

Soutenance finale : Projet mini-bee

*Projet de 1ère et 2ème année
de l'école Centrale de Lille*

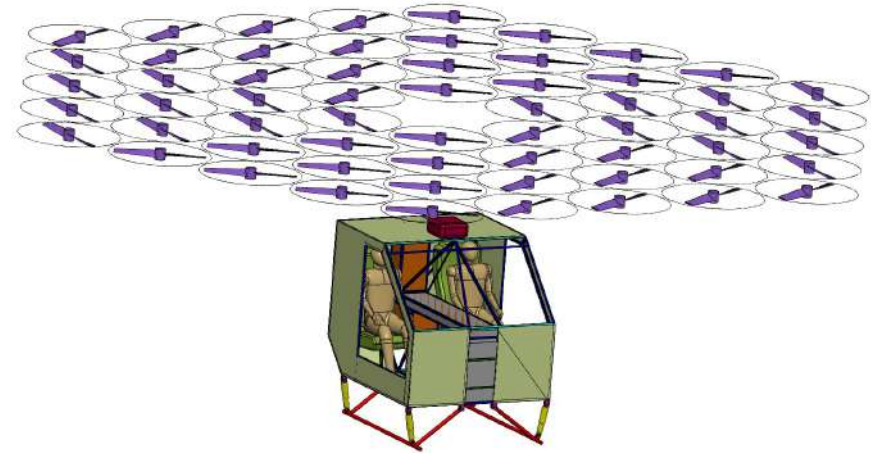
Sommaire de la présentation



1. Présentation et contexte du projet
2. Gestion de projet
3. Pôle structure
4. Pôle électronique de puissance
5. Pôle capteurs
6. Annexes

Présentation du mini-bee

- ❑ Conception d'un véhicule volant de transport médical, facile à utiliser sur terrain difficile d'accès
- ❑ Projet collaboratif entre de nombreuses écoles en France
- ❑ Notre rôle, étudier la faisabilité du projet et proposer de nouvelles solutions techniques

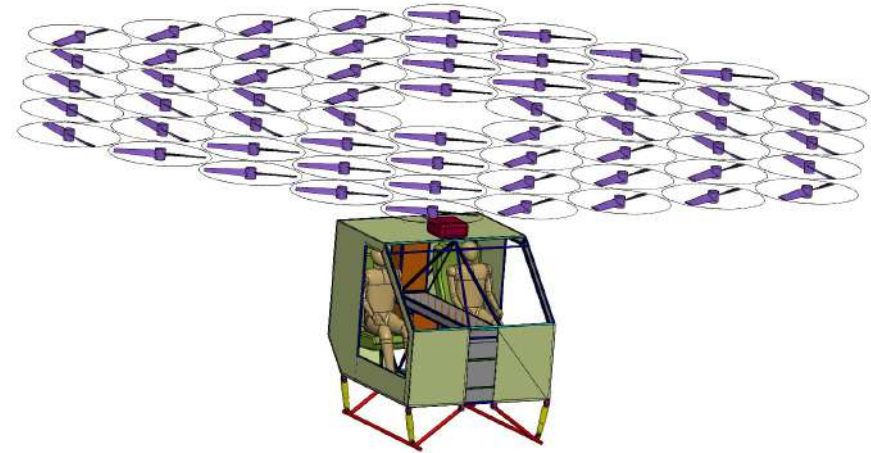


Modélisation CAO du mini-bee



Caractéristiques du Mini-Bee

- ❑ Masse totale : **750 kg**
- ❑ Vitesse de croisière : **170 km/h**
- ❑ Vitesse verticale : **4 m/s**
- ❑ Nombre de passagers : **2**
- ❑ Normes de l'appareil : **CS27 et TSO**



Modélisation CAO du mini-bee

Les objectifs du projet

- ❑ Etudier la faisabilité du projet Mini-Bee
- ❑ Proposer des nouvelles solutions techniques pour la structure, l'électronique de puissance et les capteurs
- ❑ Valider les solutions techniques par des modélisations ou des protocoles expérimentaux
- ➔ **Livrable final** : Fournir au client une présentation récapitulant notre contribution et l'état actuel du projet



Présentation de l'équipe projet



12 étudiants répartis dans 3 pôles :



Thomas BROUSSE
Responsable
Structure



Saad M'HAMDI
Responsable
Elec. puissance



Killian HEIM
Chef de projet/Elec.
puissance



Oumaima MORHODI
Responsable
Capteurs



Elie NICOL
Structure



Antoine VALLAT
Structure



Alan CHALES
Structure



Benjamin BELAYGUE
Elec. puissance



Arthur SEGUI
Elec. puissance



Danilo RODRIGUES
Capteurs



Arnaud LELOIR
Capteurs



Thomas BALDACHINO
Capteurs

Présentation des partenaires



Le Client :

TECHNOPLANE

- ❑ Fondée par **Mr Xavier Dutertre**
- ❑ Lancement du projet **Mini-Bee en 2015** : Conception d'un véhicule volant permettant le sauvetage en zone difficile d'accès

Professeurs encadrants : **M. El Kamel ABDELKADER**
M. Khaled MESGHOUNI

Les écoles partenaires :



ESTACA : Modélisation numérique et physique de la structure, chaîne de puissance et FCU



CyTech : Intégration capteurs et prototype du FCU



Lycée Louis Armand : Aménagement et structure du Mini-Bee



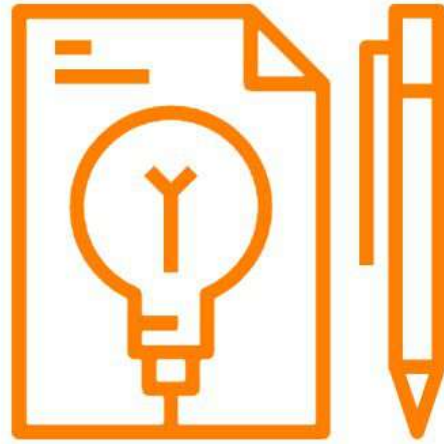
CentraleSupélec

Centrale Supélec : Simulation de la chaîne de puissance



ESIGELEC : Tests des moteurs

Gestion de projet

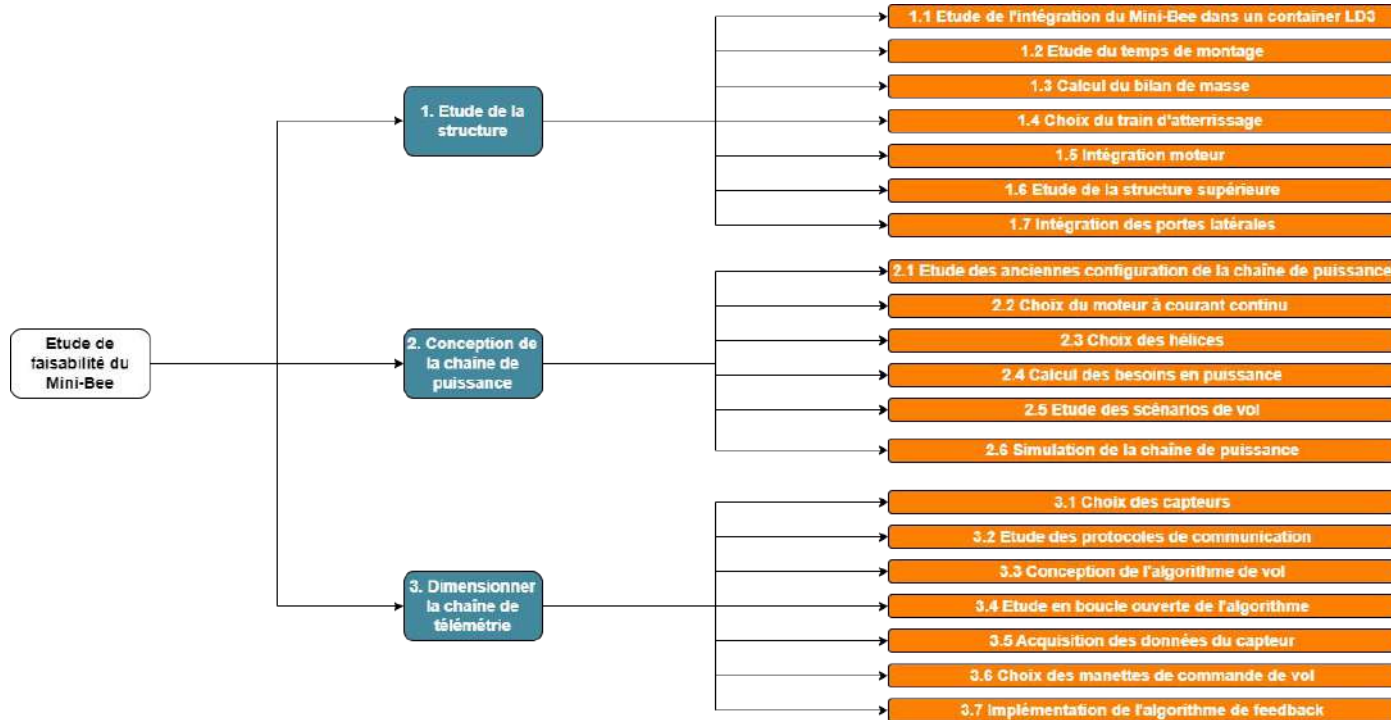


Planning suivi sur 2 ans



Avancée	Etude de faisabilité du mini-bee	10/21	11/21	12/21	01/22	02/22	03/22	04/22	05/22	06/22	07/22	08/22	09/22	10/22	11/22	12/22	01/23	02/23
Général																		
100%	Prise de connaissance du projet	■	■															
100%	Etat de l'art du projet	■	■	■														
	Audit gestion de projet						■										■	
	Audit technique									■							■	
Pôle Structure																		
90%	Choix du train d'atterrissage		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Etude de l'intégration du mini-bee dans les conteneurs LD3		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Calcul du temps de montage			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Calcul du bilan de masse				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
70%	Intégration moteurs								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
70%	Etude de la structure supérieure									■	■	■	■	■	■	■	■	■
70%	Intégration des portes latérales												■	■	■	■	■	■
Pôle Electronique de puissance																		
100%	Etude des anciennes configuration de la chaîne de puissance		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Choix du moteur à courant continu		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Choix des hélices			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
80%	Calcul des besoins en puissance							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
90%	Etude des scénarios de vol									■	■	■	■	■	■	■	■	■
80%	Simulation de la chaîne de puissance										■	■	■	■	■	■	■	■
Pôle Capteurs																		
100%	Choix des capteurs		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Etude des protocoles de communication		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
100%	Etude en boucle ouverte de l'algorithme																	
80%	Conception de l'algorithme de vol																	
80%	Acquisition des données du capteur																	
100%	Choix des manettes de commande de vol																	
50%	Implémentation de l'algorithme de feedback																	

WBS du projet



RACI du projet



Tâches	Description de la tâche	K.H.	E.N.	T.Br	A.C	A.V	S.M	B.B	A.S	O.M	D.O	A.L	T.Ba
Pôle Structure													
1.1	Etude de l'intégration du mini-bee dans les conteneurs LD3	I	C	A/R	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1.2	Calcul du temps de montage	I	R	A/R	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1.3	Calcul du bilan de masse	I	R	A	C	R	I	I	I	I	I	I	I
1.4	Choix du train d'atterrissage	I	I	A	R	I	I	I	I	I	I	I	I
1.5	Intégration moteurs	I	I	A/R	I	R	I	I	I	I	I	I	I
1.7	Intégration des portes latérales	I	I	A	R	C	I	I	I	I	I	I	I
1.6	Etude de la structure supérieure	I	I	A	R	I	I	I	I	I	I	I	I
Pôle Electronique de puissance													
3.1	Etude des anciennes configuration de la chaine de puissance	R	I	I	I	I	A	R	R	I	I	I	I
3.2	Choix du moteur à courant continu	R	I	I	I	I	A/R	I	I	I	I	I	I
3.3	Choix des hélices	I	I	I	I	I	A/R	I	C	I	I	I	I
3.4	Calcul des besoins en puissance	I	I	I	I	I	A	I	R	I	I	I	I
3.5	Etude des scénarios de vol	C	I	I	I	I	A	I	R	I	C	I	I
3.6	Simulation de la chaîne de puissance	I	I	I	I	I	A	R	I	I	I	I	I
Pôle Capteurs													
2.1	Choix des capteurs	I	I	I	I	I	I	I	I	A	I	I	R
2.2	Etude des protocoles de communication	I	I	I	I	I	I	I	I	R/A	I	C	C
2.3	Conception de l'algorithme de vol	I	I	I	I	I	I	I	C	A	R	I	I
2.4	Etude en boucle ouverte de l'algorithme	I	I	I	I	I	I	I	C	A	R	I	I
2.5	Acquisition des données du capteur	I	I	I	I	I	I	I	I	A	I	R	C
2.6	Choix des manettes de commande de vol	I	I	I	I	I	I	I	I	A	I	I	R
2.7	Implémentation de l'algorithme de feedback	I	I	I	I	I	I	I	I	A	C	R	C

R	Responsable
A	Approbateur
C	Consulté
I	Informé

- KH : Killian HEIM
- E.N : Elie NICOL
- T.Br : Thomas BROUSSE
- A.C : Alan CHALES
- A.V : Antoine VALLAT
- S.M : Saad M'HMADI
- B.B : Benjamin BELAYGUE
- A.S : Arthur SEGUI
- O.M : Oumaima MORHODI
- D.O : Danilo RODRIGUES
- A.L : Arnaud LELOIR
- T.Ba : Thomas BALDACHINO



SWOT du projet



STRENGTHS

- Suivi régulier par 2 coachs
- Projet collaboratif
- Disponibilité du client
- Autonomie accordée par le client
- Équipe soudée et motivée
- Evolution constante du projet pour être adapté au changement
- Intervention d'écoles spécialisées pour chaque branche d'étude



WEAKNESSES

- Dépendance envers les autres écoles
- Projet collaboratif : Difficulté de communication inter-écoles
- Equipe projet de taille conséquente
- Changements parfois radicaux dans les choix techniques



OPPORTUNITIES

- Diversité importante des solutions proposées
- Etude spécifique de chaque pôle
- Etude de fiabilité : Aperçu général du projet
- Collaboration avec les écoles permet un large éventail de point de vues et consultants potentiels

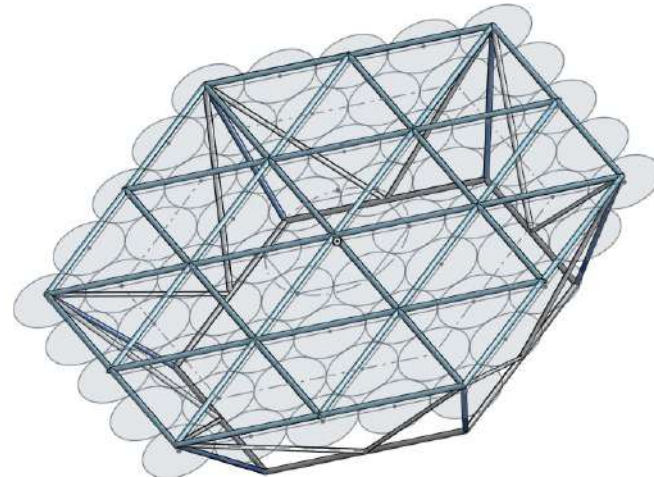
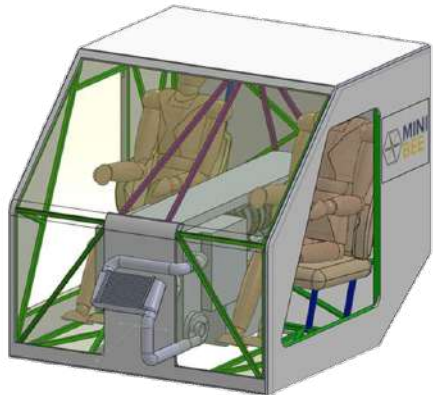


THREATS

- Concurrence du projet avec d'autres moyens aériens de transport
- Projet en constante évolution
- Importance des coûts
- Effet tunnel
- Impossibilité pour certaines écoles de s'entendre sur un même point technique



Structure





Objectifs du pôle



Objectifs validés (G1) :

- Etat de l'art et étude de l'avancée du projet
- Démontabilité/Transportabilité



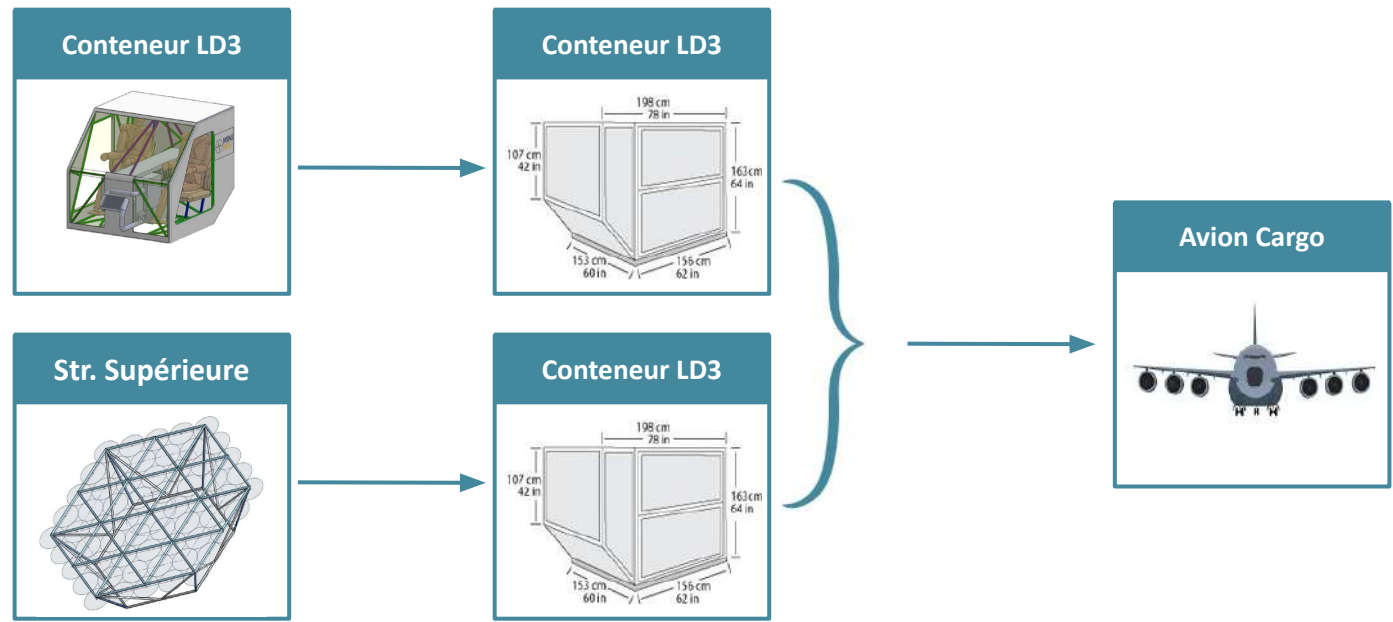
Objectifs (G2) :

- Intégration moteur et liaison Rotax/Emrax
- Précision de la structure supérieure
- Intégration de nouveaux éléments de structures



Transportabilité

Objectif : La structure doit être transportable dans 2 conteneurs type LD3.



