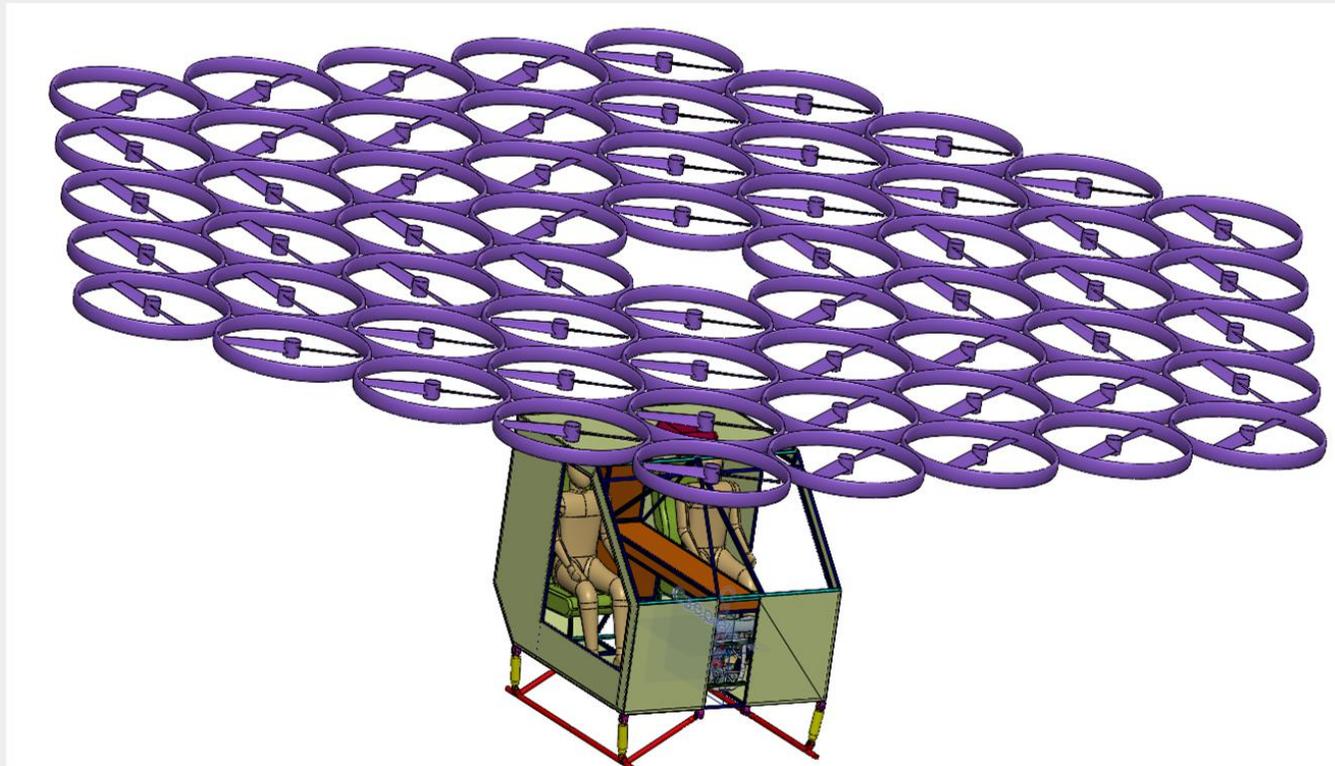


Étude de faisabilité du projet Mini-Bee VTOL

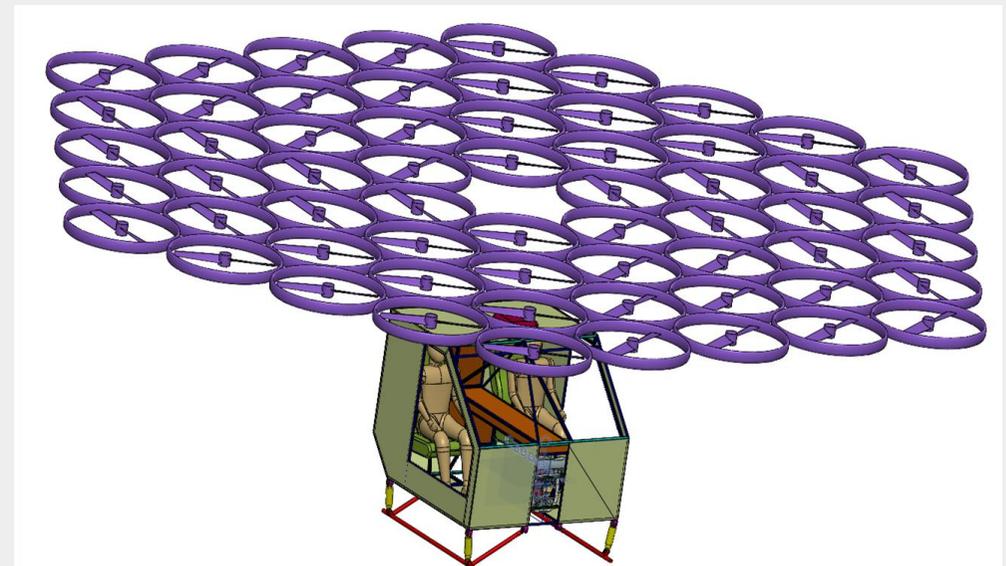
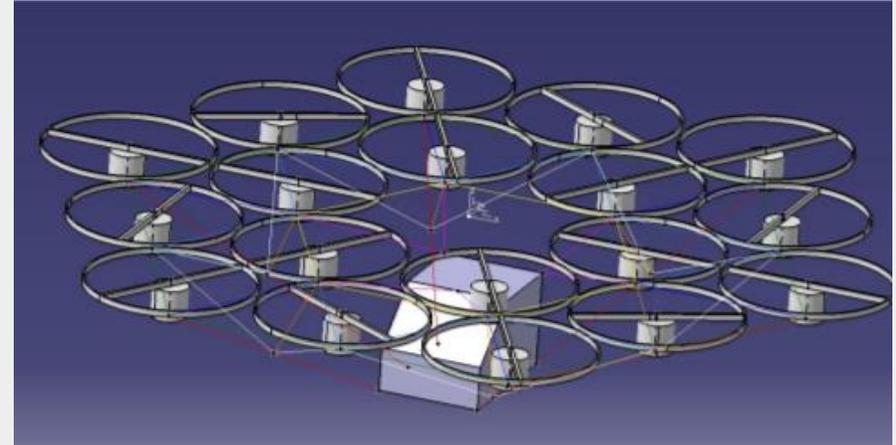


Contexte

Mini-Bee

Projet confidentiel
de développement d'une
ambulance volante

- o Création d'un engin volant de transport médical, facile à utiliser sur terrain difficile d'accès
- o Projet en début de TRL4 objectif: obtenir un premier prototype
- o Notre rôle, coordonner le travail de toutes les écoles présentes sur le projet



Le Partenaire

- **Société Technoplane**



COLLABORATIVE INNOVATION

Fondée par **Mr Xavier Dutertre**

Il s'est fixé pour objectif de construire une ambulance volante démontable, pouvant être utilisée pour du sauvetage en zone dangereuse ou difficile d'accès. Il nomma ce projet :

Mini-Bee



Structure et aménagement
du mini bee



Prototype du Flight Control
Unit et intégration capteurs



Revue de conception
clôture et TRL3

Ecoles partenaires



Contrôle de vol d'un multicoptère
hybride et tests des moteurs
asynchrones



Structure du Mini-Bee



Modélisation de la
chaîne de production

Les attentes

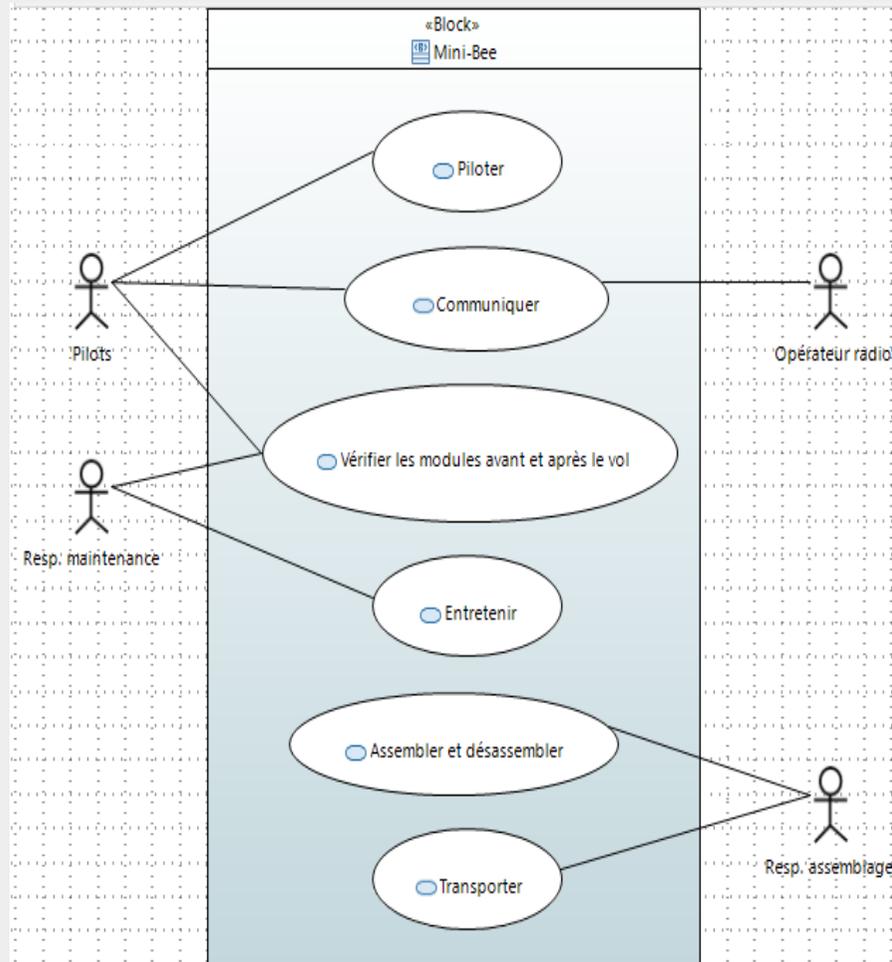
- Comprendre les différents acteurs du projet
- Assimiler le travail déjà réalisé
- Définir l'étape du projet à effectuer et ses modalités pédagogique
- Communiquer avec les écoles partenaires
- Développement relation:
Élèves / Partenaire

Assurer la validité technique des solutions proposées par les autres écoles

Cahier des charges et diagramme

Diagramme des cas d'utilisation

Cahier des charges quantitatif



Critères	Contraintes limites
<i>Poussée fournie par la chaîne</i>	> 7 250 N
<i>Vitesse de rotation des hélices</i>	2 000 N < RPM < 2 700 N
<i>Nombre de rotors</i>	60
<i>Diamètre des rotors</i>	86cm
<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>	1,57 m
<i>Coût total</i>	< 300 000 €
<i>Accélération maximale</i>	5 g
<i>Charge supportée par le parachute</i>	800 kg
<i>Norme hélicoptère</i>	CS27 et TSO
<i>Qualité des composants électroniques</i>	Certifiables

Organisation pôles

Pôle Structure	Thomas BROUSSE-ROBERT	Responsable pôle/Fixation moteur
	Alan CHÂLES	Train atterrissage et structure supérieure
	Antoine VALLAT	Fixation moteur et structure supérieure
	Elie NICOL	Bilan des masses et démontabilité
Pôle Électronique de puissance	Killian HEIM	Choix des composants
	Benjamin BELAYGUE	Simulation
	Saad M'HAMDI	Vérification exigences moteur + hélices
	Arthur SEGUI	Scénarii de vol
Pôle Capteurs	Danilo RODRIGUES	Modélisation Dynamique
	Arnaud LELOIR	Algorithmes de vol
	Oumaima MORHODI	Mise en page des diapositives
	Thomas BALDACHINO	Choix des capteurs

Organisation pôles

- 1 responsable par pôle
- Réunion par pôle chaque semaine + réunion entre les 3 responsables
- Chaque responsable définit les tâches de chaque membre en prévision pour la semaine prochaine (livrable à présenter)
- Une réunion chaque semaine avec le tuteur industriel ou les coachs projets

Une réunion technique et 1 réunion gestion de projet par semaine

Nos Objectifs

Mettre à l'épreuve les solutions techniques proposées par les écoles partenaires sur les points suivants (classement chronologique) :

Pôle structure

1. Intégration moteur et alternateur
2. Fixation générale au châssis
3. Reprise du bilan des masses

Pôle Elec de puissance

1. Choix d'une motorisation assez puissante
2. Contrôle de l'attitude (roulis, tangage, lacet)
3. Réalisation de la chaîne complète

Pôle capteurs

1. Choisir un FCU
2. Configurer la communication entre FCU et capteurs
3. Configurer la communication entre FCU et rotors
4. (Choisir un volant et un joystick)

Sommaire

I - Pôle structure

1. Gestion de projet
2. Masse globale
3. Montabilité
4. Intégration moteurs
5. Amortissement du siège
6. Structure supérieure

