

Validation de la chaîne de propulsion hybride du Minibee

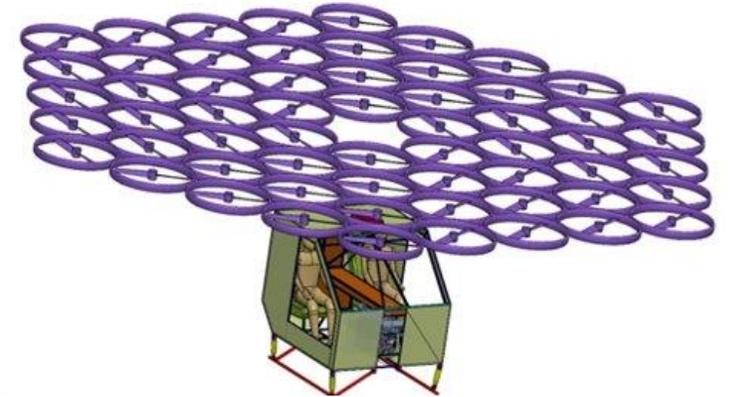
Guillaume HUET

Joseph DUBOCAGE

Jean-Benoît FOURAGE

Guilhem AUBIGNY

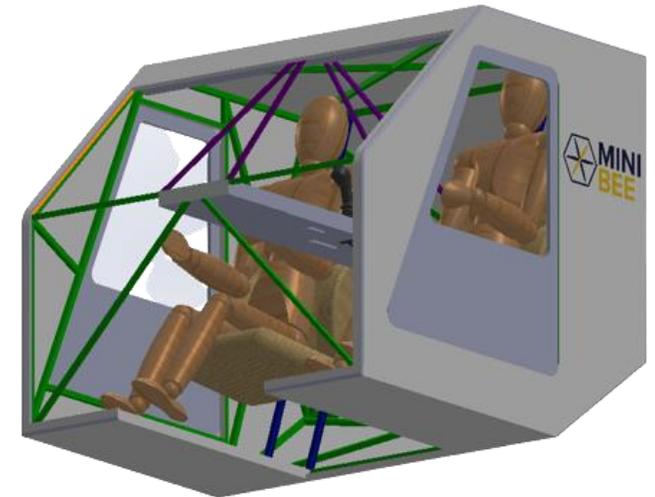
Alexandra SOUDEE



Mini Bee – Le projet



- ❑ Concept : **Ambulance volante** pour deux personnes, pour du sauvetage en **zone dangereuse**
- ❑ Facilement **démontable**
- ❑ Motorisation **thermique** convertie en **électrique**
- ❑ Projet *Lesser Open Source* et collaboratif
- ❑ Configuration **R1P2H60**



Sommaire



1. Le projet

1. Partenaire
2. Historique
3. Projets similaires

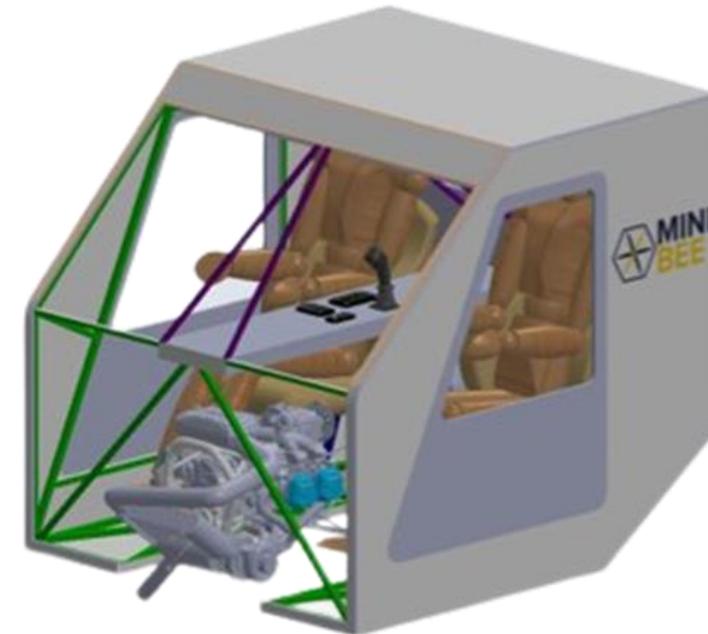
2. Notre rôle

1. Objectifs
2. WBS
3. Gantt

3. Nos résultats

1. Rotax
2. Emrax
 1. Emrax 228 (Sans gearbox)
 2. Emrax 268 (Avec gearbox)
3. Pont de diodes
4. Supercondensateur
5. Electronique de puissance
 1. Carte de contrôle
 2. Contrôleur de puissance
6. Bloc moteur