Démontabilité

Objectif : La structure doit être démontable facilement par une équipe réduite

Étapes Principales	Actions spécifiques	Techniciens	Temps unitaire le plus probable (min)	Répétition de l'acte	Temps Total (min)
Cockpit					29
Assemblage d'un Patins d'atterrissage	Mise en place Roue	2	2	4	8
	Fixation Verin / Tubes	2	0,5	12	6
Fixation du Patin au Cockpit	Fixation Chapes / Cockpit	2	0,25	12	3
	Dépliage du patin d'atterrissage	2	0,25	4	1
	Fixation Tubes de renfort / Chapes	2	0,25	12	3
Vérification de l'intérieur du Cockpit	Checking de conformité	2	8	1	8
Carénage supérieur					184
MEP structure soutenant les moteurs	Fixation Tube / Support moteur	2	1	60	60
	Fixation Tube / Tube	2	1	60	60
Ajout d'un moteurs sur la structure	Fixation moteur / Support	2	1	60	60
Assemblage Moteur avec son support	Fixation vis écrou	2	1	4	4
Assemblage des 2					20
Reunion du cockpit avec la pieuvre		2	20	1	20
Étapes complémentaire					8
Étapes externes	Soulevé du Cockpit	2	1	4	4
	Abaissement du Cockpit	2	1	4	4
TOTAL					241

Temps de démontabilité : 4h01

Limites de l'estimation :

- ❑ Première estimation → peu précise
- ❑ Tend à s'améliorer avec la pratique
- ❑ Un opérateur supplémentaire sera peut-être nécessaire

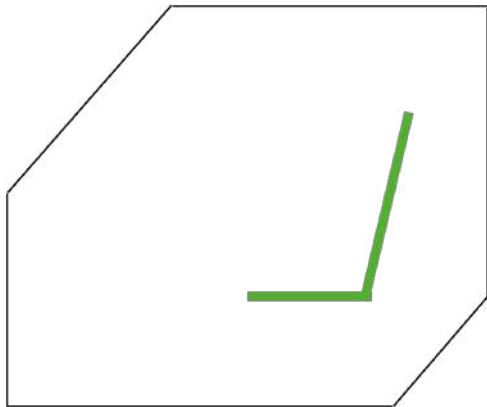


Aménagement de la cabine

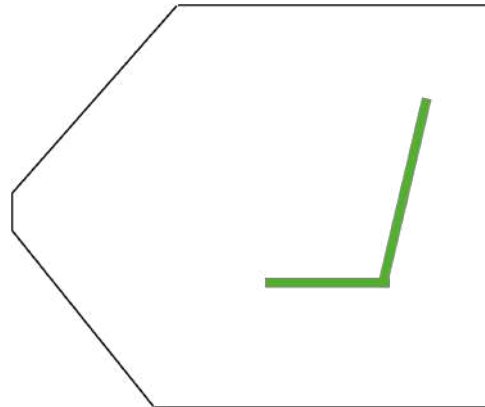
Objectif : Optimiser le positionnement du réservoir, de l'intercooler et des utilisateurs dans la cabine

Réflexion sur la cabine :

Forme n°1



Forme n°2



Réflexion le positionnement des éléments intérieurs :

- ❑ Moteur
 - ❑ Avant
 - ❑ Arrière
- ❑ Réservoir
 - ❑ Vertical
 - ❑ Horizontal

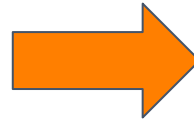
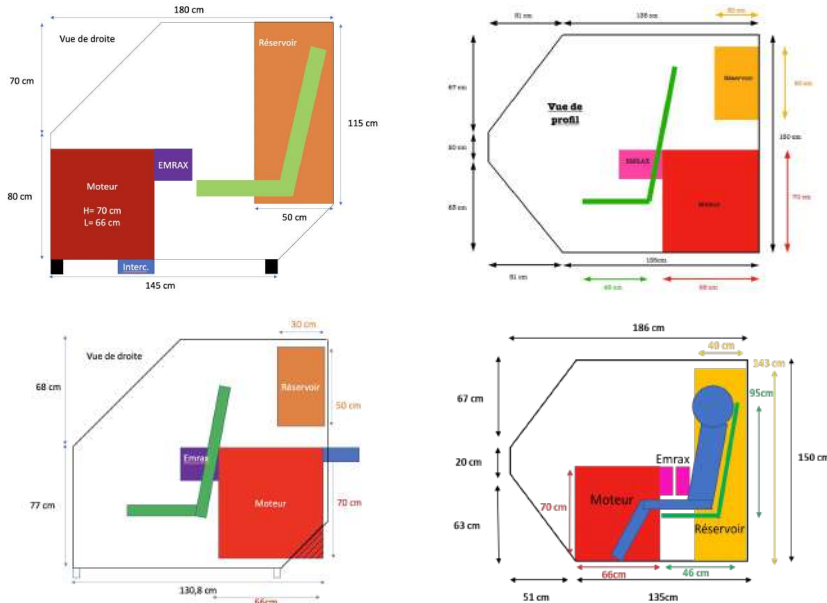
➔ **Nécessité de faire plusieurs modélisations**



Aménagement de la cabine

Objectif : Etudier les dispositions possibles

Travail réalisé : Vérification des 4 propositions de l'Estaca



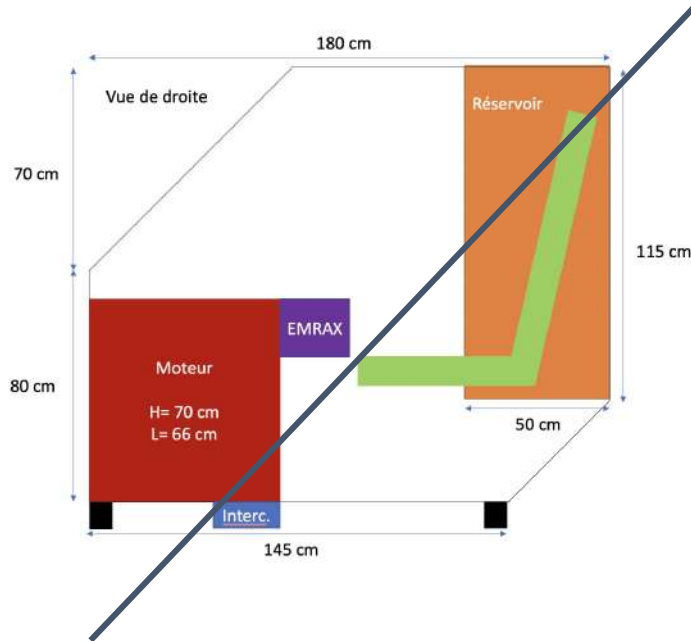
Matrice de cotation

	V 1	V2	V3	V4	V5
Espace pour les jambes	4	1	1	4	4
Format de la cabine	4	2	1	1	4
Disposition du réservoir	2	2	3	2	4
Position intercooler	2	2	3	2	4
Total	12	7	8	9	16

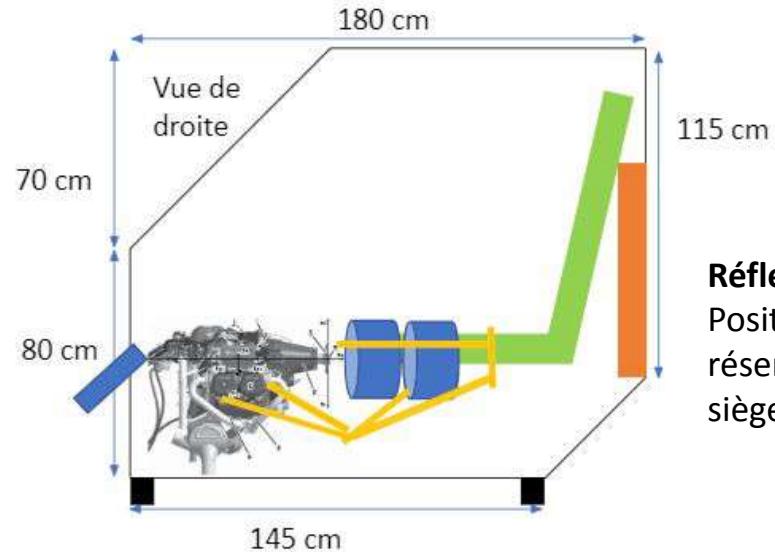


Aménagement de la cabine

Objectif : Retenir une proposition



Proposition retenue

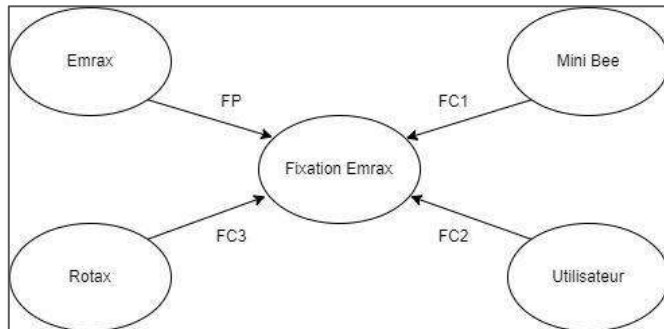
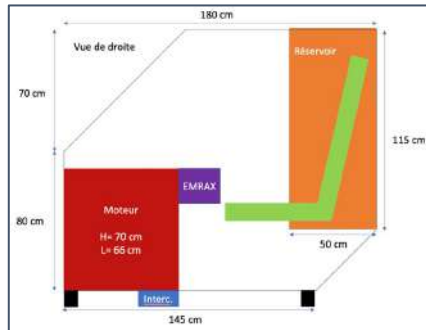


Réflexion restante :
Positionnement du réservoir derrière le siège ?

Intégration Moteur



Objectif : Maintenir l'ensemble Moteur/Générateur fixe



FP : Porter et maintenir les moteurs

FC1 : Transmettre un minimum vibrations dues à la rotation à la structure

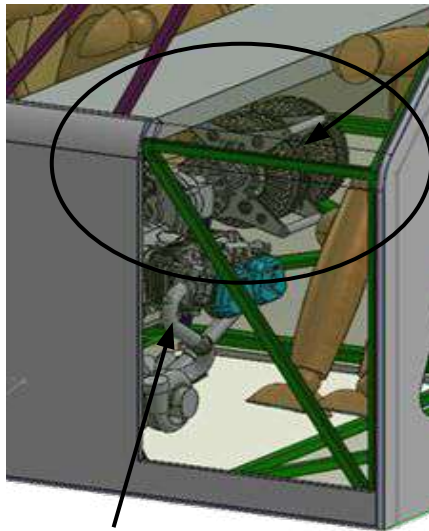
FC2 : Respecter le volume dédié aux passagers

FC3 : Permettre un maintien de la coaxialité entre le Rotax et le Emrax

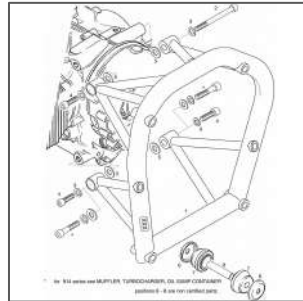


Intégration Moteur

Objectif : Maintenir l'ensemble Moteur/Générateur fixe



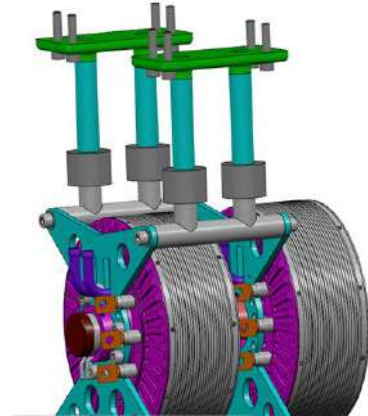
Emraxs



Solution d'accroche
disponible pour le
Rotax

Rotax

1^{ère} solution proposée :

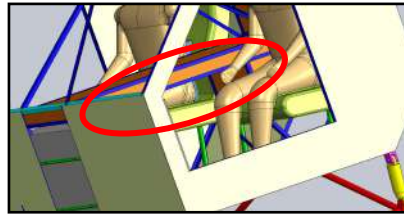
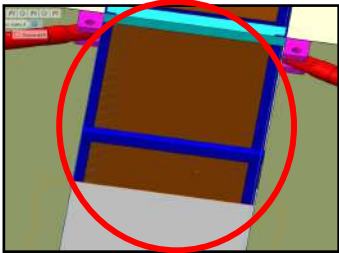


Inconvénient :
La structure en X
n'est pas conçue
pour supporter des
efforts.



Intégration Moteur

Localisation :



Proposition :



Caractéristiques :

Fixation sur armature comportant la connectique au dessus

Attaches situées en bas

Création d'une version étendue de la partie inférieure du "X":

Limites :

Largeur structure d'attache : 300mm

Espacement entre 2 point d'attache ~210mm

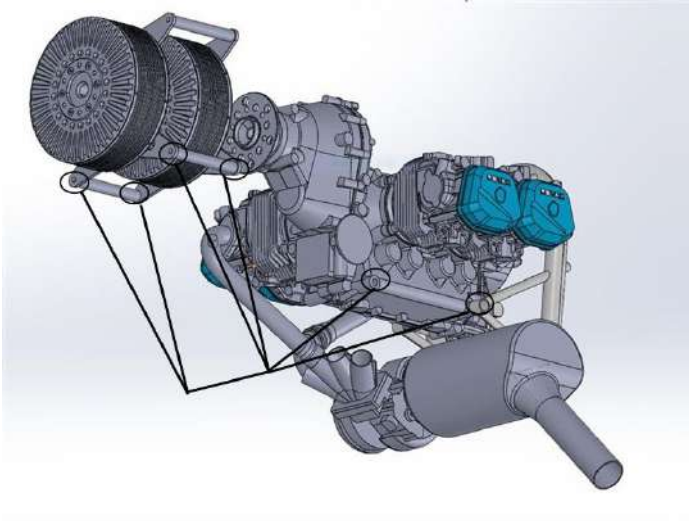
→ Espace maximal de 45 mm de chaque côté

Difficultés à gérer les vibrations.

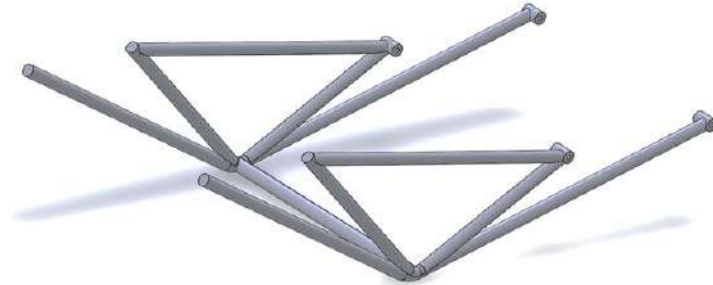


Intégration Moteur

Solution en cours d'étude et en voie d'adoption :



Utilisation de tiges en acier ou en aluminium de 1 à 2 cm de diamètre pour assembler les Emrax et le Rotax :

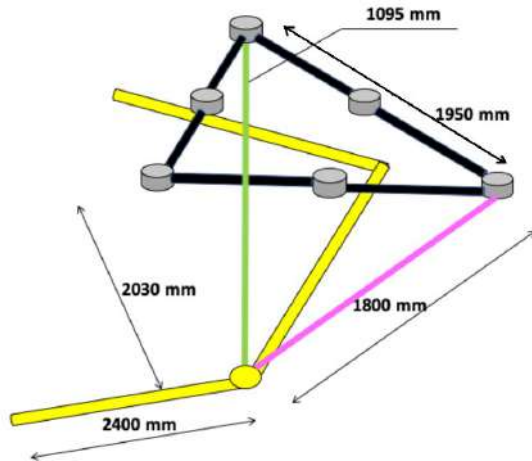




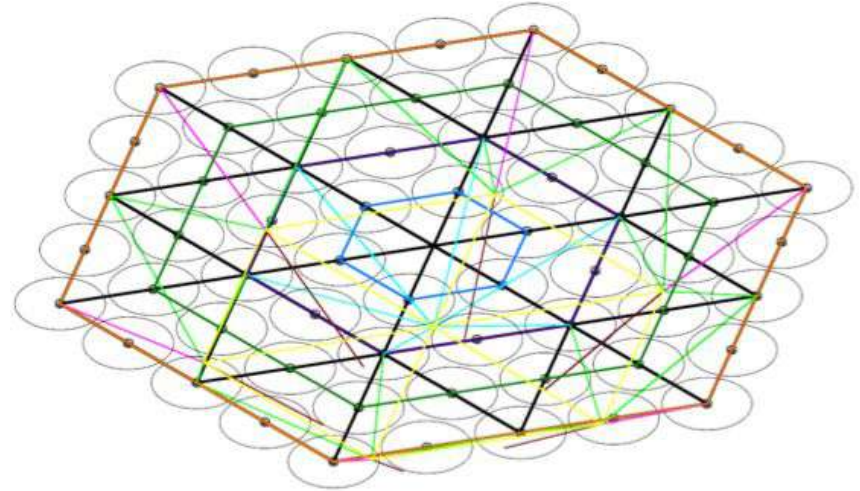
Structure Supérieure

Contexte : passage de 36 à 60 rotors

- ❑ Gain de poussée
- ❑ Augmentation de la surface à l'air
- ❑ Diamètre : 86 cm



Dimensionnement des tubes



Organisation de la structure supérieure



Structure Supérieure - Modèle CAO

Objectif : Mise à jour de la structure supérieure

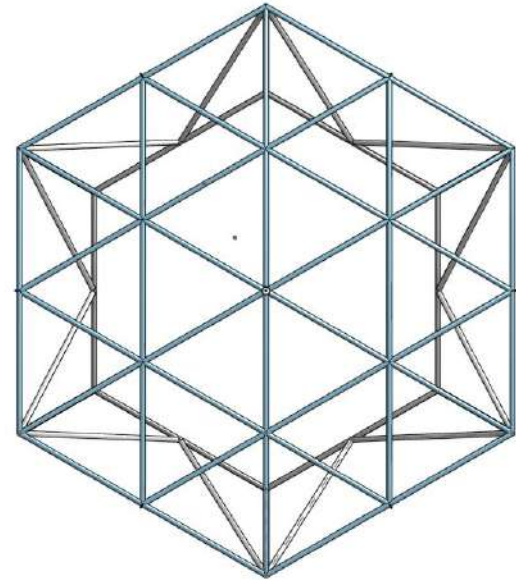
- ❑ Suppression des tubes superflus
- ❑ Adaptation aux nouvelles dimensions
- ❑ Création d'un modèle CAO



Optimisation de la masse de la structure et visualisation 3D

Limites :

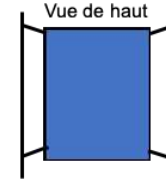
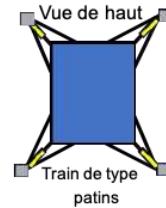
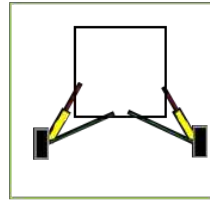
- ❑ Modélisation de la structure d'accrochage avec la cabine
- ❑ Vérification que chaque point souple de la structure soit soutenu





Train d'atterrissage

Objectif : comparer les trains d'atterrissage



	Alaskan landing gear	Solution retenue	Trains de types patins	Barres types hélicoptères
Prix (€)	4800	2737	≈1500	1588
Poids (kg)	28,6	26,8	≈22 kg	14,5
Roue (oui/non)	oui	oui	non	non
Capacité d'absorption (mm)	30	44,6	44,6	

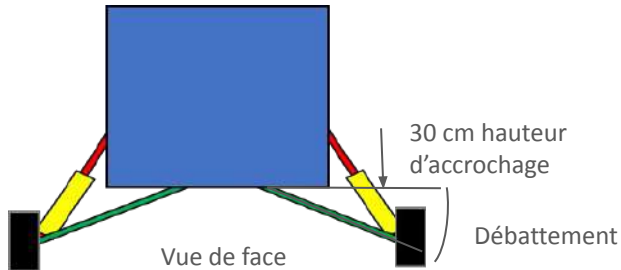
Critères de décision

- Roue : déplacement au sol
- Bon rapport capacité d'absorption/prix
- Plus léger



Train d'atterrissage

Solution retenue : trains trépieds avec roues



Train trépied (x4) :

- Masse : 26.8 kg
- Prix : 2737 €

Modèle 3D :

Vue de face



Vue de dos





Train d'atterrissage - Composants

Objectif : validation des composants

Vérin choisi :



- Doit permettre un débattement d'au moins 45 cm

Vérin à gaz 20-40 course 500

273,96 € (inclut 20% de T.V.A.) ✓ En stock

Tige 20mm (M14 filetage)
Tube de pression 40mm
Course 500mm
Longueur 1116mm
Force entre 300 et 5000N
Force 5000 Newton

Tubes en aluminium pour le train d'atterrissage :

- Prix : **18,68 €** ($18,68 \times 8 = 133,44$ €)
- Poids : **83,7 g** ($838 \times 8 = 6704$ g = 6,7 kg)





Sécurité - Parachute

Contexte : Les normes de sécurité imposent un dispositif d'urgence en cas de problème de l'appareil.

