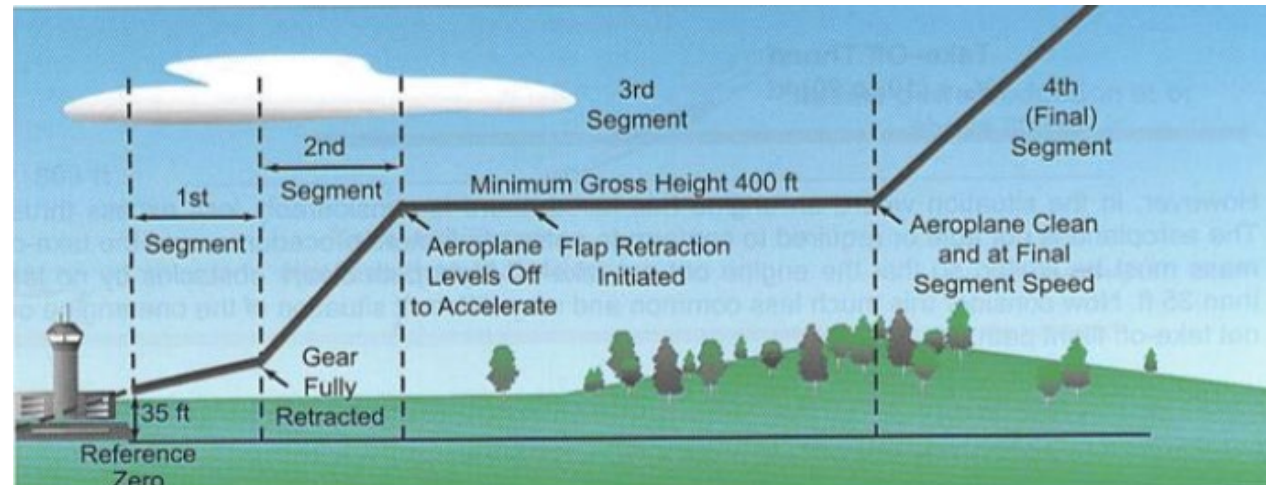
➔ La force de poussée est satisfaisante car elle respecte la norme et cela même en cas de panne moteur



Calcul du coefficient d'homothétie



- Avion de classe A – décomposition du décollage en différentes pentes:





Méthode Calcul Pentes



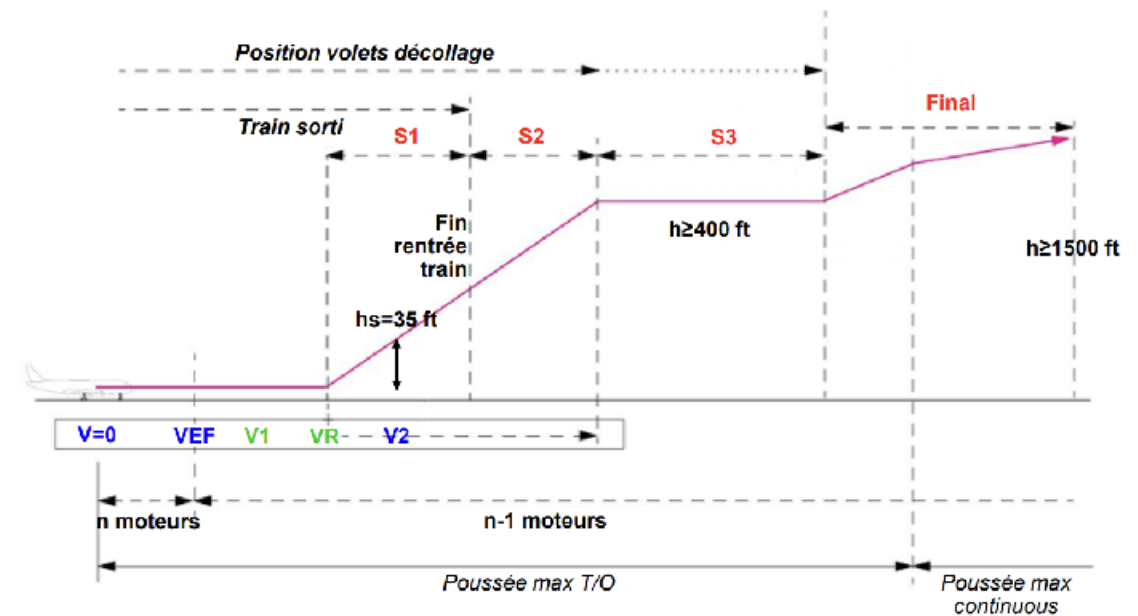
Pente aérodynamique (en %) :

$$\gamma = 100 \times \left(\frac{F}{P} - \frac{1}{f} \right)$$

Norme CS25 : pentes minimales brutes

Nb moteurs total	2 nd segment (Train rentré)
2	$\gamma = 2.4 \%$
3	$\gamma = 2.7 \%$
4	$\gamma = 3.0 \%$

On approche que pour 5 moteurs, la pente $\gamma = 3.3\%$





Méthode Calcul Pentes – Bee-Plane



On cherche à calculer la finesse nécessaire pour le Bee-plane pour atteindre une pente de 3,3 % avec son moteur le plus performant en panne (CFM 56)

Hypothèses :

- Pente = 3,3 %
- Rapport T/W pour 4 PW-150A = 0,25
- Masse : 100 tonnes

On a comme formule simplifiée pour la pente :

$$\text{Pente} = 100 \times \left(\frac{T}{W} - \frac{1}{f} \right)$$

En isolant la finesse :

$$f = \frac{1}{\frac{T}{W} - \frac{\text{Pente}}{100}}$$

On retrouve après application une finesse de **4,6** en montée pour le Bee-Plane.

Pour une étude sur le Q400, cette formule nous donne une finesse de **5,1**.