4. Proposition de branchement



1.1. Mini Bee – Partenaire



Professionnels



ROTAX

EMRAX[®]
INNOVATIVE E-MOTORS

Motoristes



Electronique de puissance

Universités



Test moteurs



Flight Contrôl Unit



Faisabilité



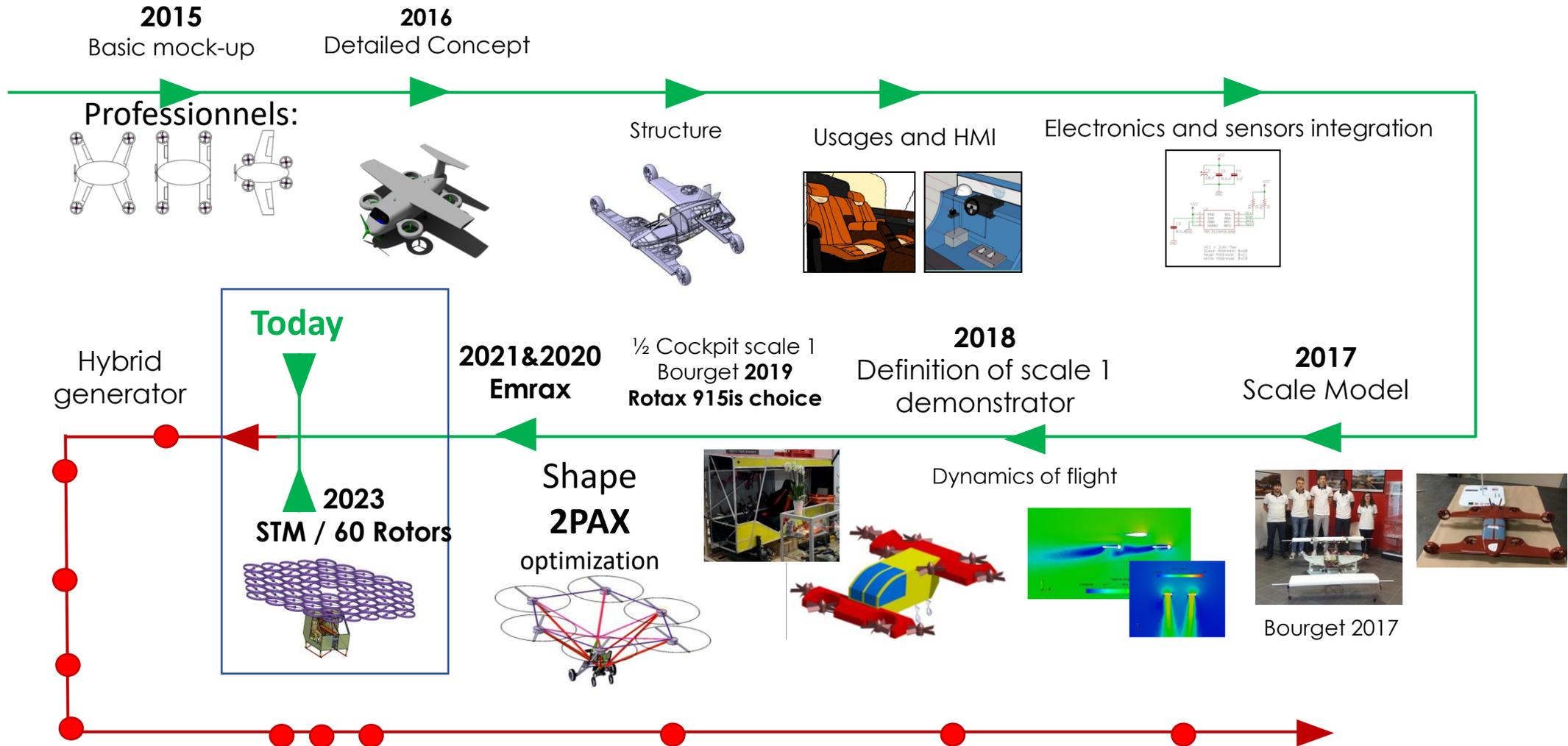
CRÉATEUR DE NOUVELLES MOBILITÉS

*Chaîne de puissance,
Architecture*



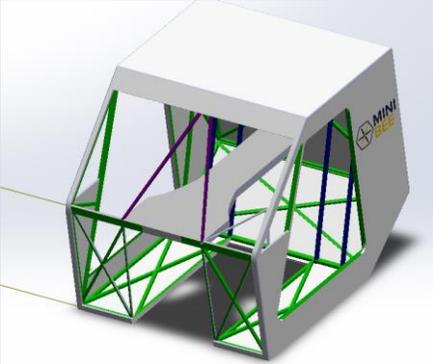
CentraleSupélec

1.2. Contexte – Historique du projet



1.3. Contexte – Projet Similaires



Critère de comparaison	Mini bee	Workhorse SureFly	Volocopter
Systeme	Thermique	Électrique	Électrique
Masse max au décollage (kg)	750	680	700
Puissance moteur (kW)	104	150	70,2
Nombre de moteurs/hélices	60	8	18
Représentation			