Objectif : Choisir parmi les multiples offres du marché le parachute adapté au Mini-Bee.

	GRS 6 800-990 SDS	BRS 1800
Masse maximum admissible (kg)	800	816
Vitesse max autorisée (m/s)	350	282
Masse totale (kg)	21.7	16.8
Durée de pleine ouverture (s)	6	Pas d'information
Prix (€)	Pas d'information	≈ 8000 \$





Sécurité - Parachute

Notre choix : GRS 6 800-990

- ❑ Masse maximum autorisée : **800 kg**
- ❑ Vitesse max autorisée (VNE) : 380 km/h
- ❑ Durée d'ouverture du parachute : 6 s
- ❑ Taux de chute : 7,5 m/s
- ❑ Masse totale du système : 21,7 kg
- ❑ Ordre de grandeur du prix (manque d'information) : **8500 €**



Bilan des masses



Objectif : Réaliser un bilan des masses général du Minibee et l'actualiser constamment



Motorisation électrique	245 kg
Motorisation Thermique	218 kg
Structure supérieure	15 kg
Passagers	180 kg
Train d'atterrissage	25 kg
Châssis	89 kg

Bilan des masses



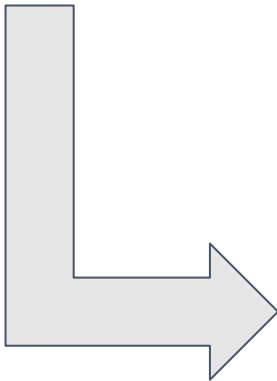
Objectif : Réaliser un bilan des masses général du Minibee et l'actualiser constamment

Masse globale : 772 kg



Nécessité : Mise à jour constante face aux variations

- Nombre de rotors
- Fixations moteurs
- Structure tubulaire supérieure
- Outils de pilotage choisis



Conclusion : Masse encore trop élevée et donc à optimiser



Électronique de puissance





Objectifs du pôle



Objectifs validés (G1) :

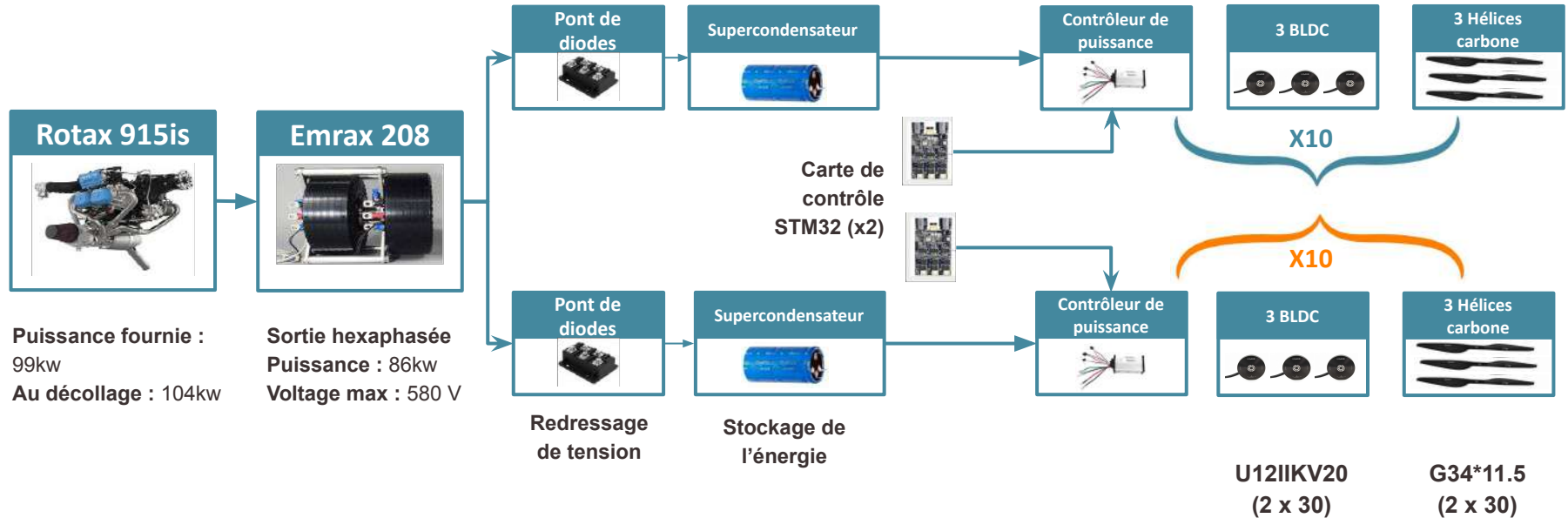
- Etat de l'art et étude de l'avancée du projet
- Modéliser analytiquement l'évolution de la puissance selon différents scénarios



Objectifs (G2) :

- Choix et validation des hélices / moteurs
- Simulation des scénarios de vols
- Expérimentation de la chaîne de puissance

Présentation de la chaîne de puissance





Critères de choix moteurs / hélices

Moteur



Quantité	60
Masse	< 60 kg
Poussée max	> 20 kg
Prix	< 400 €

Hélices



Quantité	60
Masse	< 10 kg
Poussée max	> Poussée max moteur
Prix	< 400 €
Surface alaire	≈ 100 m ²



Choix du moteur

	U12KV90	U13II KV130	U12IIKV120	MP8318	MP10850
Masse	4	2	4	5	1
Poussée	1	4	4	1	4
Prix	3	3	3	5	4
Disponibilité	5	5	5	3	3
Total	13	14	16	14	12
Image					

■ Non respect des exigences

■ Proche de la limite

■ Respect des exigences

=> L'U12 II KV120 est le meilleur candidat



Choix des hélices

	G 36*11,5	G 34*11,5	G 30*10,5	NS 30*10	V 30*12
Masse	1	4	5	5	4
Poids	1	5	5	5	5
Surface alaire	3	5	5	5	5
Poussée max	5	5	3	2	1
Total	10	19	18	17	15
Image					

- Non respect des exigences
- Proche de la limite
- Respect des exigences

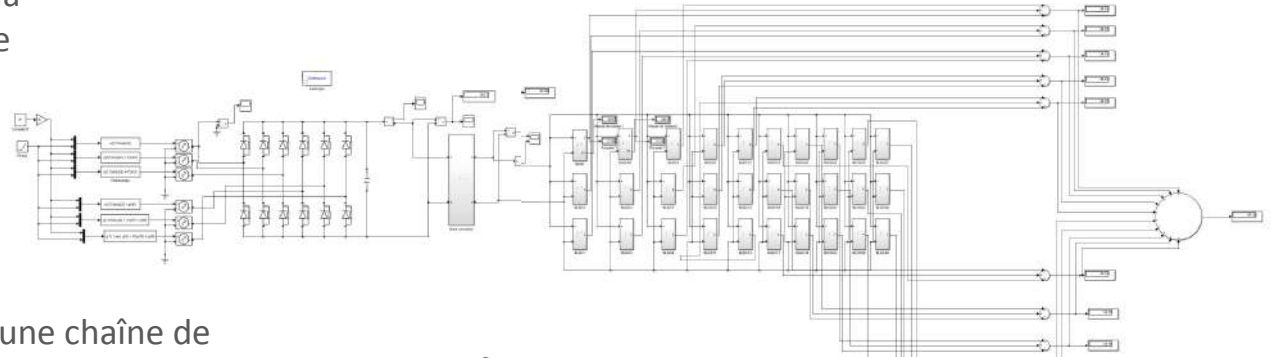
=> **Le G34*11,5 est le meilleur candidat**

Modélisation de la chaîne



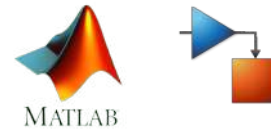
Objectif :

Simuler les performances de toute la chaîne d'électronique de puissance et en valider les composants



Hypothèses :

- Modélisation de la moitié d'une chaîne de puissance
- Motorisation par moteur MP 8318 alimenté en courant continu redressé
- Génération électrique, courant hexaphasé

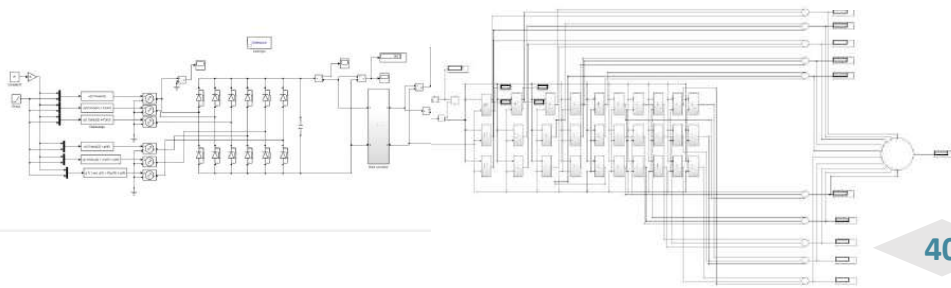
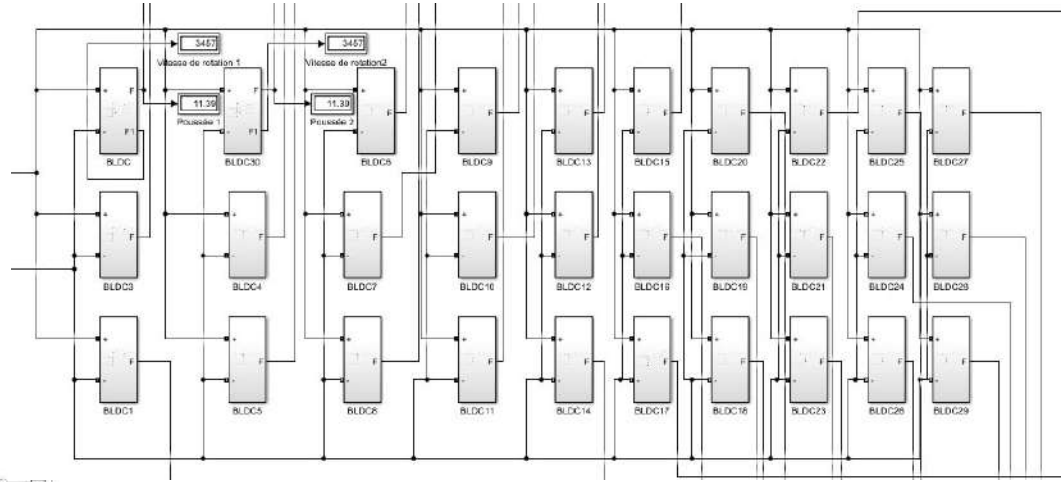


Modélisation - Fonctionnement général



Méthode employée

- Répartition des 30 moteurs de la demi chaîne de puissance en 10 colonnes de 3 moteurs
- Alimentation de chaque bloc par un courant de 48V redressé distribué en dérivation
- Sommation de la poussée de chaque moteur pour obtenir la poussée totale



Modélisation de moteurs indépendants



Objectif :

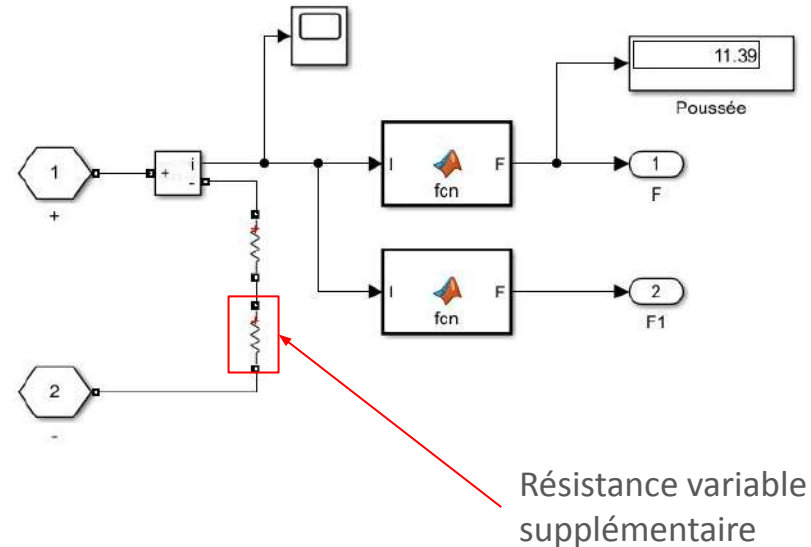
Être capable de simuler la poussée durant les différentes manœuvres possibles, où la poussée n'est pas uniforme

Hypothèses :

- Certains moteurs du modèle doivent pouvoir être contrôlés indépendamment des autres
- Trois blocs rotor ont cette possibilité sur les 30

Démarche employée :

- Ajout d'une résistance à paramètre variable permettant de réduire l'intensité mesurée et la poussée calculée

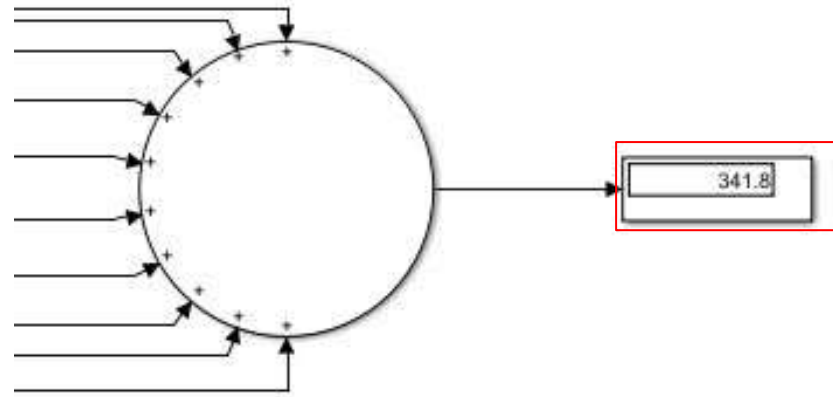


Modélisation - Résultats

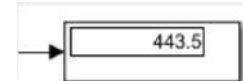


Avec le MP 8318 comme moteur, on obtient, un total de seulement **342 kg** de poussée soit **684 Kg au total**.
C'est trop limite pour mini bee

Cela justifie le retour au moteur U12 décidé récemment. Cet ancien choix avait été abandonné, mais sa puissance est plus élevée



En comparaison, résultats avec le moteur U12





Modélisation - Résultats

Problématique : Comment garantir un apport ponctuel de puissance ?

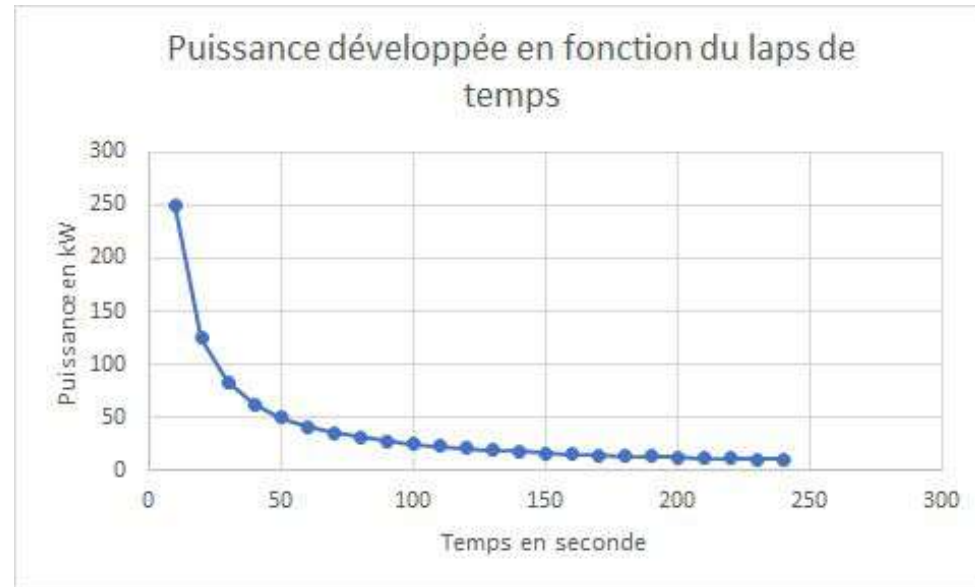
Hypothèse de travail : Condensateur parfait : pas de décharge dans le temps

Résistance des armatures nulles

Dimensionnement du supercondensateur :

- Capacité de 500F
- Tension de 100V aux bornes du condensateur

$$P = \frac{CU^2}{2\Delta t}$$





Scénarios de vol - Démarche

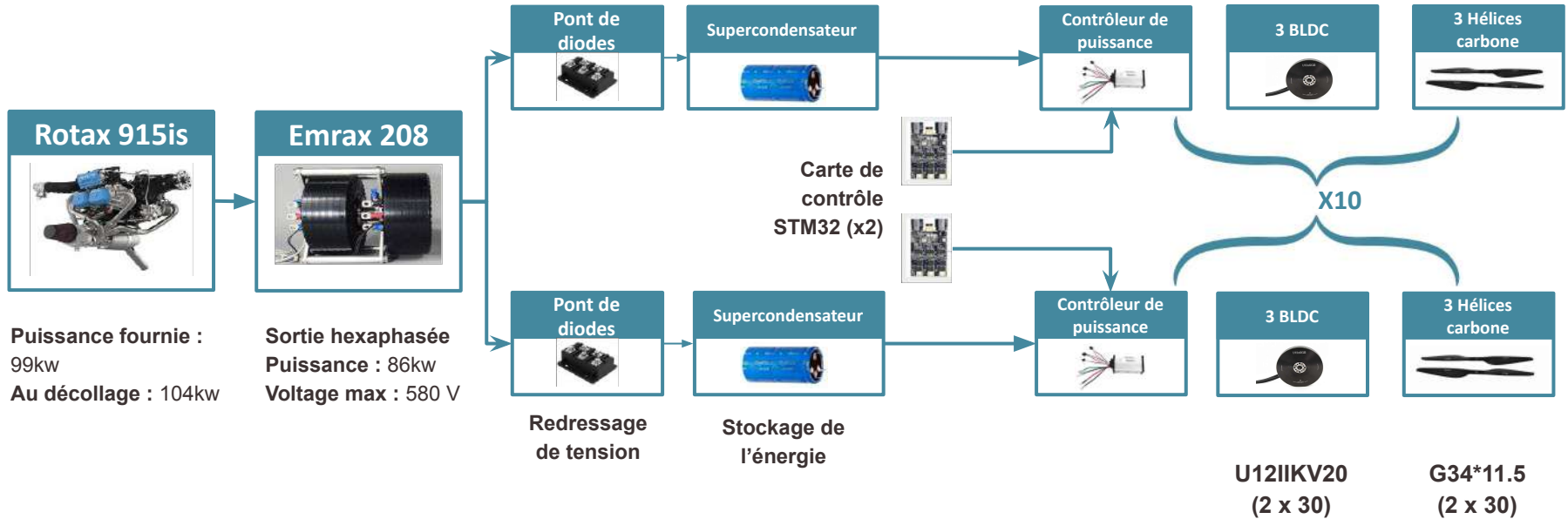
- Vol stationnaire
- Vol vertical
- Vol horizontal
- Virages en vol horizontal

Démarche :

- Création d'un modèle mathématique pour tous les scénarios sauf les virages
- Application du modèle et conclusion
- Variation des résultats en puissance et en masse
- Utilisation du modèle feedback pour les virages (voir diapo 105)
- Comparaison avec le Robinson R22 (5m/s vitesse ascensionnelle, pointe de vitesse à 170km/h)



Scénarios de vol - Démarche





Scénarios de vol - Démarche

Problématique : Comment calculer la puissance nécessaire pour différents scénarios de vol ?