II - Pôle électronique de puissance

1. Gestion de projet
2. Chaîne de puissance
3. Simulation

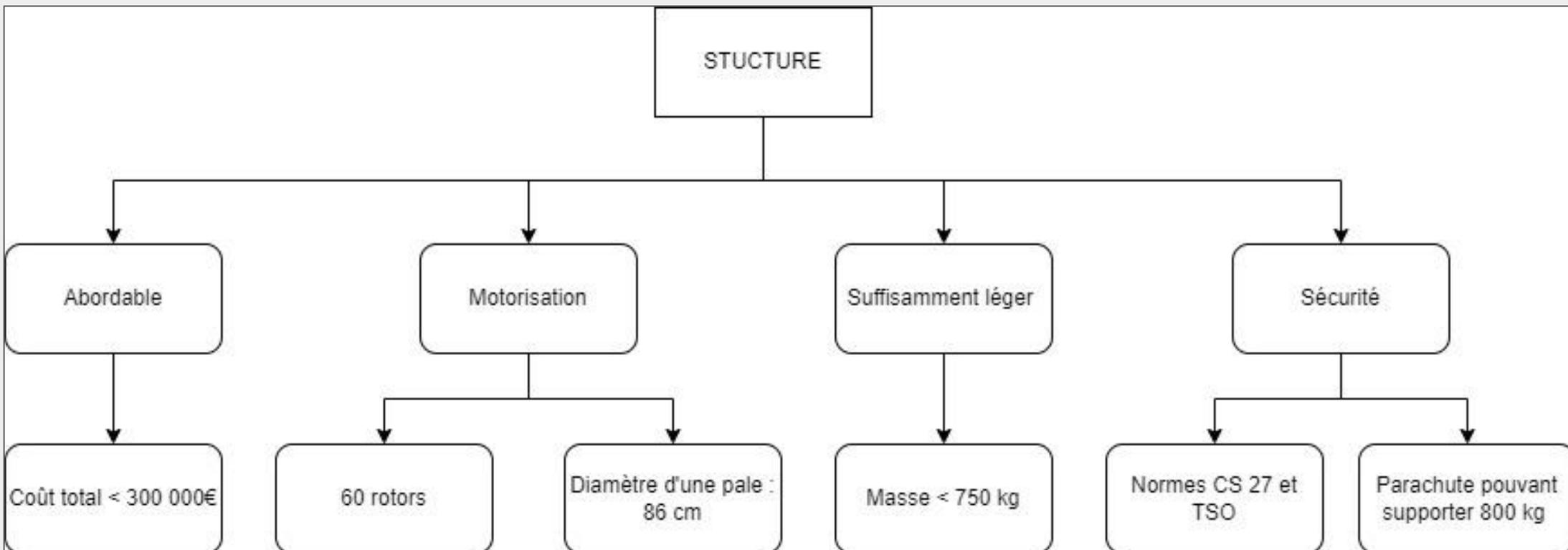
III - Pôle capteurs

1. Gestion de projet
2. Protocole de communication - étude proposée
3. Choix des capteurs
4. Montage test

Pôle structure

I-Gestion de projet

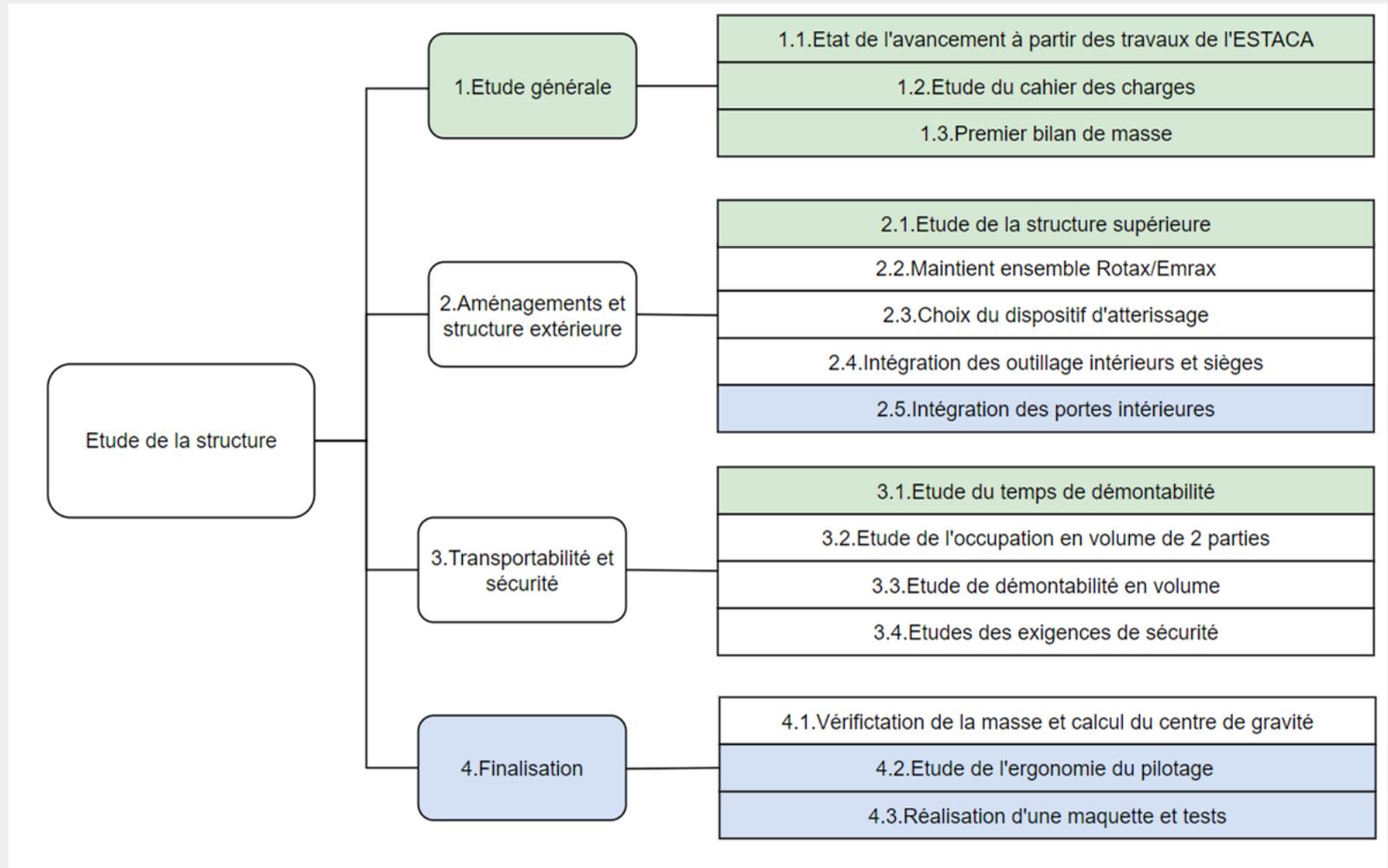
1-Diagramme des exigences



I-Gestion de projet

2-WBS

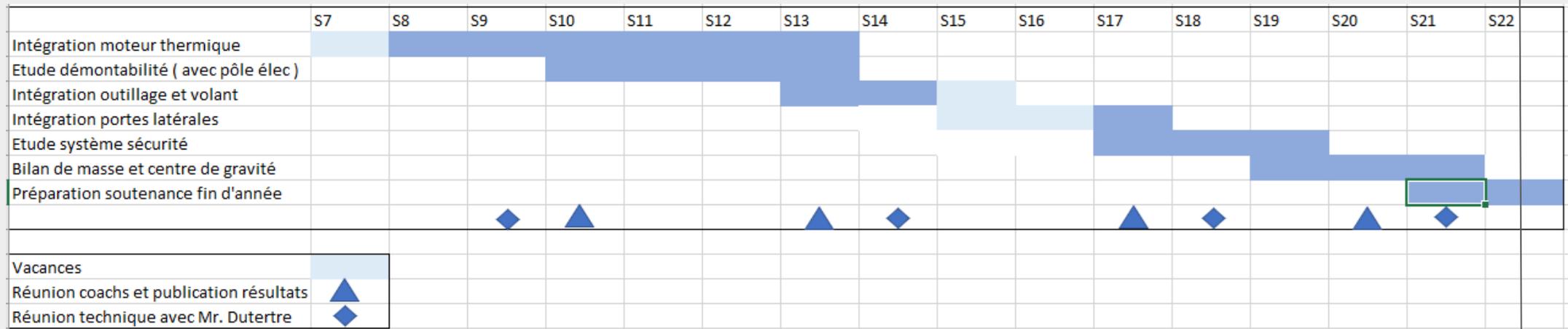
-  **Tâche déjà réalisée**
-  **Tâche en cours de réalisation**
-  **Tâche restante**



Actuellement sont traités les aménagements et la transportabilité

I-Gestion de projet

3-Gantt du semestre 6



I-Gestion de projet

4-Matrice RACI

Id / Membres	Thomas Brousse (responsable pôle)	Alan Châles	Antoine Vallat	Elie Nicol
2.1.Recherche des contraintes en volume à l'intérieur	A/R	R	I	I
2.2.Étude de la structure supérieure	A	I	R	R
2.3.Choix du dispositif d'atterrissage	A/R	I	R	I
2.4.Intégration outillages intérieurs et sièges	A/I	I	R	R
2.5.Intégration portes intérieurs	A/I	R	I	R
3.1.Étude du temps de démontabilité	A/R	R	I	I
3.2.Étude de l'occupation en volume des 2 parties (habitacle et hélices)	A	R	I	R
3.3.Étude des exigences en sécurité	A/R	I	R	I
3.4.Étude de démontabilité en volume	A/R	I	I	R
3.5.Étude du temps de démontabilité	A/I	R	R	I
4.1.Verification de la masse et calcul centre de gravité	A/R	I	I	R
4.2.Étude de la capacité a piloter (accès outils, visibilité,...)	A/R	I	R	I
4.3.Réalisation maquette et tests	A/R	R	R	R

Le responsable pôle est responsable de ce qui est fait

II-Masse globale

Objectifs

- Décomposition du minibee en différentes parties
- Détermination de la masse de chacune des parties
- Obtention d'une approximation de la masse globale

Validation du cahier des charges : 750kg

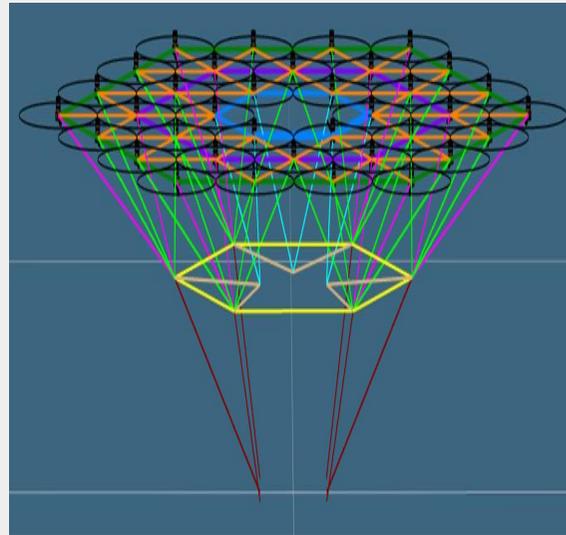
II-Masse globale

Etat de l'art - Décomposition du MINIBEE - Estaca

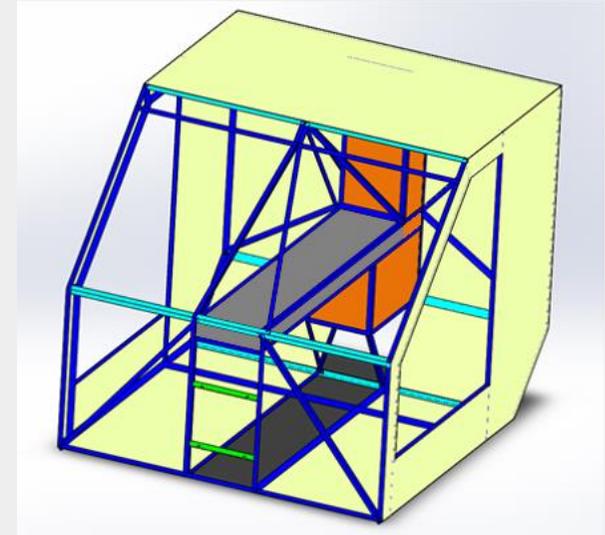
Motorisation



Structure supérieure



Carénage + Châssis + Réservoirs



- Nécessité de réaliser une estimation de la masse de chaque partie !
- Comparaison au cahier des charges

II-Masse globale

Etat de l'art - Récapitulatif de masse - Estaca

Etude de l'Estaca: **Pas assez détaillée !**

	Caratéristique	Qte	Masse unitaire	Masse	Incertitude	Masse majorée
Masses exprimées en kg	Moteur	1	85	85	0%	85
	Equipement moteur	1	15	15	10%	16,5
	Train d'atterissage	1	26	26	5%	27,3
	Réservoir carburant	1	6,4	6,4	5%	6,72
	Carburant	120	0,8	96	0%	96
	Elctronique embarquée	1	15	15	10%	16,5
	Emrax*2	1	18,8	18,8	5%	19,74
	Personne + équipement	2	90	180	5%	189
	Siège	2	10	20	10%	22
	Parachute	1	19	19	5%	19,95
	Châssis	1	42	42	10%	46,2
	Moteurs Electrique	36	2,5	90	10%	99
	Hélices	36	1	36	10%	39,6
	Structure moteur/hélice	1	40	40	10%	44

Bilan: Masse totale du Mini-Bee chargé : 727.5 kg
 Objectif du cahier des charges : 750 kg

II-Masse globale

Tâche réalisée - Bilan de Masse

Utilisation de l'étude du Lycée Louis Armand pour affiner le résultat précédent

Sous partie	Masse estimée	Masse majorée
Motorisation électrique	235,5	
Motorisation thermique	217,9	
Structure supérieure	15	
Châssis	89	
Trains d'atterissage	25	
Passagers et matériel	180	
Total	762,5,5	825

Détails en annexe

Bilan: Masse de 762,5 kg

- Cahier des charges partiellement respecté
- Changement moteur + hélice = perte de masse importante

III-Montabilité

Objectifs

Le MINIBEE doit être:

- Transportable dans un conteneur de format LD3
- Montable et démontable rapidement pour une intervention rapide

Nous étudierons donc:

- Volume du dispositif MINIBEE
 - Répartition dans un conteneur LD3
- Approximation du Temps de Montage par un technicien

III-Montabilité

1 - Etat de l'art Conteneur LD3

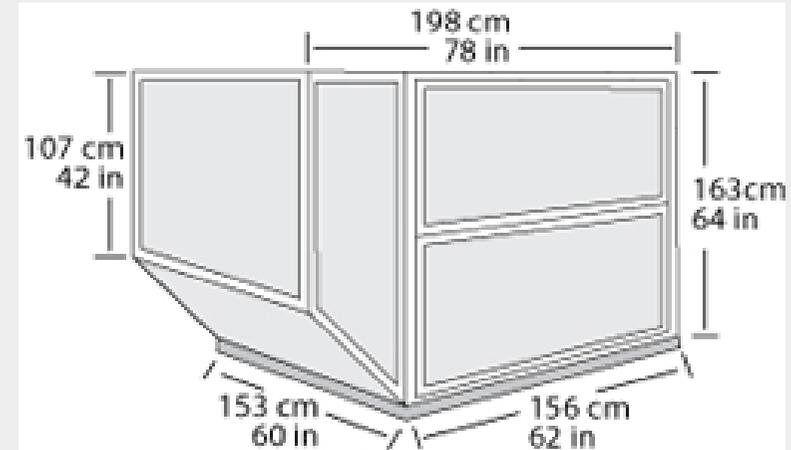
Utilisation de 2 conteneurs :

- un pour le cockpit
- un pour la structure supérieure et les hélices.

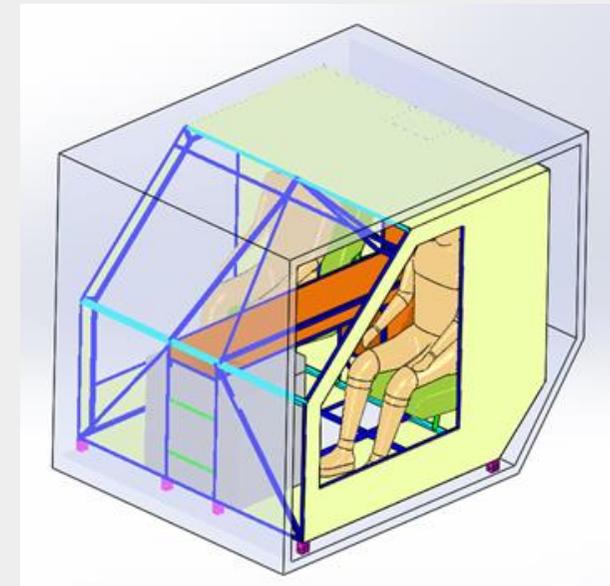
Orientation du cockpit qui permet :

- Une optimisation des dimensions du cockpit
- Une intégration moteur plus aisée

Utilisation de 2 conteneurs de type LD3



Format conteneur LD3



III-Montabilité

2 - Tâche réalisée - Estimation temps de montage

Etapas de montage/démontage	
Cockpit	
Assemblage d'un Patins d'atterrissage	→ 56 min
Fixation du Patin au Cockpit	
Vérification de l'intérieur du Cockpit	
Pieuvre	
Assemblage Moteur avec son support	→ 105 min
MEP structure soutenant les moteurs	
Ajout d'un moteurs sur la structure	
Réunion des 2	
Reunion du cockpit avec la pieuvre	→ 50 min

Calculs réalisés en comptant un seul technicien au démontage

Total : 211
min

Détails en annexe

IV-Intégration moteurs

1-Cahier des charges

EXIGENCES	CONDITIONS	SOLUTIONS PROPOSÉES
Maintien des Emrax en translation	Poids total : 41 kg pour les deux Force due à l'accélération (5g) : 2011N	cf diapositive suivante
Maintien des Emrax en rotation	Estimation du couple transmis dans la liaison : <ul style="list-style-type: none"> - Couple moyen : 200 Nm - Couple maximal : 500 Nm 	cf diapositive suivante
Maintien du Rotax en rotation		Moyen de fixation déjà défini (normalisé).
Maintien du Rotax en translation	Poids total : 87.2kg Force due à l'accélération (5g) : 4227N	Reste à définir son lieu de fixation sur la structure
Faibles vibrations	Les vibrations ne doivent pas perturber les passagers et le pilotage	Possibilité d'utiliser des vérins
Démontabilité	La fixation moteur doit pouvoir être démontée	Utilisation de systèmes vis écrou
Volume utilisé minimal	Dimensions max : 60*60*60 cm	

Il semblerait que le X maintenant les deux Emraxes ne soit pas utilisable pour les fixations (cf annexes)

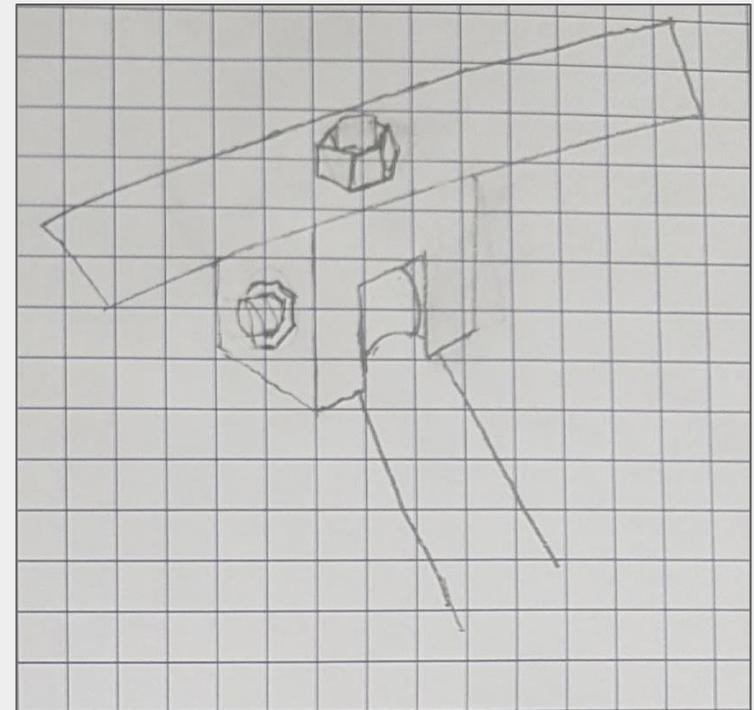
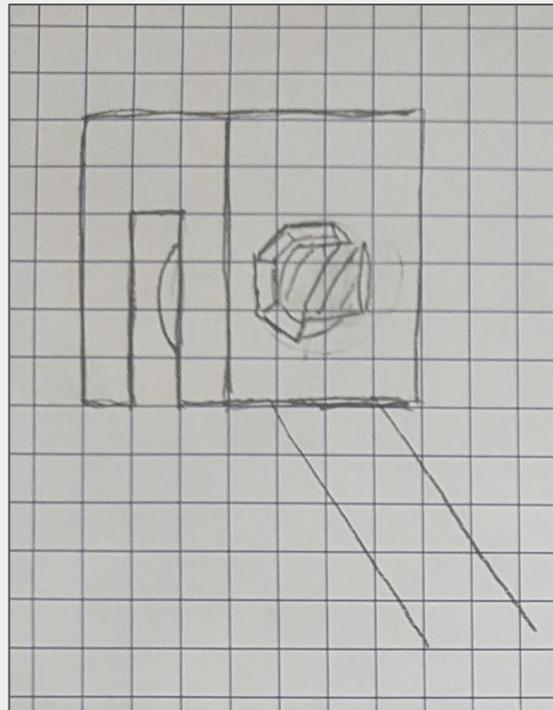
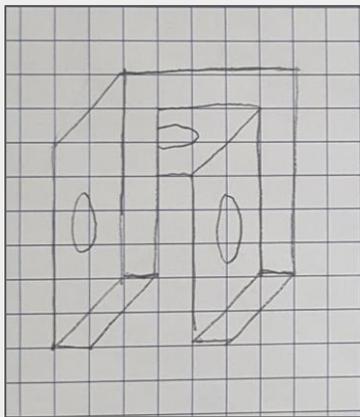
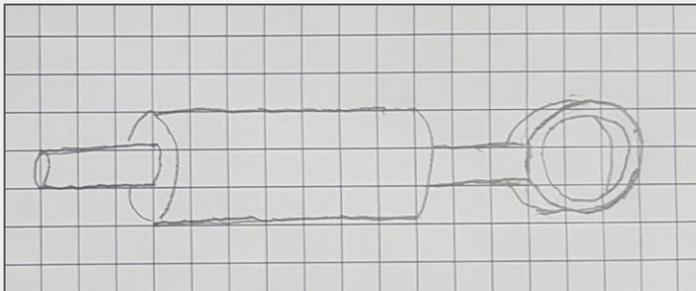
IV-Intégration moteurs