Partie 3 : Aérodynamique

Proposition Modèle Fonctionnel et Innovant



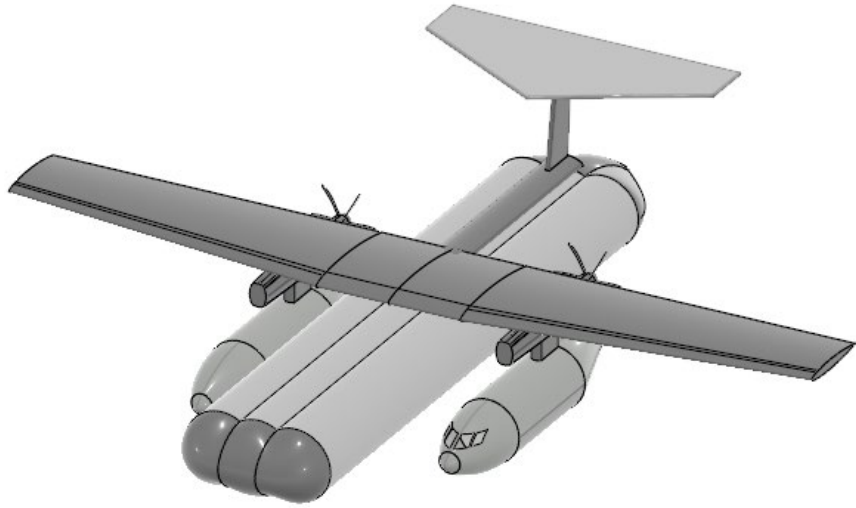
Objectifs



- Amélioration modèle aérodynamique du nez du basket, bulbe et cockpit
- Empennage en T
- Etude CFD du Basket



Bee-Plane

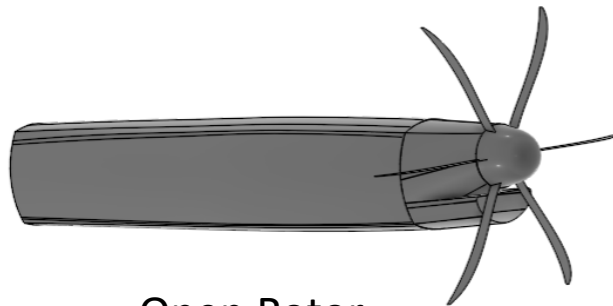


Appareil complet



Basket

34m de longueur / 7m de largeur



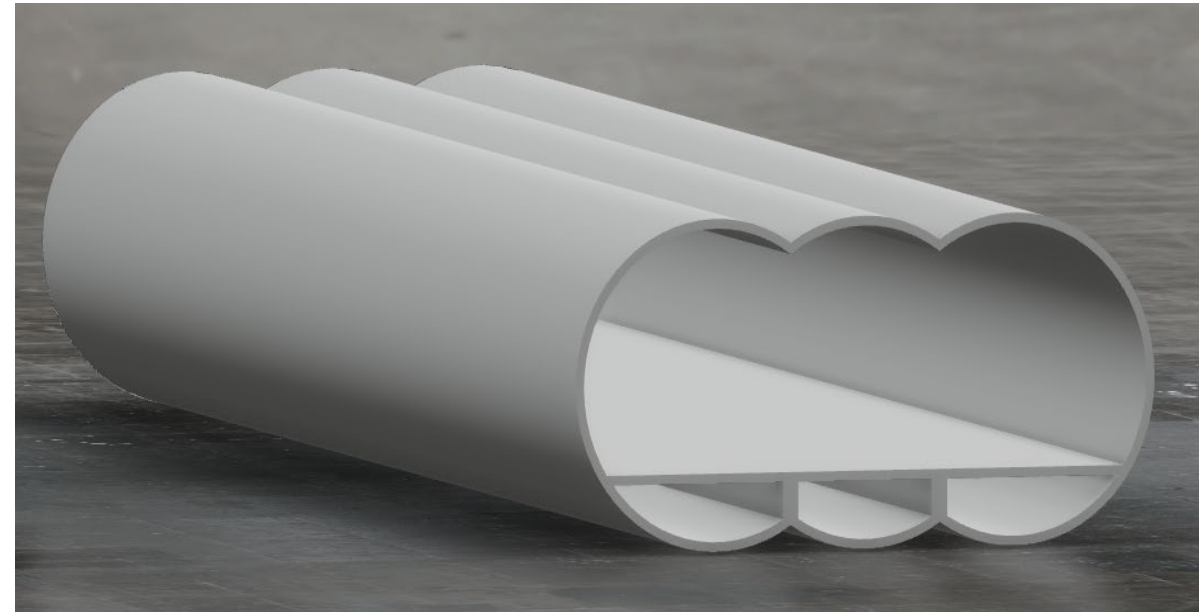
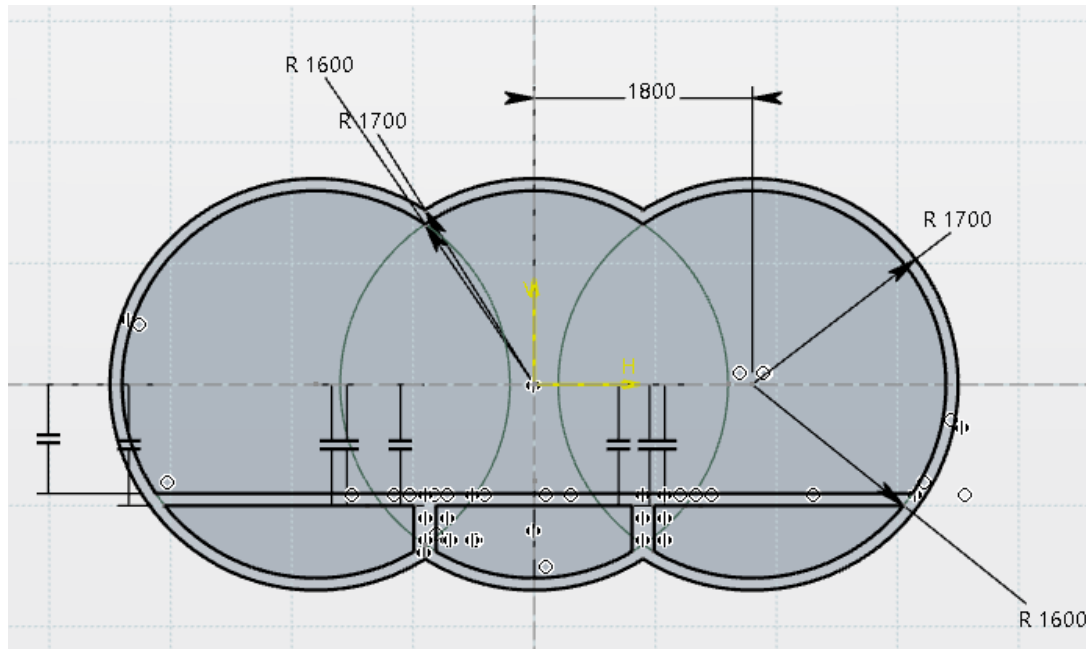
Open Rotor