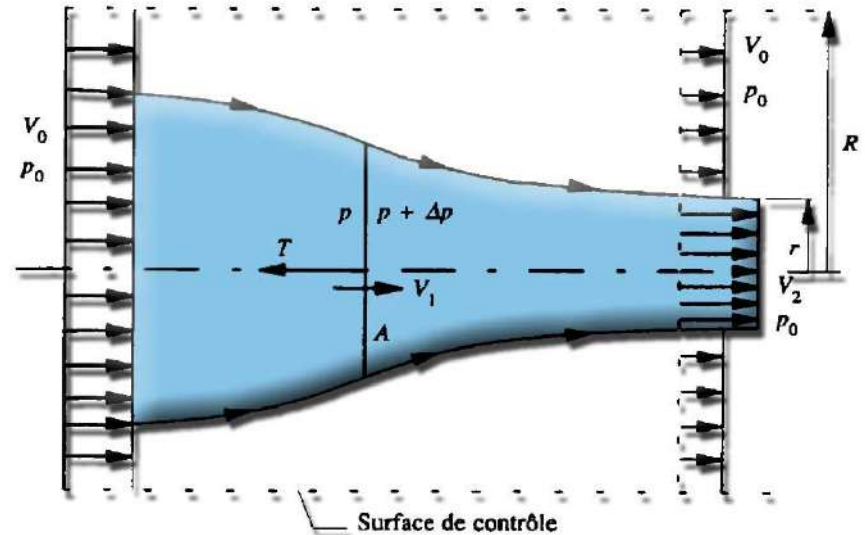
Hypothèse de travail : Flux incompressible et non visqueux

Régime stationnaire

Théorie de Rankine Froude



Application de la loi de Bernoulli





Scénarios de vol - Démarche

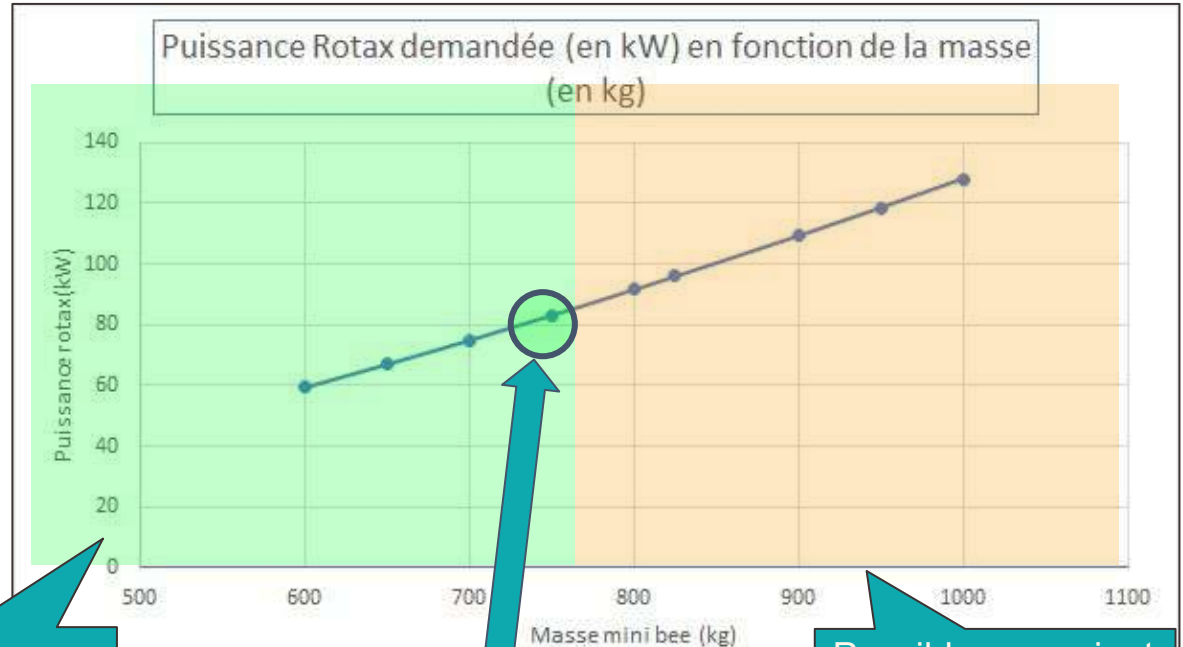
Vol stationnaire

Modèle analytique

$$F = 2\rho S v_i^2$$

$$P = F v_i = \sqrt{\frac{F^3}{2\rho S}}$$

$$v_i = \sqrt{\frac{F}{2\rho S}}$$



Possible sans ajout de puissance

Mini bee

Possible avec ajout de puissance



Scénarios de vol - Démarche

Vol vertical en montée

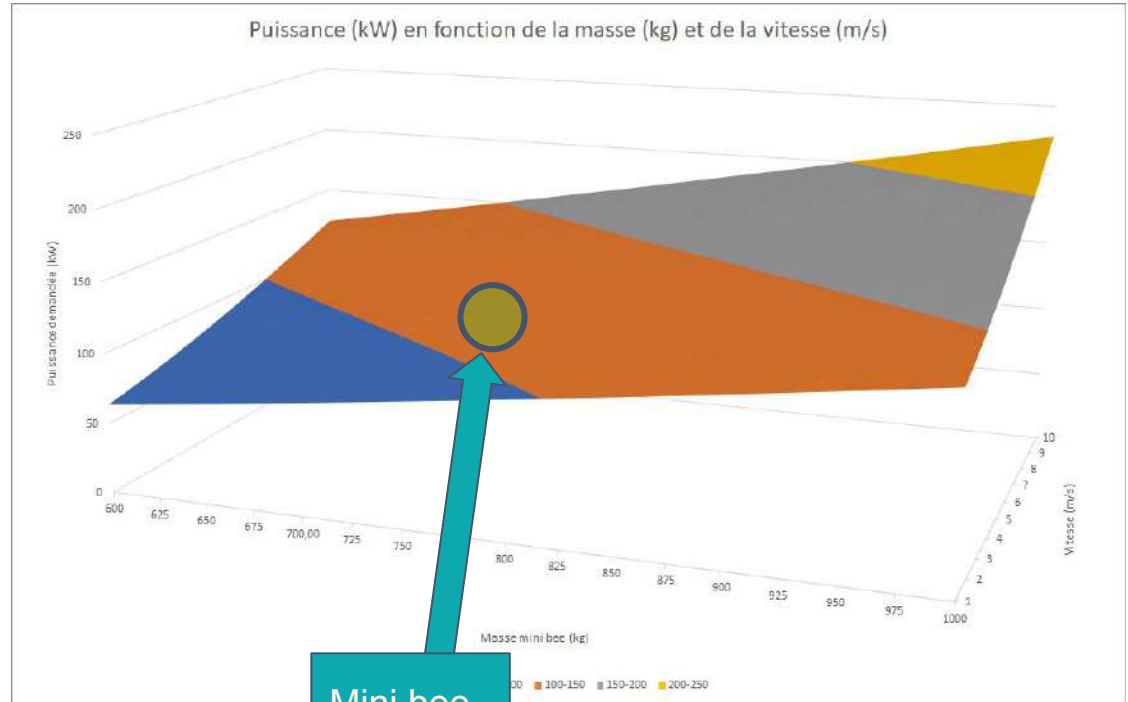
Modèle analytique

$$F = 2\rho S(v_i + v_v)v_i$$

$$v_i = \frac{v_{i0}}{\frac{v_v}{2v_{i0}} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_v}{2v_{i0}}\right)^2}}$$

$$P = F(v_i + v_v) = Fv_i + Fv_v$$

$$v_{i0} = \sqrt{\frac{F}{2\rho S}}$$



Mini bee



Scénarios de vol - Démarche

Vol vertical en montée

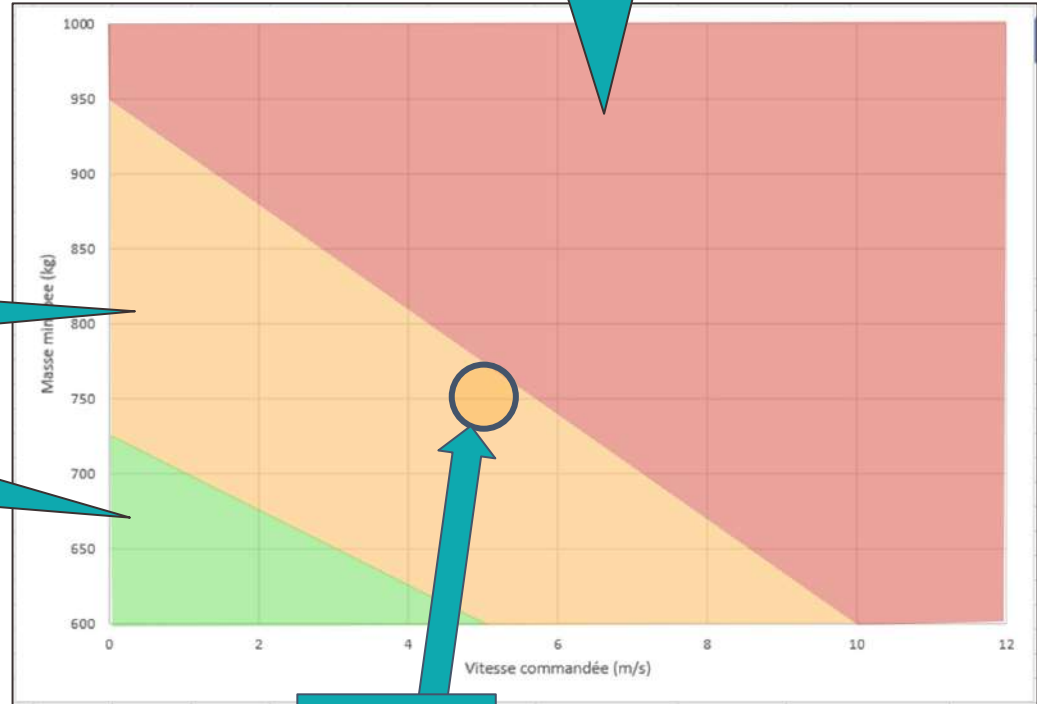
Analyse des résultats :

Possible avec ajout de puissance

Possible sans ajout de puissance

Limite atteignable :

- 10 m/s
- 950kg





Scénarios de vol - Démarche

Vol vertical en descente :

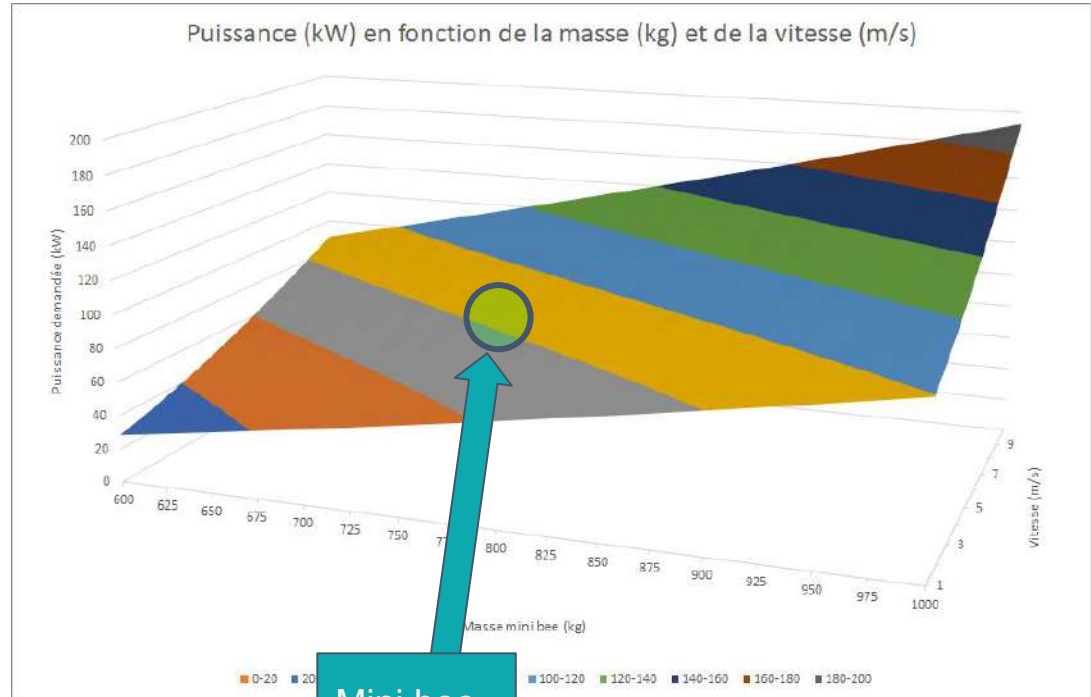
Modèle analytique

$$F = 2\rho S(v_i + v_v)v_i$$

$$v_i = \frac{v_{i0}}{\frac{v_v}{2v_{i0}} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_v}{2v_{i0}}\right)^2}}$$

$$P = F(v_i + v_v) = Fv_i + Fv_v$$

$$v_{i0} = \sqrt{\frac{F}{2\rho S}}$$





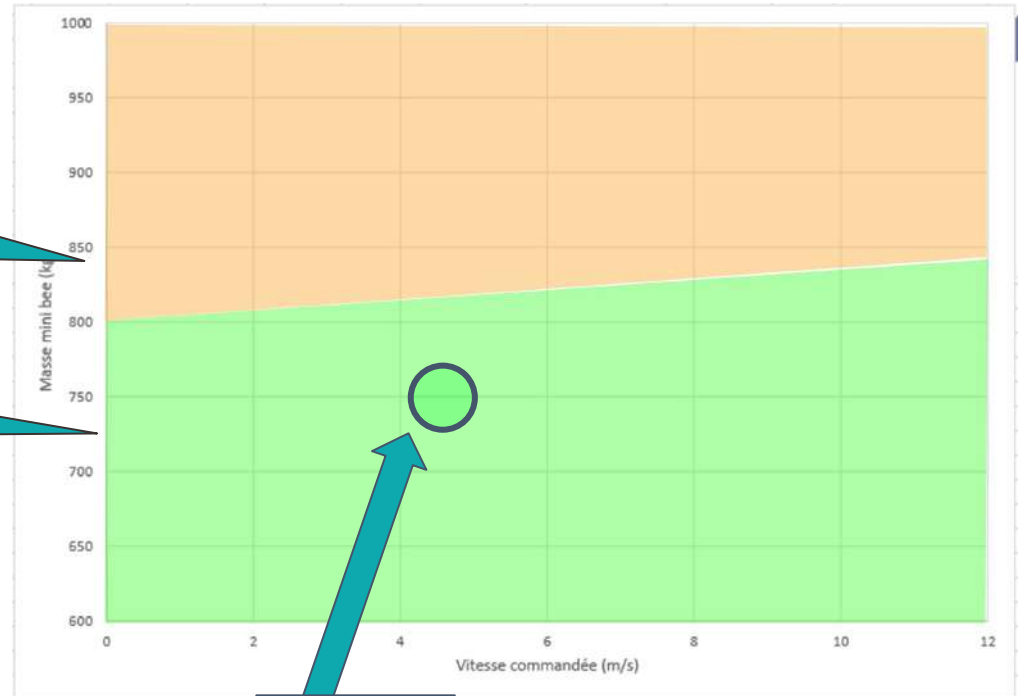
Scénarios de vol - Démarche

Vol vertical en descente

Analyse des résultats :

Possible avec ajout
de puissance

Possible sans
ajout de
puissance





Scénarios de vol - Démarche

Vol horizontal :

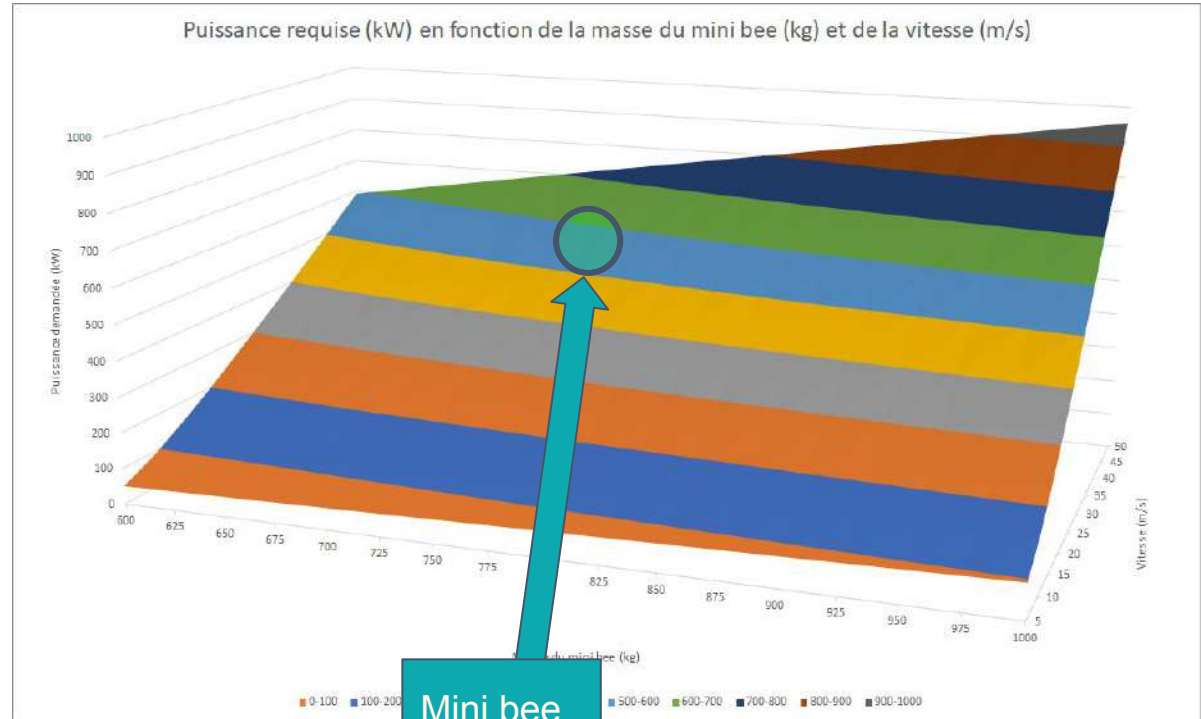
Modèle analytique

$$F = 2\rho S \sqrt{v_i^2 + v_h^2} v_i.$$

$$v_i = \frac{v_{i0}}{\frac{v_v}{2v_{i0}} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_v}{2v_{i0}}\right)^2}}$$

$$P = F(v_i + v_v) = Fv_i + Fv_v$$

$$v_{i0} = \sqrt{\frac{F}{2\rho S}}$$





Scénarios de vol - Démarche

Vol horizontal

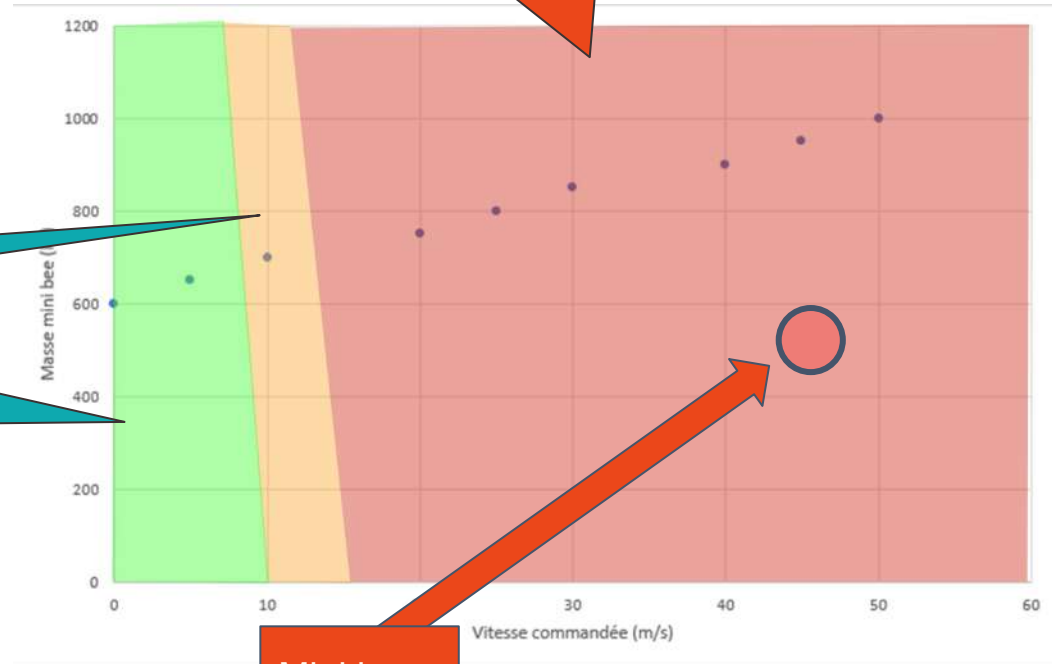
Analyse des résultats :