2-Proposition pour l'Emrax

Fixation sur les barres par vis écrous

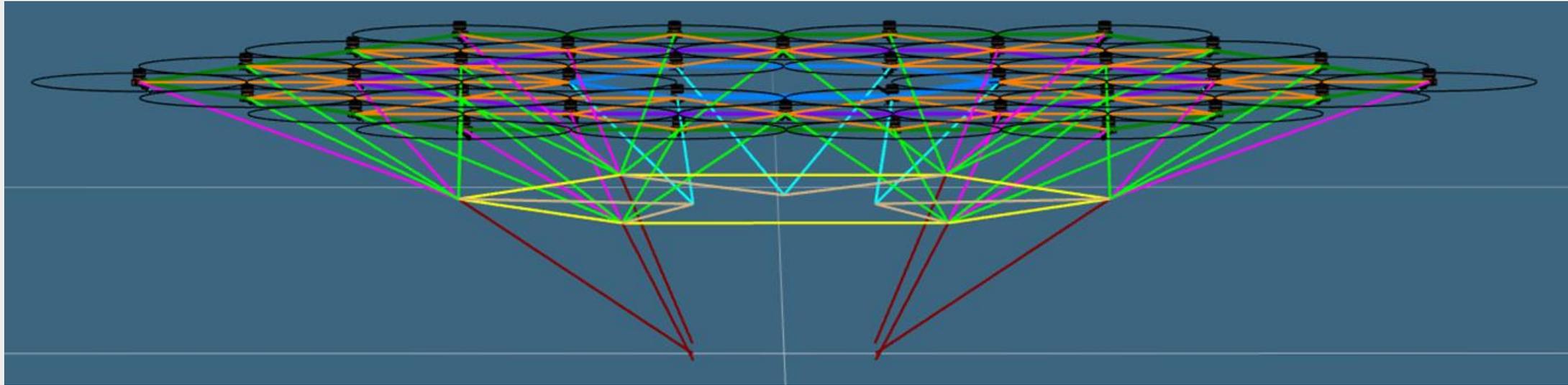
Fixation du degré de liberté en rotation par serrage grâce à un ensemble vis écrous

Possibilité d'utiliser des vérins

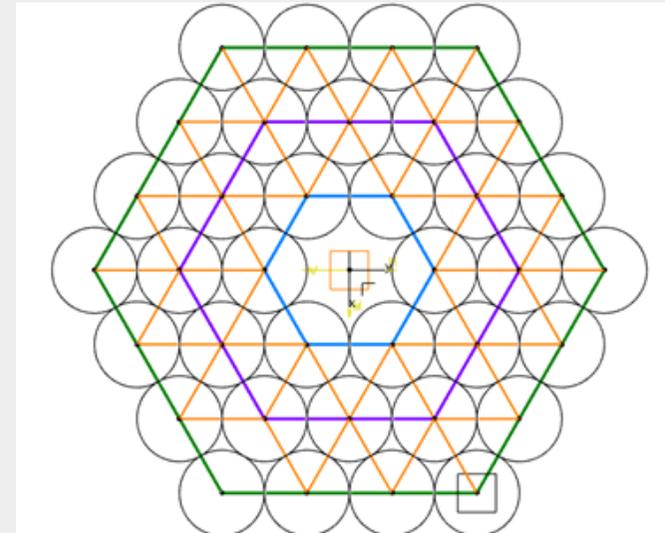
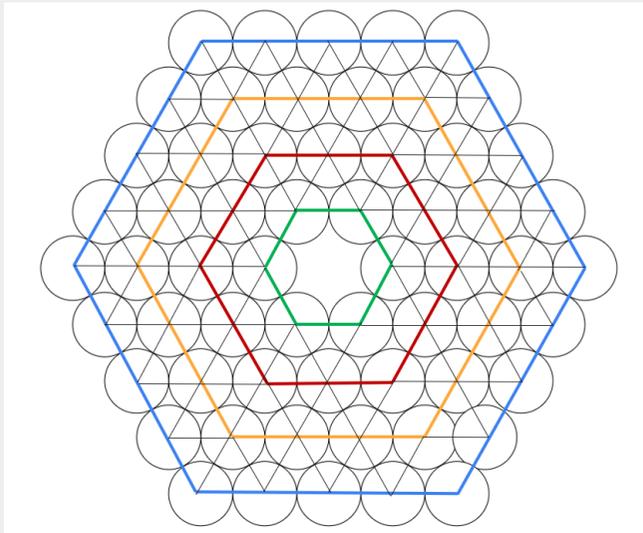


VI-Structure supérieure

1- Choix du nombre de rotor



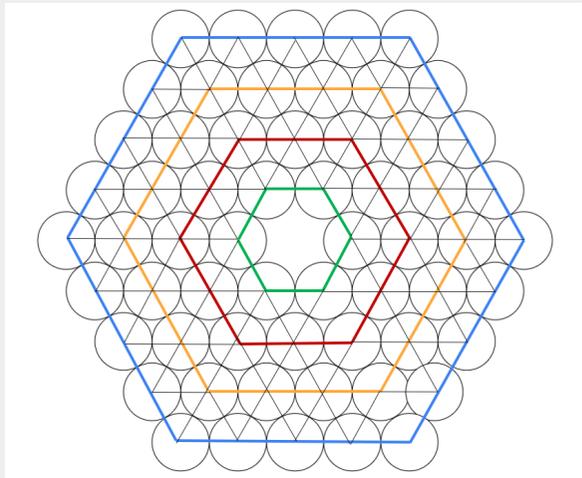
Choix : 60 rotors.
Diamètre : 86 cm



VI-Structure supérieure

2-Position des hélices

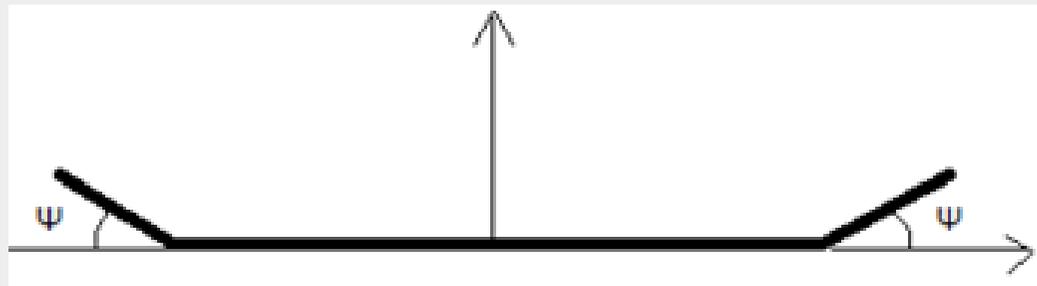
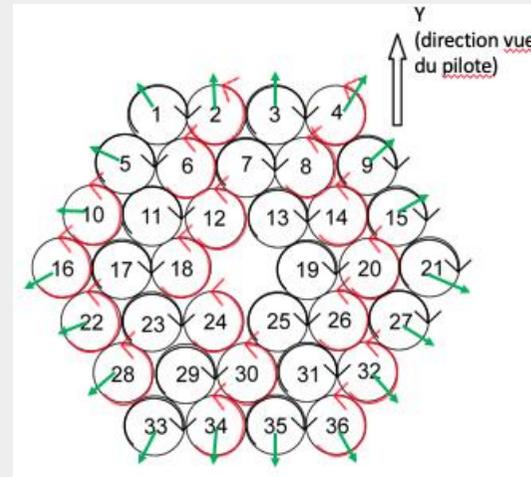
Choix : 60 rotors.
Diamètre : 86 cm



2 sens de rotation

=> Stabilité

=> Augmentation vitesse horizontale en roulis



VII-Trains d'atterrissage

Objectifs

EXIGENCES	CONDITIONS
Doit permettre l'atterrissage du mini-bee en toute sécurité	Conservation de l'intégrité de l'appareil et des passagers
Il doit être suffisamment léger	≤ 25 kg
Il doit pouvoir être bougé au sol	Possibilité d'utiliser des roues
Doit permettre l'atterrissage en cas de d'atterrissage dur	Doit pouvoir résister à 2250 N

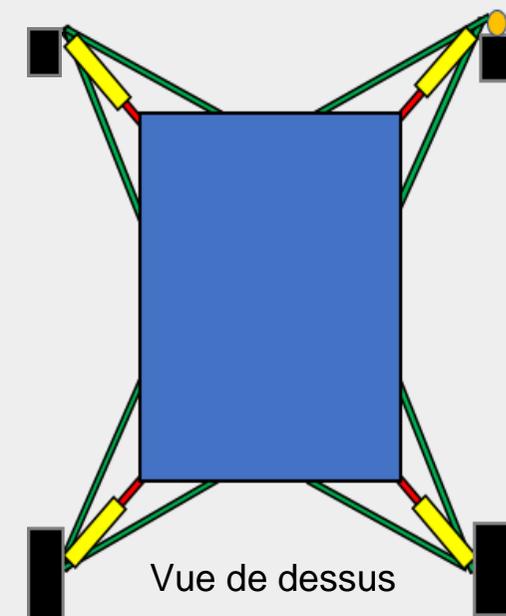
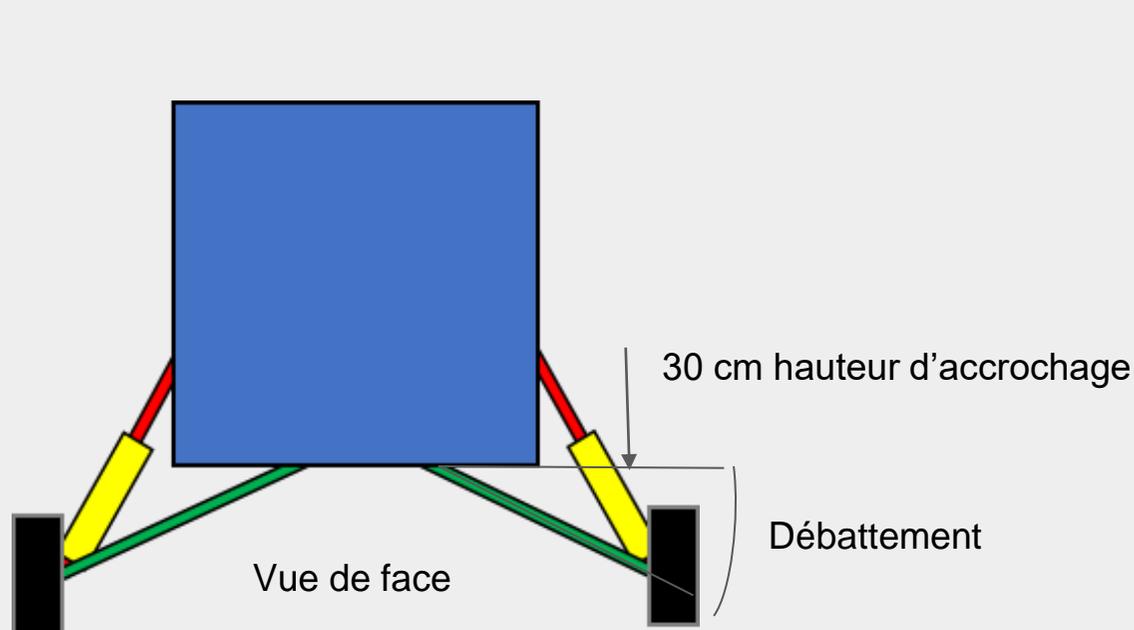
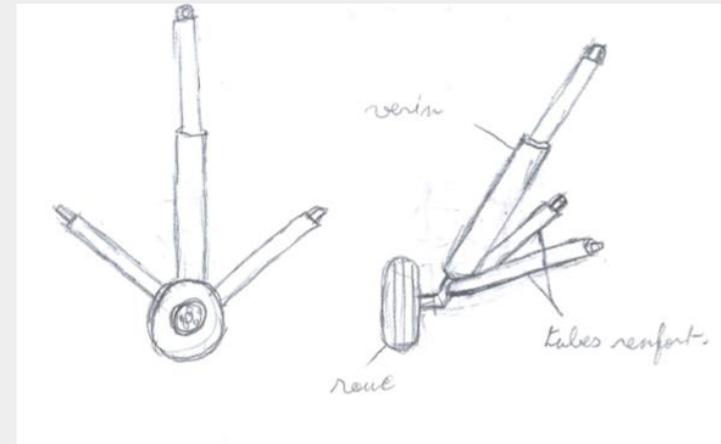
VII-Trains d'atterrissage

État de l'art-Trains trépieds-Lycée Louis-Armand

Trains Trépieds (x4)

- Mouvement au sol
- Débattement

Débattement optimal entre 45-60 cm :
=>bonne résistance aux chocs



VIII-Trains d'atterrissage

Tâches réalisées-Validation du vérin

Validation du vérin :

Force encaissée à l'atterrissage : 2250 N

=>Chaque train doit supporter 563N

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



Cahier des charges respecté

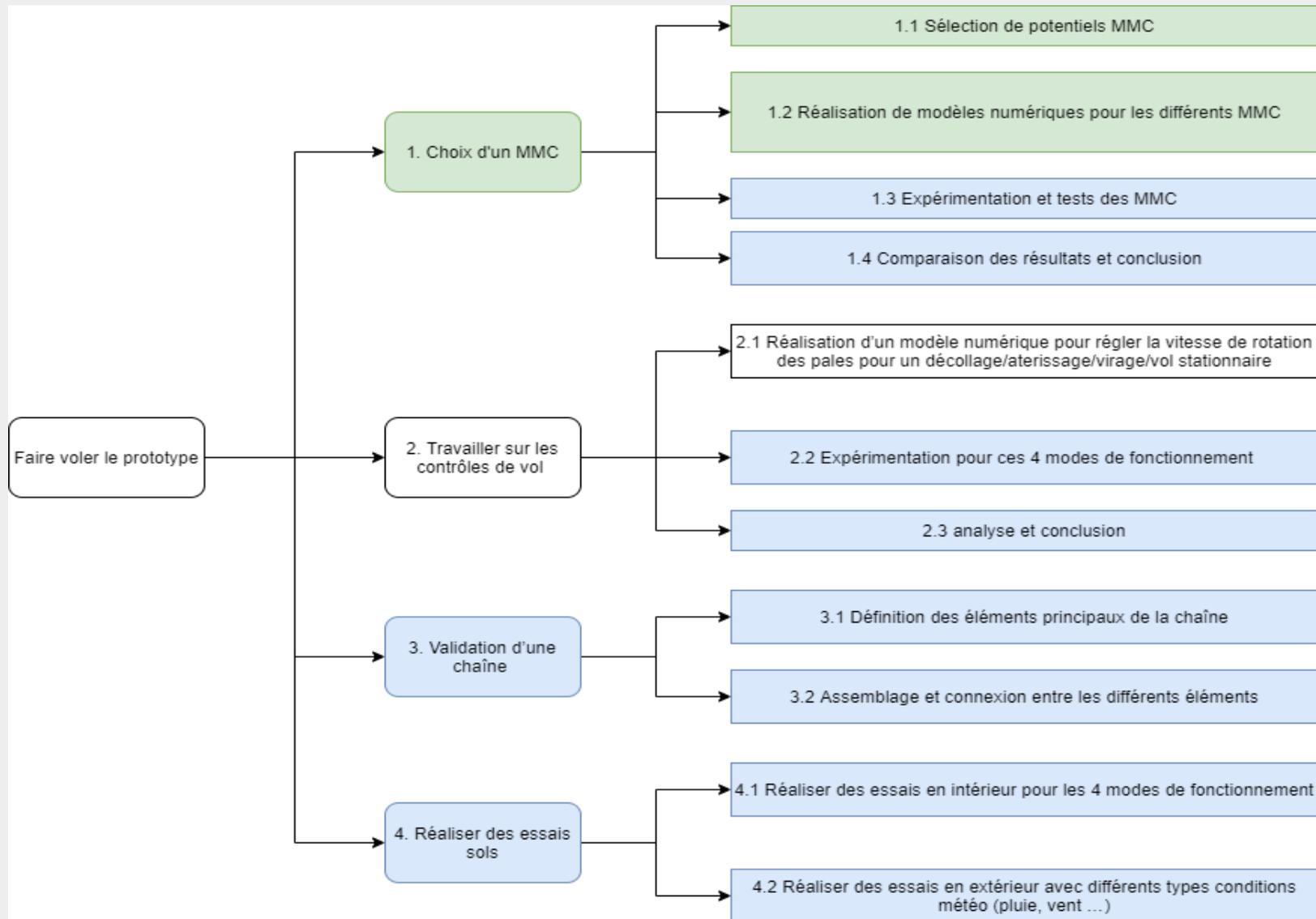
Pôle Électronique de puissance

I-Gestion de projet : GANTT

	S19	S20	S21	S22
Choix du moteur et des hélices pour la nouvelle configuration	[Blue bar]			
Calcul de poussée et puissance pour la configuration à 60 moteurs		[Blue bar]		
Simulations de la nouvelle chaîne		[Blue bar]		
Comparaison des résultats avec l'ancienne chaîne				[Blue bar]
	[Yellow bar]	[Green bar]	[Yellow bar]	[Green bar]
Réunion coachs et publications résultats	[Yellow bar]			
Réunion technique avec M. Dutertre	[Green bar]			

=> Etude de fiabilité de la nouvelle chaîne de puissance : Avant les prochaines vacances scolaires

I-Gestion de projet : WBS à modifier



Rappel cahier des charges moteur + hélices

	Moteur	Hélices	Remarque(s)
Quantité	60	60	Nouvelle configuration
Masse totale	< 60 kg	< 10 kg	Masse moteurs + hélices < 10% masse Mini Bee
Poussée max	> 20 kg	> Poussée max du moteur	20 * 60 kg = 1200 kg > masse Mini Bee (700 kg)
Prix	< 400 €	< 400 €	/
Surface alaire	/	≈ 100 m ²	/
Photo			/

