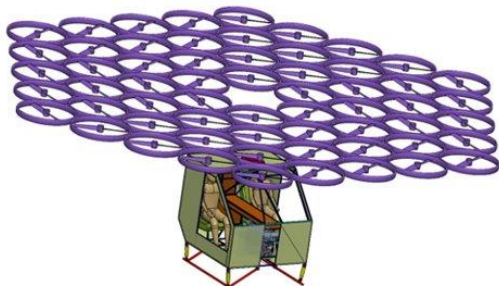


Projet Mini-Bee

Soutenance



Marine Pelletier de Chambure

Jules Le Gars

Maëlle Gouézec

Louis Partaix



Table des matières

- 1. Présentation et contexte du projet**
2. Partie technique
3. Bilan de projet

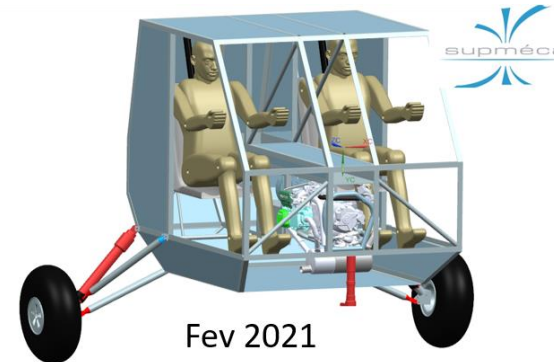
Présentation du Mini-Bee

Projet de création d'une ambulance volante

- 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, valider la chaîne de puissance du projet avec une limite de 150kg et un coût maximal de 100k€

Cahier des charges

- Nombre de passagers : **2**
- MTOW : **750kg**
- Vitesse de croisière : **170 km/h**
- Vitesse verticale : **4 m/s**
- Transports de matériels médicaux
- Facilement démontable et transportable pour utilisation rapide dans toute sorte de milieu



Le partenaire

- **Société Technoplane :**

Fondée par Mr Xavier Dutertre

- **Lancement du projet mini-bee par le fondateur :**

Création d'un appareil pouvant intervenir dans le cadre de missions sauvetages en zones dangereuses (séismes...)