Possible avec ajout de puissance

Possible sans ajout de puissance

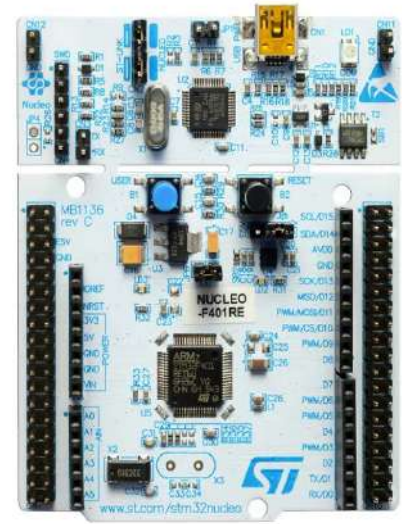
Limite atteignable :

- 15m/s
- 1200+kg



Mini bee

Capteurs





Objectifs du pôle



Objectifs validés (G1) :

- Choix des capteurs en accord avec le cahier de charges
- Mise en place d'un modèle dynamique
- Commande des tensions pour les différents scénarios de vol



Objectifs (G2) :

- Recherche d'un dispositif capable d'acquérir les données des capteurs mini-bee
- Implémentation de l'algorithme de feedback
- Proposition d'une expérience pour valider ou invalider les simulations faites



Architecture générale des capteurs

Mini-bee

Capteurs d'aide à la conduite: Kanardia

Visualisation des données



Digi



Indu Round Indicators



Emsis



Daqu

Commandes de vol



Joyu & boxi

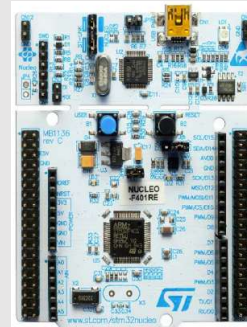


Volant Technomap



Autopilot

Flight Control Unit



STM32F401RE

Electronic Speed Controller

Pas encore défini pour le moment



Capteur de l'EMRAX 268

Capteur de température **KTY 81-210**



Capteurs physiques STMicroelectronics

Accéléromètre, gyroscope et magnétomètre



X-NUCLEO-IKS02A1

Il contient:

-Accéléromètre / Gyroscope:

ISM330DHCX



-Magnétomètre:

I12MDC



Baromètre

LPS22DF



→ Ensemble des capteurs choisi pour le moment

Chaîne de télémétrie



Récupèrent et convertissent les grandeurs physiques en signaux électriques



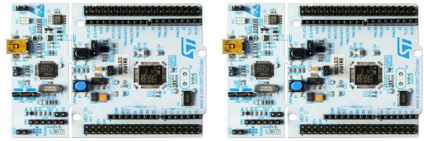
X-NUCLEO-IKS02A1



LPS22DF

Protocole CAN

Traitent les données des capteurs



2 FCU STM32F401RE

Protocole CAN

x20

Régule la vitesse des moteurs

Contrôleur ESC



3 moteurs U12 kv120

Régule la vitesse des moteurs

Contrôleur ESC



3 moteurs U12 kv120

Récupèrent et convertissent les commandes pilotes en signaux électriques



Joystick



Volant



Autopilote

→ La chaîne de télémétrie est centrée autour des FCU qui font tourner un algorithme de contrôle coordonnant capteurs et signaux envoyés aux moteurs

Protocole de communication

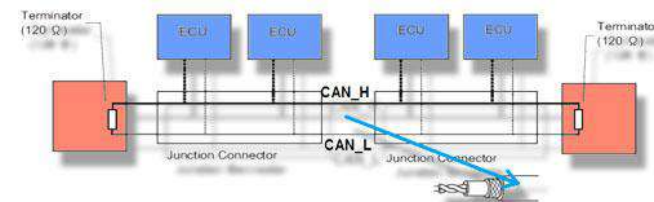


Problématique: Comment contrôler 20 cartes de contrôle indépendamment les unes des autres?

Plusieurs solutions de protocoles de communication sont possibles:

- ❑ **I2C:** Chaque périphérique sur le bus est adressable indépendamment et il ne nécessite que 2 lignes de signal. Cependant, le nombre d'appareils sur le bus est limité et un blocage de tout le bus est possible.
- ❑ **SPI:** Il est similaire au bus I2C mais est plus rapide. Cependant il ne s'utilise que sur des courtes distances.
- ❑ **CAN:** Il permet de n'utiliser qu'un seul câble pour relier un grand nombre de cartes. Il est massivement utilisé dans des systèmes complexes (avion, voiture, bateau).

→ Le Bus CAN est la meilleure solution car il permet une complexité plus élevée

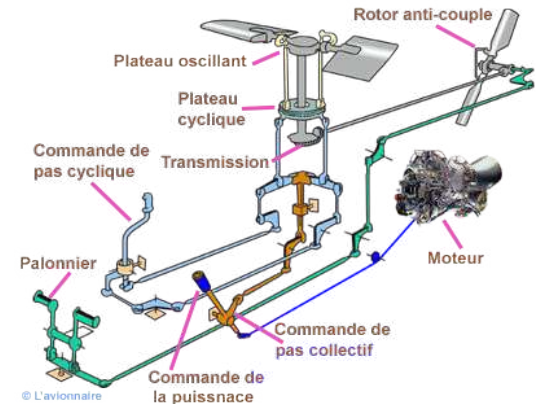


Commandes de vol d'un hélicoptère

Les 4 commandes de vol d'un hélicoptère:

- ❑ **La commande de pas collectif** est un levier permettant de faire monter ou descendre l'hélicoptère.
- ❑ **La commande de pas cyclique** est un joystick permettant de faire pivoter l'hélicoptère dans toutes les directions.
- ❑ **Le palonnier** est un système de deux pédales permettant de contrôler la direction de l'hélicoptère en faisant pivoter son nez.
- ❑ **La poignée des gaz** permet de faire varier la puissance du moteur.

→ Cela permet une grande précision de l'appareil. Cependant, cela rend également le contrôle très complexe et nécessite donc un apprentissage important pour le maîtriser.





Commandes de vol: joystick et volant

Problématique : Comment avoir accès à toutes les commandes en facilitant l'accès à l'utilisation du mini-bee?

Afin de faciliter le contrôle du mini-bee, le choix s'est porté sur l'utilisation d'un **volant** et d'un **joystick**.

	Avantages	Inconvénients
Volant et joystick	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Comportement similaire à une voiture grâce au volant: prise en main plus facile <input type="checkbox"/> Regroupe les boutons de manière visuelle pour le pilote 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Prend de l'espace visuelle dans le cockpit <input type="checkbox"/> Poids des commandes plus élevé
Commandes hélicoptères	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Permet un contrôle plus précis de l'appareil <input type="checkbox"/> Visuel dégagé pour les instruments de navigation 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Commandes complexes à prendre en main <input type="checkbox"/> Augmentation des chances d'actionner une autre commande en faisant un mauvais geste

Commandes de vol du mini-bee

Afin de contrôler le mini-bee, le pilote doit avoir accès au contrôle:

- ❑ Des 3 angles: **tangage**, **roulis** et **lacet**
- ❑ De la **puissance** fournit par le moteur
- ❑ De l'activation/désactivation de la **radio**
- ❑ De l'**autopilote**

Choix des composants:

Volant de Technomap:

- ❑ Volant personnalisable: on peut ajouter les commandes nécessaire
- ❑ Volant utilisable à une main: permet d'allier volant et joystick

Joystick Joyu de Kanardia:

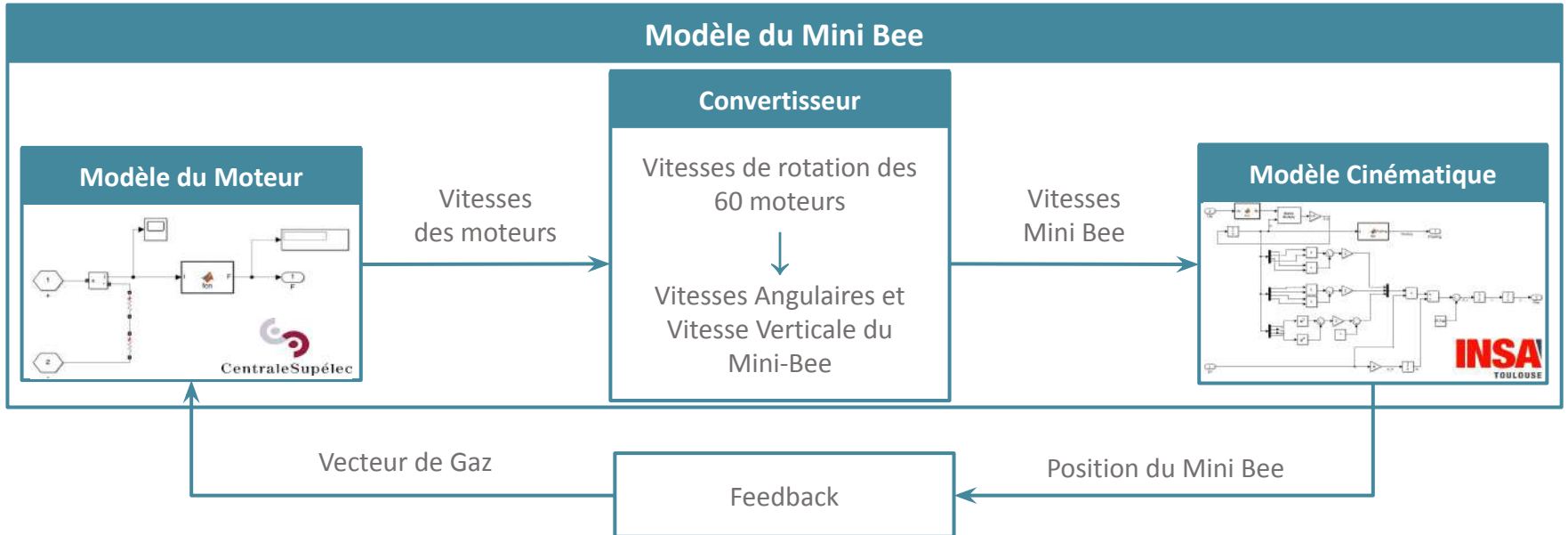
- ❑ Le joystick est de la même marque que l'autopilote facilitant le contrôle de celui-ci
- ❑ Boutons utilisables sur le dessus pour contrôler l'autopilote

→ Ces choix de composants permettent d'avoir un contrôle totale et simple du mini-bee





Algorithme de feedback



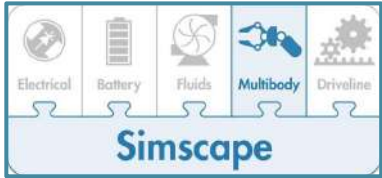
→ **Objectif** : Implémenter un feedback pour commander l'altitude et la position angulaire selon certains scénarios de vol



Algorithme de feedback

SIMULINK®

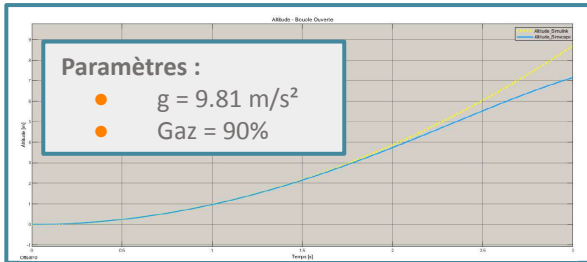
Modèle plus simple, utilisé pour implémenter le feedback



Modèle plus réaliste, utilisé pour tester le feedback et valider les scénarios de vol

Hypothèses

- Liaisons parfaites
- Tous les éléments sont bien placés
- Il n'y a pas de perturbation



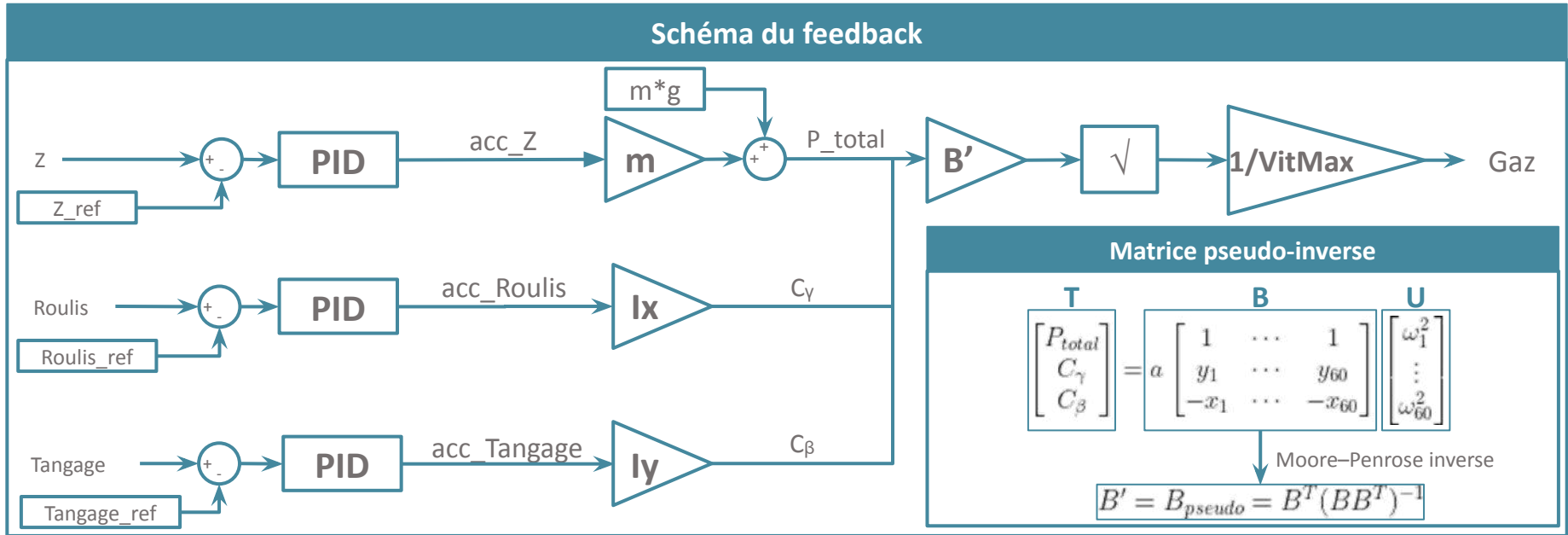
Les deux modèles ont le même comportement dynamique

Nous pouvons implémenter le feedback avec le modèle Simulink et l'utiliser avec le modèle Simscape

→ Étant donné que les modèles sont similaires, nous pouvons implémenter le feedback



Algorithme de feedback


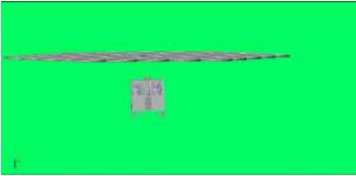

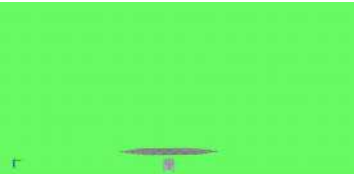









→ Une fois le feedback implémenté, nous devons valider les scénarios de vol



Algorithme de feedback

Scénarios de vol

	Vol Stationnaire			Montée	
	Vol Horizontal			Descente	
	Avance			Virages	Nécessitent du feedback pour l'angle de lacet

→ **Résultat** : La plupart des scénarios ont été validés avec le feedback implémenté

Prototype



Problématique : La simulation de l'algorithme de feedback est-elle fiable ?

Démarche à suivre :

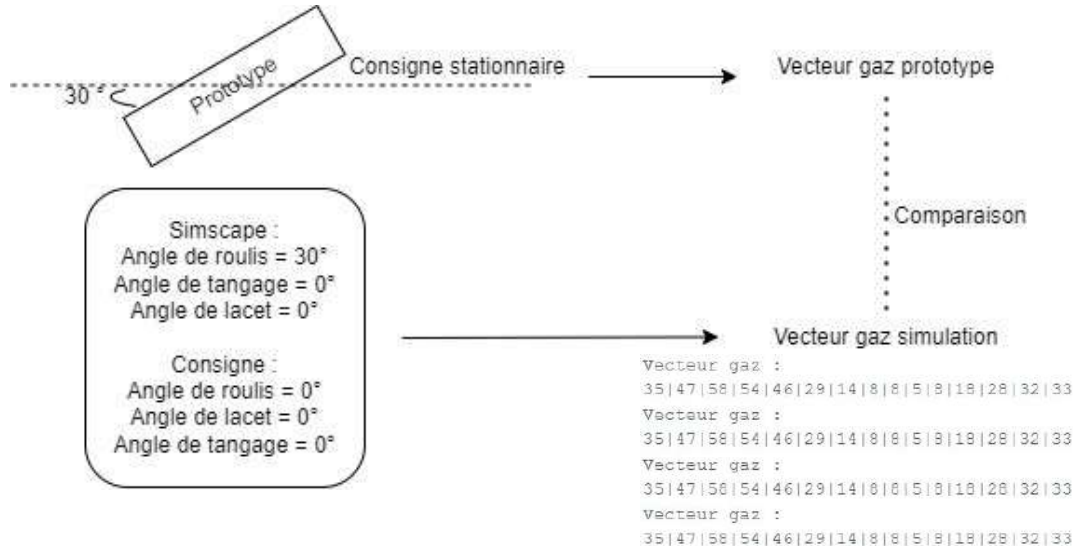
- a) Réaliser un prototype reproduisant la chaîne de télémétrie du mini bee
- b) Implémenter différents algorithmes tests afin de tester la fiabilité du prototype
- c) Implémenter l'algorithme de feedback sur le prototype
- d) Expérimenter et simuler des scénarios de vol dans les mêmes conditions
- e) Comparer les écarts entre la simulation et l'expérience afin de conclure sur la fiabilité du modèle numérique

Prototype



Mise en pratique de l'étape d)

Principe de l'expérience



Pour valider l'implémentabilité du feedback, on vérifie que la condition suivante est respectée :

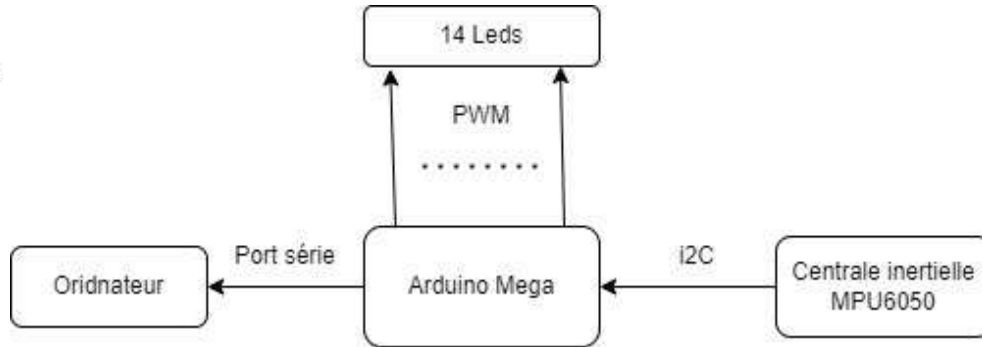
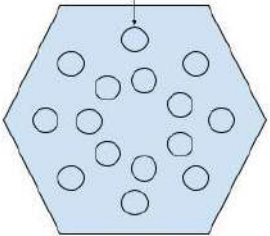
$$0.95 < \left| \frac{\sum |x_i|_{simulation}}{\sum |x_i|_{experience}} \right| < 1.05$$

Prototype

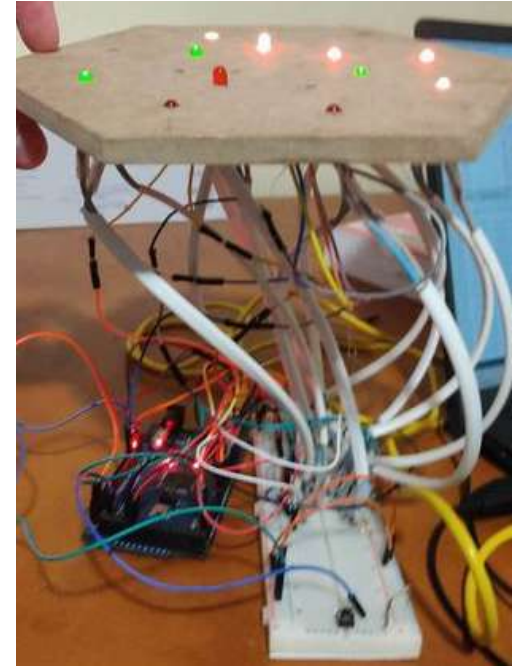


a) Réalisation du premier prototype

Led -> groupe de 4 moteurs



En raison de la PIN 2 utilisée par la centrale inertielle, seules 14 leds sont commandables, ce qui n'empêche pas de communiquer le vecteur gaz à 15 composantes via le port série



Prototype

b) Implémentation d'algorithmes tests afin de tester la fiabilité du prototype

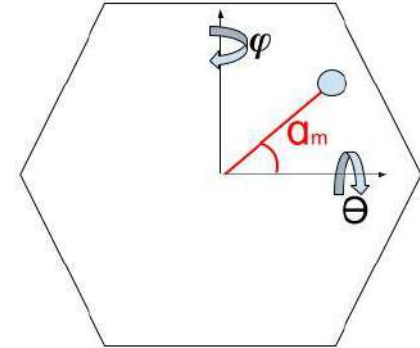
Premier algorithme implémenté : commande proportionnelle avec consigne stationnaire.