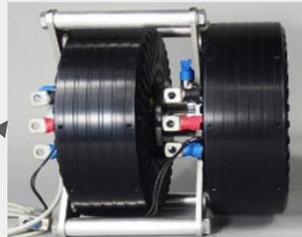
I-Gestion de projet : RACI à modifier

Id / Membres	Killian Heim	Saad M'hamdi	Benjamin Belaygue	Arthur Segui
1.1. Sélection de potentiels MCC	A/R	I	R	R
1.2. Réalisation de modèles numériques	A/I	I	R	R
1.3. Expérimentation et test des MCC	A/R	R	I	I
1.4. Comparaison des résultats et conclusion	A	I	I	I
2.1. Réalisation d'un modèle numérique pour valider les scénarios	A	R	R	R
2.2. Expérimentation	A/R	I	I	I
2.3. Analyse et conclusion	A/I	R	I	R
3.1. Définition des éléments principaux de la chaîne	A	I	I	I
3.2. Assemblage	A/R	I	R	R
4.1. Essais intérieurs	A/R	I	R	I
4.2. Essais extérieurs	A/R	R	I	I

II - Chaîne de puissance



Rotax 915is
Puissance fournie : 99kw
Au décollage : 104kw



2 Emrax 268 (sortie hexaphasée)
tension sortie : 100V
intensité sortie : 900A
puissance : 90kw



Pont de diodes + supercondensateurs
Redressement de tension
Stockage de l'énergie



Carte de contrôle + Contrôleur de puissance (STM32)



BLDC
U13 KV130 II
RPM : 2000



Hélices carbone
RPM optimal : 1200-3000

II - Chaîne de puissance : tableau comparatif des moteurs pour 60 hélices

	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					

=> L'U12 II KV120 est le meilleur candidat

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

II - Chaîne de puissance : choix du moteur pour 60 hélices

Caractéristiques du moteur choisi



U12 II KV120

Coût total pour 60 Hélices : 22 140 \$

Masse totale pour 60 Hélices : 46,7 Kg

Poussée maximale : 20,4 kg

Poussée des 60 hélices : 1 224 kg > 750 kg (masse du Mini Bee)

II - Chaîne de puissance : tableau comparatif des moteurs pour 60 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

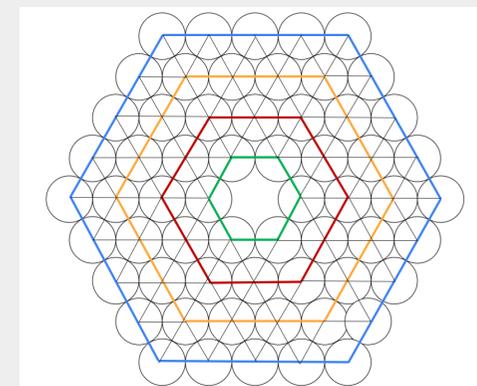
⇒ On choisit les G34*11,5



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

II - Chaîne de puissance : choix des hélices pour la configuration 60 hélices

- Hélices carbonées (T-motor)
- 34 x 11,5 inch (864 x 292 mm)
- Poussée max : 42 kg
- RPM optimal : 1100 - 2800 rpm



Observations

G34 x 11,5 (T-motor)

Surface alaire du mini-bee

- La poussée maximale que peuvent fournir les hélices est de $25\ 000\ \text{N} > 2 * 7\ 500\ \text{N}$ (2 * masse Mini Bee)
- Surface alaire : $140\ \text{m}^2$

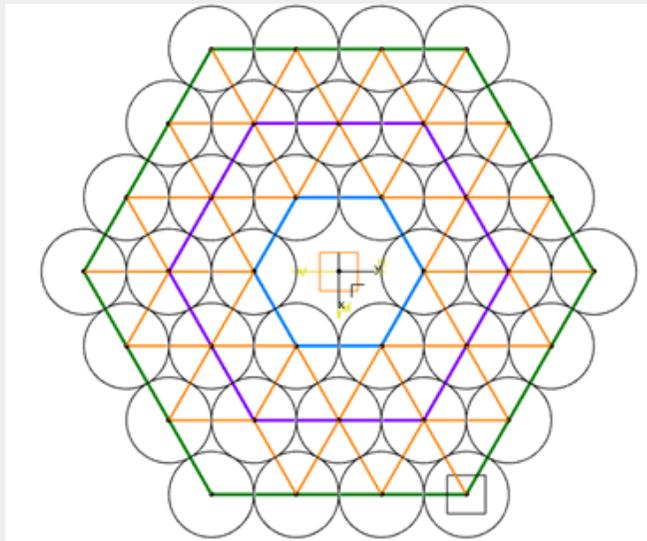
Analyse

Scénario de vol	Stationnaire	Montée (0,5 g)	Descente
Force nécessaire	7 500 N	7 651 N	7058 N
Force sur un rotor (45 °)	226,5 N	235,5 N	217,25 N

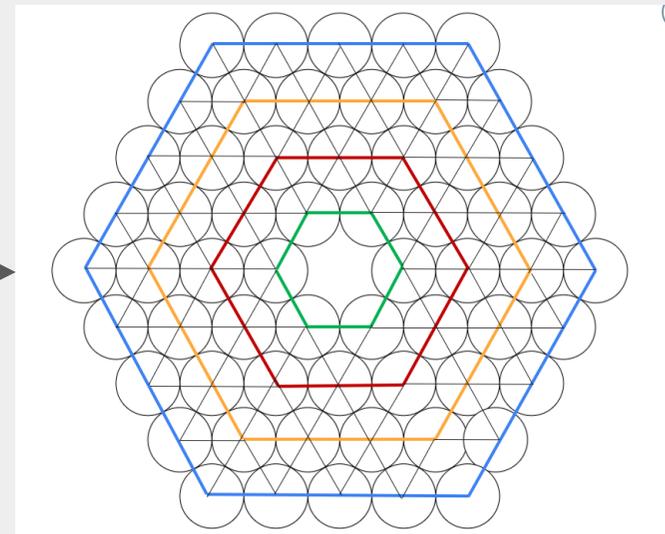
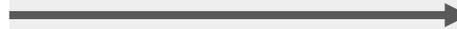
Données de l'ESTACA

II - Chaîne de puissance

Nouvelle configuration des moteurs



Configuration à 36 moteurs



Configuration à 60 moteurs

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Objectif :

Le but est de vérifier que la configuration choisie permet de réaliser divers scénarios de vol

Raisonnement :

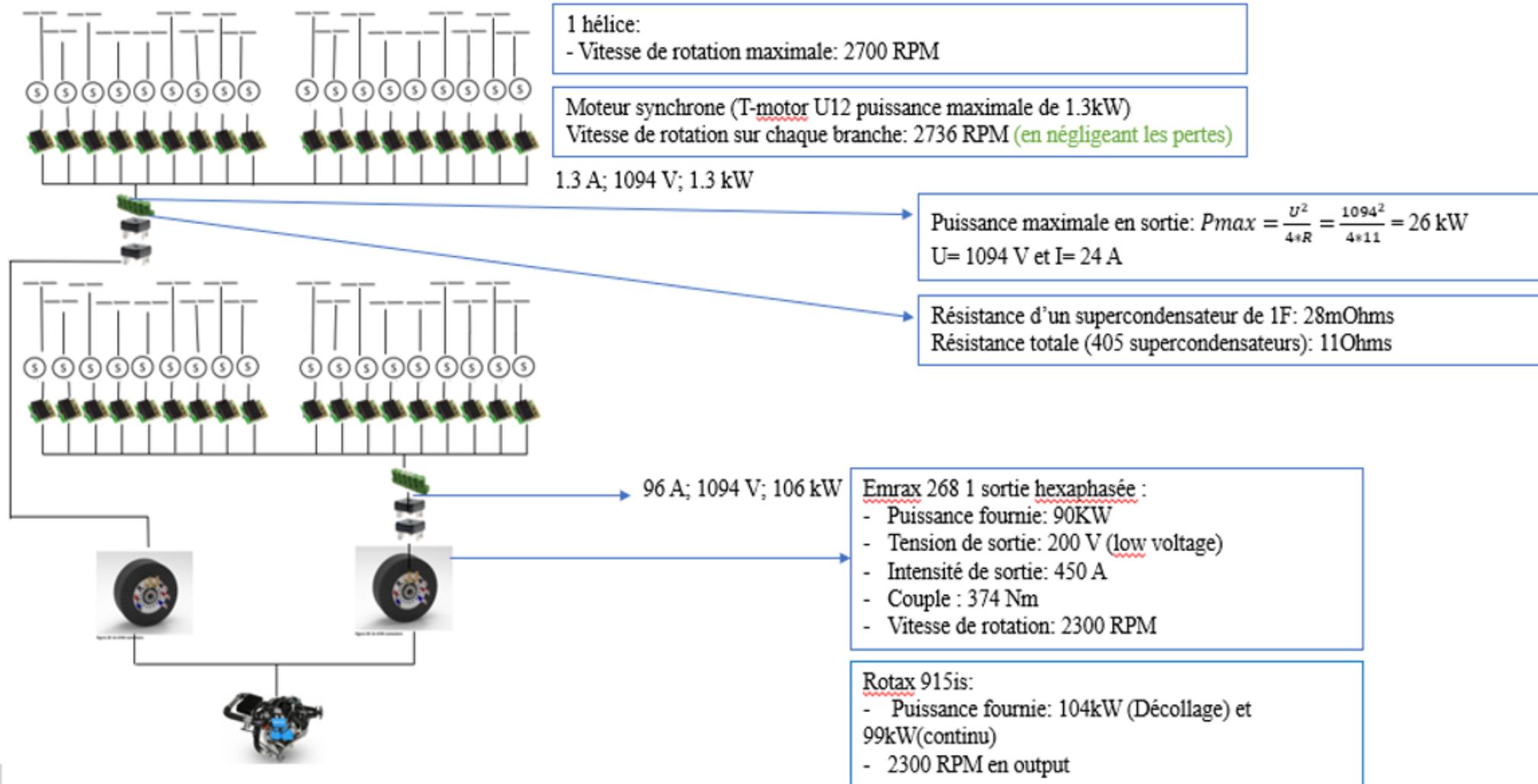
- Déterminer la puissance disponible totale (emrax + supercondensateur)
 - Puissance emrax
 - Puissance temporaire délivrée par le supercondensateur (valeur + durée)
- Définir différents scénarios de vol
- Calculer la puissance requise pour chacune de ces phases de vol
- Conclure sur la faisabilité des scénarios et des marges en puissance disponibles

Pôle électronique de puissance

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices : état de l'art

État de l'art : chaîne de puissance de l'Estaca

Configuration 5: E268 Hexa H36 synchrone

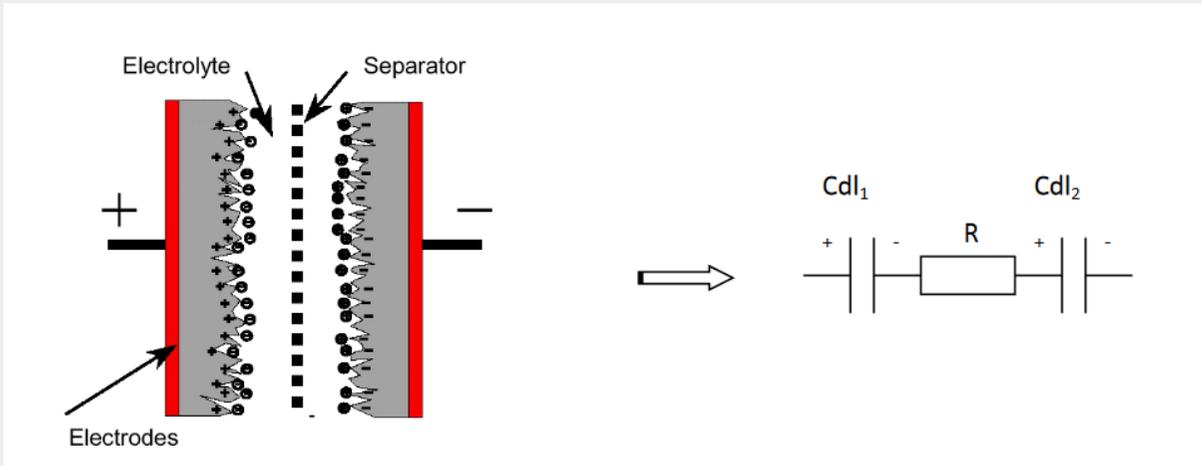


II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Puissance disponible :

Puissance nominale utile au niveau des moteurs  85,5 kW

Dimensionnement du supercondensateur :



Modélisation du supercondensateur
comme dipôle R,C

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Dimensionnement du supercondensateur :

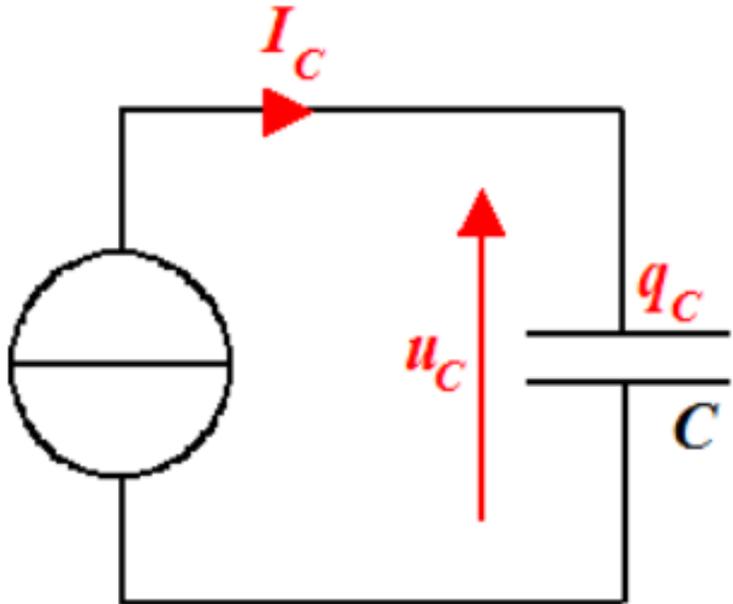
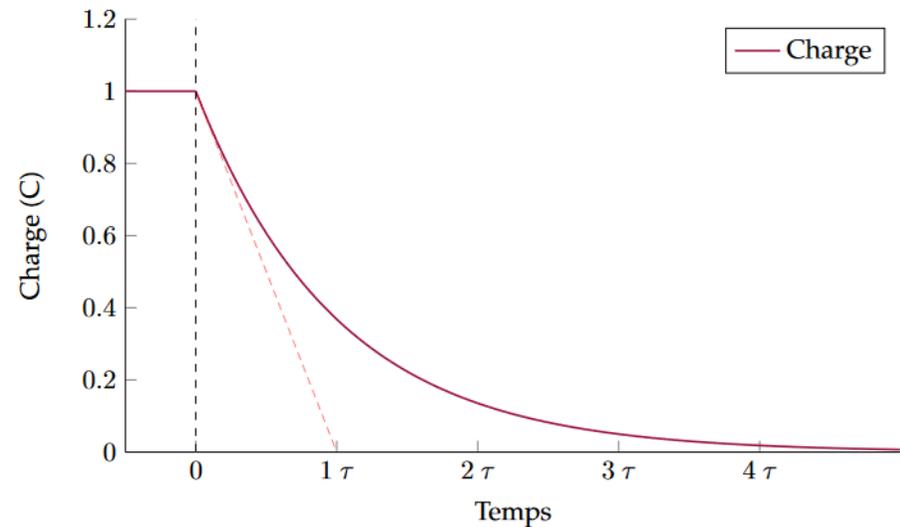


Fig 1 : Charge d'un condensateur à courant constant.



Constante de temps relative à la charge du condensateur :

$$\tau = RC$$

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Dimensionnement du supercondensateur :

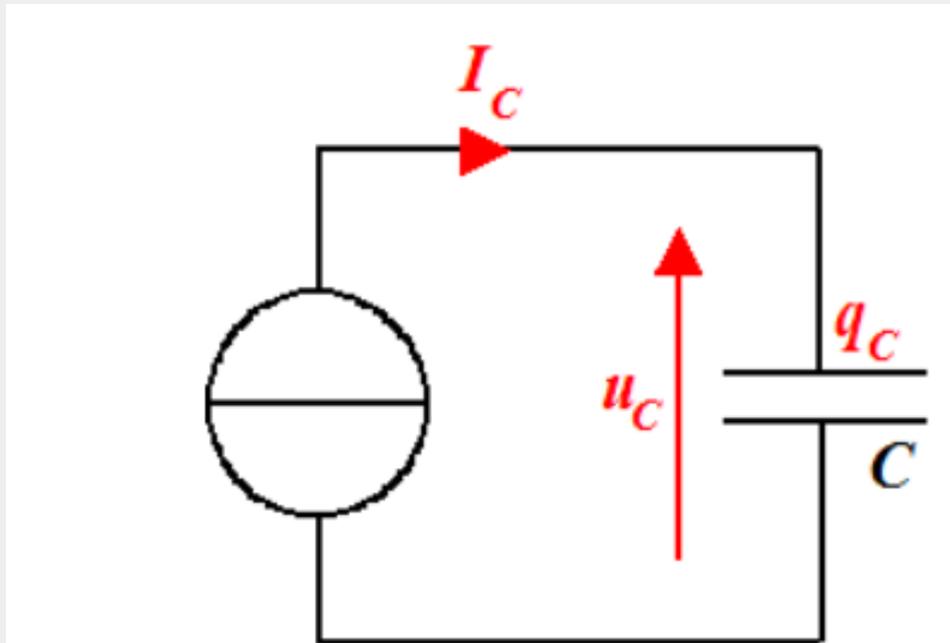


Fig 1 : Charge d'un condensateur à courant constant.