TECHNOPLANE

AERONAUTICAL INNOVATION



Les écoles partenaires



Test Moteurs BLDC



CentraleSupélec

Modélisation de la chaîne
de production



Chaîne de puissance

Écoles partenaires



Structure et chaîne de propulsion



Prototype du FCU et capteur

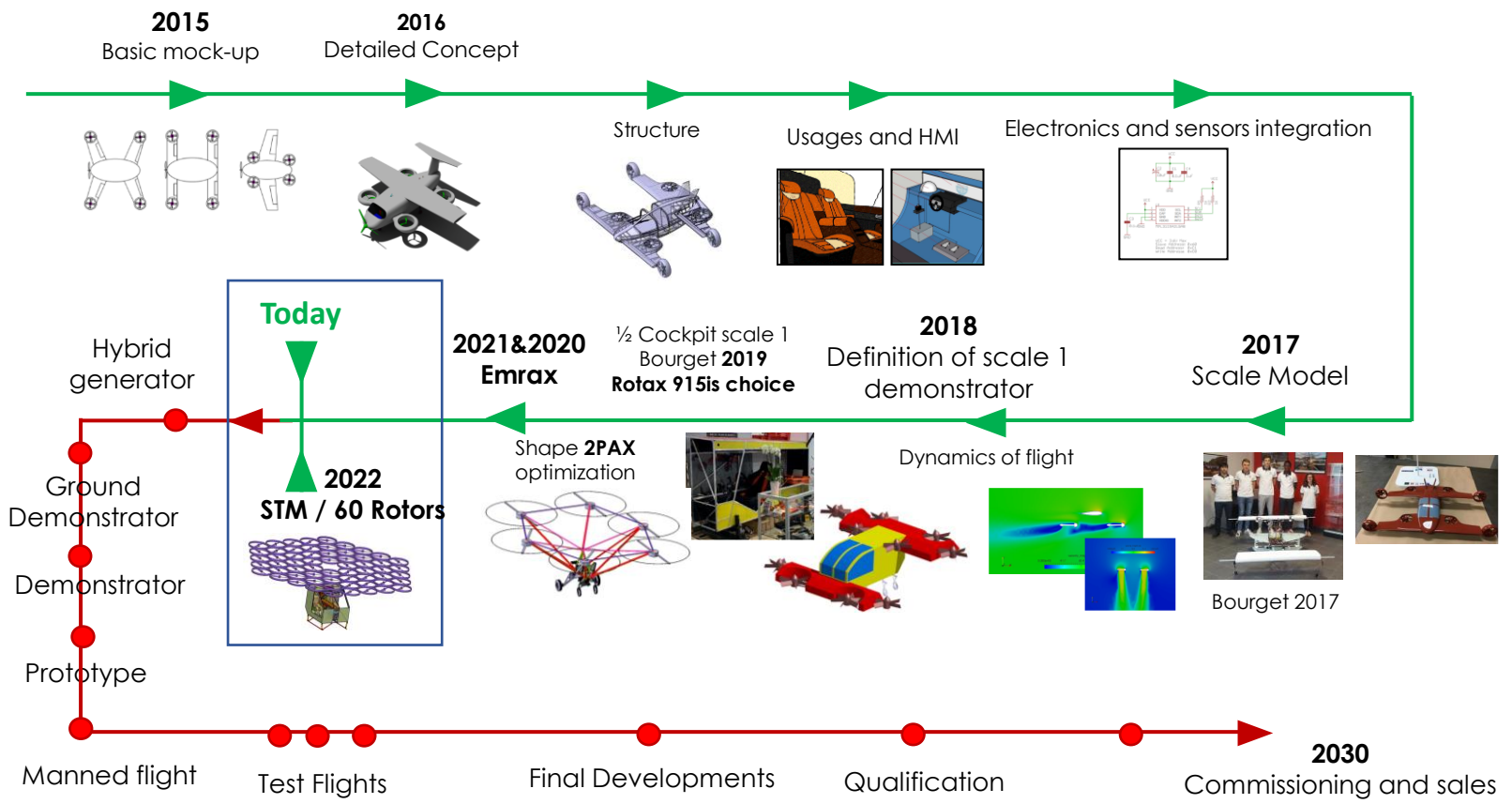


Structure du Mini-Bee

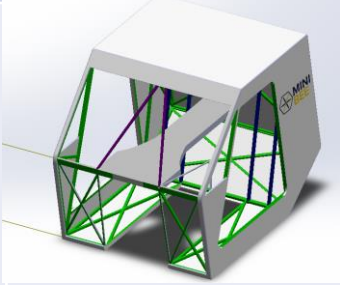




Revue de conception