La luminosité d'une des leds, qui varie de 0 à 255, est donnée par la loi:

$$127.5 + (\varphi - \varphi_c) \cdot \cos(\alpha_m) + (\Theta - \Theta_c) \sin(\alpha_m)$$

La composante correspondante transmise par le port série est la même valeur divisée par 4,25 (valeur maximale de 60)

⇒ Le comportement du prototype est cohérent



α_m : Angle de position du moteur commandé

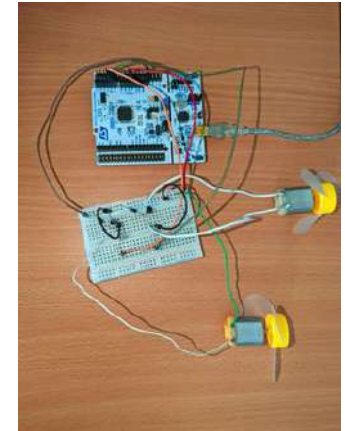
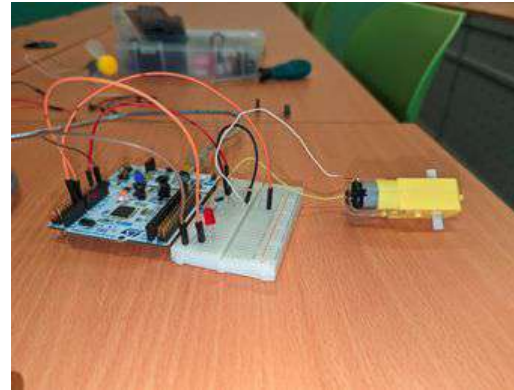
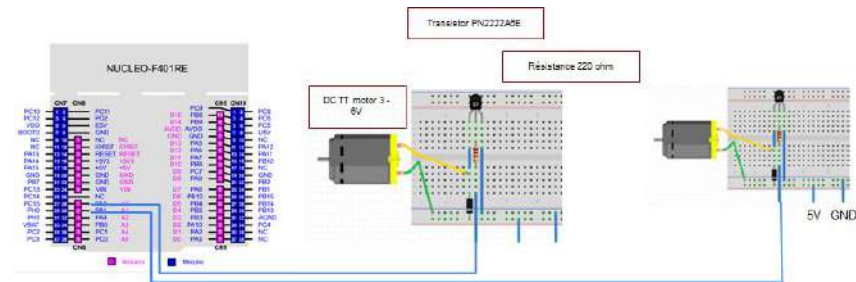
φ : Angle de roulis (mesure)

φ_c : Angle de roulis (consigne)

Θ : Angle de tangage (mesure)

Θ_c : Angle de tangage (consigne)

CY-TECH - Prototype découplage moteurs



→ Cette solution permet de gérer la vitesse de 2 moteurs indépendamment. Elle est extensible facilement à un plus grand nombre de moteurs

ESTACA - Tableaux de bord possibles



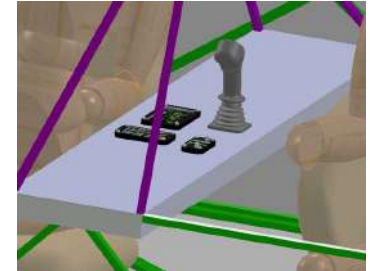
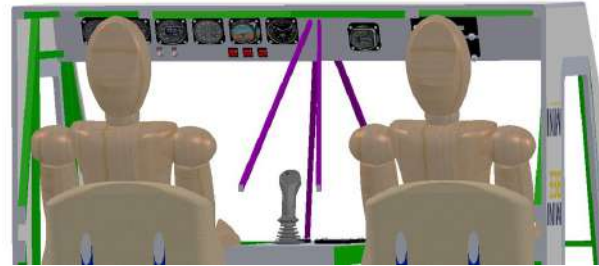
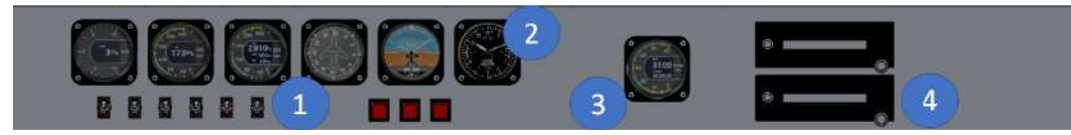
Configuration 1



- 1: Feux, Phares, batterie, alternateur, fuel pump, starter
- 2: Instruments de vol Kanardia
- 3: Tachymètre
- 4: Radios

→ Cette configuration respecte les conventions de positionnement mais obstrue le champ de vision

Configuration 2



→ Cette configuration ne respecte pas les conventions de placement des instruments mais est installable au dessus de la verrière



Cahier des charges quantitatif général



Critères	Contraintes limites
<i>Poussée fournie par la chaîne</i>	> 7 250 N
<i>Vitesse de rotation des hélices</i>	2 000 < RPM < 2 700
<i>Nombre de rotors</i>	60
<i>Vitesse verticale</i>	4 m/s
<i>Vitesse de croisière</i>	170 km/h
<i>Masse du Mini-Bee</i>	< 750 kg
<i>Diamètre de la surface prise par une pale</i>	0,6 m
<i>Coût total</i>	< 300 000 €
<i>Accélération maximale</i>	5 m/s ²
<i>Charge supportée par le parachute</i>	750 kg
<i>Norme hélicoptère</i>	CS27 et TSO
<i>Qualité des composants électroniques</i>	Certifiables

Cahier des charges du pôle structure



N°	Intitulé	Détail	Niveaux et limites
1.1	Masse	Etablir un premier bilan des masses	Respecter les conditions limites de poussée des moteurs choisis par le pôle électronique de puissance : 750kg
1.2		Actualiser constamment le bilan des masses	Actualisation sous 1 semaine après le changement
2.1	Transportabilité	Etude des temps de montabilité et de démontabilité	Le montage et démontage doit être réalisé par maximum 2 techniciens et cela rapidement : < 4h
2.2		Prise en compte du format LD3 des conteneurs	Le Minibee doit être transporté dans des conteneurs de type LD3 et donc adaptable à ces dimensions : 198cmx169cmx158cm
		Etude de l'occupation en volume	Dans le conteneur LD3, le calcul de l'occupation doit être réalisé
2.3		Agencement du cockpit	Il est nécessaire de laisser une place suffisante pour le pilote et le malade. La cabine doit comporter le moteur, les EMRAX, les sièges, les réservoirs et le système de commande
3.1	Atterrissage	Choix des vérins des trains d'atterrissage	La force que les trains d'atterrissage doivent supporter est de 2250N à l'atterrissage
3.2		Comparaisons avec des trains d'atterrissage différents	Comparaison des modèles, des répartitions et des choix techniques
4.1	Structure supérieure	Modélisation de la structure supérieure	Respect du nombre de rotors
4.2		Optimisation du carénage de la structure	Suppression des liaisons superflues, notamment celles passant 2 fois par le même rotor
4.3		Calcul des dimensions suite à l'augmentation du nombre de rotors	Respect du passage de 36 à 60 rotors.
5.1	Fixations moteur	Bilan des données EMRAX et ROTAX concernant les fixations	Masse des EMRAX : 9,4 kg Points d'accroche au nombre de 8 Impossibilité d'utiliser le système d'accroche préexistant
5.2		Détermination des contraintes s'appliquant sur la fixation EMRAX	Couple transmis par le ROTAX vers EMRAX : 172 Nm Contrainte liée au poids : 922 N Effort lié au couple : 1376 N
5.3		Déterminer une solution permettant la fixation des EMRAX à la structure et au ROTAX	Création d'une partie basse du X, alternative et assez solide
6.1	Aménagement	Détermination de l'agencement des moteurs dans l'habitacle	
6.2		Etude des exigences de sécurité	Accélération inférieure à 5g Parachute de sécurité supportant la masse du MINIBEE
6.3		Etude de l'ergonomie du pilotage	
6.4		Intégration des outillages et tests	

- Fait
- En cours
- A venir

Cahier des charges du pôle électronique



N°	Intitulé	Détail	Niveaux et limites
1.1	Choix moteur	Masse	Le moteur doit avoir le meilleur rapport masse poussée possible, donc on fixe une masse < 1 kg
		Prix	Au vu des autres coûts, le prix des moteurs doit être réduit au maximum, < 400 \$ par moteur
1.2		Poussée maximale	En considérant la masse du Mini-Bee à 750 kg, il faut une poussée maximale > 12,5 kg par moteur
2.1	Choix hélices	Compatibilité moteur	Les hélices doivent être compatibles au moteur. En particulier, leur poussée maximale > poussée maximale moteur
		Surface alaire	Pour un souci de manoeuvrabilité, on veut une surface alaire minimale < 150 m ²
2.2		Masse totale	Il faut minimiser la masse des hélices, leur masse totale < 10 kg
		Prix	Au vu des autres coûts, le prix des hélices doit être réduit au maximum, < 400 \$ par moteur
3.1	Vol stationnaire	Poussée minimale : pouvoir supporter la masse totale du mini bee	Des moteurs avec une poussée fixée à 12,5 kg par le constructeur ne conviennent certainement pas, la poussée totale doit être supérieure à la masse du Mini Bee + une certaine marge, donc une poussée > 750 kg + ?
3.2	Vol vertical/horizontal	Vitesse ascensionnelle	Va > 4 m/s
		Vitesse de croisière	Vc = 47 m/s
3.3	Virages	Pouvoir tourner selon plusieurs inclinaisons	Inclinaison maximale = 30°

Cahier des charges du pôle capteur



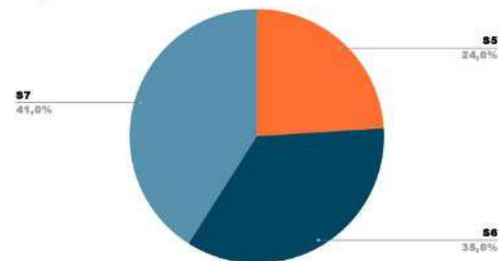
N°	Intitulé	Détails	Niveaux et limites
1.1	Prise en main	Contrôler l'altitude, l'angle de roulis, tangage, lacet	Contrôle en temps réel, précision $< 1m.$ / $< 1^\circ$
1.2		Activer et contrôler l'autopilote et la radio	Activation facile et rapide
2.1	Algorithme de feedback	Acquisition fiable des données du mini bee	Capteur de mesure d'angle précis à 1° près
2.2		Algorithme implémentable sur microcontrôleur	Présence d'une solution hardware compatible pour les calculs non linéaires
3.1	Prototype	Reproduire l'architecture du mini bee	Contrôler 15 sorties comme les 15 signaux du mini bee
3.2		Récupérer facilement les données acquises en temps réelles	Pouvoir être connecté à un ordinateur en USB
3.3		Acquisition fiable des données du mini bee	Capteur de mesure d'angle précis à 1° près

Temps consacré au projet

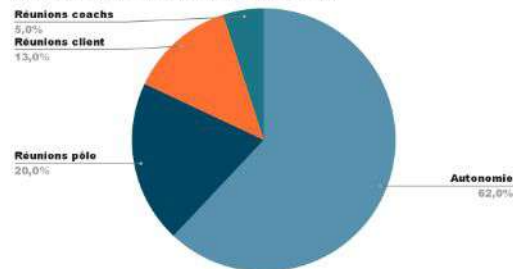


	S5	S6	S7	Total
Autonomie	54 H	85 H	96 H	235 H
Réunions par pôles	18 H	20 H	38 H	76 H
Réunions client	12 H	16 H	20 H	48 H
Réunions coachs	5 H	10 H	3 H	18 H
Total	89 H	131 H	157 H	377 H

Répartition en fonction des semestres



Répartition en fonction du travail



Coûts du projet



	Contenu	Coût
Licence logiciels	3 licences OnShape 2 licences Matlab	8 800 €
Matériel expérimental	Carte X-Nucleo-IKS01A2, Capteur LPS22DF, Carte STEVAL-MKI224V1, Carte STM32F401RE	60 €
Consulting	Validation du modèle Simulink, Modélisation des scénarios de vol, Consulting pour l'achat du matériel	120 €
Total		8 990 €

Bilan de masse



Devis de poids	Composant	Fabricant	Référence	Masse (kg)	Quantité	Masse totale (kg)	Incertitude	Incertitude en Masse	Masse Majorée
Motorisation-Intégration des rotors									
Moteur	1	T-Motor	U12IIKV120	0,8	60	47	10%	4,7	51
Hélice	1	T-Motor	G34 (T-motor)	0,2	60	10	10%	1,0	11
Tube carbone des barres de structure	1		Carbone CFK 20mm	0,6	84	50	10%	5,0	55
Tube carbone de jointure	1		Carbone CFK 20mm	0,6	82	49	10%	4,9	54
Fixation moteur	1		?	0,2	60	12	10%	1,2	13
Fixation des barres	1			0,05	120	6	10%	0,6	7
Câbles	1		Cables électriques (1m)	0,1	90	9	10%	0,9	10
Support moteur	1			1,0	60	63	10%	6,3	69
Support rotule	1			0,02	42	1	10%	0,1	1
Rotule	1	HPC	CMM.00.06/RH/SS	0,02	42	1	10%	0,09	1
Axe goupille rotule	1	FIPS	21440634	0,01	42	0	10%	0,04	0
Insert tubes	1			0,1	168	23	10%	2,3	25
Insert tube rotule	1			0,07	42	3	10%	0,3	3
Axe goupille tube	1	FIPS	21440645	0,01	168	2	10%	0,2	2
Sous-total Motorisation électrique						245			

Bilan de masse



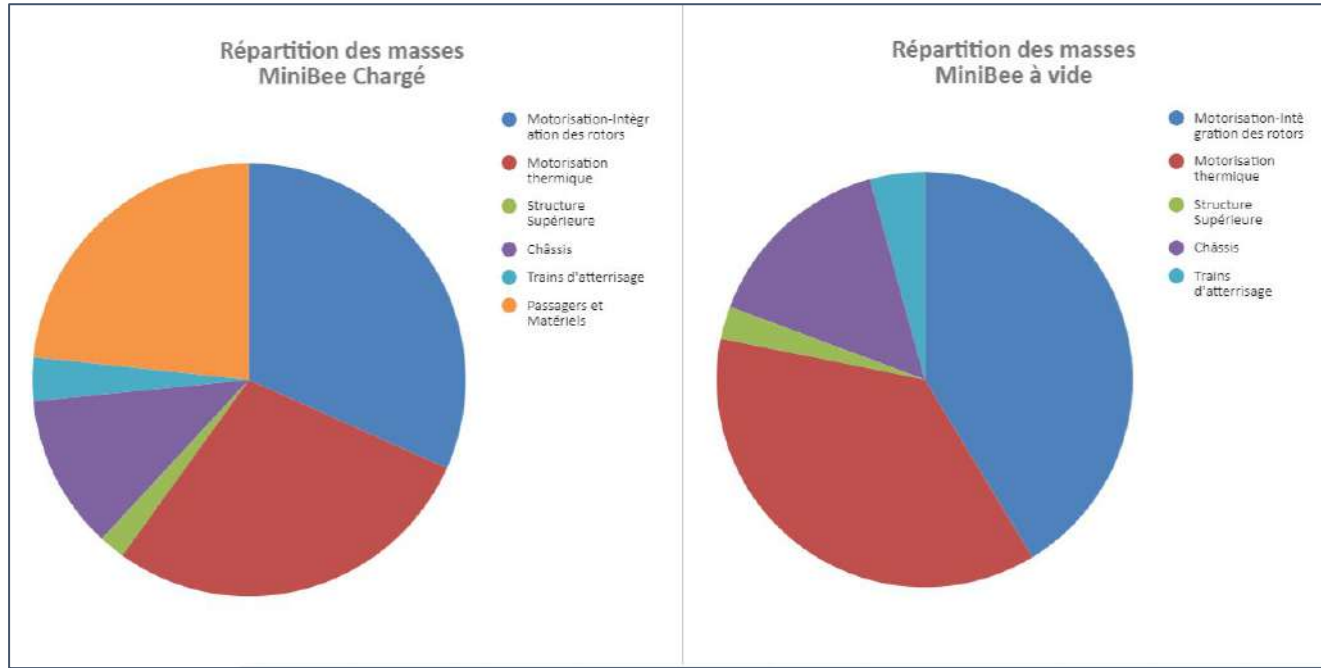
Devis de poids	Composant	Fabricant	Référence	Masse (kg)	Quantité	Masse totale (kg)	Incertitude	Incertitude en Masse	Masse Majorée
Motorisation thermique									
Moteur	1	Rotax 915is		85	1	85	5%	4,3	89
Générateur DC-AC	1	Emrax 268 Twin		21	2	42	5%	2,1	44
Accouplement Pièce	1			4,5	1	5	10%	0,5	5
Kérosène 100L	1			81	1	81	5%	4,1	85
Batterie	1								
Réservoir Carburant	1			5,3	1	5	5%	0,3	6
Sous-total Motorisation thermique						218			
Structure Supérieure									
Electronique embarquée	1			15	1	15	10%	1,5	17
Sous-total Structure supérieure						15			
Châssis									
Siège	1			10	2	20	10%	2	22
Vérin	1			0,5	4	2	5%	0,1	2
Chape arrière	1		EN-AW-5086	0,5	4	2	5%	0,1	2
Chape centrale	1		EN-AW-5086	0,7	2	1	5%	0,07	1
Chape avant	1		EN-AW-5086	0,5	4	2	5%	0,1	2
Chape à oeil INOX 304	1		INOX 304	0,4	2	1	5%	0,04	1
Chassis	1			42	1	42	10%	4,2	46
Parachute	1			19	1	19	5%	1,0	20
Sous-total Châssis						89			