Cockpit



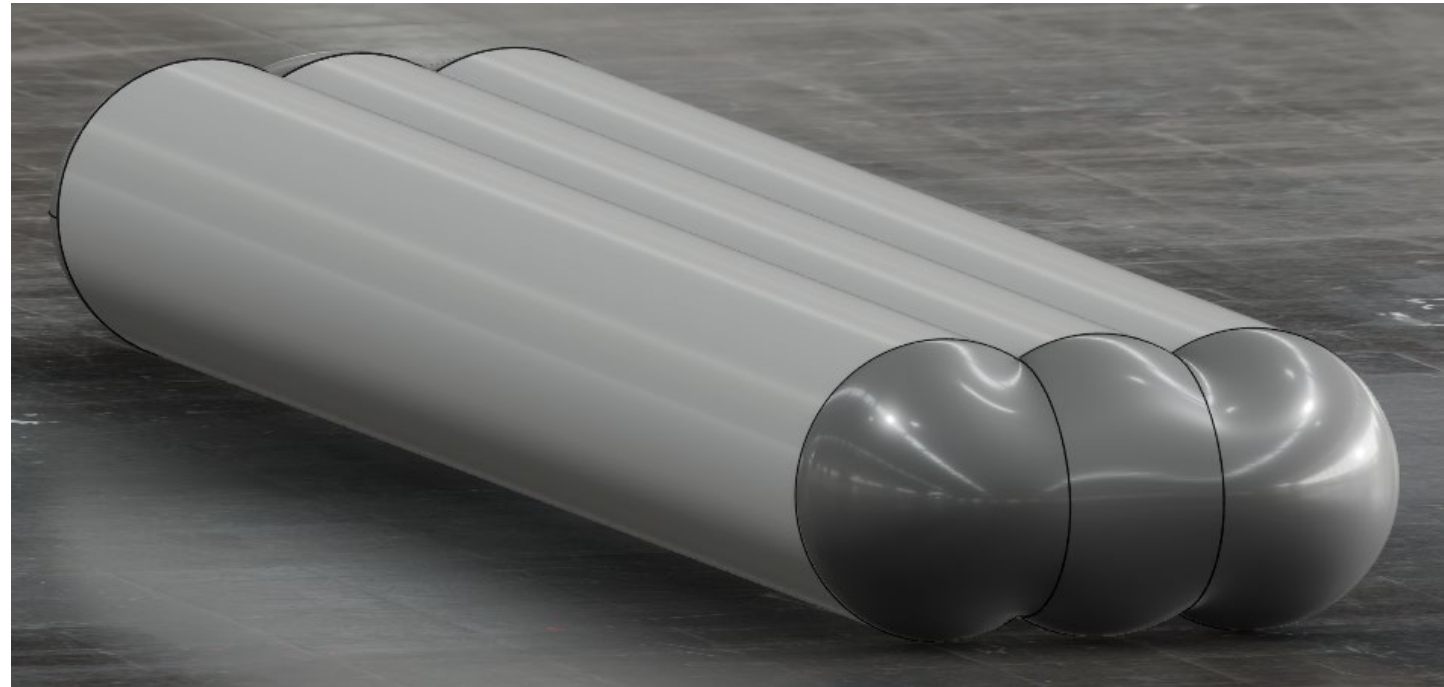
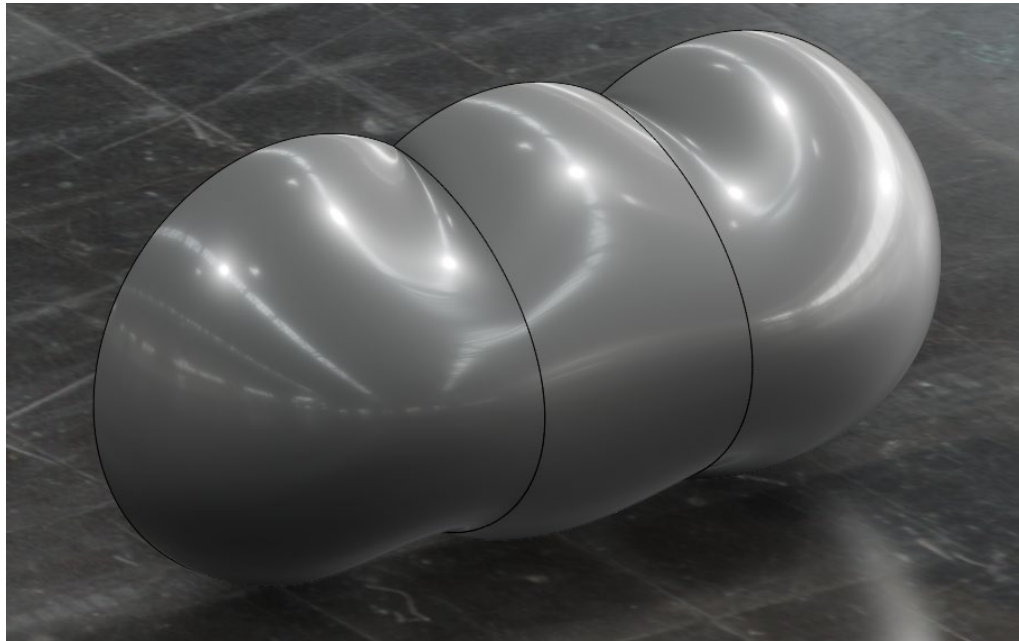
Corps du Basket



Plancher de l'avion maintenu par deux rectangles verticaux à la jonction des cylindres