clôture et TRL3

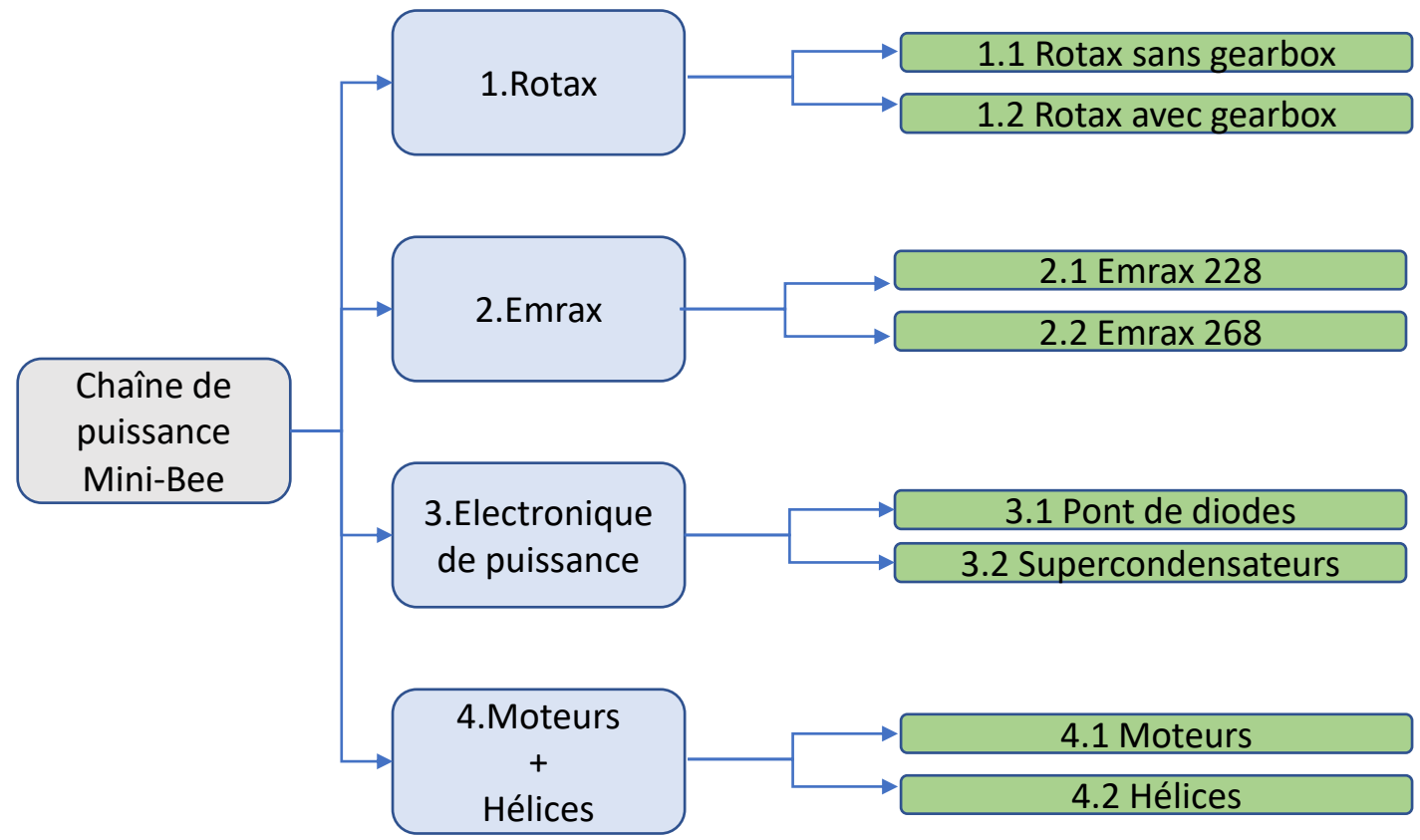
Avancement du projet



Projets similaires

Critère de comparaison	Mini bee	Workhorse sureflye	Volocopter
Système	Thermique	Électrique	Électrique
Poids max au décollage (kg)	750	680	700
Puissance moteur (kW)	104	150	70,2
Surface alaire des hélices (m ²)	27	24	29
Nombre de moteurs/hélices	60	8	18
Représentation			