Bilan de masse



Devis de poids	Composant	Fabricant	Référence	Masse (kg)	Quantité	Masse totale (kg)	Incertitude	Incertitude en Masse	Masse Majorée
Trains d'atterrissage									
Chape Vérin	1		EN-AW-5086	0,5	12	6			
Tête à Rotule	1		M14	0,2	4	1			
Tubes Carbone fixation haute 30cm	1		Carbone CFK 30mm	0,03	4	0			
Tubes carbone fixation basse 120cm	1		Carbone CFK 30mm	0,12	12	1			
Roues	1		12.6 BERINGER	3,4	4	14			
Vérins	1		gaz 20-40 course 500	0,8	4	3	5%	0,16	3
Sous-total Trains d'atterrissage						25			
Passagers et Matériels									
Masse limite passagers et matériel				180	1	180	5%	9	189
						180			
Total Masse MiniBee Chargé(kg)						772			836
Total Masse MiniBee vide (kg)						592			
Poids MiniBee chargé (N)						7569			
Poids MiniBee à vide (N)						5804			

Bilan des masses





Choix du moteur

	U12 KV90	U13II KV130	U10II KV100	U12II KV120	MP 8318
Poids (en g)	794	990	415	778	?
Poussée max (en kg)	10.2	24	10.6	20.4	12.5
Prix (en \$)	349	379	339	369	75
Photo					

- Non respect des exigences
- Proche de la limite
- Respect des exigences



Choix des hélices

	G 36*11,5	G 34*11,5	G 30*10,5	NS 30*10	V30*12
Prix (en \$)	405	380	336	340	300
Poids total 60 hélices (en kg)	11.6	7.8	6	4.3	5.7
Surface alaire (en m2)	158	140	109	109	109
Poussée max (en kg)	45	42	33	22	19

- Non respect des exigences
- Proche de la limite
- Respect des exigences

=> **Le G34*11,5 est le meilleur candidat**

Tableau comparatif des capteurs



	A et G: LSM6DSR	A et G: MPU-6050	M: LIS2MDL	A G et M: MPU-9250	A, G et M: XNUCLEO-IKS02A1	B: LPS22DF	B: LPS28DFW
Général							
Tension d'alimentation [V]	1,71 à 3,6	2,3 à 3,6	1,71 à 3,6	2,4 à 3,6	1,71 à 3,6	1,71 à 3,6	1,71 à 3,6
Tolérance à la température [°C]	-40 à +85	-40 à +85	-40 à +85	-40 à +85	-40 à +85	-40 à +85	-40 à +85
Tolérance aux chocs [g]	10 000	10 000		10 000	10 000	22 000	
Prix [€]	4,35	10	1,1	13,15	23,99	2,14	9,95
Accéléromètre							
Nombre d'axe d'accélération linéaire	3	3		3	3		
Plage d'accélération [g]	±2/±4/±8/±16	±2/±4/±8/±16		±2/±4/±8/±16	±2/±4/±8/±16		
Courant de fonctionnement [mA]	1,2	0,5		0,45			
Gyroscope							
Nombre d'axe d'accélération angulaire	3	3		3	3		
Plage de vitesse angulaire [°/s]	±125/±250/±500/±1000/±2000/±4000	±125/±250/±500/±1000/±2000		±125/±250/±500/±1000/±2000	±125/±250/±500/±1000/±2000/±4000		
Courant de fonctionnement [mA]	1,2	3,6		3,2			
Magnétomètre							
Nombre d'axe capteur magnétique			3	3			
Plage de mesure [gauss]			±50	±48	±50		
Courant de fonctionnement [mA]			1,1	0,28			
Baromètre							
Plage de pression [hPa]						260 à 1260	260 à 1260
Courant de fonctionnement [mA]						0,8	0,8
Communication							
Protocole de communication	SPI/I2C/MIPI I3C	I2C	SPI/I2C/MIPI I3C	I2C/SPI	I2C/SPI	SPI/I2C/MIPI I3C	I2C/MIPI I3CSM

Légende:

A: Accéléromètre
 G: Gyroscope
 M: Magnétomètre
 B: Baromètre

Capteurs présents dans le Rotax 915iS



Rotax 915iS

Capteurs de température

- Température ambiante du moteur
- Température des gaz d'échappements
- Température du liquide de refroidissement
- Température de l'huile moteur
- Température de l'air du collecteur

Capteurs de pression

- Pression ambiante du moteur
- Pression de l'huile moteur
- Pression de suralimentation turbo: pression de l'air et ratio air/fuel
- Pression d'air du collecteur

Capteurs de position

- Position du papillon des gaz: admission d'air dans le moteur
- Position du vilebrequin

Capteur de vibrations

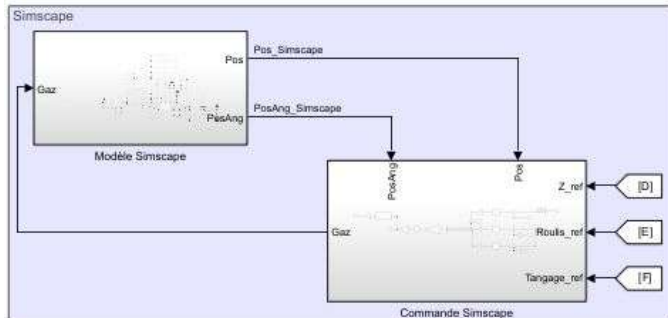
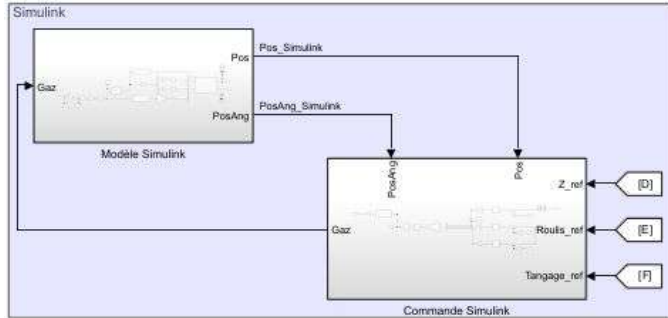
- Capteur de vibration dans le moteur

Capteur de courant

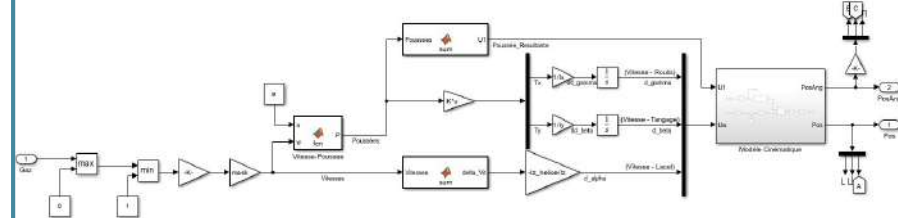
- Capteur du courant dans le moteur

Schéma des modèles sur Simulink

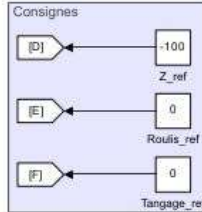
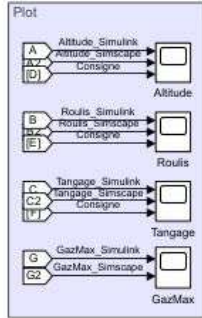
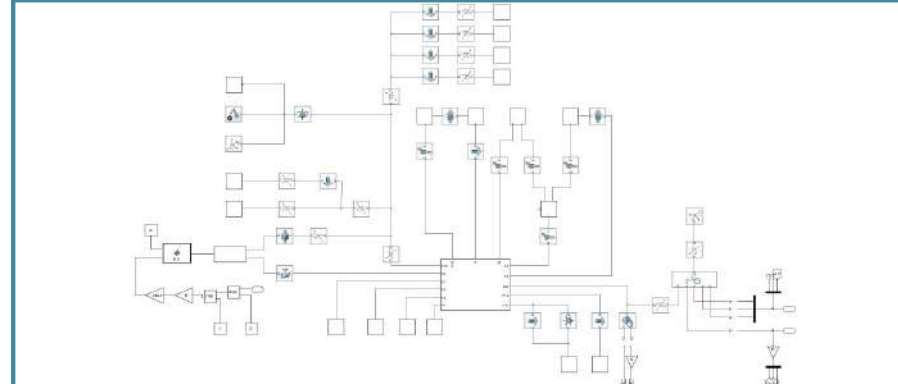
Schéma global