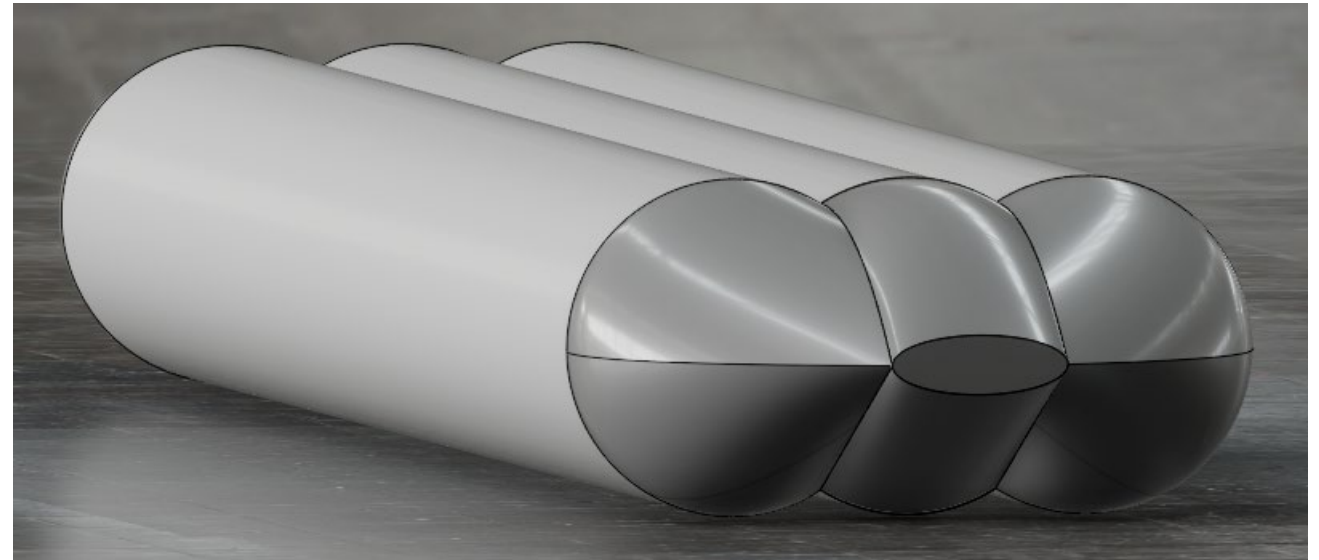
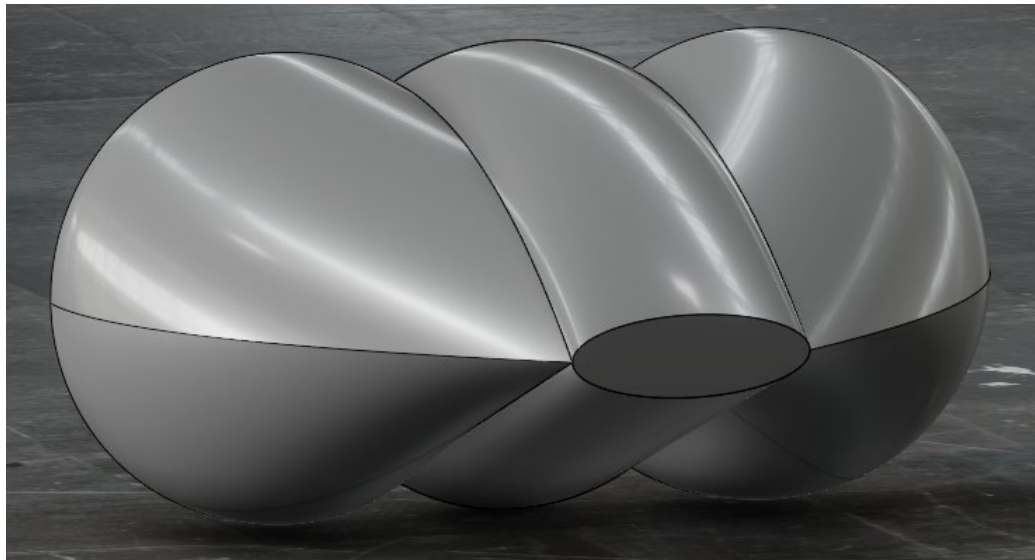
Nez du Basket



Nez en trilobé pour permettre la continuité des trois cylindres
constituant le fuselage



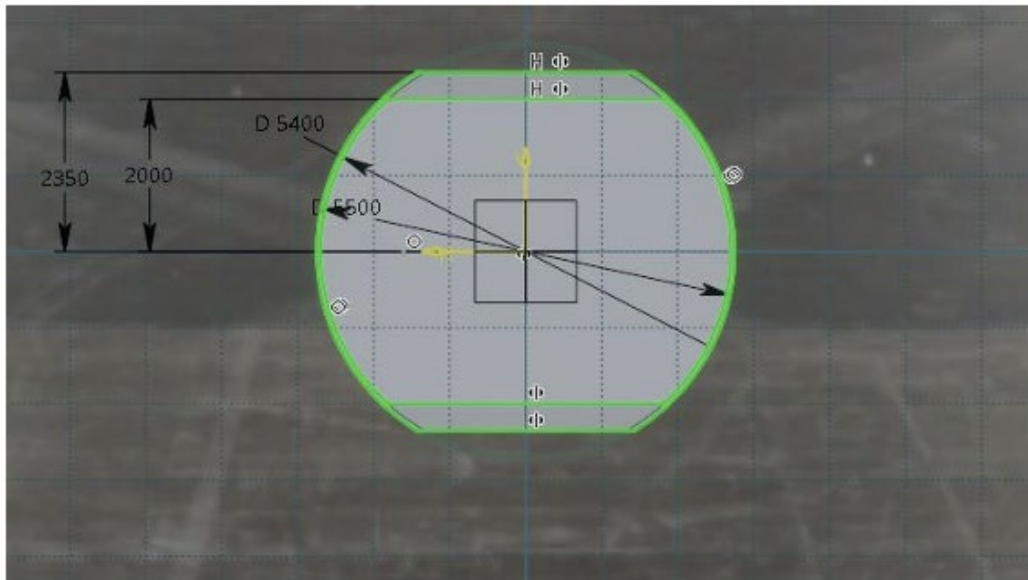
Arrière du Basket



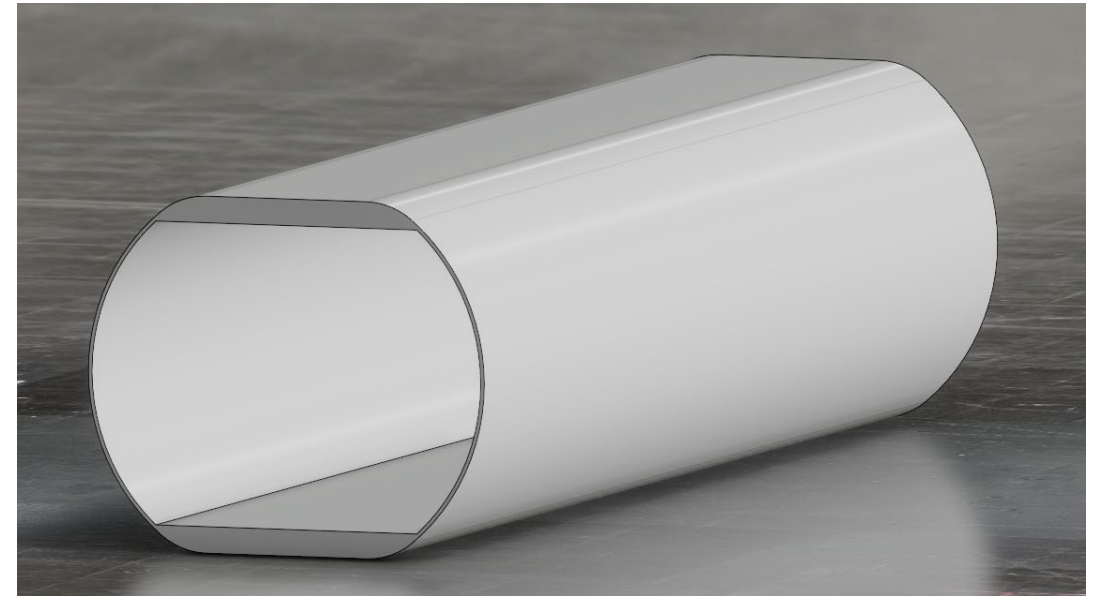
Arrière permettant la circulation correcte du fluide tout en disposant de l'APU propre au Basket.