Notre rôle - WBS du projet



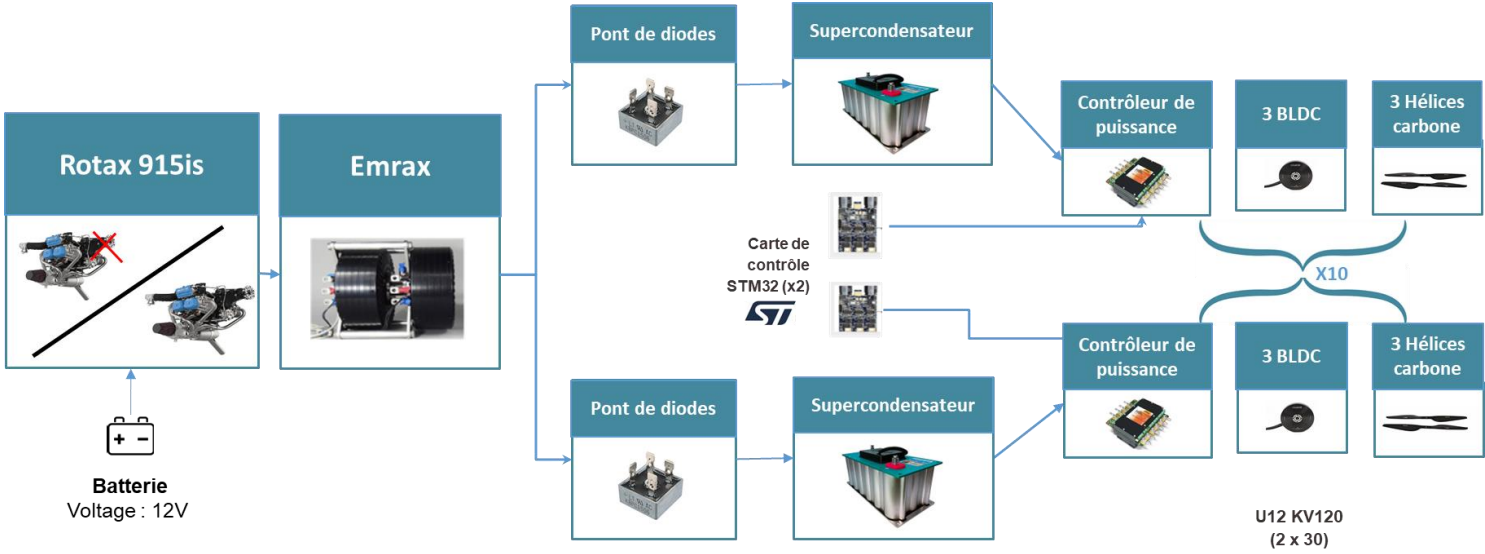
Notre rôle – Objectifs du projet

- **Réaliser un état de l'art des composants**
 - Rotax/Emrax/SC/BLDC/Hélices
- **Formaliser les schémas des deux options de chaînes de puissance (avec et sans gearbox)**
 - Schéma avec gearbox
 - Schéma sans gearbox
- **Clarifier les points bloquants**
 - Quantifier en voltage/puissance/intensité/coûts/masse
 - Clarifier les points clés :
 - Schéma et composants du redresseur,
 - Dimensionnement et composants du supercondensateur
 - Choix des moteurs
 - Voltage/intensité entre la sortie du condensateur et lien avec les moteurs
- **Proposer une configuration optimale dans chaque cas**
 - Statuer entre la config avec gearbox et config sans gearbox

Sommaire chaîne d'énergie

1. Présentation chaîne de propulsion
2. Rotax : avec/sans gearbox
3. Emrax : 228 et 268
4. Electronique de puissance : Pont de diodes + supercondensateurs
5. Moteurs BLDC
6. Hélices

Chaîne d'énergie



Analyse des Rotax avec/sans gearbox

Rotax				
Sans gear box				
Phase de vol	Puissance (kW)	rpm	w	Couple
Décollage	104	5 800	607	171
	99	5 500	576	172
Sustentation	89	5 000	524	171
Croisière rapide	77	4 500	471	163
	62	4 000	419	149
Croisière	48	3 500	367	130
	34	3 000	314	107

Rotax				
Avec gear box				
Rendement				2,54
Phase de vol	Puissance (kW)	rpm	w	Couple
Décollage	104	2 283	239	435
	99	2 165	227	437
Sustentation	89	1 969	206	434
Croisière rapide	77	1 772	186	413
	62	1 575	165	378
Croisière	48	1 378	144	331
	34	1 181	124	272

Conclusion:

Hypothèse : gearbox n'amène pas de frottement.

La puissance est la même dans les deux cas.

Cependant, la vitesse diminue le rendement gearbox de 2,54

(le couple augmente) ce qui va **diminuer la tension pour le**

Emrax 268.

Puissance en sorties des Emrax

Sans gearbox					
Emrax 228	Vit. nominale		Puissance	Vcc	I
High	Max	5 800	47,8	733,4	65,2
	Min	3 500	21,9	442,5	49,6
Medium	Max	5 800	47,8	480,2	99,6
	Min	3 500	21,9	289,8	75,7
Low	Max	5 800	47,8	176,8	270,6
	Min	3 500	21,9	106,7	205,7

Avec gearbox					
Emrax 268	Vit. nominale		Puissance	Vcc	I
High	Max	2 283	47,8	498,3	96,0
	Min	1 378	21,9	300,7	73,0
Medium	Max	2 283	47,8	326,3	146,6
	Min	1 378	21,9	196,9	111,5
Low	Max	2 283	47,8	120,2	397,9
	Min	1 378	21,9	72,6	302,5

Conclusion :

Choisir de préférence le **High Voltage** car courant plus faible :

- Bon ordre de grandeurs du courant pour les ponts de diodes qui suivent.
- Taille des câbles réduite : baisse le coût et le poids.