Modèle Simulink



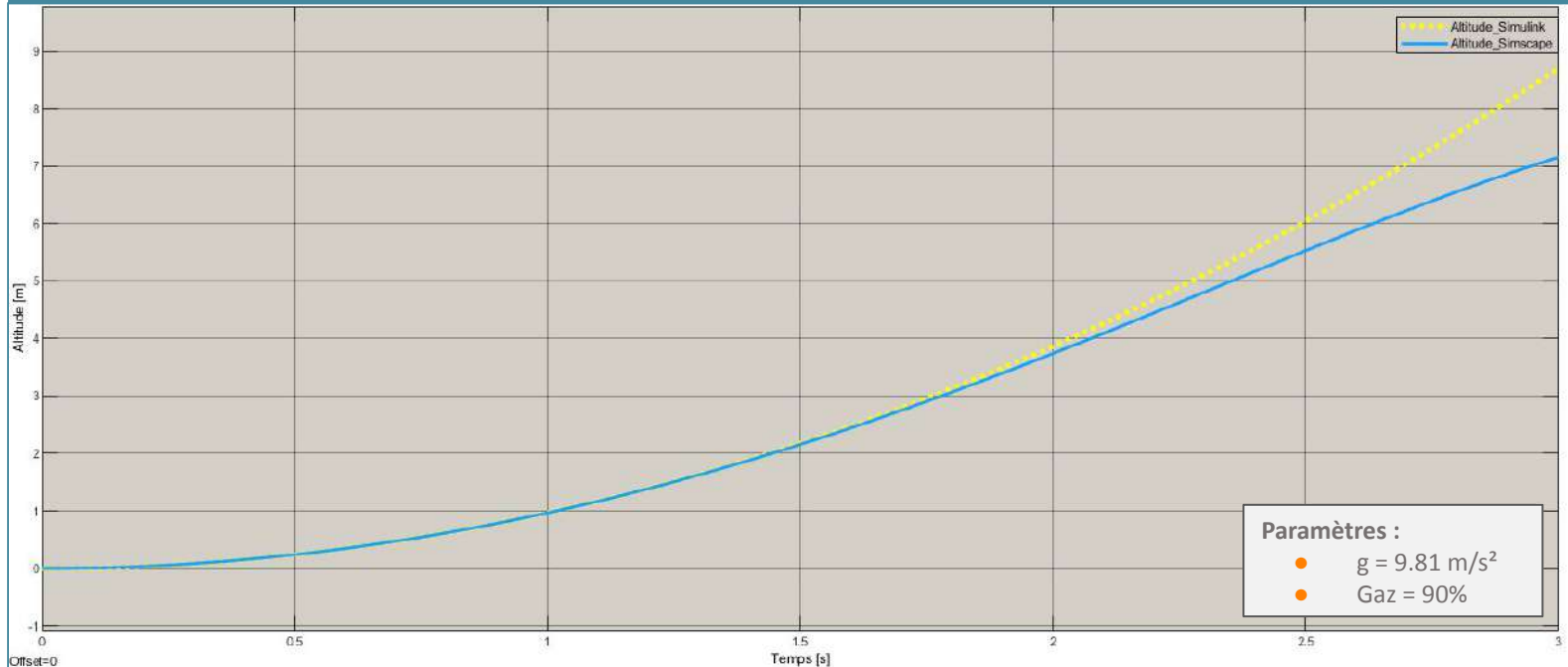
Modèle Simscape



Dynamique des modèles en boucle ouverte

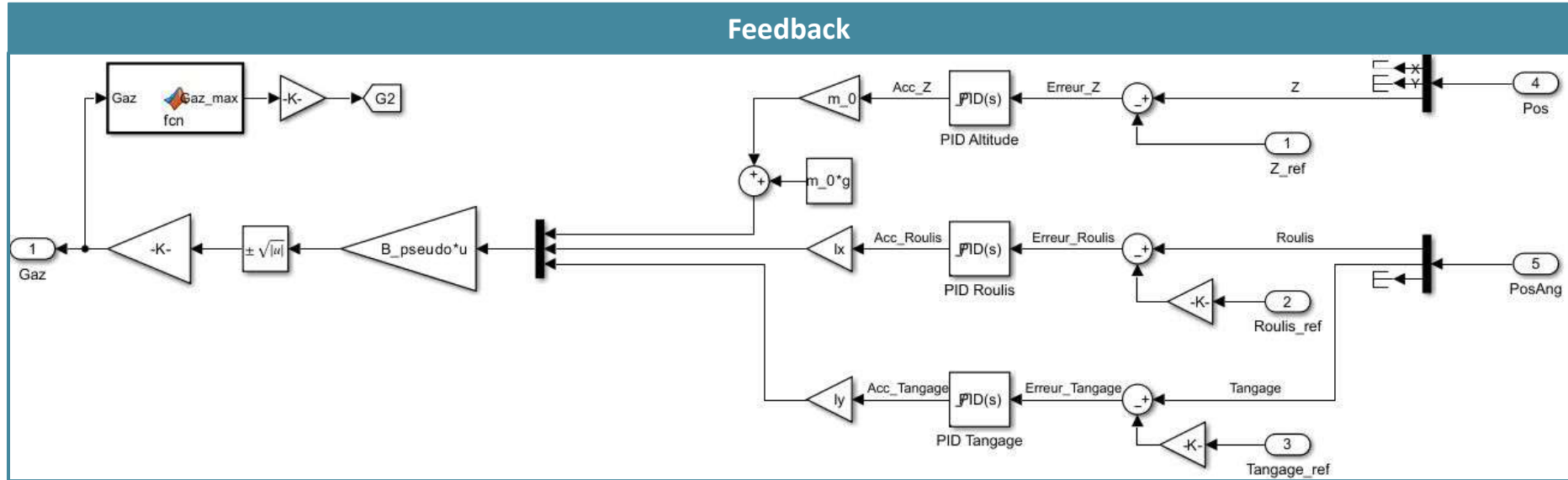


Altitude - Boucle Ouverte

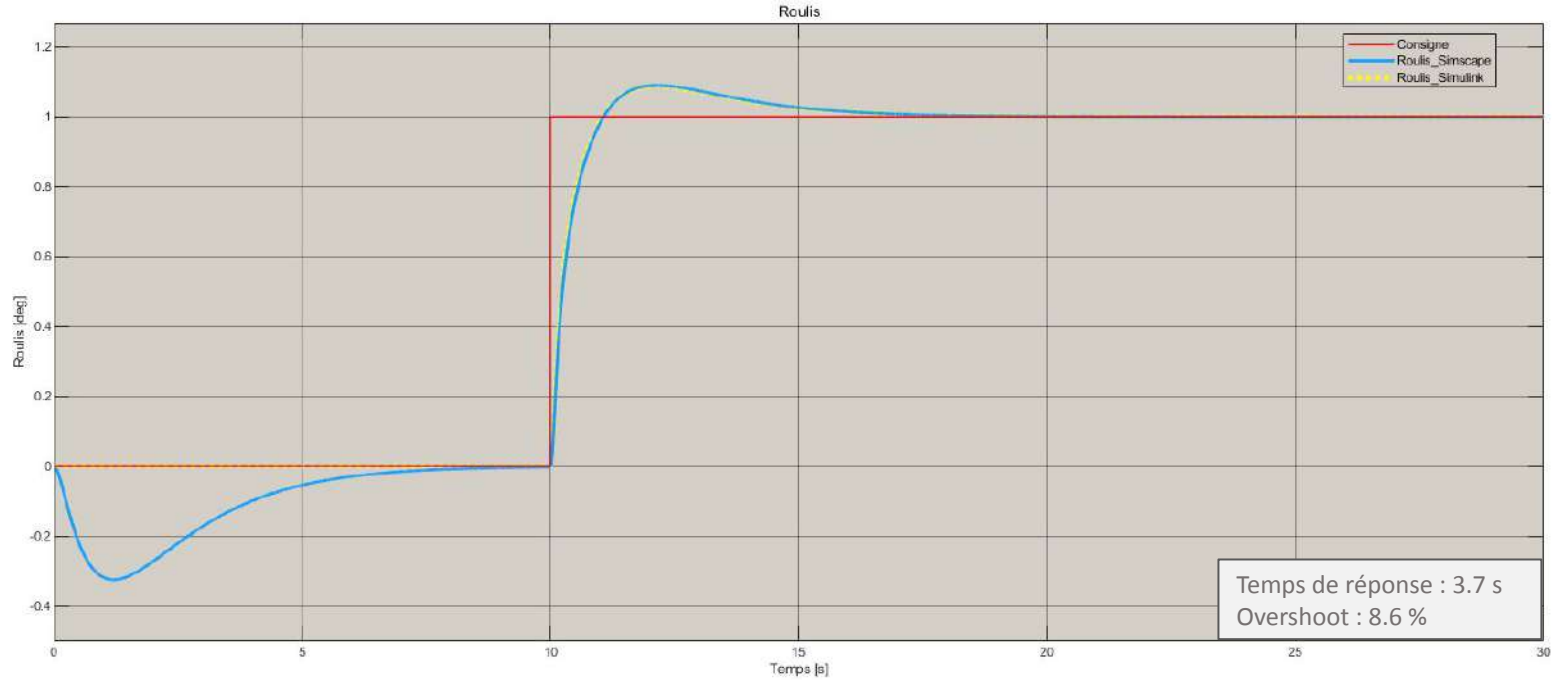


Retour

Schéma du feedback sur Simulink



Propriétés du feedback

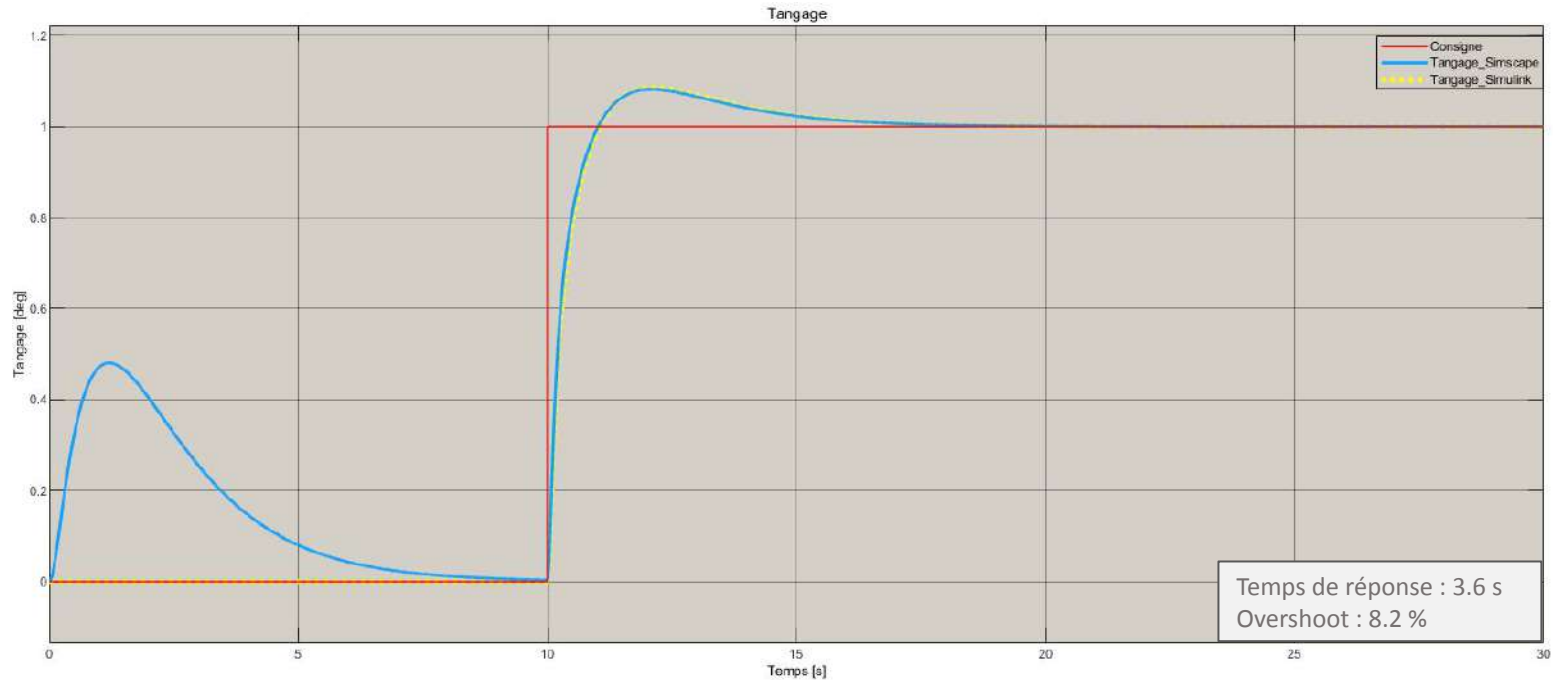


Suivant

90

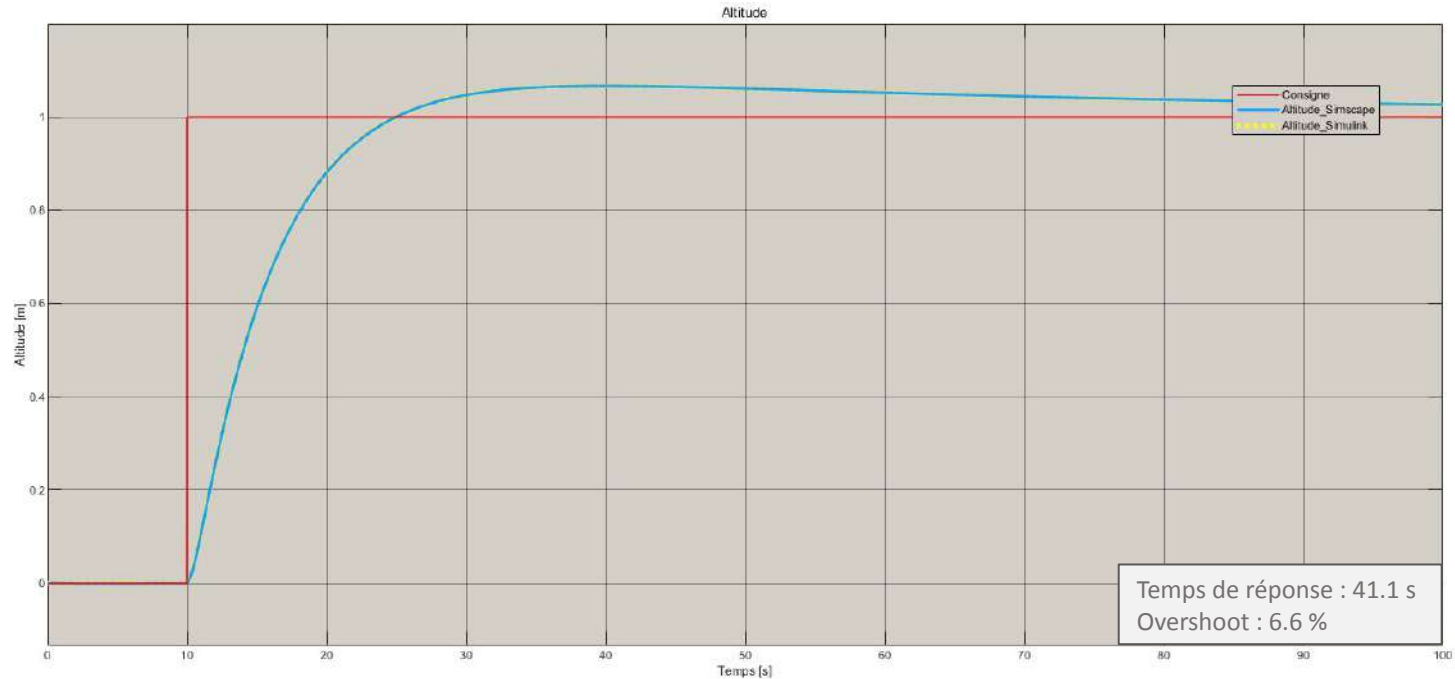
TECHNOPLANE

Propriétés du feedback



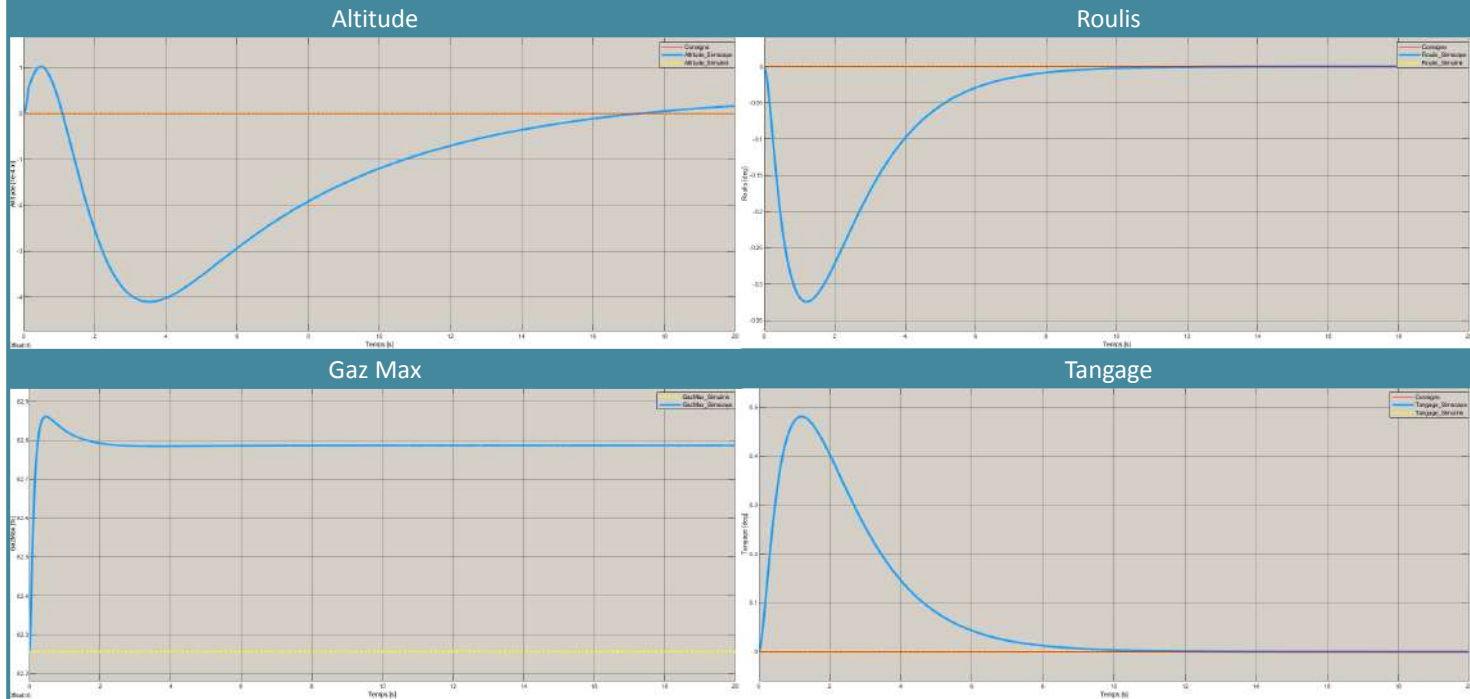
Suivant

Propriétés du feedback



Validation des scénarios de vol

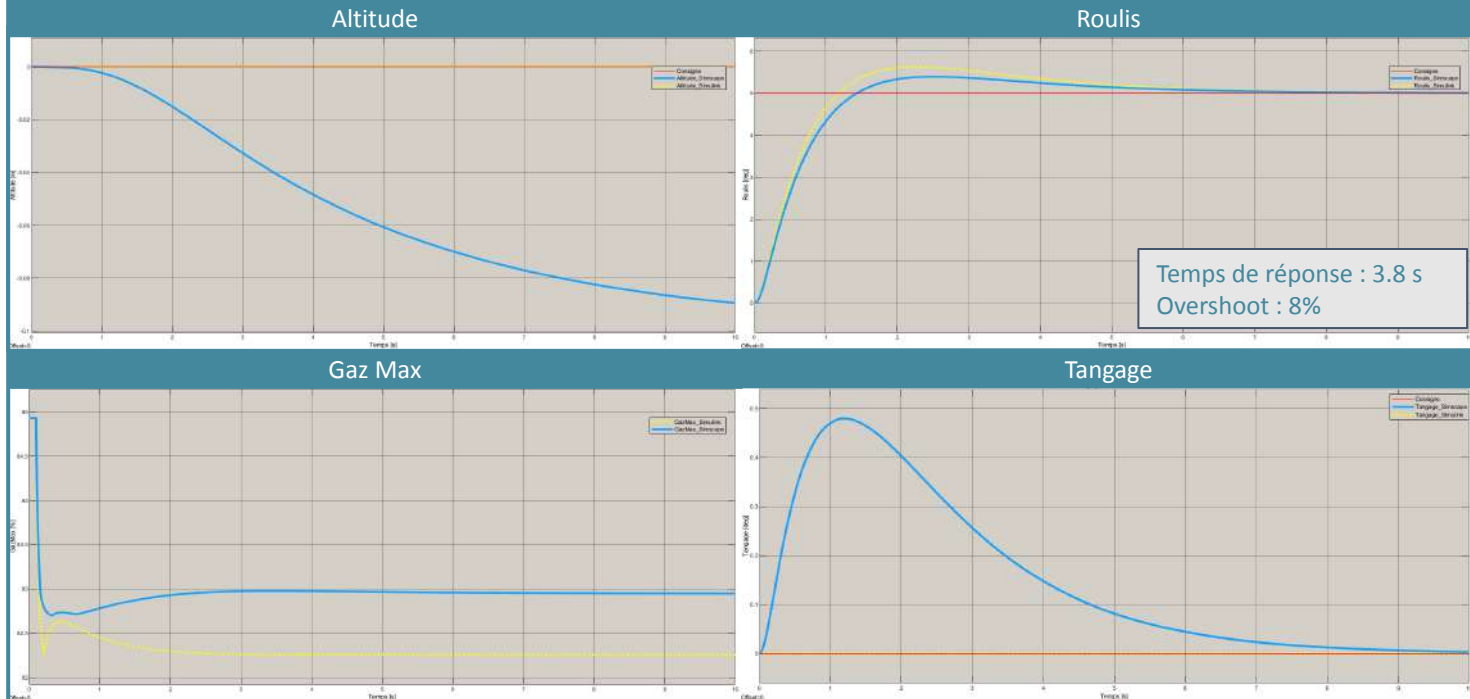
Vol Stationnaire



Suivant

Validation des scénarios de vol

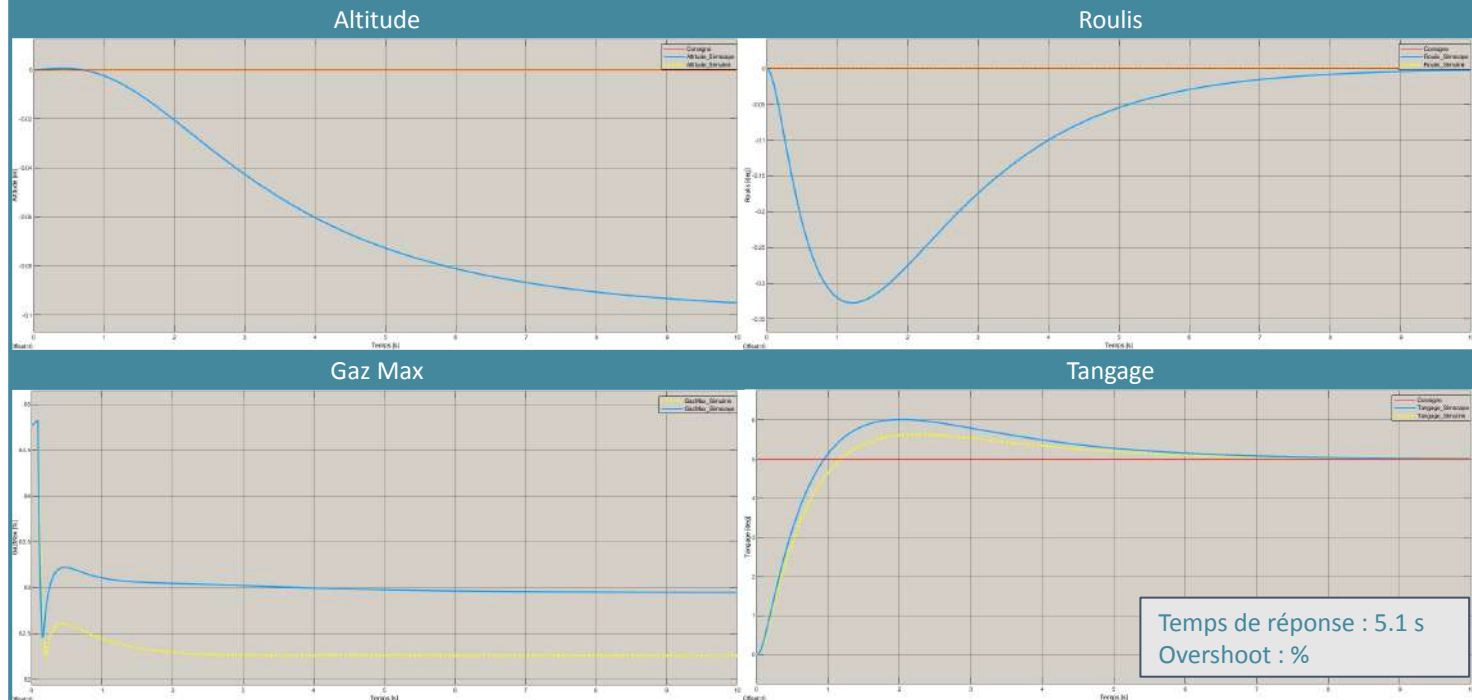
Vol Horizontal



Suivant

Validation des scénarios de vol

Avance

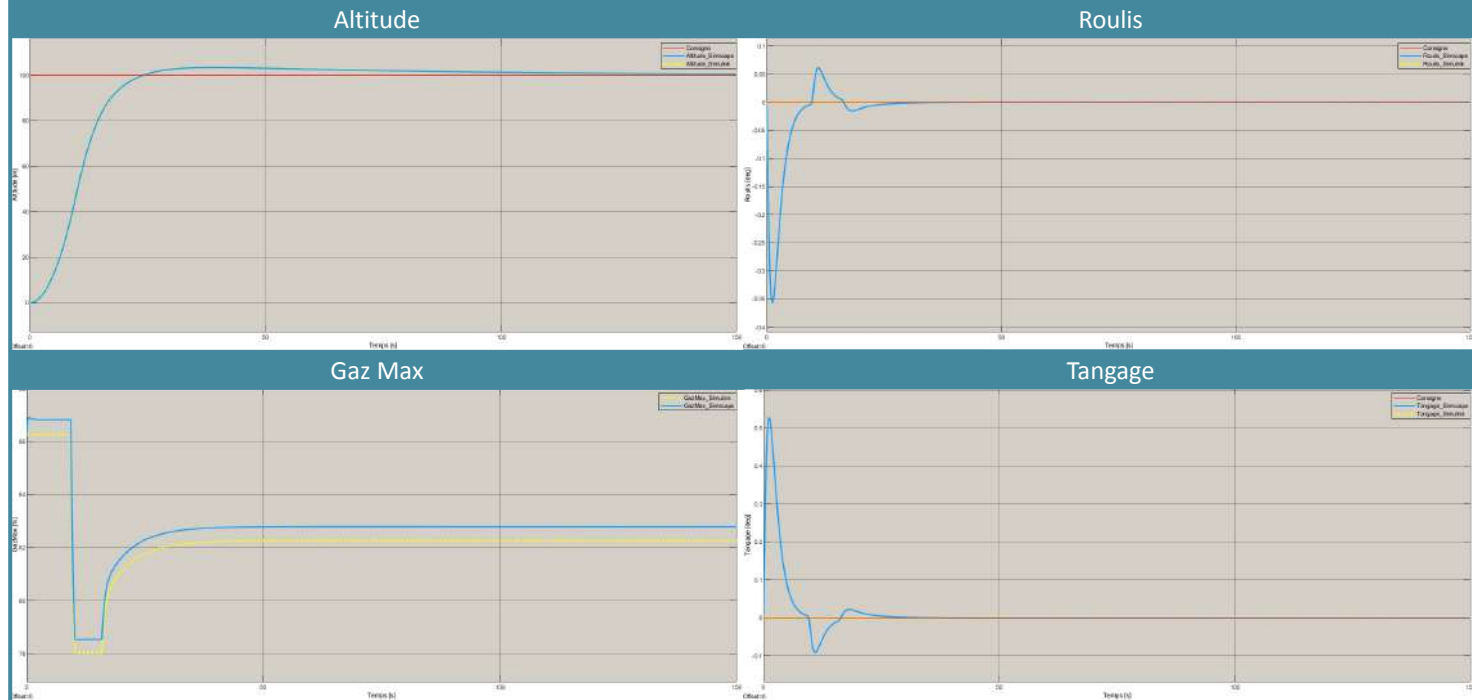


Temps de réponse : 5.1 s
Overshoot : %

Suivant

Validation des scénarios de vol

Montée

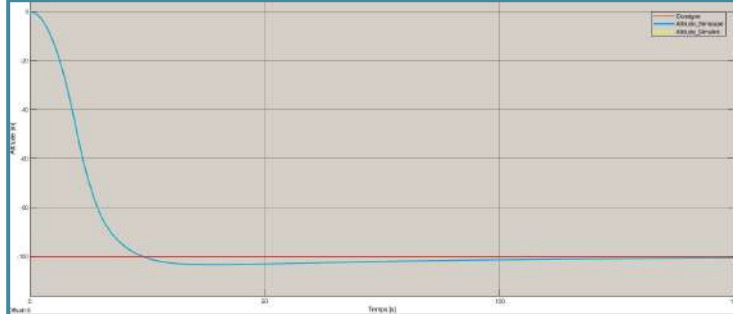


Suivant

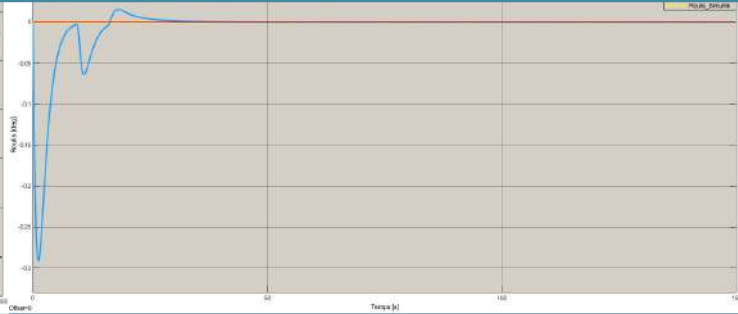
Validation des scénarios de vol

Descente

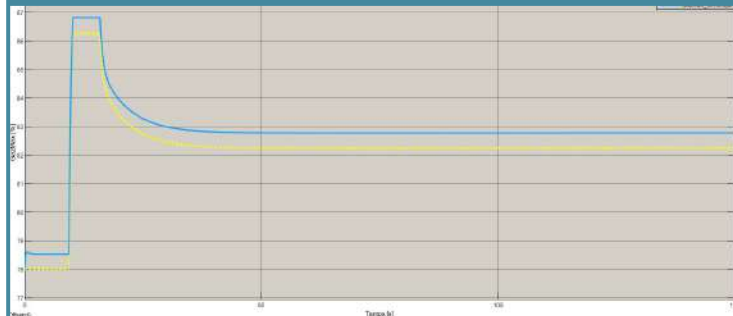
Altitude



Roulis



Gaz Max



Tangage