Basket Camion



Esquisse principale

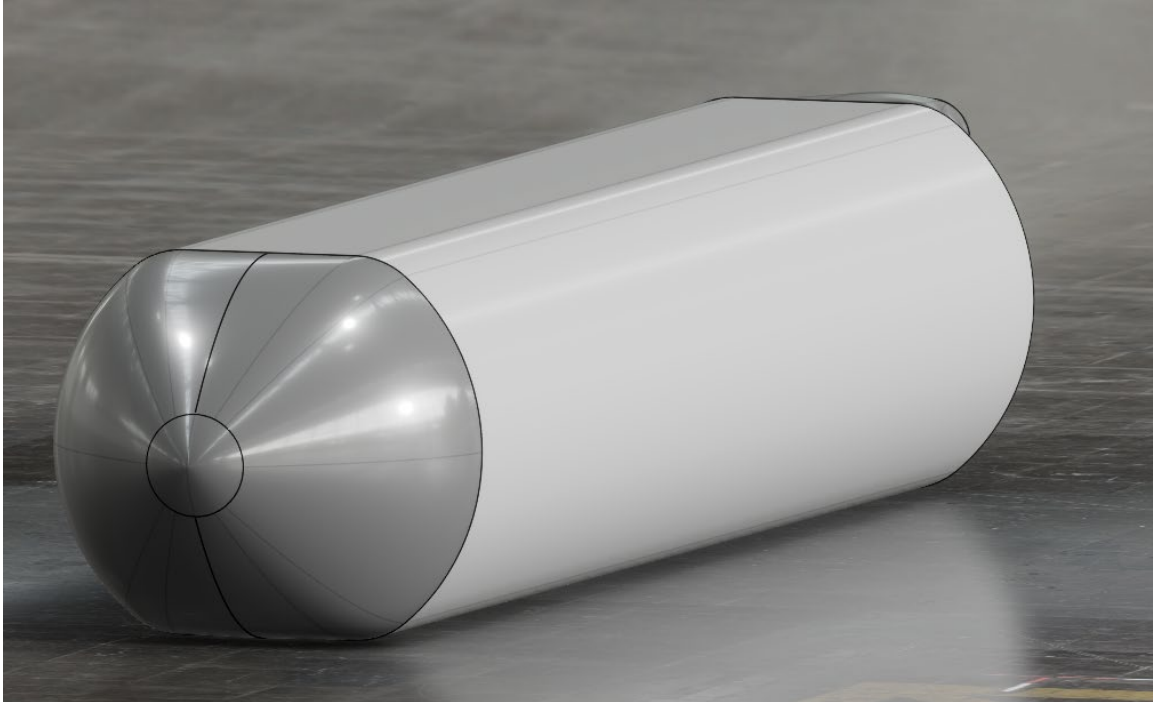


Corps principal

Corps principal permettant le transport de camion.
Les arêtes vives sont retirées par des congés améliorant l'aérodynamisme de l'engin.



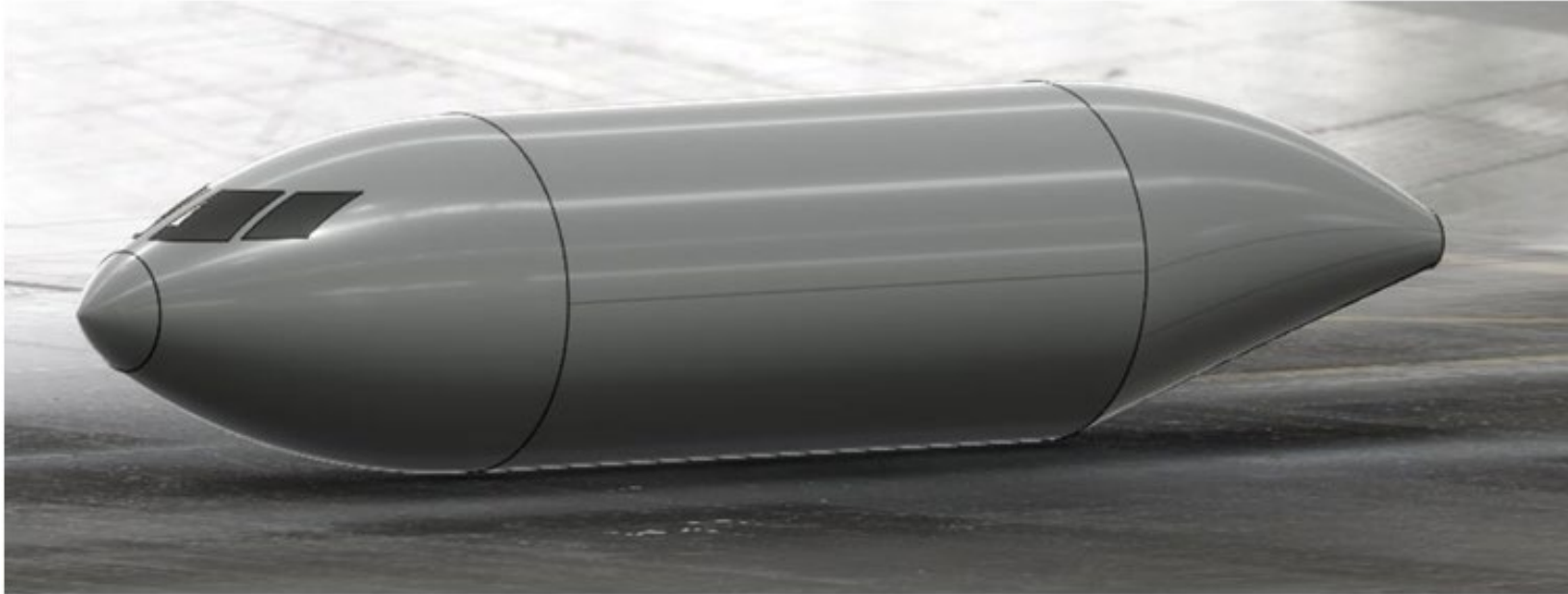
Basket Camion



Inspiré de l'A400M pour permettre le chargement par l'arrière.