Electronique de puissance – Pont de diodes

En high voltage sans gearbox, on a en sortie du Emrax :

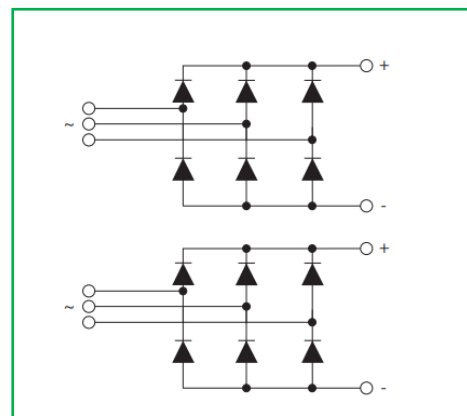
Emrax 228	Vit. nominale		Puissance (kW)	Vcc (V)	I Emrax (A)
High	Max	5 800	47,8	733,4	65,2
	Min	3 500	21,9	442,5	49,6

2 redresseurs pour 1 Emrax : courant divisé par 2. En entrée de redresseur on a donc :

Emrax 228	Vit. nominale		Puissance (kW)	Vcc(V)	I Pont (A)
High	Max	5 800	23,92	733,4	32,6
	Min	3 500	10,97	442,5	24,8

Pont redresseur	ECO-PAC 1 RS	PWS D RS	Heschen SQL-100A (Amazon)
Voltage (V)	1200	1200	1200
Courant d'entrée max (A)	49,7	50,8	57,7
Courant de sortie (A)	86	88	100
Puissance d'entrée max (kW)	59,6	61,0	69,3
Poids (g)	19	159	220
Prix (€)	25,24	55,34	15
Prix total (€)	100,96	221,36	60

Configuration du circuit :



Conclusion:

Le pont de diode le plus avantageux est le **Heschen SQL** au vu de son courant d'entrée et de sa tension d'entrée remplissant les critères requis, ainsi que de son faible prix.

Electronique de puissance – Pont de diodes

En high voltage avec gearbox, on a en sortie du Emrax :

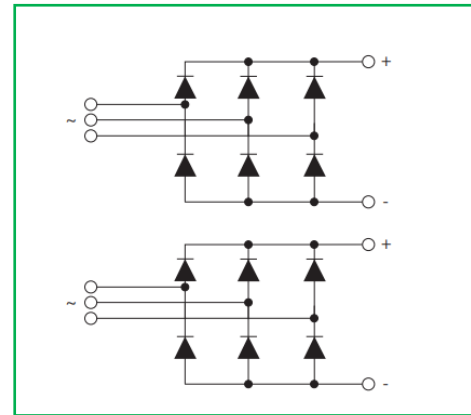
Emrax 268	Vit. nominale	Puissance (kW)	Vcc (V)	I Emrax (A)
High	Max	2 283	47,8	498,3
	Min	1 378	21,9	300,7

2 redresseurs pour 1 Emrax : courant divisé par 2. En entrée de redresseur on a donc :

Emrax 268	Vit. nominale	Puissance (kW)	Vcc (V)	I Pont (A)
High	Max	2 283	23,92	48,0
	Min	1 378	10,97	36,5

Pont redresseur	ECO-PAC 1 RS	PWS D RS	Heschen SQL-100A (Amazon)
Voltage (V)	1200	1200	1200
Courant d'entrée max (A)	49,7	50,8	57,7
Courant de sortie (A)	86	88	100
Puissance d'entrée max (kW)	59,6	61,0	69,3
Poids (g)	19	159	220
Prix (€)	25,24	55,34	15
Prix total (€)	100,96	221,36	60

Configuration du circuit :



Conclusion:

Notre choix se porte sur le **Heschen SQL** au vu de son prix assez bas, et de ses bonnes caractéristiques (Courant d'entrée max, puissance max, voltage), cela permet aussi d'adopter le même produit pour les deux configurations (avec/sans gearbox)

Nombre de supercondensateurs

Déduction du nombre de supercondensateurs du type 5F/2,7V minimal nécessaire en fonction des données en sortie du pont redresseur:

Sans Gearbox :

Sortie des redresseurs des 2 Emrax		
Uf (V)	If (A)	Pf (kW)
648,0	149,8	97,0

Sans gearbox	Nombre de supercondensateurs	
Voltage	Puissance (kW)	Nb Supercond
high voltage	97	150

Avec Gearbox :

Sortie des redresseurs des 2 Emrax		
Uf (V)	If (A)	Pf (kW)
440,3	220,5	97,1

Avec gearbox	Nombre de supercondensateurs	
Voltage	Puissance (kW)	Nb Supercond
high voltage	97	221

Conclusion:

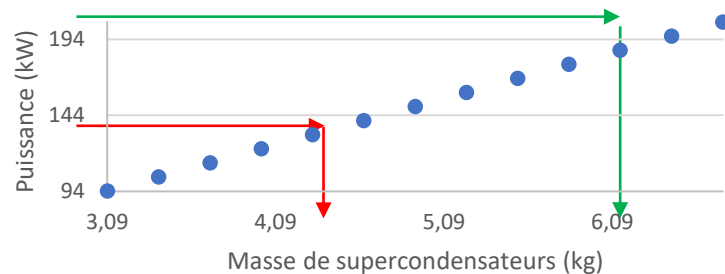
Donc le nombre de supercondensateurs minimal en sortie de pont redresseur avec gearbox est **221** et sans gearbox est **150**.

Transmission de puissance

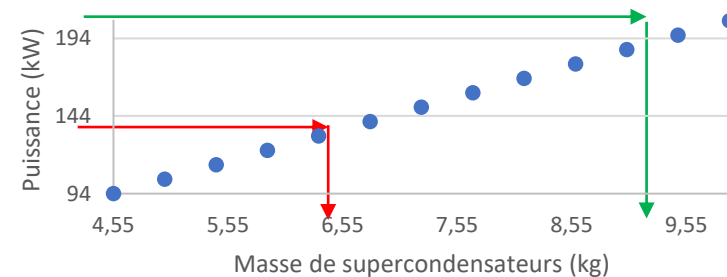
Détermination nombre de supercondensateurs du type 5F/2,7V.

Fonctionnement du Mini Bee pendant 5 secondes, stockage de l'énergie dans les supercondensateurs.

Puissance nécessaire pour faire décoller le Mini Bee **sans gearbox** en fonction de la masse de supercondensateurs



Puissance nécessaire pour faire décoller le Mini Bee **avec gearbox** en fonction de la masse de supercondensateurs



Pour décollage **140kW** et masse supercondensateurs : **4,61 kg** sans gearbox et **6,79 kg** avec gearbox

Conclusion:

Pour bonne surface alaire **190 kW**, permettant le décollage du Mini Bee pesant **750kg**

→ **294** supercondensateurs sans gearbox et **432** supercondensateurs avec

→ masse de supercondensateurs : **6,25 kg** sans gearbox et **9,19 kg** avec

Supercondensateurs

Avec le supercondensateur SCCR25B505PRB du type 5F/2,7V

	Sans gearbox	Avec gearbox
Nombre minimal	294	432
Masse unitaire (g)	21,3	21,3
Encombrement unitaire (cm ³)	1,33	1,33
Prix unitaire TTC (€)	2,24	2,24
Encombrement total (cm ³)	391,02	574,56
Prix total TTC (€)	658,56	967,68
Masse totale (g)	6262,2	9201,6

Conclusion:

Différences miniment au niveau du poids et du prix entre avec et sans gearbox

- ➔ Commencer les essais **avec gearbox** car sensiblement la même puissance en sorties de redresseurs puis l'enlever si nécessaire car demande un coût supplémentaire

Moteurs

Critères à respectés :

	Moteurs	Hélices
Quantité	60	60
Masse	< 60 kg	< 10 kg
Poussée max	> 20 kg	Poussée max moteur
Prix	< 400 €	< 400 €