Puissance max stockée :

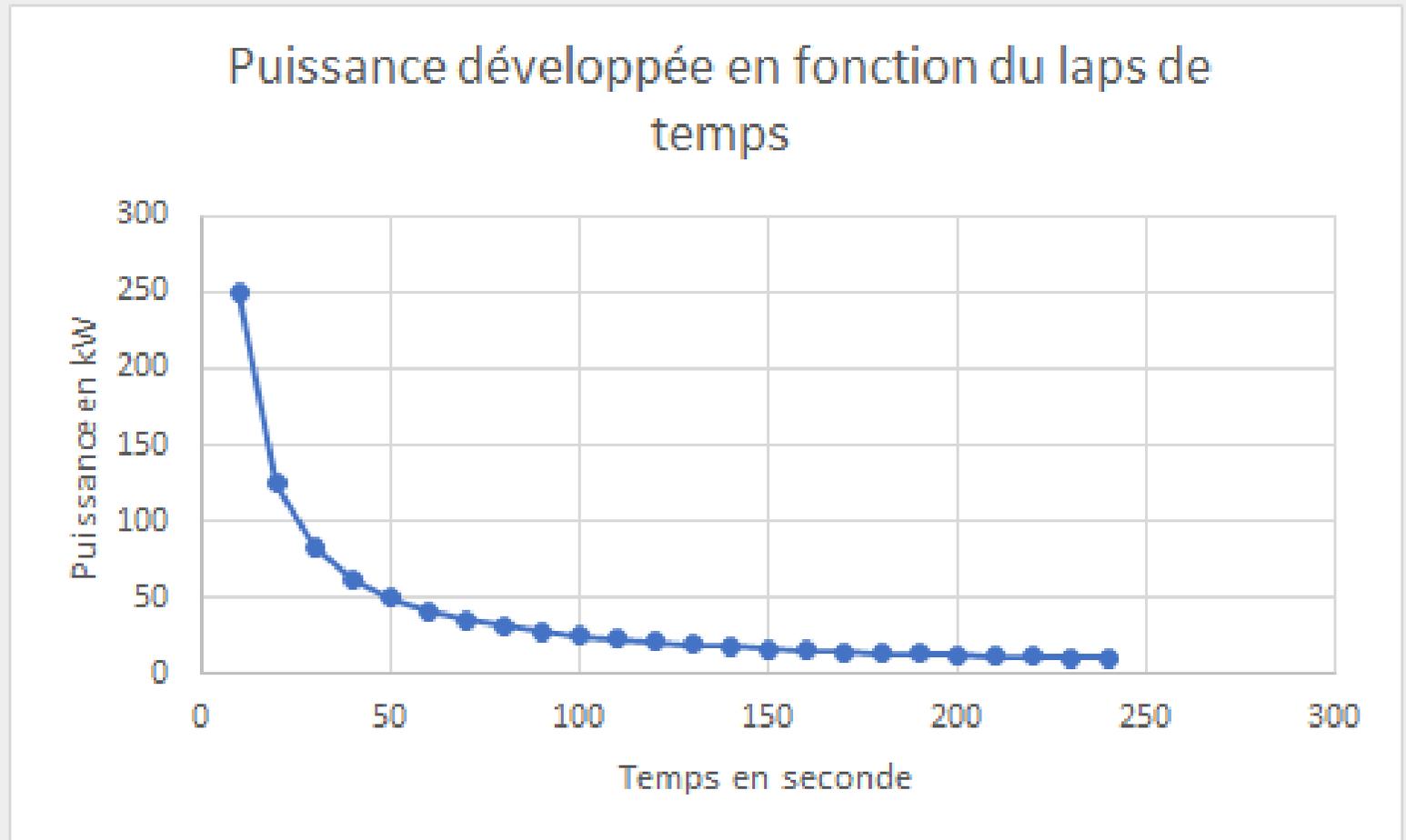
$$E = \frac{1}{2} * CU^2 = P * \Delta t$$

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

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Dimensionnement du supercondensateur :

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



Pôle électronique de puissance

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Scénarios de vol :

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Vol vertical en montée:

Modèle analytique

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

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

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

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

Résultats

	H18	H36	H60
Poussée (N) Altitude : 0m	7646,58	7651,05	7662,00
Poussée (N) Altitude : 5000m	7564,01	7567,38	7523,66
Puissance demandée (kW) Altitude : 0m	86,44	85,89	84,58
Puissance demandée (kW) Altitude : 5000m	99,91	99,20	110,03

=> Le vol vertical en montée est validé pour la nouvelle configuration

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Vol stationnaire :

Résultats

Modèle analytique

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

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

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

	H18	H36	H60
Poussée (N) Altitude : 0m	7354,99	7354,99	7354,99
Poussée (N) Altitude : 5000m	7355	7355	7355
Puissance demandée (kW) Altitude : 0m	60,90	60,28	53,50
Puissance demandée (kW) Altitude : 5000m	75,52	74,76	78,44

=> Le vol stationnaire est validé pour la nouvelle configuration

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Vol horizontal:

Modèle analytique

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

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

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

Résultats

	H18	H36	H60
Poussée (N) Altitude : 0m	6179,55	6199,75	6249
Poussée (N) Altitude : 5000m	5814,01	5828,25	5655
Puissance demandée (kW) Altitude : 0m	70,59	70,63	70,74
Puissance demandée (kW) Altitude : 5000m	71,45	71,33	73,87

=> Le vol horizontal est validé pour la nouvelle configuration

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Vol vertical en descente:

Modèle analytique

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

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

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

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

Résultats

	H18	H36	H60
Poussée (N) Altitude : 0m	9133,03	9186,89	8939,24
Poussée (N) Altitude : 5000m	8326,43	8353,24	7602,37
Puissance demandée (kW) Altitude : 0m	64,47	64,27	59,60
Puissance demandée (kW) Altitude : 5000m	72,50	71,98	73,63

=> Le vol vertical en descente est validé pour la nouvelle configuration

II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

Vol Oblique:

Modèle analytique

$$F = 2\rho S \sqrt{(v_i + v_v)^2 + v_h^2} v_i$$

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

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

Résultats

	H18	H36	H60
Poussée (N) Altitude : 0m	7891,98	7902,06	6249
Poussée (N) Altitude : 5000m	7701,00	7708,95	5655
Puissance demandée (kW) Altitude : 0m	96,70	96,38	96,21
Puissance demandée (kW) Altitude : 5000m	105,23	104,75	104,61

=> Le vol oblique est validé pour la nouvelle configuration

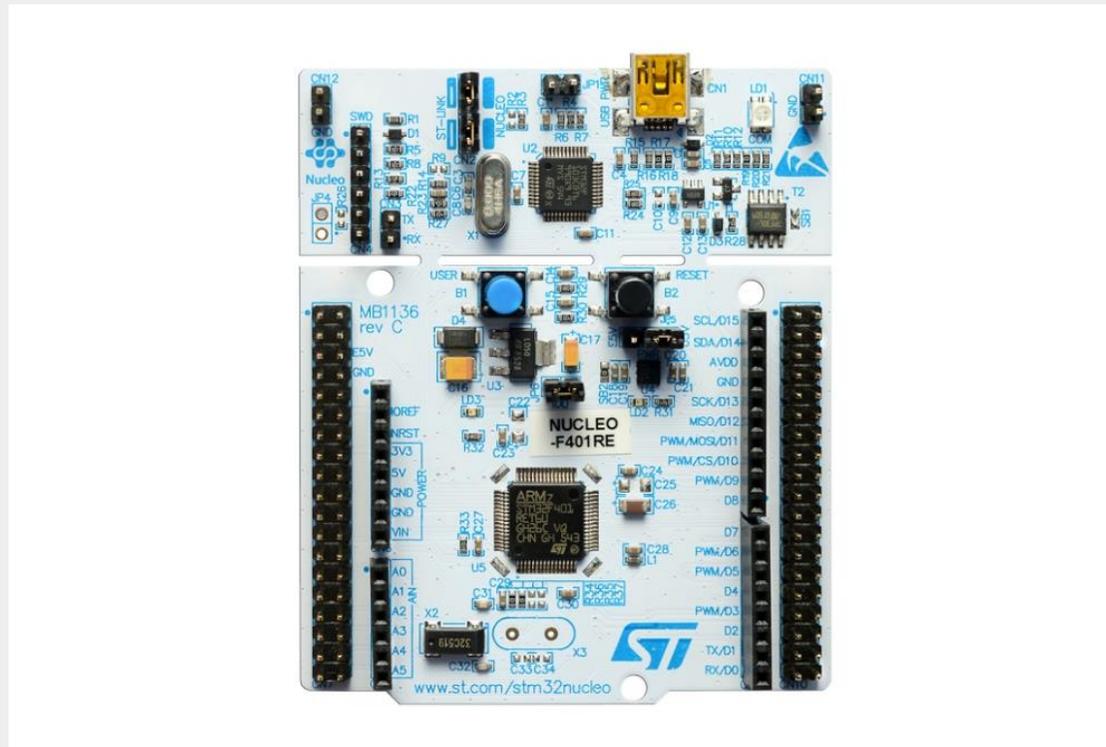
II - Chaîne de puissance : Calcul des puissances à fournir pour 60 hélices

=> La configuration à 60 hélices permet une meilleure performance du mini-bee notamment pour les virages serrés

		H36	H60
Scénario	Inclinaison en degré °	Puissance utilisée pour la manoeuvre (kW)	
Pas de virage	0	0,00	0,00
Virage faible	5	0,27	0,26
	10	1,10	1,07
	15	2,52	2,44
Virage moyen	20	4,58	4,44
	25	7,37	7,15
	30	11,04	10,71
	35	15,75	15,28
Virage serré	40	21,79	21,14
	45	29,55	28,67
	50	39,64	38,46

II - Chaîne de puissance

Intégration contrôleur moteur



STM32F401RE

- Utilisation dans la conception de drone de courses
- 512 Kbytes de mémoire rapide

Protocole de test

- Vérification du temps de réponse du système après intégration
- Enrichissement du modèle Simulink : Choix d'une méthode de contrôle (Contrôle par paire)

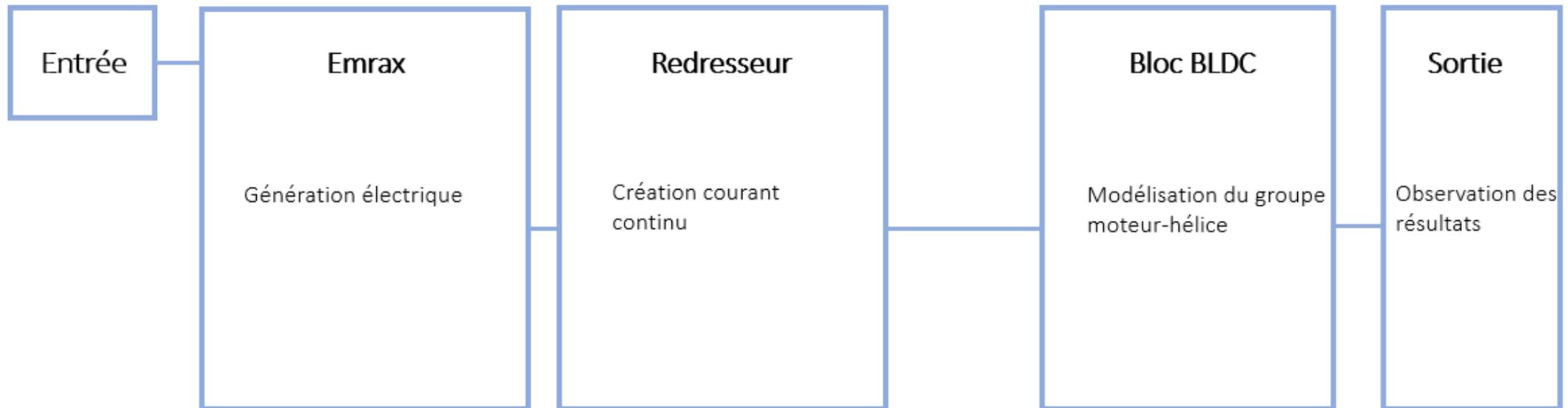
III - Simulations

Objectifs :

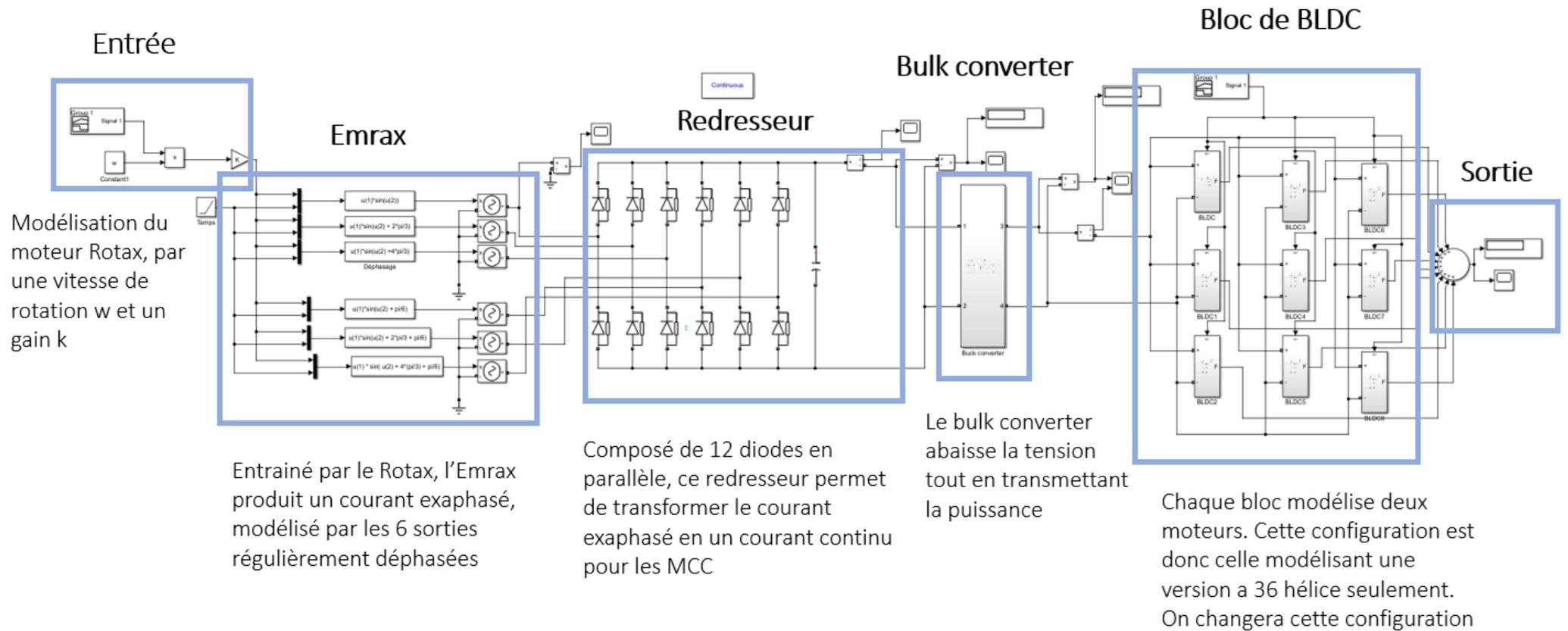
- 1) **Faire évoluer** les simulations existantes pour les adapter à la dernière configuration en date
- 1) **Appliquer** les scénarios de vol décrit à ces simulations

III - Simulations

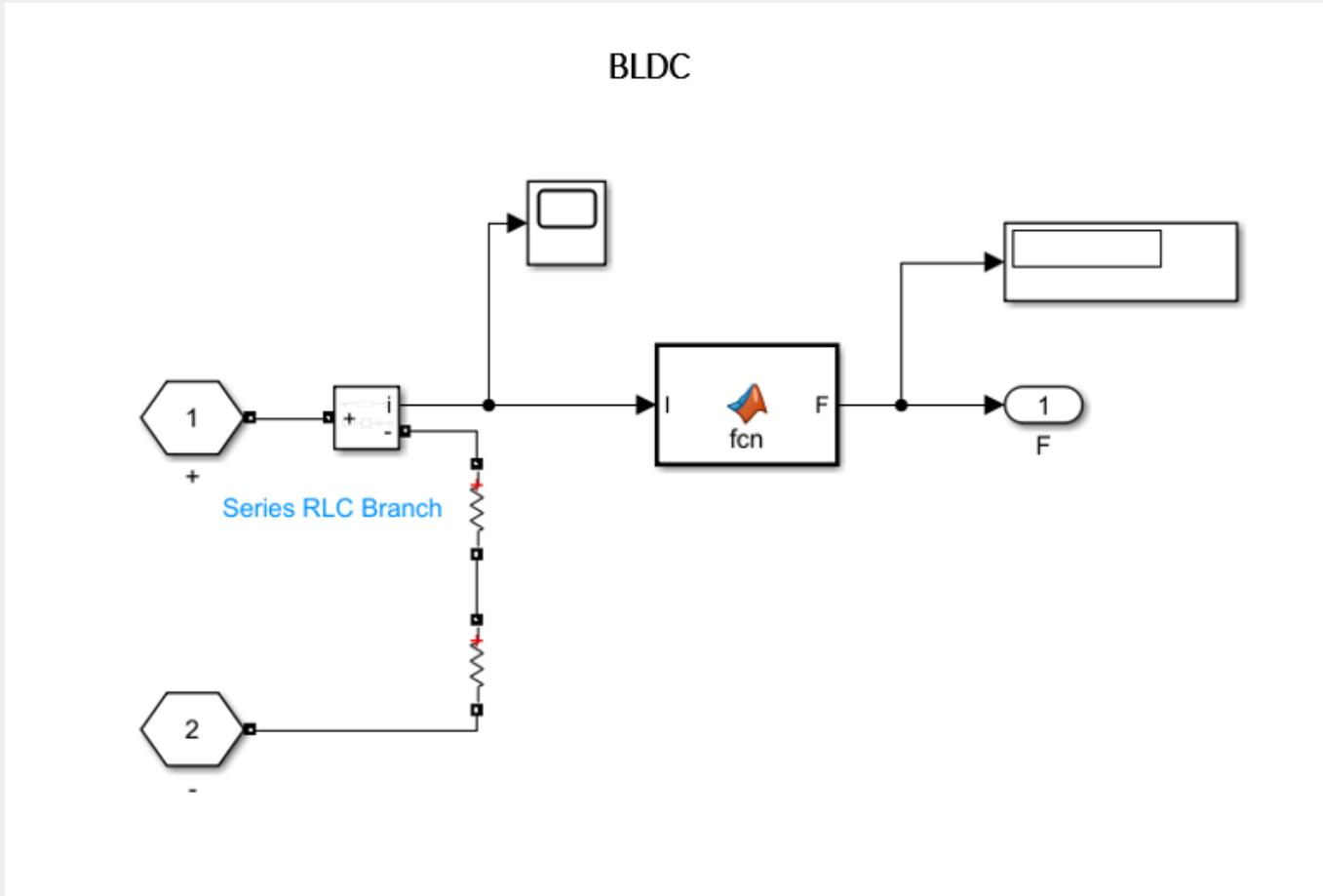
Structure du modèle



III - Simulations



III - Simulations



Fonctionnement :

Chaque BLDC comprend deux moteurs. Chacun est simplement représenté par sa résistance interne.