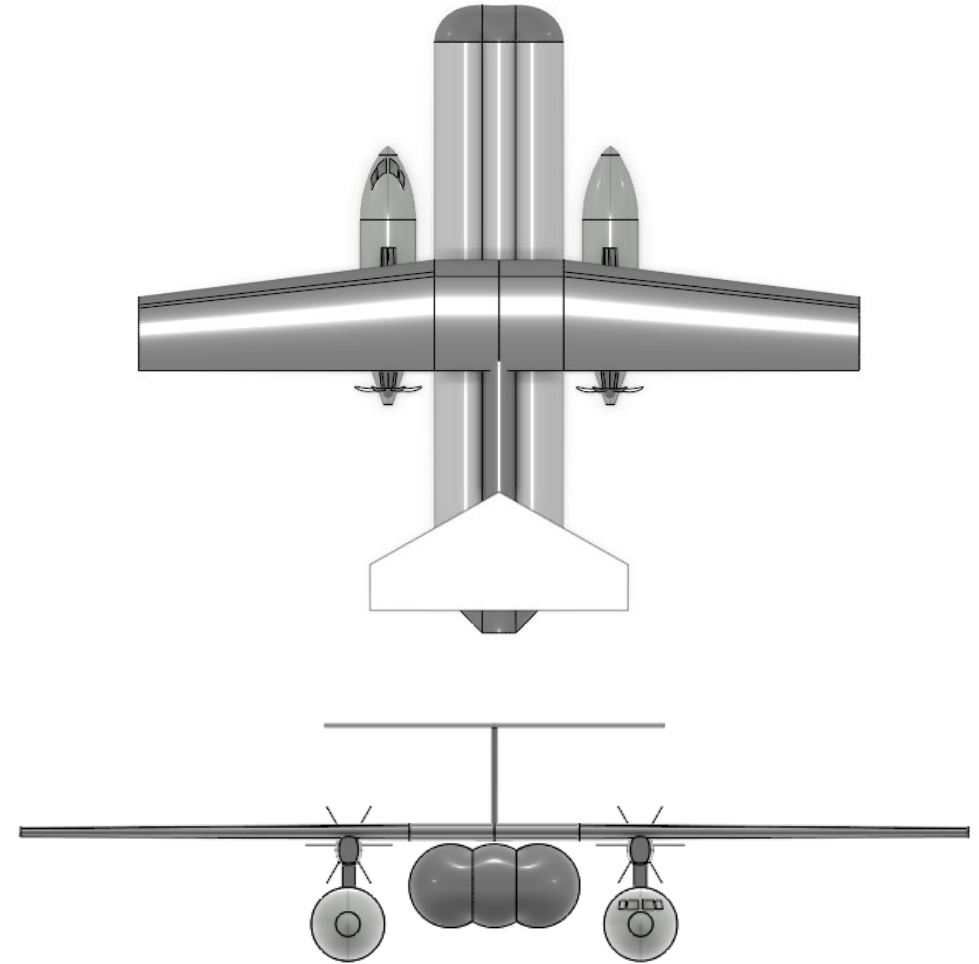
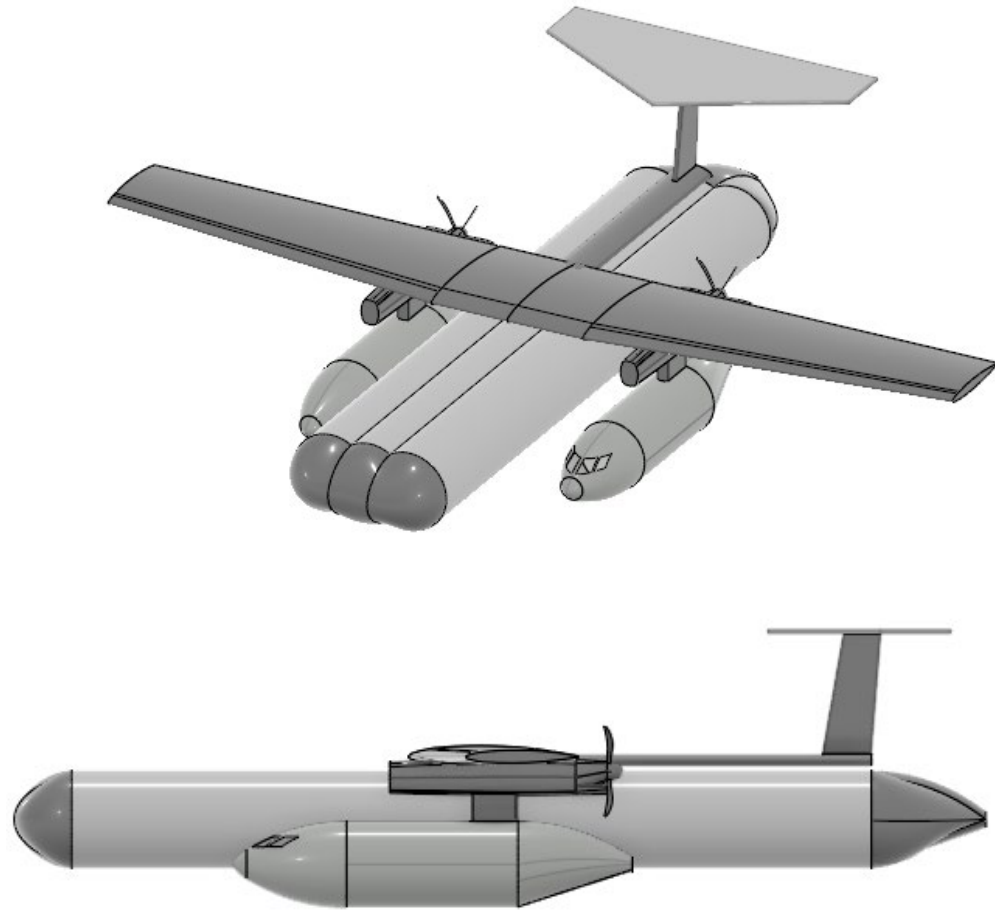