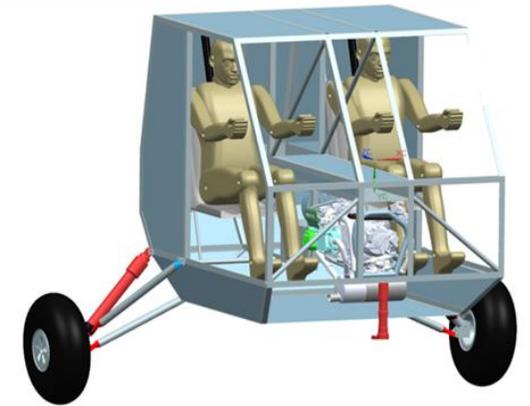
2. 1. Notre rôle – Les objectifs



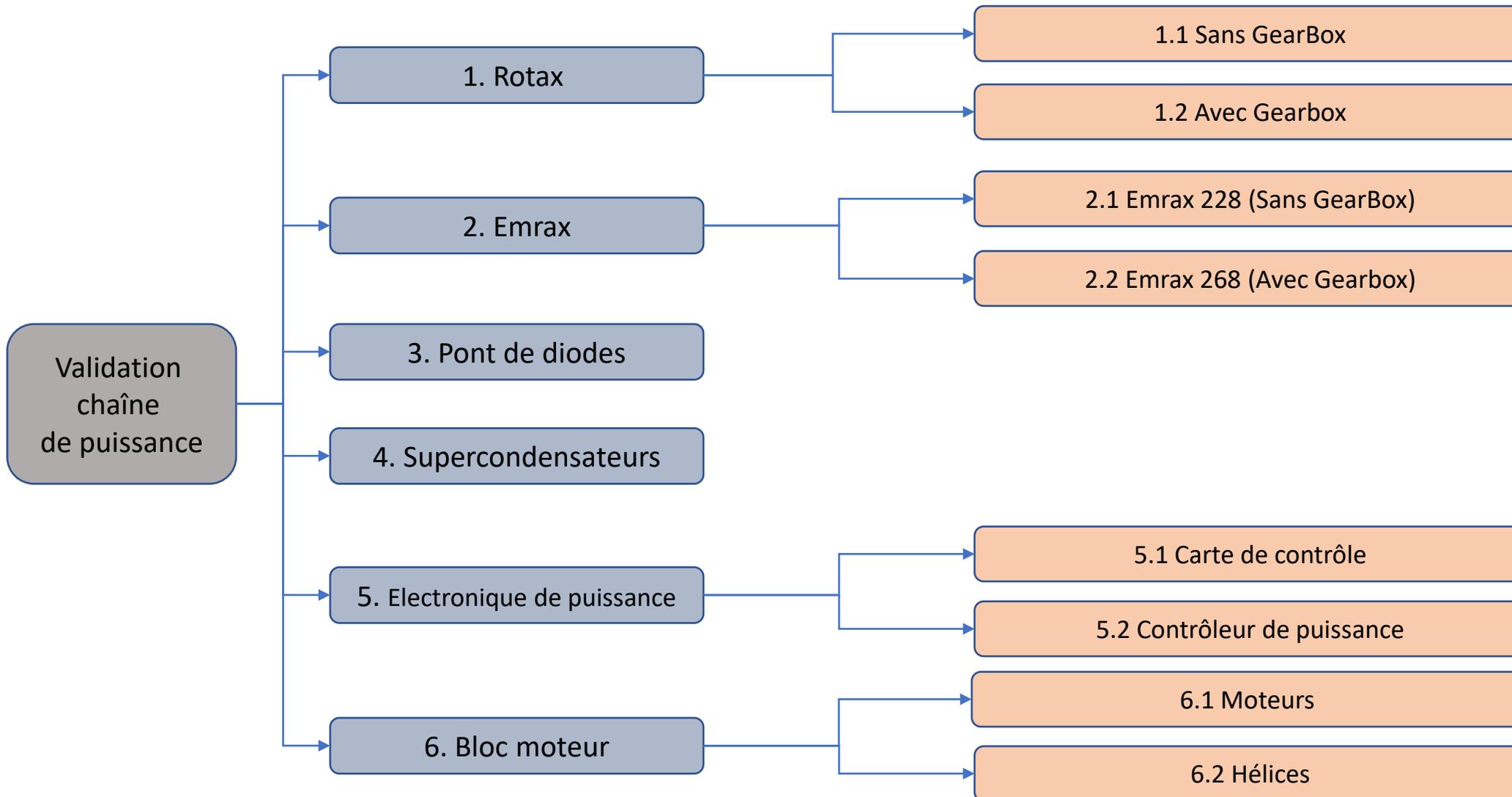
Notre rôle : Expliciter et valider la chaîne de puissance

Objectifs :

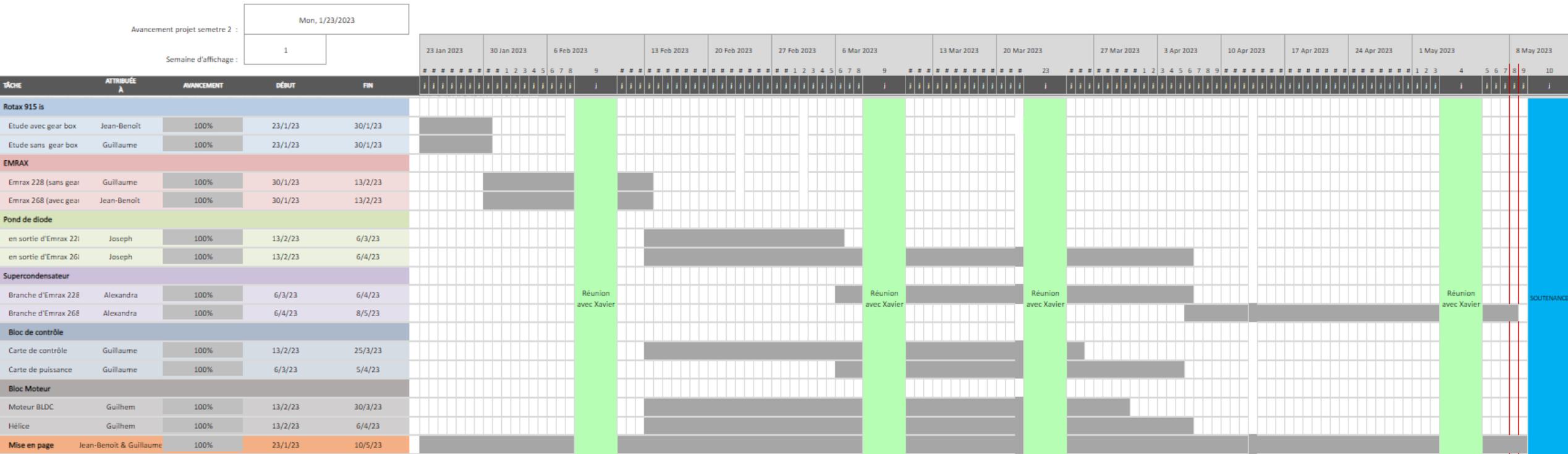
- Étude de cas sans gearbox
 - Étude de cas avec gearbox
 - Étude de bloc de contrôle (carte de contrôle et de puissance)
 - Étude du bloc moteur (moteur + hélice)
-
- → Proposer une chaîne de puissance cohérente en format simplifié