Choix moteurs :

	U12 KV120	U13 KV130	MP8318
Masse avec câbles (g)	778	990	635
Poussée max (kg)	20,4	24,3	12,5
Prix (€)	373,59	383,69	69,25
Voltage (V)	48	48	30-60
Puissance Max (W)	4526,4	5659	3000
Masse totale (kg)	46,68	59,4	38,1
Prix total (kg)	22415,4	23021,4	4155

Conclusion :

Le Moteur **U12 KV120** est le plus adapté et il répond aux critères requis. En effet, sa poussée max est suffisante et son prix et son poids sont dans les ordres de grandeurs recherchés. Sa puissance maximale reste cohérente car elle est supérieure à la puissance d'entrée, soit $190\ 000/60 = 3\ 166,67$.

Hélices

Portance hélices : $P_{hélice} = 9\,888,48\text{ N}$ → Surface alaire : $S_{hélice} = 25,8\text{ m}^2$

Poids Mini-Bee : $P_{miniBee} = 7350\text{ N}$ → Surface alaire nécessaire : $S_{miniBee} = 19,2\text{ m}^2$

	G 29*9.5 inch	G 30*10,5 inch	G 32*11 inch	G 34*11.5 inch
Masse (g)	95.5	97.5	107.5	130.5
Poussée max (kg)	32	33	35	42
Prix par paire (€)	301.83	318.6	339.42	360.3
Surface alaire (m ²)	25.6	27.35	31.2	35.13
Masse totale (kg)	5.73	5.85	6.45	7.83
Prix total (€)	9054.9	9558	10182.6	10809

Conclusion :

L'hélice **G 30*10,5 inch** est la plus adaptée à notre situation car sa surface alaire nous permet de rester proche de la valeur théorique, de plus sa poussée max, son prix et sa masse répondent aux critères requis.

Bilan puissance/prix/poids pour cas avec/sans gearbox

Sans gearbox	Rotax	1 Emrax 228	Pont de diodes	Supercondensateurs	Moteurs BLDC	Hélices	Total
Puissance Max (kW)	104	47,8	97,1	190	190	190	
Prix (€)	46 106	5 580	60	659	22 415	9 558	84 378
Poids (kg)	84,00	12,40	0,88	6,26	46,68	5,85	156

Avec gearbox	Rotax	1 Emrax 268	Pont de diodes	Supercondensateurs	Moteurs BLDC	Hélices	Total
Puissance Max (kW)	104	47,8	97,1	190	190	190	
Prix (€)	36 106	7 596	60	968	22 415	9 558	76 703
Poids (kg)	94,00	20,50	0,88	9,20	46,68	5,85	177

Conclusion : différences Avec/Sans Gearbox :

- La puissance ne change pas
- Prix dans les mêmes ordres de grandeurs
- Différence de poids de 20 kg.



Le cas **sans Gearbox** est plus avantageux.

Objectif atteints:

- Etat de l'art des différents composants
- Formalisation des deux schémas avec/sans gearbox
- Quantification des voltages/puissance/intensité/coûts et masse
- Détermination du choix du voltage pour le Emrax
- Clarification des choix et composants du supercondensateur
- Choix des moteurs
- Choix de la configuration avec/sans gearbox

Ouverture sur certains points :

- Contact société EMRAX pour valider la configuration de sortie
- Etudier les effets de la gearbox (hypothèse de rendement 1 à revoir)
 - Réaliser des essais
- Supercondensateurs: prix et poids ne varie pas énormément
 - Pourquoi ne pas faire les tests avec gearbox car même puissance en entrée
- Possibilité de revoir les hélices en affinant les hypothèses (Coefficient de portance)
- Revoir hypothèses pour le coefficient de traînée utilisés pour les calculs

Conclusion : continuité du projet

- Vérifier les calculs pour la bonne configuration (sans gearbox)
- Contacter fabricant Rotax pour obtenir pièce sans gearbox
- Certification rotax sans gearbox
- Réalisation essai sur cette nouvelle pièce
- Associer au reste du mini-bee pour voir la compatibilité