Cockpit Complet



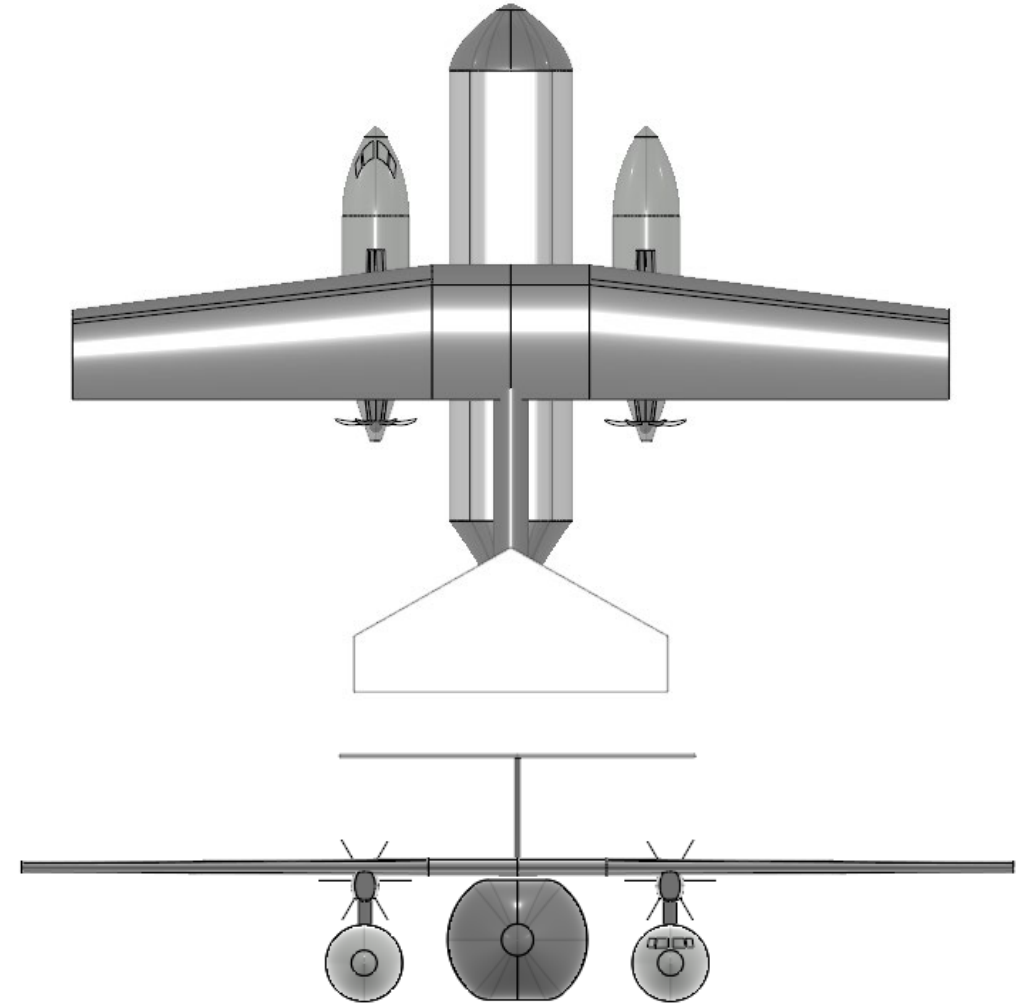
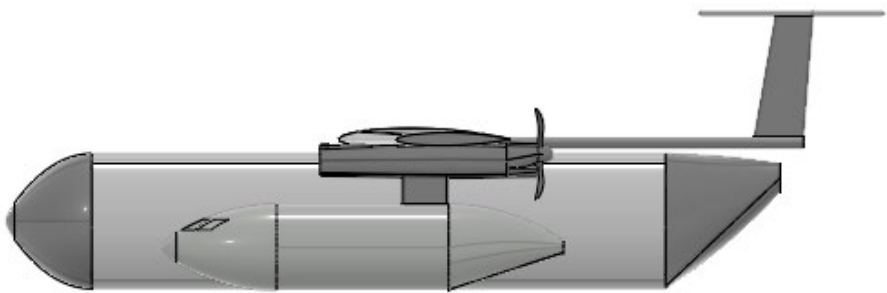
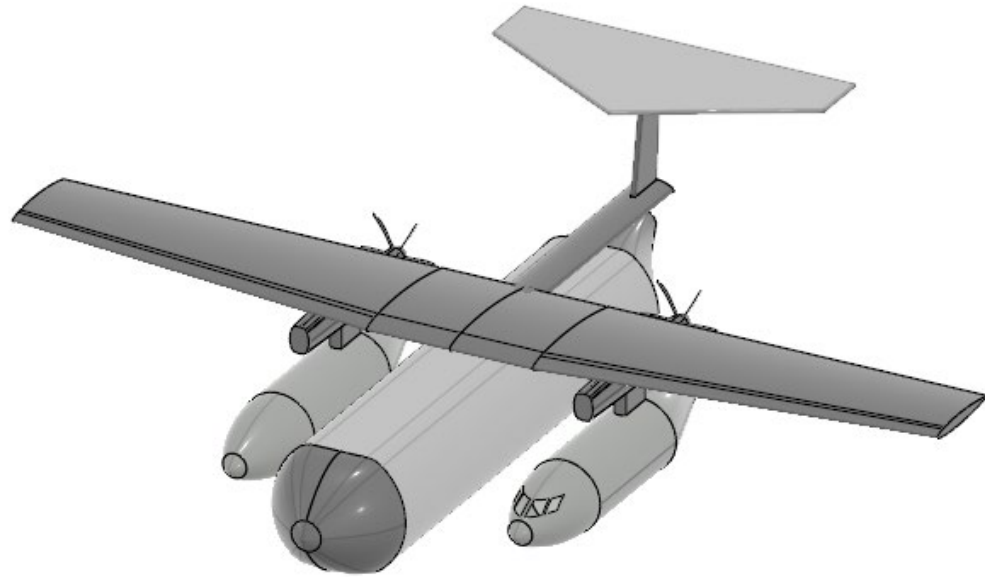


BeePlane Classique





BeePlane Camion

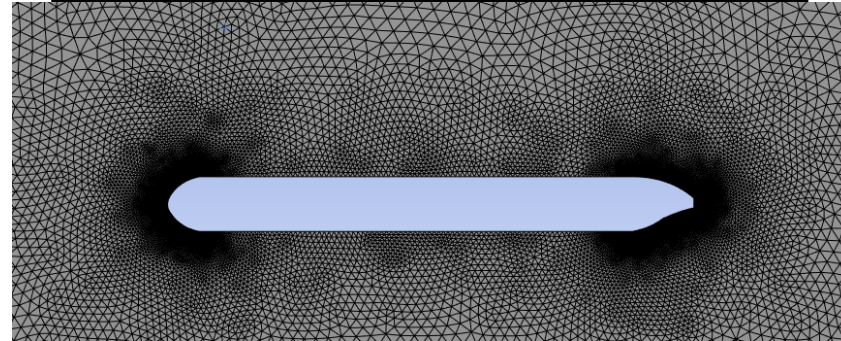




Etude CFD



Etude Basket



Maillage en Triangles

➔ Algorithme K-Epsilon Réalisable

Maillage : 0,04m à 4m (taille des cellules)

Maillage surfacique, simulation réalisée avec
1.617.012 cellules représentant 2h de calcul sur
l'ordinateur ESTACA