2. 2. Notre rôle – WBS



2. 3. Notre rôle – Gant



3. Nos résultats :

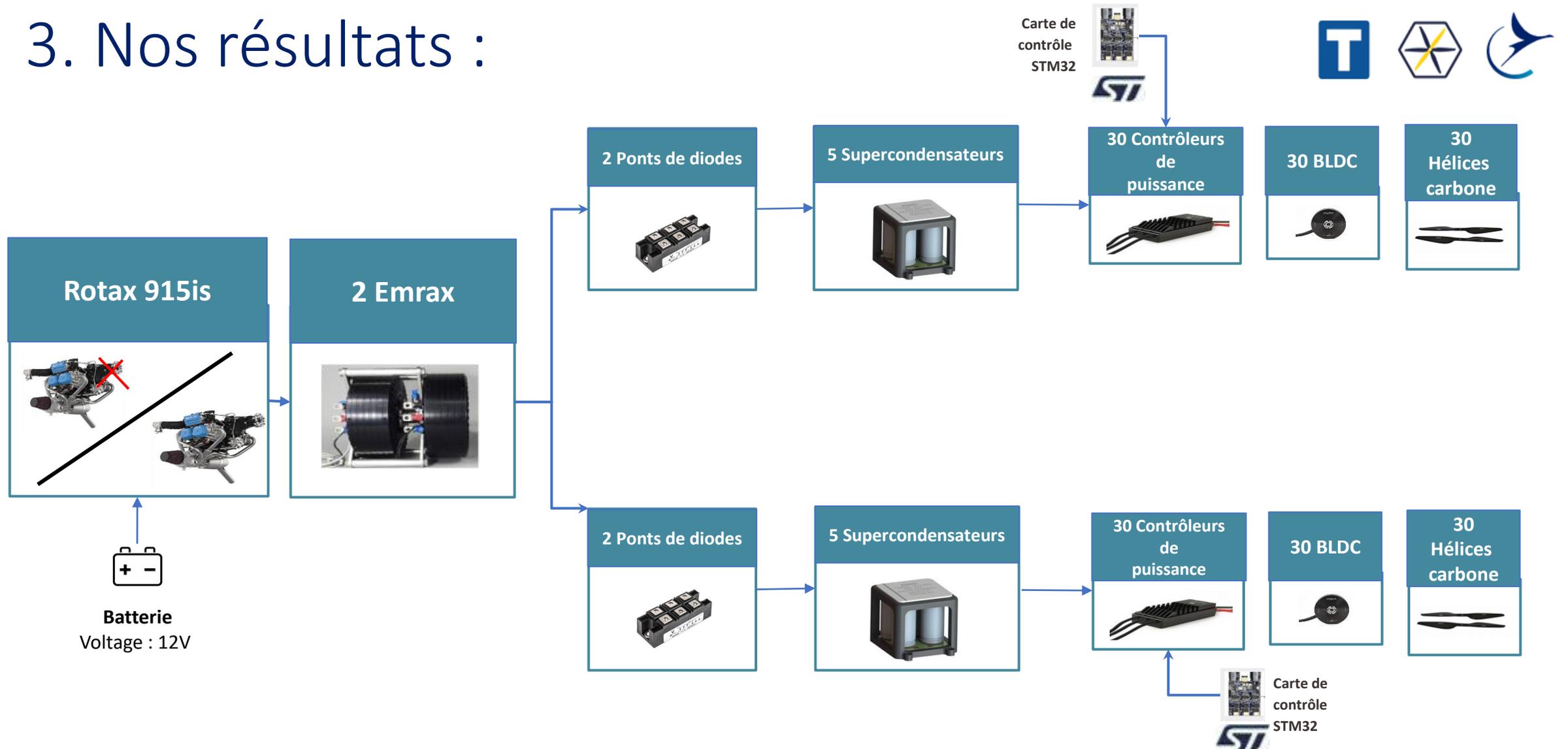


Schéma simplifié de la chaine de puissance

3.1 Étude ROTAX :



Sans gearbox

Phase de vol	Au décollage	En vol stationnaire
Puissance max	104 kW <small>(Bon décollage avec la manette des gaz entre 75 et 100%)</small>	99 kW
Puissance délivrée	4350 RPM à 5800 RPM	3000 RPM à 5500 RPM



Avec gearbox

Phase de vol	Au décollage	En vol stationnaire
Puissance max	104 kW <small>(Bon décollage avec la manette des gaz entre 75 et 100%)</small>	99 kW
Puissance délivrée	1733 RPM à 2283 RPM	1181 RPM à 2200 RPM

Prise en compte de l'altitude maximum voulue : **<12000 ft**

On fera une étude du ROTAX sans gear box entre :

3000 RPM et 5800 RPM

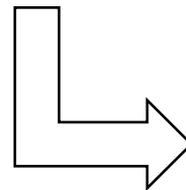
On fera une étude du ROTAX avec gear box entre :

1181 RPM et 2283 RPM

3.2.1. Étude **EMRAX 228** :

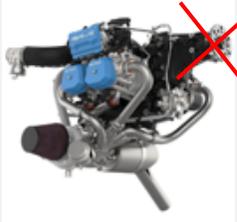
Bilan des puissances en sortie d'EMRAX :

Rotation	Puissance délivrée par EMRAX	Couple délivré par EMRAX	Efficacité
Maximum (5800RPM)	58,25 kW	132 Nm	86-90%
Minimum (3000RPM)	38,58 kW	126 Nm	96%



On s'intéressera à ces valeurs pour définir le type de voltage à prendre en compte ainsi que la tension de sortie

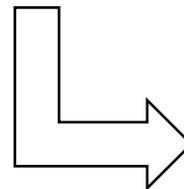
Résultat de l'étude de la configuration ROTAX sans gear box avec l'EMRAX 228 :

Pourcentage de manette des gazs	ROTAX	Vitesse arbre de sortie	2 EMRAX	Tension de sortie		Ampérage (A)	
				3000 RPM	5800 RPM		
Décollage : 75% - 100% Vol stationnaire : 70% - 100%	 Prix total: ROTAX + Certification (estimation): 36 106 € + 10 000 €	Entre 3000 RPM et 5800 RPM	Réf 228 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Prix : 2790 € </div> avec une efficacité comprise entre 88% et 96%	High Voltage	227,2V – 397,2V	163	132
				Medium Voltage	149,5V – 261,3V	247,76	200,54
				Low Voltage	56,8V – 99,3V	652	528

3.2.2. Étude **EMRAX 268** :

Bilan des puissances en sortie d'EMRAX :

Rotation	Puissance délivrée par EMRAX	Couple délivré par EMRAX	Efficacité
Maximum (2283RPM)	52 kW	240 Nm	93-94%
Minimum (1183RPM)	44,6 kW	220 Nm	96%