On obtient alors de la tension l'intensité du courant et par un modèle linéaire la poussée associée

III - Simulations

Modifications à réaliser

Choix de l'emrax

Élimination et remplacement du buck converter

Changement de la valeur des résistance en conformité avec le nouveau choix de moteur

changement de la caractéristique intensité/ poussée pour la nouvelle association moteur - hélice

III - Simulations : Description des prochaines simulations

Composant	Sollicitation	Type
BLDC	Echelon	Contrôle tension
BLDC	Créneau	Contrôle tension
BLDC	Abaissement	Contrôle tension
BLDC	Echelon	Contrôle vitesse
BLDC	Créneau	Contrôle vitesse
BLDC	Abaissement	Contrôle vitesse
Emrax + Redresseur + BLDC		Evolution vitesse
Emrax + Redresseur + BLDC		Evolution de la vitesse de rotation

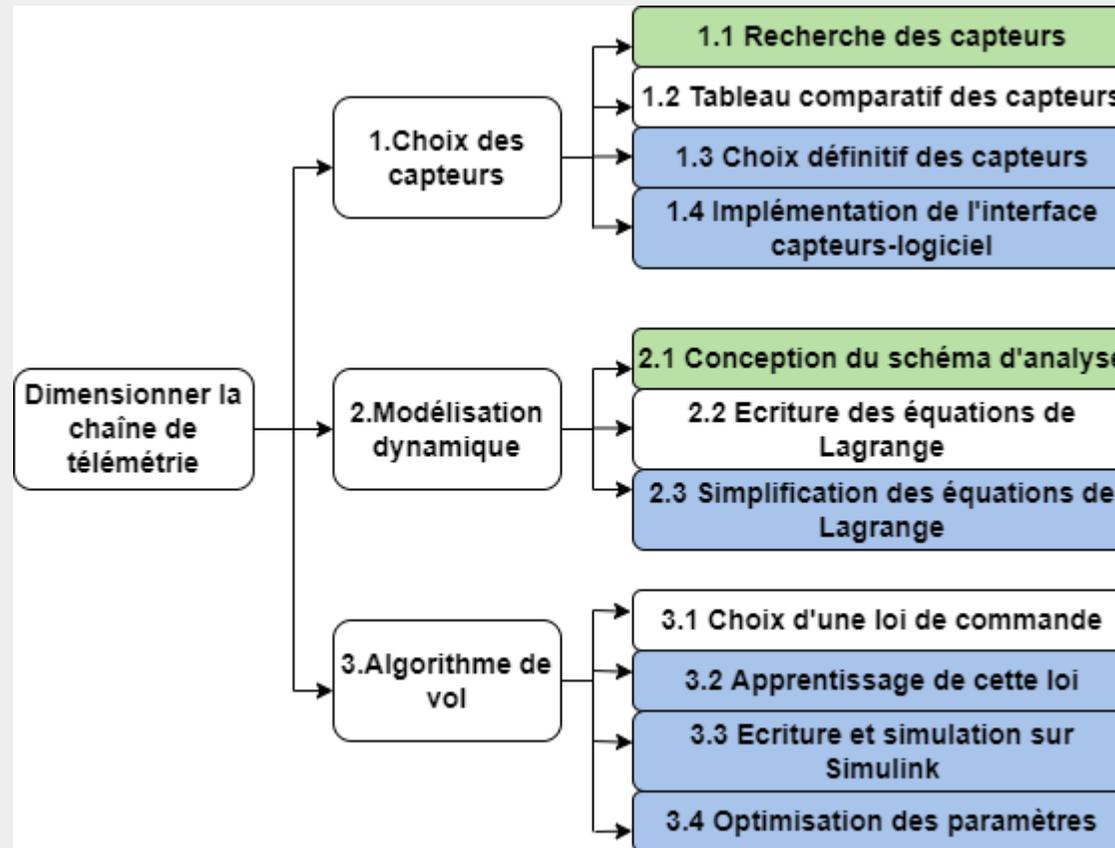


Pôle Capteurs

I - Gestion de projet

WBS

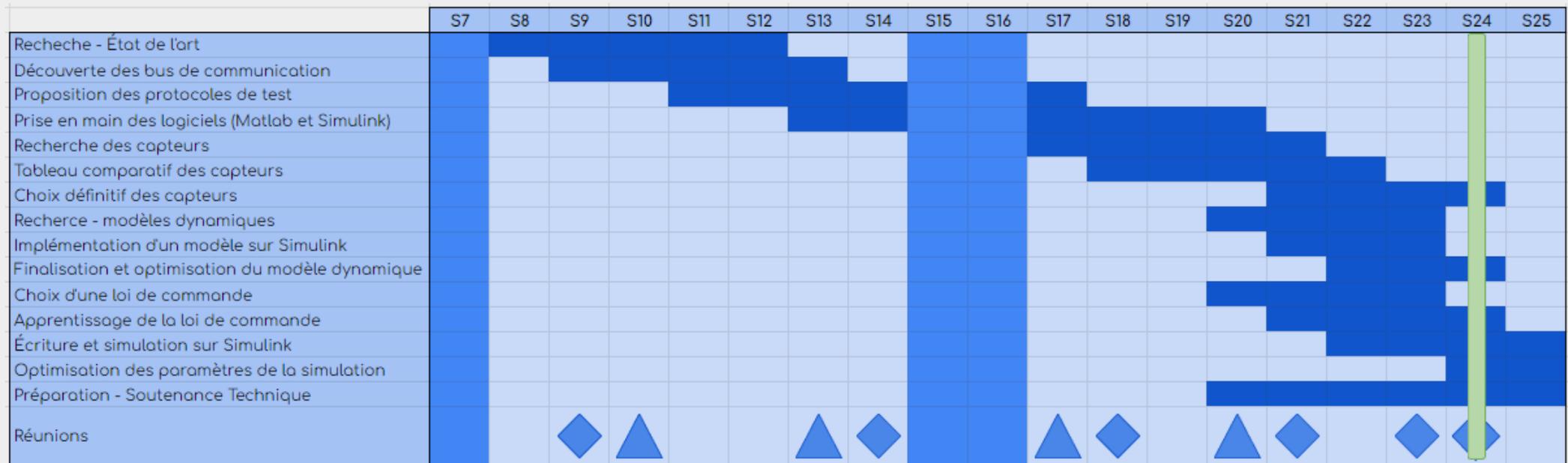
-  Tâche déjà réalisée
-  Tâche en cours de réalisation
-  Tâche restante



Les tâches peuvent être effectuées en parallèle par les membres du pôle.

I - Gestion de projet

Gantt du semestre 6



Vacances
 Coachs
 Réunion - M. Dutertre

Division temporelle des tâches en fonction des semaines du semestre

I - Gestion de projet

Matrice RACI

		Membres			
		Danilo Rodrigues	Oumaima Morhodi	Thomas Baldachino	Arnaud Leloir
Choix des Capteurs	4.1 Recherche des capteurs	A	C	R	I
	4.2 Tableau comparatif des capteurs	A	C	R	I
	4.3 Choix définitive des capteurs	A	C	R	I
	4.4 Implémentation de l'interface capteur-logiciel	R/A	C	I	I
Algorithme de Vol	5.1 Choix d'une loi de commande	A	I	C	R
	5.2 Apprentissage de cette loi	A	I	C	R
	5.3 Écriture et simulation sur Simulink	A	R	C	I
	5.4 Optimisation des paramètres	A	R	C	I
Modélisation Dynamique	6.1 Recherche - Modèles Dynamiques	R/A	I	I	C
	6.2 Implémentation d'un modèle sur Simulink	R/A	I	I	C
	6.3 Finalisation et optimisation du modèle dynamique	R/A	I	I	C

Tâches réparties en fonction de l'expérience de chaque membre dans chaque domaine.

I - Gestion de projet

Architecture générale des capteurs

Mini-bee

Capteurs d'aide à la conduite: Kanardia



Indu Round Indicators



Digi



Daqu



Joyu & boyu



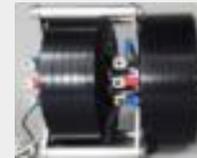
volant



Emsis



Autopilot



Capteurs Rotor



FCU

STM32F401RE

Capteurs Physiques



Accéléromètre
LSM6DSR



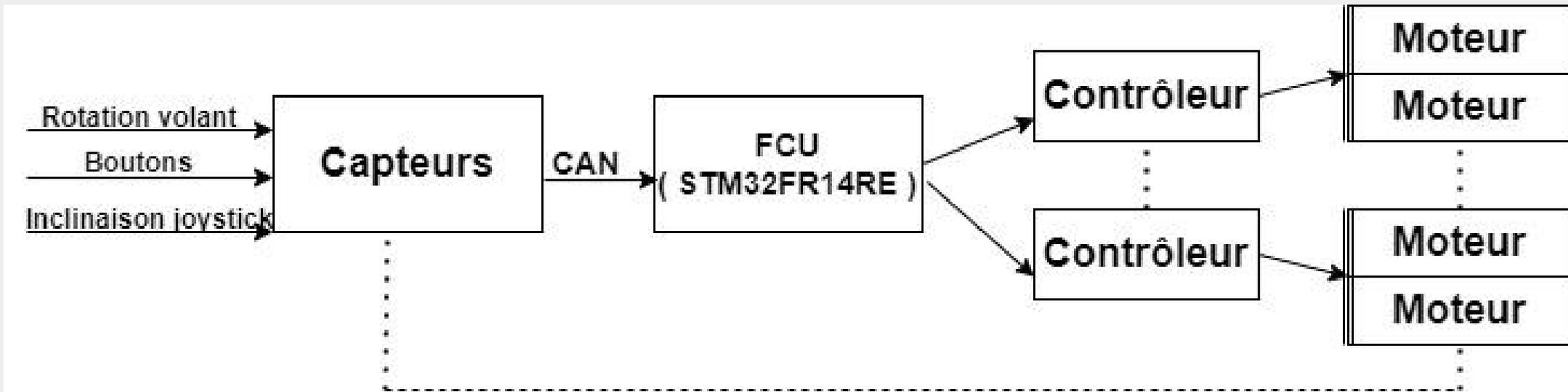
Magnétomètre
LIS2MDL



Baromètre
LPS22DF

Ensemble des capteurs choisis pour le moment

1. FCU : L'ordinateur de bord à l'interface entre capteurs et moteurs



Les moteurs sont regroupés par blocs de 4 : il faut générer 15 signaux de commande pour contrôler les 60 moteurs

2. Protocoles de communication - Les protocoles envisagés par CY Tech

➤ Solution prototype

- UART / SPI / I2C
- Carte STM32F104RE

Test du protocole SPI par CY Tech :
échec de communication

➤ Solution finale

- TTCAN
- Carte à définir

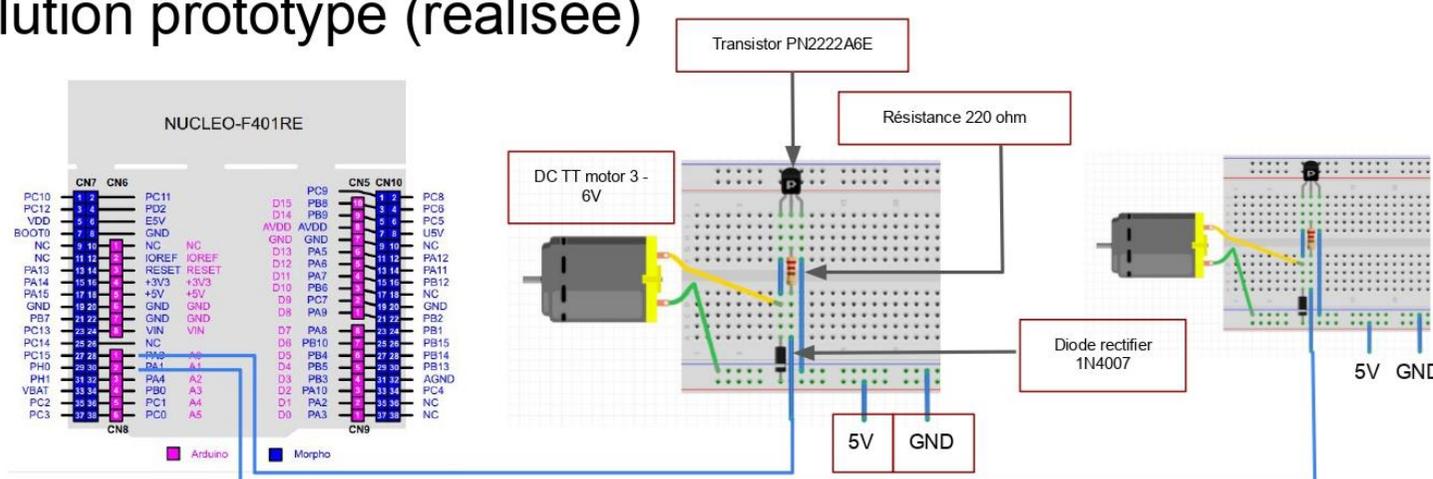
Choix à valider

Nous allons mettre en place un protocole de test pour valider le choix du bus TTCAN. À envisager pour le prochain semestre.

2. Protocoles de communication - L'expérience de CY tech




Solution prototype (réalisée)



Etats

- Do nothing
- Max speed
- Turn left
- Turn right

Solution réalisée
Permet de gérer la vitesse de 2 moteurs indépendamment l'un de l'autre
Extensible facilement à un plus grand nombre de moteurs

CY Tech 2022 Projet FCU Mini-Bee Lesser Open Bee License 1.3

CY Tech a réussi à gérer la vitesse des moteurs en I2C

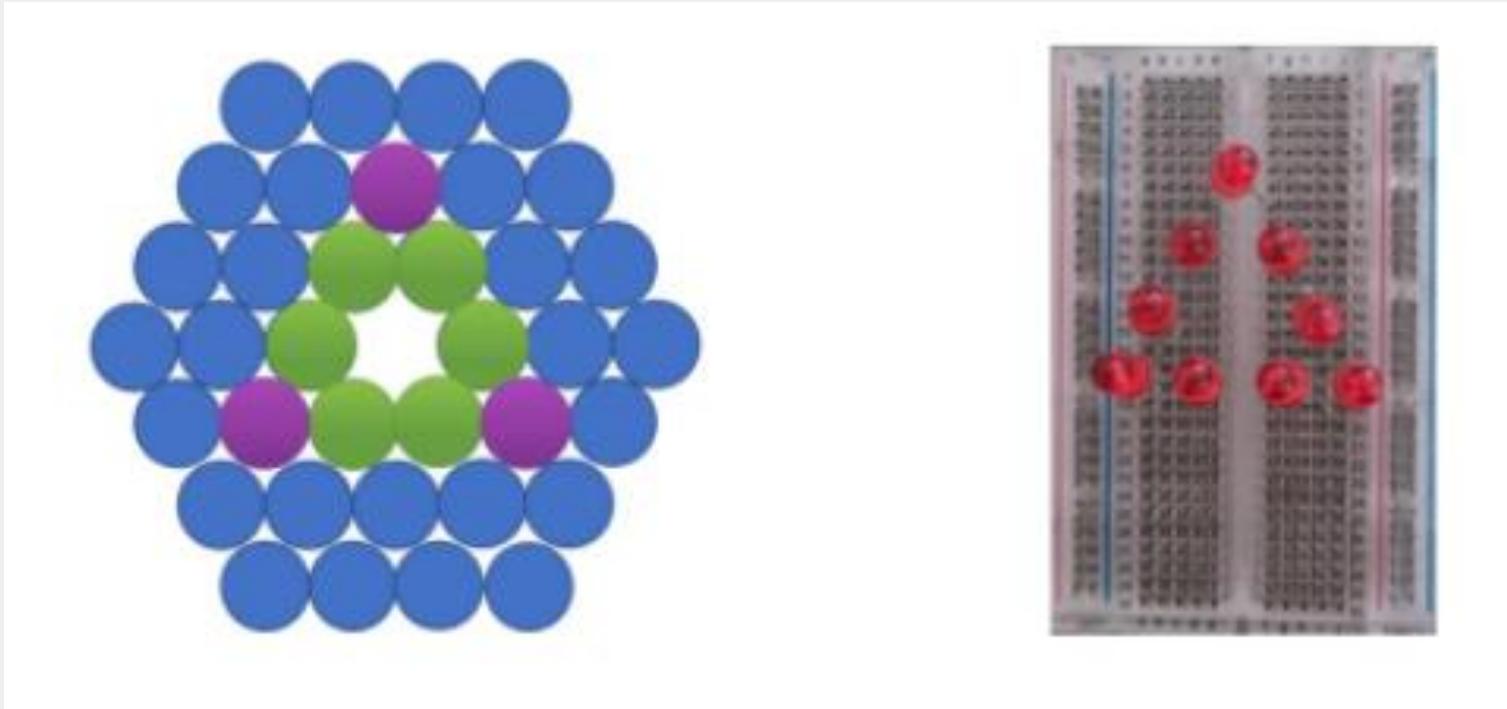
2. Protocole de communication - Étude proposée



- Connecter les [cartes](#) en utilisant le bus TTCAN (ou CAN) et les transceivers [MCP2551](#)
- Chaque esclave est connecté à un moteur (facilement extensible à plusieurs moteurs en utilisant [PCA9685](#))
- Le maître enverra la vitesse de rotation de chaque moteur aux esclaves
- Les esclaves convertiront ces vitesses en tensions envoyés aux moteurs (via PWM)

Protocole à réaliser pour valider / invalider l'utilisation du TTCAN avec le microcontrôleur fourni

3. Montage test



Estaca a réussi à faire fonctionner le montage avec 9 LEDs (première couronne), il faut améliorer le prototype pour le faire avec 60 LEDs.