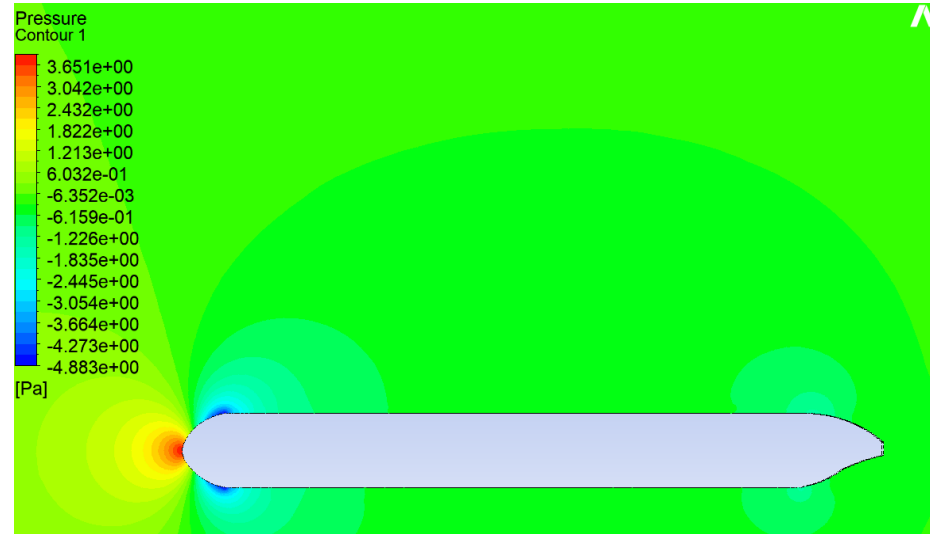
Qualité orthogonale de 0,15 ➔ Skewness = 0,85 < 0.9

➔ Simulation acceptable, elle respecte les qualités minimales





Champs de pression

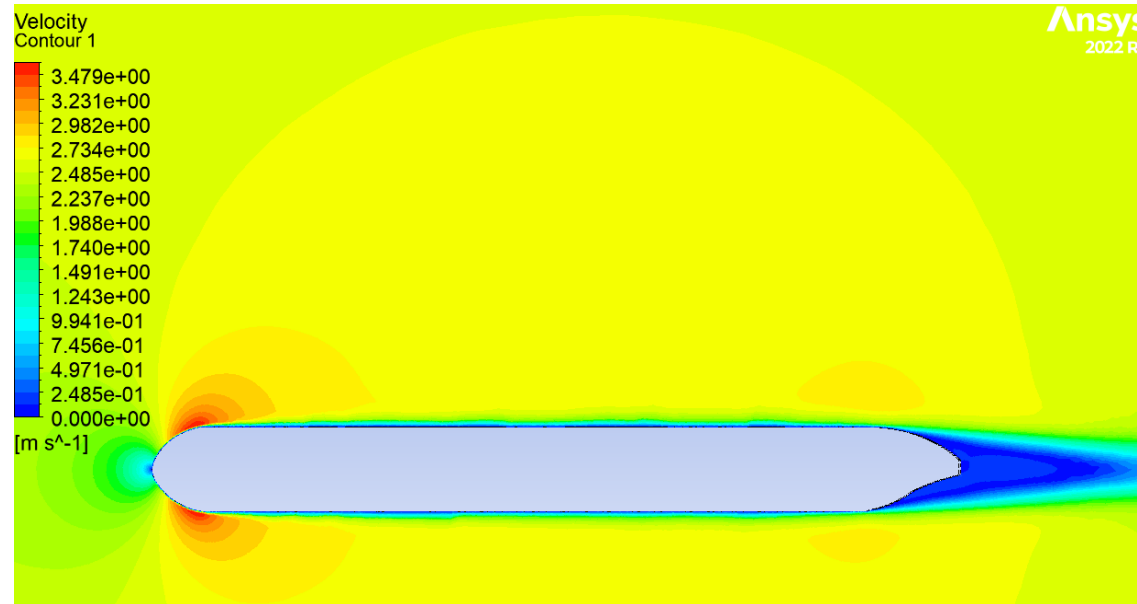


$$C_d = 0,1529$$

Point d'arrêt proche de l'axe de symétrie => Comportement d'aile symétrique (pas de portance générée).



Champs de vitesse

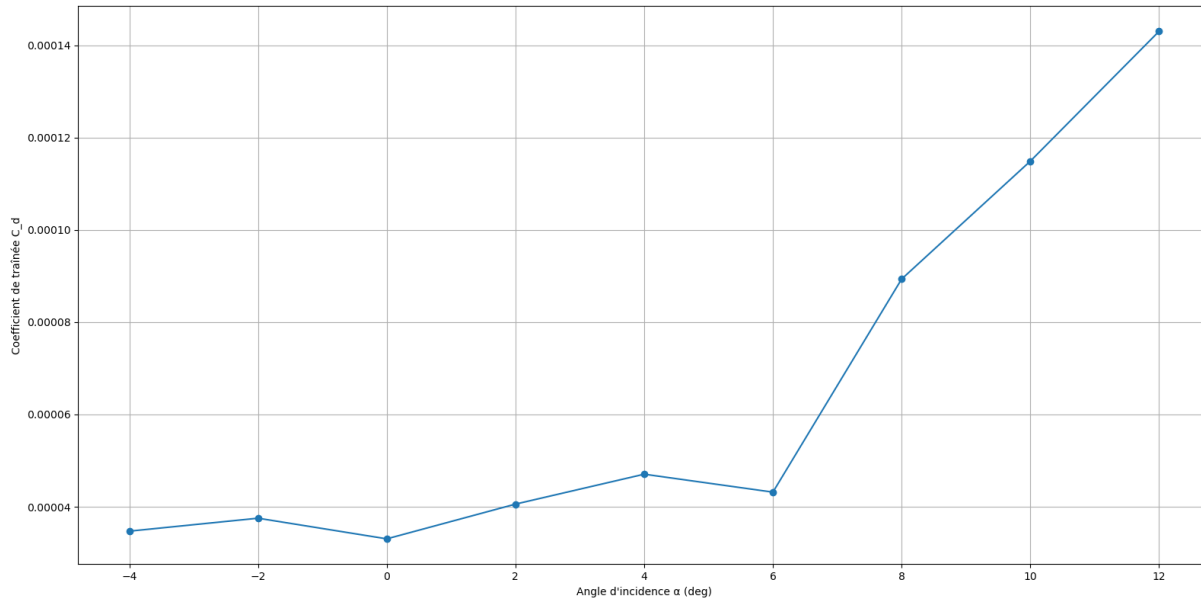


On observe que le nez du basket est aérodynamiquement acceptable et l'arrière suit bien le flux d'air pour éviter une augmentation de la traînée



C_d en fonction de l'angle d'incidence

Coef. de traînée C_d en fonction de l'angle d'incidence α



Trainée du basket acceptable vis-à-vis du cahier des charges du Bee-Plane..

On conclue que le vol de croisière devrait être idéalement entre 1° et 2° d'incidence (c'est la norme déjà utilisée dans le monde).

Le Basket respecte bien ces critères.



Objectifs pour le futur

- Proposer une Bee différente pour les différents Baskets.
- Modéliser de nouveaux types de Basket.
- Etude du Bee-Plane avec deux open rotor.





Notre travail sur le projet

- Synthèse des anciens groupes
- Etude du Bee-Plane avec 5 moteurs
- Conclusion de cette étude
- Modélisation d'un modèle plus innovant et prometteur
- Etude CFD du Basket qui prouve que le modèle est bon sur l'aérodynamisme