On s'intéressera à ces valeurs pour définir le type de voltage à prendre en compte ainsi que la tension de sortie

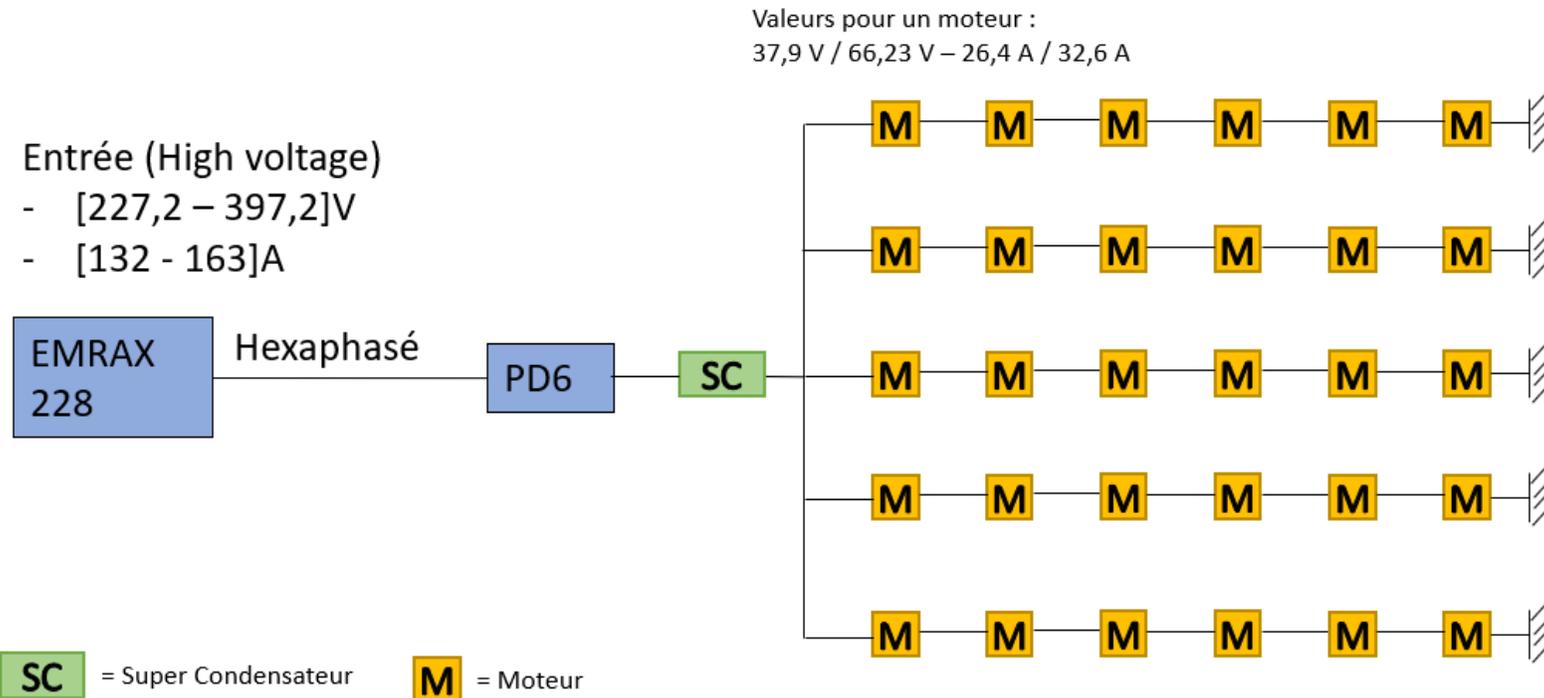
Rotax

Emrax 228
(Sans gearbox)Emrax 268
(Avec gearbox)Pont de
diodesSuper
condensateursElectronique
de puissanceBloc
moteur -
BLDCBloc
moteur -
Hélices

Résultat de l'étude de la configuration ROTAX avec gear box avec l'EMRAX 268 :

Pourcentage de manette des gaz	ROTAX	Vitesse arbre de sortie	2 EMRAX	Tension de sortie	Ampérage (A)	
Décollage : 75% - 100%	 Prix total: 36106 €	Entre 1181 RPM et 2283 RPM	Réf 268 Prix : 3798 € avec une efficacité comprise entre 93% et 96%	High Voltage	345,7V – 462,7V	120 – 130
Vol stationnaire : 70% - 100%				Medium Voltage	227,4V – 304,4V	182 – 197
				Low Voltage	86,4V – 115,7V	480 - 520

3.3. Étude Pont de diodes:



Architecture retenue: 2 circuits distincts chacun composé de 5 branches de 6 moteurs, pour un total de 60 moteurs.

Valeurs obtenues pour chaque moteur :

- Tension : 66,23V – 37,9V
- Intensité : 32,6A – 26,4A

3.3. Étude Pont de diodes:

Pont Redresseur	VS-160MT80KPBF	VUO160-12NO7	série VS-MT	série VS-36MB	VS-36MT40
Tension	800V	1200V	200V	100V	400V
Courant direct moyen	200A	175A	35A	35A (existe en 25A)	35A (existe en 25A)
Masse	176g	284g	20g	20g	20g
Dimensions	94 x 35 x 30mm	94 x 54 x 30mm	28.5 x 28.5 x 10mm	28.5 x 28.5 x 9.8mm	28.5 x 28.5 x 10mm
Coût (à l'unité TTC)	82,321	120,67 €	17,80 €	10,16 €	19,61 €
Montage	panneau	panneau	bornes enfichables	bornes enfichables	bornes enfichables



Composant sélectionné : VS-160MT80KPBF

- 4 ponts de diodes triphasés sont nécessaires dans cette configuration
- ➔ Budget (TTC) = 329 € / Poids = 704g