4. Choix des composants

High-performance MEMS IMU
for AR/VR and tracking applications



Caractéristiques techniques

- Gamme complète: jusqu'à 4000 degrés par seconde
- Grande stabilité en température (-40 à +85°C) et bonne durabilité dans le temps
- Fonctionne avec les langages SPI et I2C
- Contient un capteur de température
- Tension d'alimentation analogique: 1,71V à 3,6V

	Nécessité mini-bee	LSM6DSR
Température	de ~ -25 à 40 °C	de -40 à +85 °C
Tension	inférieur à 5V	de 1,71 à 3,6V
Langage utilisé	TTCAN et SPI	SPI, I2C ou MPI I3C



L'accéléromètre LSM6DSR possède toutes les caractéristiques techniques nécessaire au fonctionnement du mini-bee



4. Choix des composants



Caractéristiques techniques

- Plage de pression: 260-1260 hPa
- Précision de la pression: 0,5 hPa
- Fonctionne entre -40 et +85 C
- Tension d'alimentation: 1,7 à 3,6V
- Consommation de courant: 1,7 μ A
- Haute résistance aux chocs
- Coefficient de température de décalage: 0,45 Pa/°C
- Fonctionne avec les langages SPI et I2C

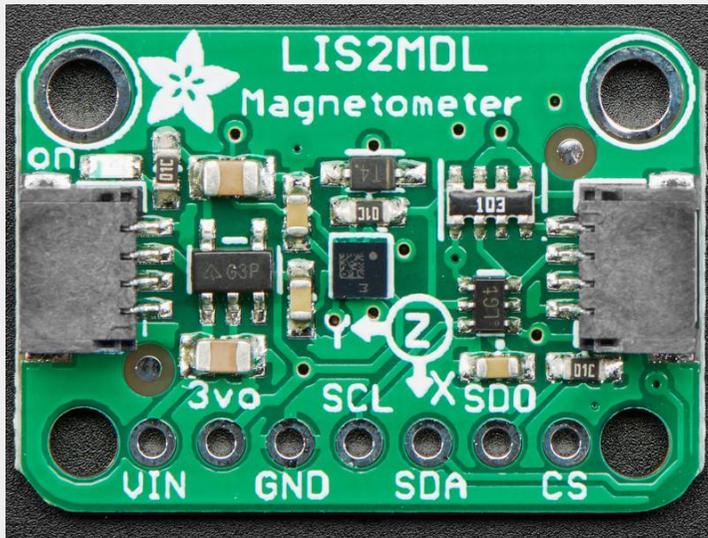
	Nécessité mini-bee	LSM6DSR
Température	de ~ -25 à 40 °C	de -40 à +85 °C
Tension	inférieur à 5V	de 1,71 à 3,6V
Langage utilisé	TTCAN et SPI	SPI, I2C ou MPI I3C



Le baromètre LPS22DF possède toutes les caractéristiques techniques nécessaire au fonctionnement du mini-bee



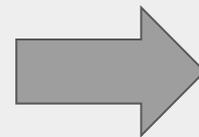
4. Choix des composants



Caractéristiques techniques

- 3 canaux de champs magnétiques
- Plage dynamique magnétique de ± 50 gauss
- Fonctionne entre -40 et $+85$ C
- Tension d'alimentation analogique: $1,71V$ à $3,6V$
- Consommation de courant: $50\mu A$ à $200\mu A$
- Fonctionne avec les langages SPI et I2C

	Nécessité mini-bee	LSM6DSR
Température	de ~ -25 à 40 °C	de -40 à $+85$ °C
Tension	inférieur à $5V$	de $1,71$ à $3,6V$
Langage utilisé	TTCAN et SPI	SPI, I2C ou MPI I3C



Le magnétomètre LIS2MDL possède toutes les caractéristiques techniques nécessaire au fonctionnement du mini-bee



5. Algorithme de vol

Objectifs :

- 1) Faire un bilan des entrées/sorties de l'algorithme
- 2) Etablir un cahier des charges sur son comportement
- 3) Concevoir un modèle numérique sur simulink
- 4) Implémenter le modèle sur un FPGA
- 5) Procéder à des tests de comparaison simulation / expérimentation

L'algorithme de vol doit permettre un contrôle du mini bee total à partir d'un volant et d'un joystick seulement

5. Algorithme de vol

Etat de l'art

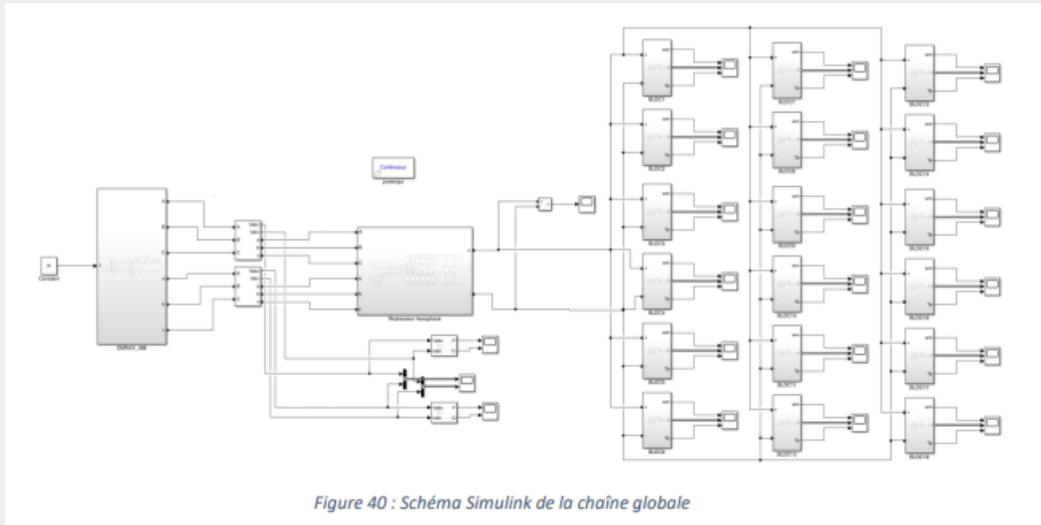


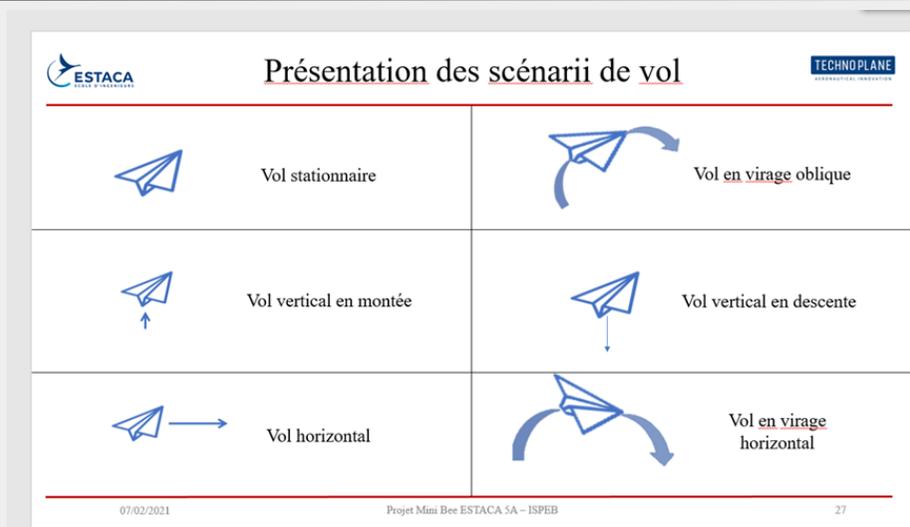
Figure 40 : Schéma Simulink de la chaîne globale

Centrale Supélec a modélisé la chaîne Rotax + Emrax + 36 moteurs U13KV130 sur Simulink. L'entrée est une vitesse de rotation du Rotax, la sortie est la force de poussée de l'ensemble des moteurs.

La poussée en sortie a été mesurée pour le scénario de vol *décollage*.

Le pôle électronique de puissance se charge d'adapter cette simulation à la configuration 60 moteurs - moteurs U12KV120 - aucun buck converter.

Le pôle capteurs se charge de modéliser le comportement cinématique du mini bee, de rajouter le feedback des capteurs et d'insérer les commandes volant / joystick.



Il manque au modèle réalisé le feedback des capteurs et l'influence des outils de commande

5. Algorithme de vol



-  Accélérer
-  Freiner
-  Stop
-  Descendre
-  Radio



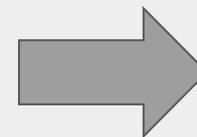
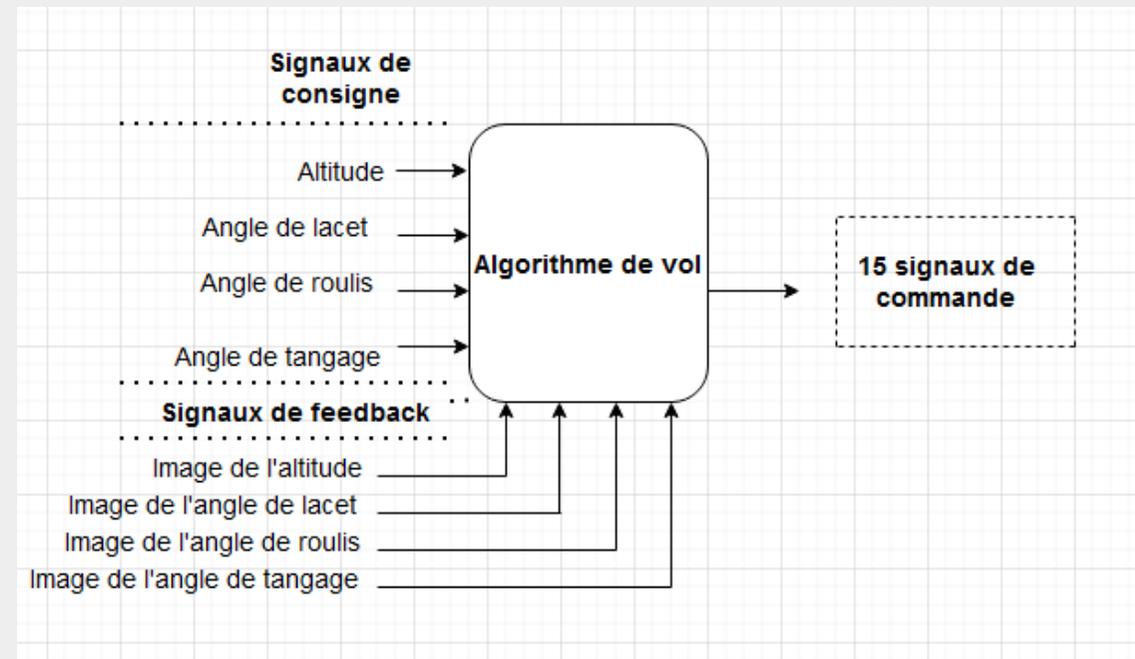
Rotation du volant pour faire pivoter le drone

Le **volant** contrôle l'**altitude** et l'**axe de lacet**



Le **Joystick Joyu** contrôle l'**axe de roulis** et l'**axe de tangage**

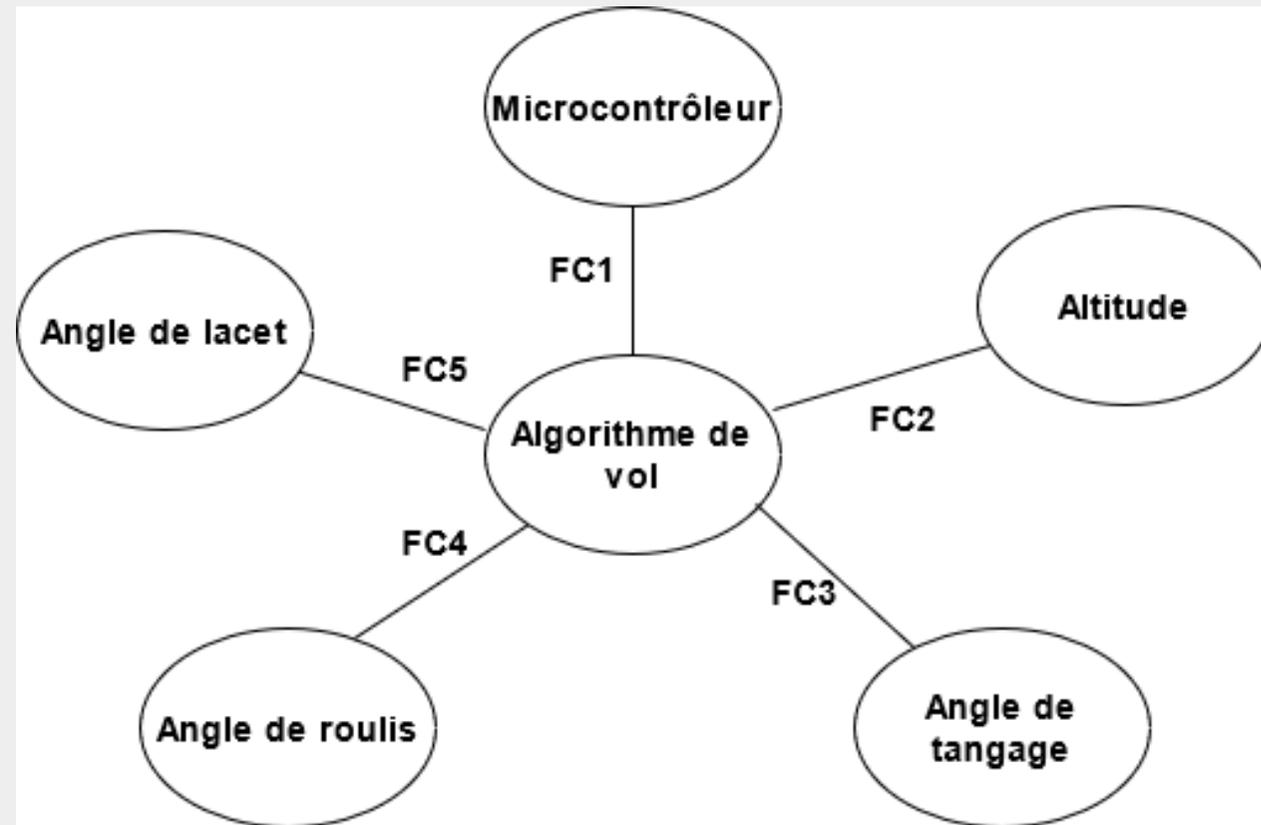
Schéma entrées-sorties de l'algorithme



L'objectif est d'ajuster les paramètres d'asservissement de l'algorithme pour respecter le cahier des charges du système



5. Algorithme de vol



FC1 : l'algorithme doit être compatible avec le microcontrôleur utilisé

FC2 : l'algorithme doit assurer un contrôle en altitude (z) optimal

FC3 : l'algorithme doit assurer un contrôle de l'angle de tangage (β) optimal

FC4 : l'algorithme doit assurer un contrôle de l'angle de roulis (γ) optimal

FC2 : l'algorithme doit assurer un contrôle de l'angle de lacet (α) optimal

Le diagramme des cas d'utilisation, couplé avec le cahier des charges, permet de dimensionner les blocs de la chaîne d'asservissement sur Simulink

6. Modélisation Dynamique

Objectifs

- Modéliser le comportement du Mini-Bee pour le simuler sur Simulink
- Faciliter la conception d'une loi de commande
- Étudier la réponse du Mini-Bee à différents scénarios de vol

Le modèle doit être assez proche de la réalité.