3.4. Étude des **supercondensateurs**:

$$\left. \begin{aligned}
 N_{\text{série}} &= \frac{U_{\text{sortie}}}{U_{\text{supercondensateur}}} \\
 \Delta U &= U_{\text{sortie}} \cdot \frac{U_{\text{sortie}}}{2}
 \end{aligned} \right\} \rightarrow C_{\text{tot}} = \frac{I_{\text{sortie}} \times \Delta t}{\Delta U - N_{\text{série}} \times \text{ESR} \times I_{\text{sortie}}}$$

$$\left. \begin{aligned}
 C_{\text{série}} &= \frac{C_{\text{supercondensateur}}}{N_{\text{série}}}
 \end{aligned} \right\} \rightarrow N_{\text{branches}} = \frac{C_{\text{tot}}}{C_{\text{série}}}$$

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{série}} \times N_{\text{branches}}$$

- U_{tot} augmente lorsque $N_{\text{série}}$ augmente
- C_{tot} augmente lorsque N_{branches} augmente



3.4. Étude des **supercondensateurs** :



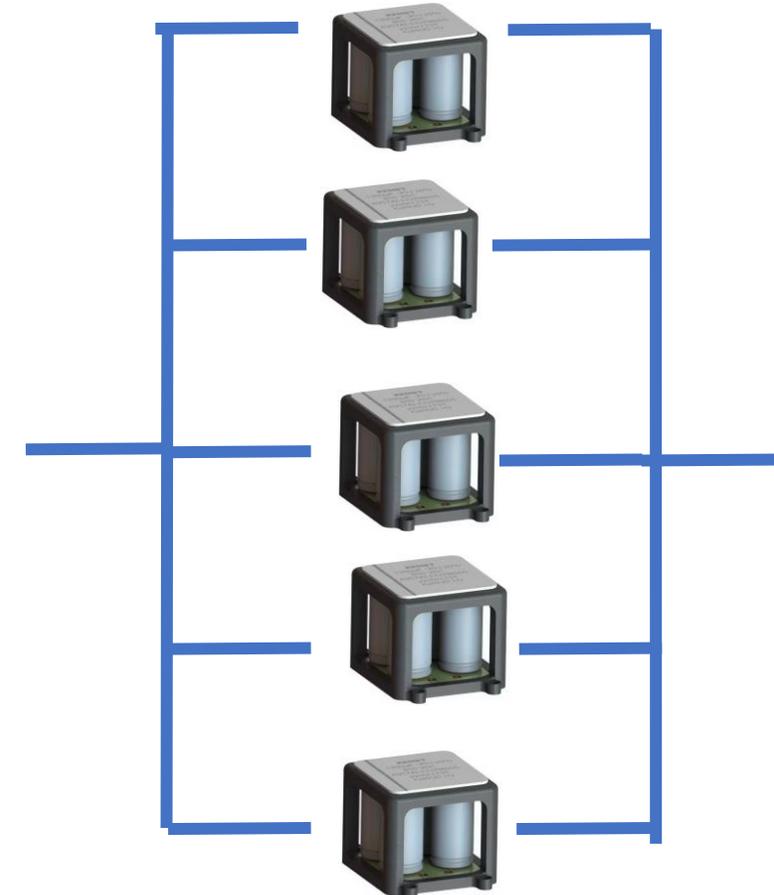
	SKELMOD 51V	PBLH-54R0/166SD	SM0165-048-ATH
Voltage (1 unité)	51 V	54 V	48 V
Voltage (total)	51 V	54 V	48 V
Intensité	35 A	35 A	35 A
Capacité (1 unité)	177 F	166 F	165 F
Capacité (totale)	120 F	121 F	15,83 F
Delta t	30 s	30 s	30 s
Nombre	1	1	1
Masse (kg)	15,8	17,2	14,2
Volume (dm ³)	15,2	14	14,9
Coût (€)	1861,08	1547,16	832,52

=> pas optimal

3.4. Étude des supercondensateurs :



	A958AL112M800S	SM0006-180-P
Voltage (V)	800	180
Voltage total	800	180
Intensité	35 A	35 A
Capacité (1 unité)	0,0011 F	6 F
Capacité totale	4,42 F	25,3
Delta t	50 s	60 s
Nombre	5 (en parallèle)	5 (en parallèle)
Masse totale (kg)	3,3	26
Volume total	7,4 dm ³	34,5 dm ³
Coût total (€)	360	3 650



=> **A958AL112M800S**
est le choix le plus viable

3.5. Étude **Electronique de puissance**:

Étude Carte de contrôle :

- Consommation électrique : entre 1.8 V à 3.6 V
- 10€ l'unité
- 140 mm³



Étude Carte de puissance :

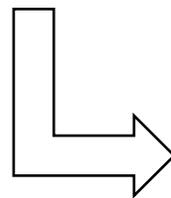
	ESC ALPHA 120A 12S - TMOTOR	ESC Flame 180A 12S V2 - TMOTOR
Modèle		
Taille	110 x 55 x 25 mm	112,2 x 50,5 x 35,5 mm
Poids	359,5 g	279 g
Courant continu	100 A	180 A
Pic de courant	120 A	200 A
Tension Max	50,2 V	50,2 V
Prix	171,68 € TTC	262,58 € TTC



3.6.1. Choix du type de **moteur** et d'**hélice**:

Choix du moteur BDLC :

	U12 KV120	U13 KV130			
Voltage (V)	48	48			
Pmax (W)	4560	5659			
Pmin (W)	696	979			
Max continuous current (A)	94	118			
Max thrust (kg)	20,4	24,3			
Weight (g)	778	990			
rpm	4742	4609			
Total max thrust (kg)	1224	1458	> masse Mini Bee (700kg)		
Total weight with prop (kg)	54,6	67,1			
Total price with prop TTC (€)	42770,4	44709,6			



Le moteur U12 KV120 présente le meilleur compromis en termes de masse, volume et prix tout en respectant le cahier des charges.

3.6.1. Choix du type de **moteur** et d'**hélice**:

Présentation de l'U12 KV120



	U12 KV120	Throttle	Thrust (g)	Torque (N*m)	Current (A)
Voltage (V)	48	50%	5500	1.9	14.5
Max continuous current (A)	94	55%	7400	2.7	22.5
Total Volume(dm³)	17	60%	8800	3.2	28.3
Total weight with prop (kg)	55	65%	10200	3.8	34.6
Total price with prop TTC (€)	33420	75%	13300	5	49.2
		85%	16300	6.2	66.4
		100%	20400	7.9	94.3

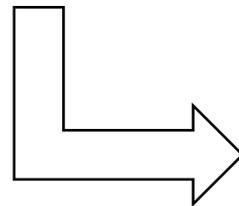
A noter que le pont de diode assure un apport maximal en courant de 32.6 A, ce qui correspond à environ 63% de la puissance disponible. Cette puissance supplémentaire peut-être redistribué pendant les différentes phases de vol en fonction du besoin.

3.6.2. Choix du type d'hélice :

Choix du type d'hélice



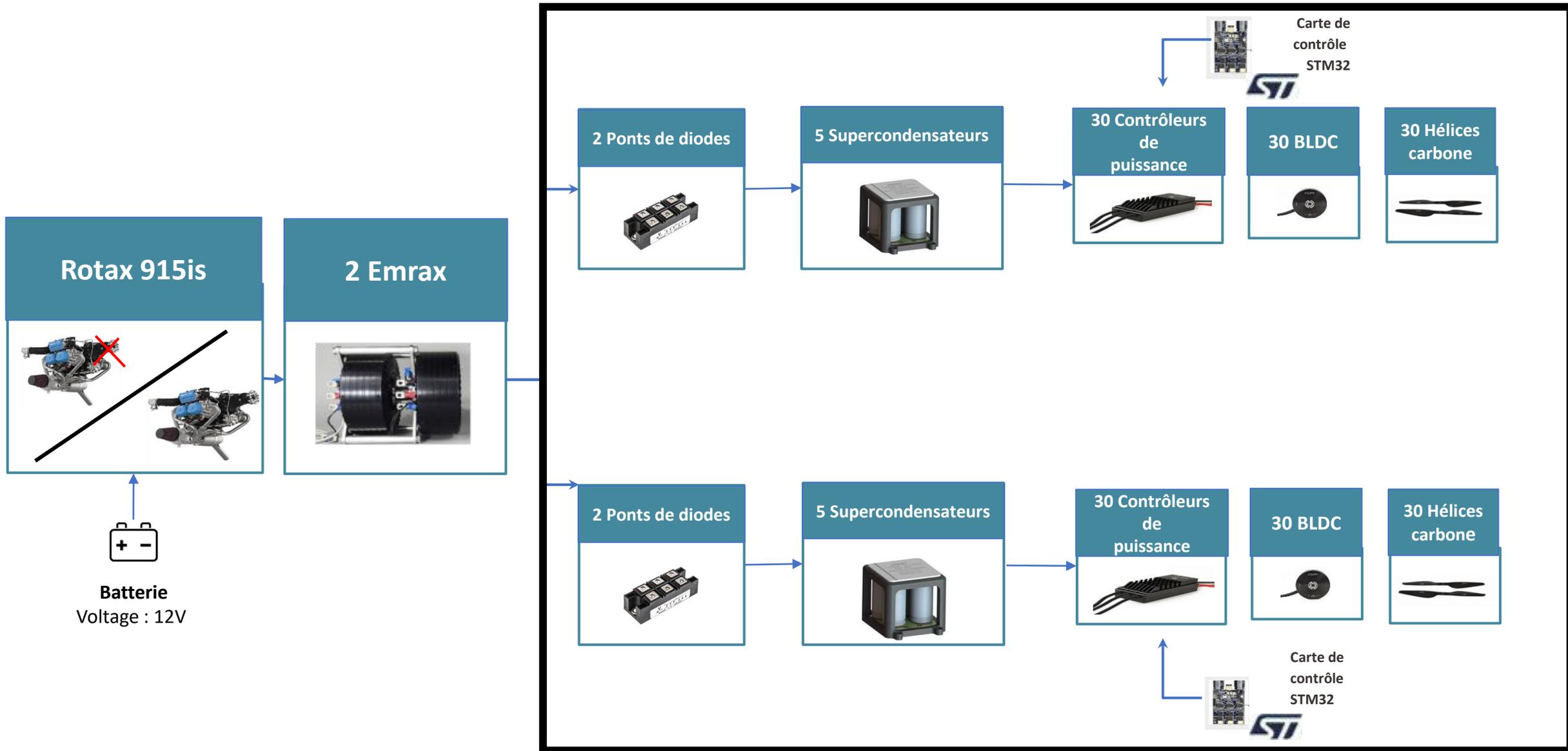
	G30*10,5inch	G32*11inch	G34*11,5inch			
Optimum RPM	2150	2100	1950			
Max thrust (kg)	33	35	42			
Total max thrust (kg)	1980	2100	2520			
Total max thrust (N)	19424	20601	24721	>2 à 3*7500N	(2 à 3*masse Mini Bee)	
Total weight (kg)	7,8	7,8	7,8			
Total price TTC (€)	9300	9900	10500			
RPM U12 KV120	192	180	169			
	Différence de masse négligeable					