6. Modélisation Dynamique

État de l'art

Modèle cinématique du MB

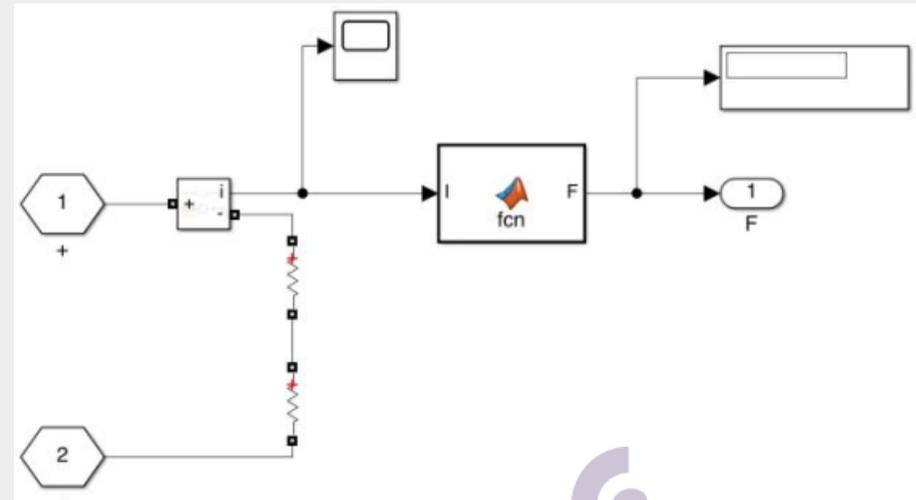
$$\begin{cases} \dot{q} = \frac{1}{2} M_s(U_\omega) q \\ \dot{x} = v \\ \dot{v} = \frac{F_a}{m} + g + \frac{U_1}{m} (k_t v + i) \\ \dot{m} = -k_t U_1 \end{cases}$$

Réadaptations à faire

BP01/private-bee-projects/projects_2019-20/2019 10 07
Insa Toulouse Algo

INSA
TOULOUSE

Modèle dynamique des moteurs



BP01/centrale-supelec/mb-202110-CS-SimulationMoteurs



CentraleSupélec

Il faut réadapter le modèle de INSA, ajouter la partie dynamique et le lier avec le modèle de CS

6. Modélisation Dynamique

Réadaptation du modèle cinématique

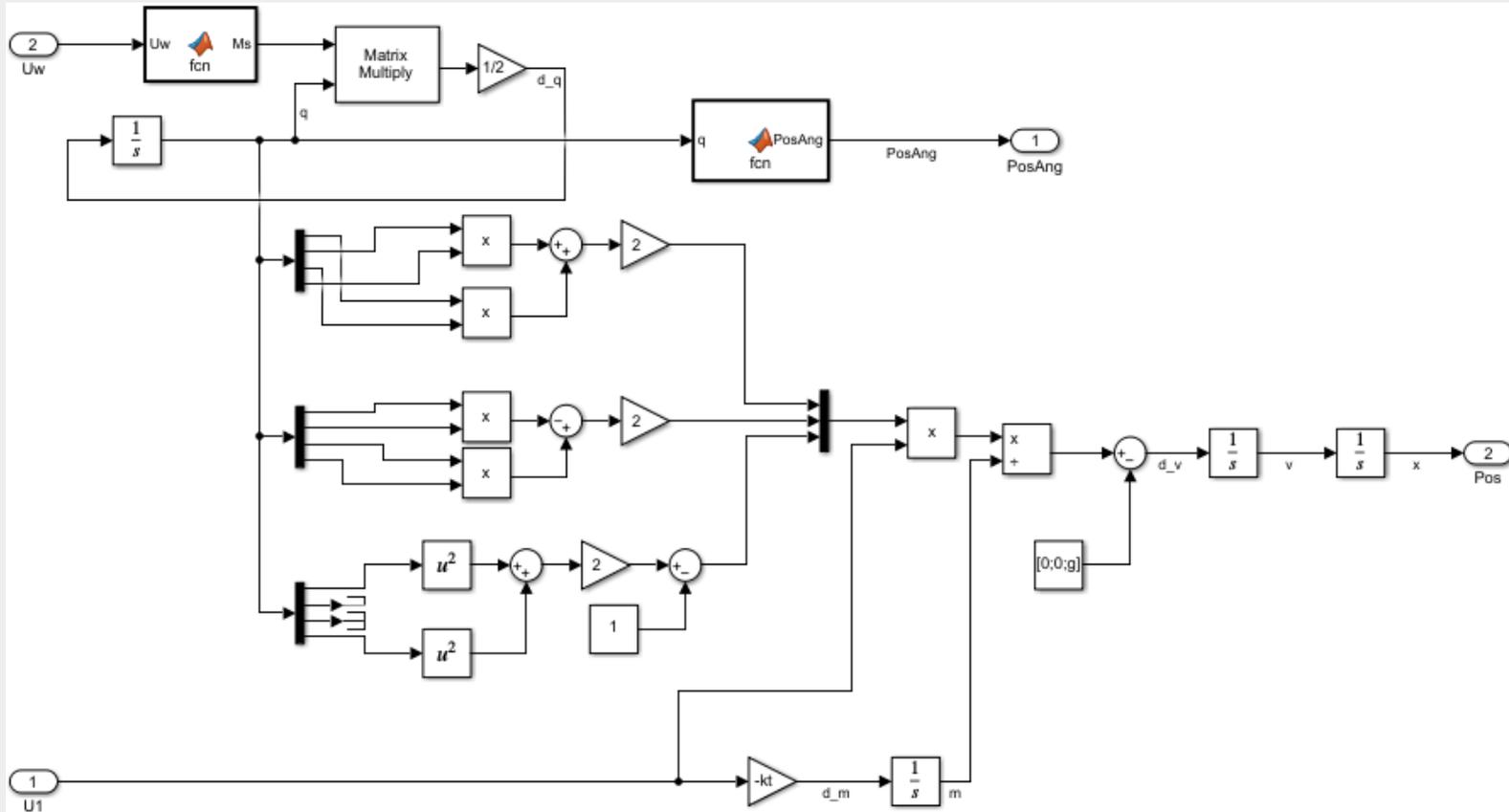
- La force de poussée est exercée dans l'axe verticale du Mini-Bee : $\mathbf{i} \rightarrow \mathbf{k}$

$$\dot{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{F}_a}{m} + \mathbf{g} + \frac{U_1}{m} (k_t \mathbf{v} + \mathbf{i}) \rightarrow \dot{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{F}_a}{m} + \mathbf{g} + \frac{U_1}{m} (k_t \mathbf{v} + \mathbf{k})$$

Modèle réadapté !

6. Modélisation Dynamique

Modèle cinématique sur Simulink

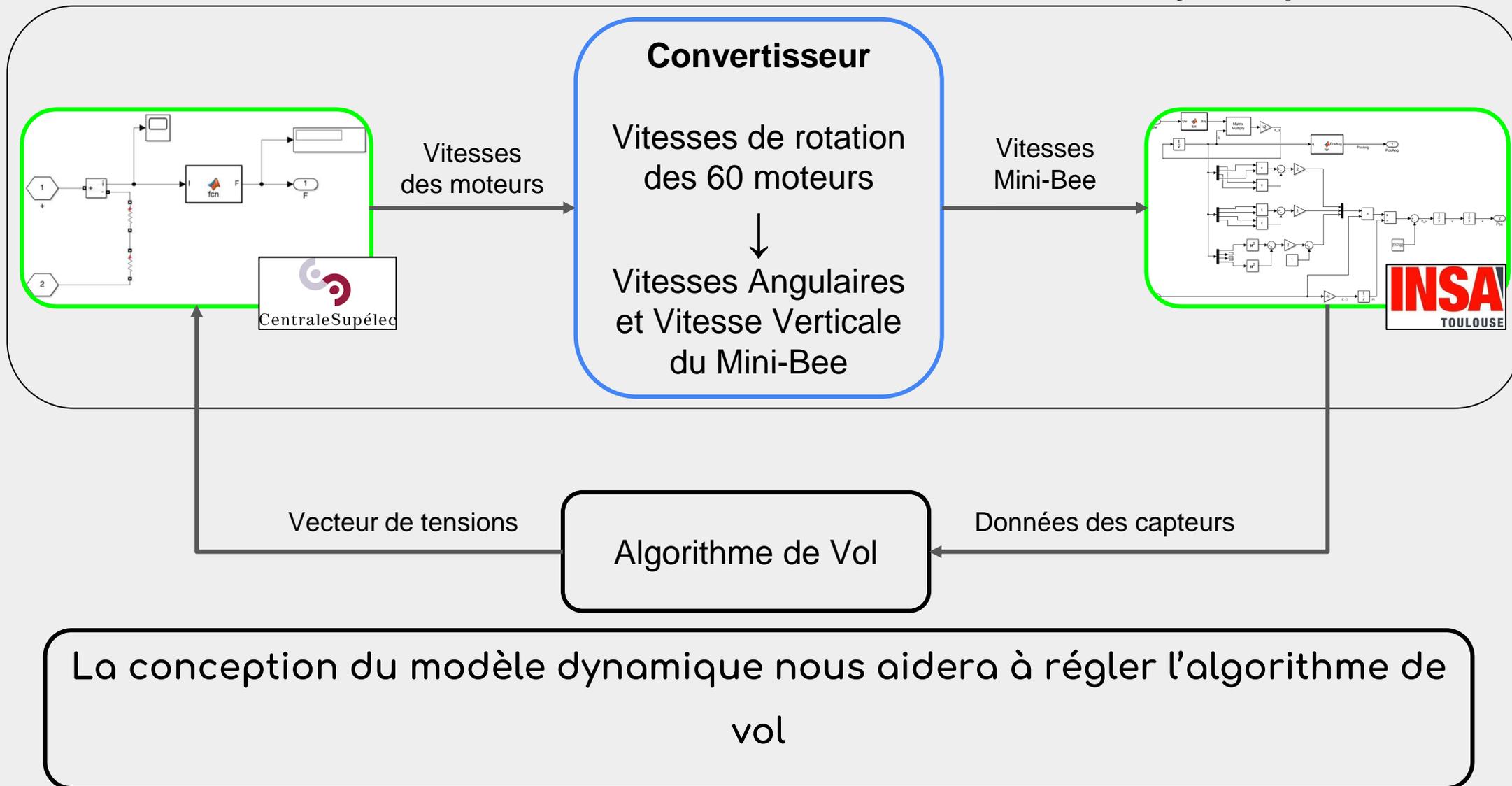


Modèle créé sur Simulink !

6. Modélisation Dynamique

Évolution du modèle

Modèle Dynamique



7. Prototype

Prochaines étapes :

- Tableau comparatif des capteurs
- Faire le lien entre le modèle des cinématique et le modèle des moteurs
- Choix d'une loi de commande

Le pôle capteurs est légèrement en retard avec le Gantt

Annexes

IV. Annexes

Bilan de masse

Mini Bee									
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	46,7	10%	4,7	51,3
Hélice	1	T-Motor	G34 (T-motor)	0,2	60	9,6	10%	1,0	10,6
Tube carbone des barres de structure	1		Carbone CFK 20mm	0,6	84	49,9	10%	5,0	54,9
Tube carbone de jointure	1		Carbone CFK 20mm	0,6	82	48,7	10%	4,9	53,6
Fixation moteur	1		?	0,2	60	12,0	10%	1,2	13,2
Fixation des barres	1			0,05	120	6,0	10%	0,6	6,6
Câbles	1								
Support moteur	1			1,0	60	62,6	10%	6,3	68,9
Sous-total Motorisation électrique						264,9			
Motorisation thermique									
Moteur	1	Rotax 915is		85	1	85	5%	4,3	89,3
Générateur DC-AC	1	Emrax 268 Twin		21	2	42	5%	2,1	44,1
Accouplement Pièce	1			4,5	1	4,5	10%	0,5	5,0
Kérosene 100L	1			81	1	81	5%	4,1	85,1
Batterie	1								
Réservoir Carburant	1			5,3	1	5,3	5%	0,3	5,6
Sous-total Motorisation thermique						217,9		28,57 %	0

IV. Annexes

Bilan de masse

Structure Supérieure									
Electronique embarquée	1			15	1	15	10%	1,5	16,5
Sous-total Sturcture supérieure						15			
Châssis									
Siège	1			10	2	20	10%	2	22
Vérin	1			0,5	4	2	5%	0,1	2,1
Chape arrière	1		EN-AW-5086	0,5	4	2,0	5%	0,1	2,1
Chape centrale	1		EN-AW-5086	0,7	2	1,4	5%	0,07	1,4
Chape avant	1		EN-AW-5086	0,5	4	2,0	5%	0,1	2,1
Chape à œil INOX 304	1		INOX 304	0,4	2	0,8	5%	0,04	0,8
Chassis	1			42	1	42	10%	4,2	46,2
Parachute	1			19	1	19	5%	1,0	20,0
Sous-total Châssis						89,046			
Trains d'atterrissage									
Chape Vérin	1		EN-AW-5086	0,5	12	6			
Tête à Rotule	1		M14	0,2	4	0,8			
Tubes Carbone fixation haute 30cm	1		Carbone CFK 30mm	0,03	4	0,12			
Tubes carbone fixation basse 120cm	1		Carbone CFK 30mm	0,12	12	1,44			
Roues	1		12.6 BERINGER	3,4	4	13,6			
Vérins	1		gaz 20-40 course 500	0,8	4	3,2	5%	0,16	3,4
Sous-total Trains d'atterrissage						25,16			3,30 %
Passagers et Matériels									
Masse limite passagers et matériel				180	1	180	5%	9	189
						180			23,60 %
Total Masse MiniBee Chargé						762,598 kg		825,863 kg	100,00 %
									0,00 €

IV. Annexes

Temps de démontage

Le cockpit est supposé déjà monté auparavant (Avec les sièges, Réservoir, Moteur thermique, Chassis) car il

Étapes de montage/démontage	Source ayant permis l'estimation du temps de Montage/démontage	Temps dans le pire des cas (min)	Temps dans le meilleur des cas (min)
Cockpit			
Assemblage d'un Patins d'atterrissage	Changement des amortisseurs avant d'une voiture	15	7
Fixation du Patin au Cockpit	Temps de: Fixation 3 chapes + Fixation Tubes	3	1
Vérification de l'intérieur du Cockpit	Checking de la conformité d'un habitacle de voiture	10	5
Pieuvre			
Assemblage Moteur avec son support		2	0,5
MEP structure soutenant les moteurs		40	30
Ajout d'un moteurs sur la structure		0,5	0,17
Assemblage des 2			
Reunion du cockpit avec la pieuvre		60	40

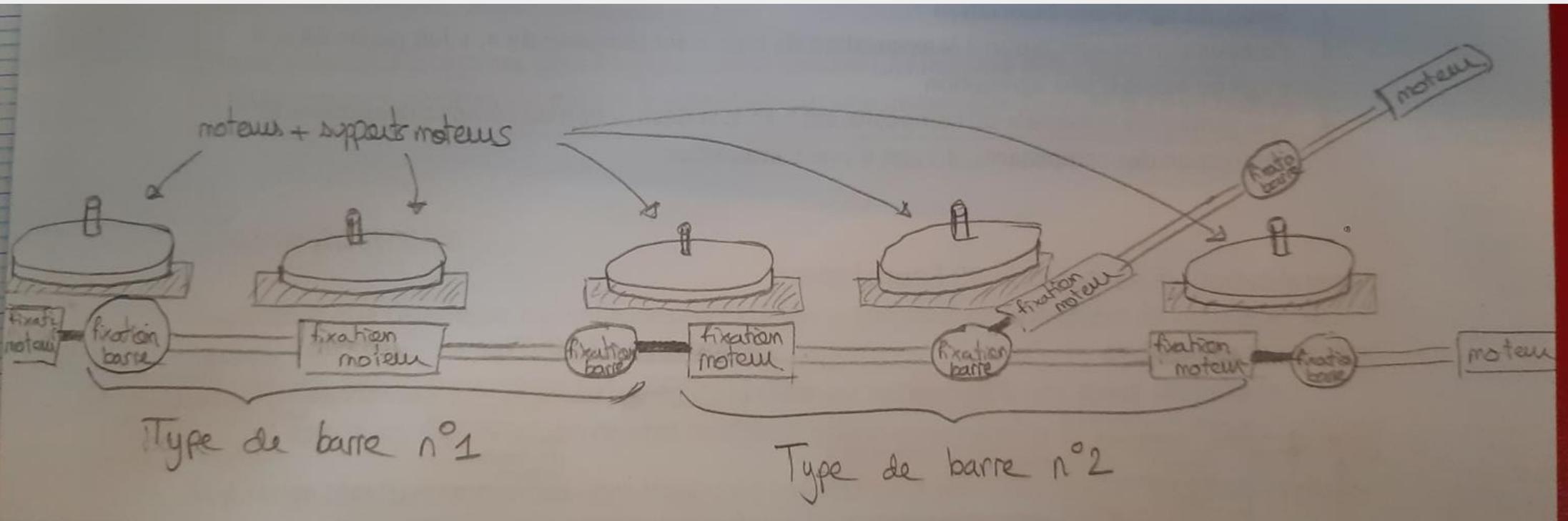
IV. Annexes

Temps de démontage

tient en entier dans un conteneur LD3					
Temps le plus probable (min)	Techniciens	Répétition de l'acte	Coût horaire unitaire	Temps Total	
10	1	4	30 €	40	
2	1	4	30 €	8	
7,5	1	1	30 €	7,5	
Total Montabilité Cockpit				55,5	
1	1	60	30 €	60	
30	1	1	30 €	30	
0,25	1	60	30 €	15	
Total Montabilité Pieuvre				105	
50	1	1	30 €	50	
Total Montabilité Assemblage				50	
Total Montabilité Total				210,5	

IV. Annexes

Temps de démontage



IV. Annexes

Temps de démontage

Estimation nombres de barres: 42 barres:

• Barres de type 1 = 24

• Barres de type 2 = 18

60 fixations moteurs
60 fixations de barres

↳ Hypothèse: Sur la barre de 2m, équidistance entre fixation moteur et fixation barre. → 66 cm de longueur, 20 mm épaisseur

Donc: • Tubes de carbone composant les barres → 84

• Tubes de carbone composant les jointures → 82

IV. Annexes

Fixation Emraxs

!NOTE: X-brackets are used only for connection between two motors. They should not be used as a primary mounting place for TWIN motor. Therefore, the customer should make another bracket for mounting the TWIN motor in the customer's system.

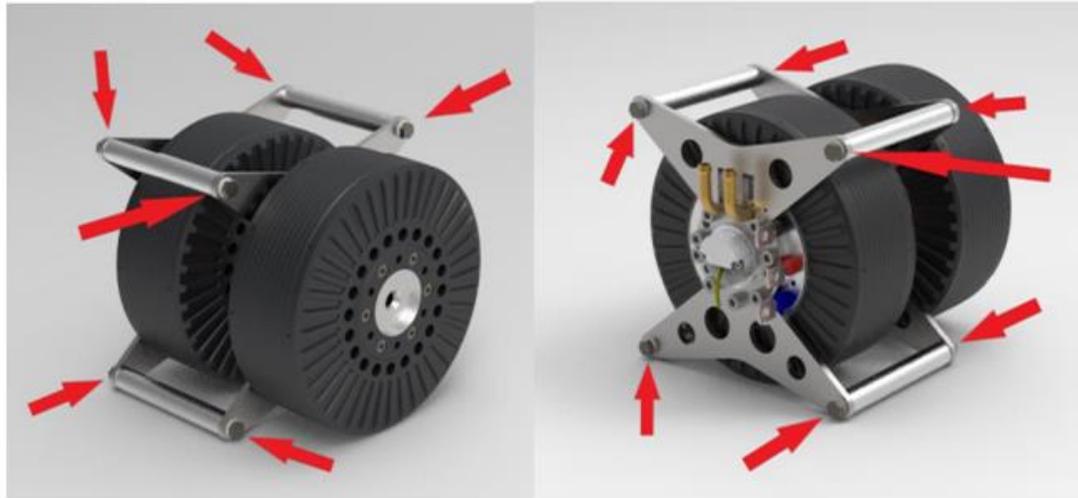


Figure 35: EMRAX TWIN - connection between two motors

www.emrax.com

42