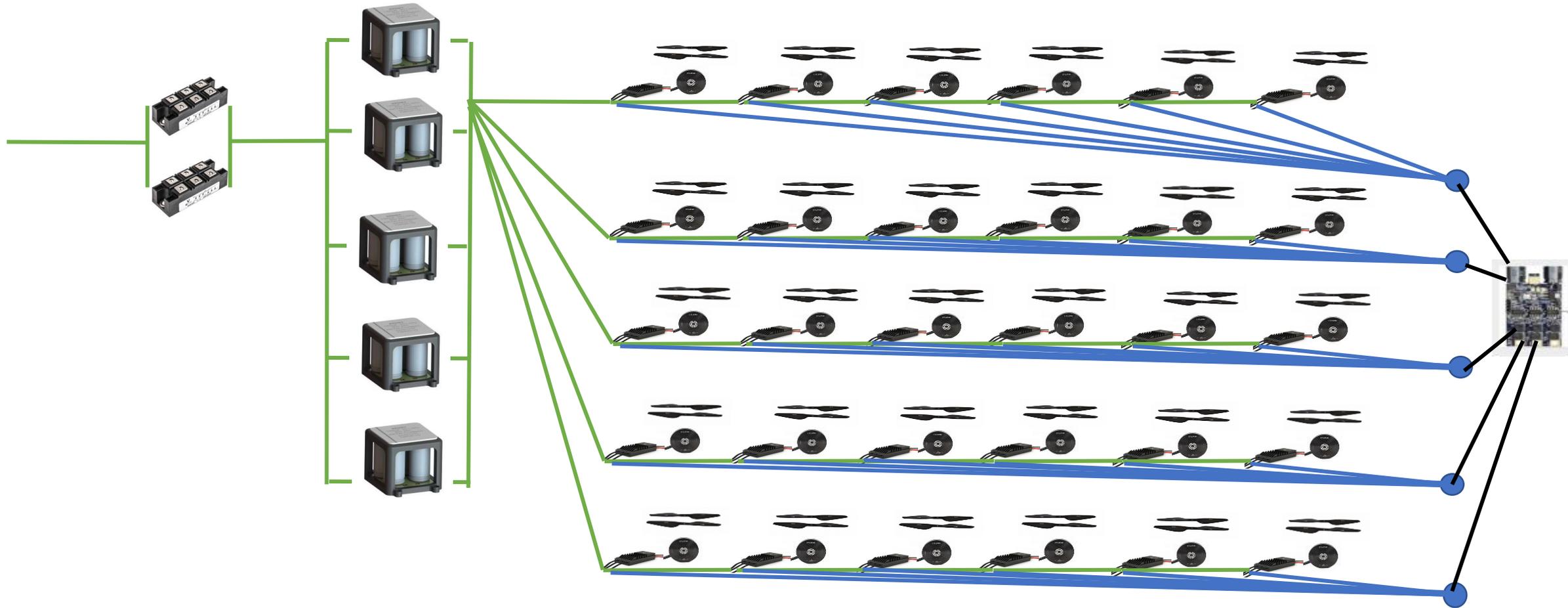
Les hélices de type G30*10,5inch seront retenues comme candidat idéal. En effet, elles apportent le meilleur rapport efficacité/ prix et répondent au cahier des charge.

A noter qu'un pack d'hélice comprend une paire d'hélice (1*horaire et 1*anti-horaire)

4. Proposition de branchement pour le contrôle des moteurs



4. Proposition de branchement pour le contrôle des moteurs



Bilan Sans Gearbox/Avec Gearbox



SANS GEARBOX	Rotax	Emrax	Pont de diode	Supercondensateur	Carte de contrôle	CdP	Moteur BLDC	Hélices	TOTAL DE LA CHAINE
Modèle	915iS (sans gearbox)	228 High Voltage	VS-160MT80KBPF	A958AL112M800S	STM32	ESC Flame 180A 12S V2 - TMOTOR	U12 KV120	G30*10.5inch	
Quantité	1	2	4	10	2	60	60	60	
Prix total (€)	36106	2790	329.28	720	20	15754.8	42770		98490.08
Poids (Kg)	85	24.8	0.704	7	0.558	16.74	47.5	7.8	189.702
Volume			0,099dm3	1,48m3	<0,001dm3	0,201dm3	17dm3		
Puissance max (kW)	104	52	160			10	4.56		
Intensité (A)		132 - 163	200	35		180 (200 pic)	14 - 94		
Tension (V)		227,2 - 397,2	800	800	1,8-3,6	50.2	48		
AVEC GEARBOX	Rotax	Emrax	Pont de diode	Supercondensateur	Carte de contrôle	CdP	Moteur BLDC	Hélices	TOTAL
Modèle	915iS (avec gearbox)	268 HV	VS-160MT80KBPF	A958AL112M800S	STM32	ESC Flame 180A 12S V2 - TMOTOR	U12 KV120	G30*10.5inch	
Quantité	1	2	4	10	2	60	60		
Prix total (€)	36106	3798	329.28	720	20	15754.8	42770		99498.08
Poids (Kg)	88.9	41	0.704	7	0.558	16.74	47.5	7.8	209.802
Volume			0,099dm3	1,48m3	<0,001dm3	0,201dm3	17dm3		
Puissance max (kW)	104	52	160			10	4.56		
Intensité (A)		120-130	200	35		180 (200 pic)	14 - 94		
Tension (V)		345,7 - 462,7	800	800	1,8-3,6	50.2	48		

La version **sans gearbox** présente les avantages suivants:

- Au Rotax : retrait des engranges pour une pièce de liaison simple **(-3,9kg)**
- Aux Emrax: **- cher (-1000€)** et **- lourd (-16kg)**

Soit un gain de **20,1kg**

Conclusion



Chaîne de puissance retenue :

- 1 ROTAX sans GB
- 2 EMRAX 228
- 4 Pont de diode VS-160MT80KBPF
- 10 Supercondensateurs A958AL112M800S
- 2 Cartes de contrôle STM32
- 60 Cartes de puissance ESC Flame de chez TMOTOR
- 60 Moteurs BLDC U12 KV120
- 60 Hélices G30*10,5 inch

Points à approfondir :

- Supercondensateur : temps de décharge à ajuster pour stocker seulement la puissance nécessaire
- Carte de puissance : Réduire le nombre de cartes de puissance. Trouver une solution de branchement adéquate.

SANS GEARBOX	Rotax	Emrax	Pont de diode	Supercondensateur	Carte de contrôle	CdP	Moteur BLDC	Hélices
Modèle	915iS (sans gearbox)	228 High Voltage	VS-160MT80KBPF	A958AL112M800S	STM32	ESC Flame 180A 12S V2 - TMOTOR	U12 KV120	G30*10.5inch