

*Projet Ingénieur ESTACA*  
*CHAINE DE PUISSANCE DU MINI-BEE*  
*Rapport de projet*

**Etudiants :**

Jules Le Gars

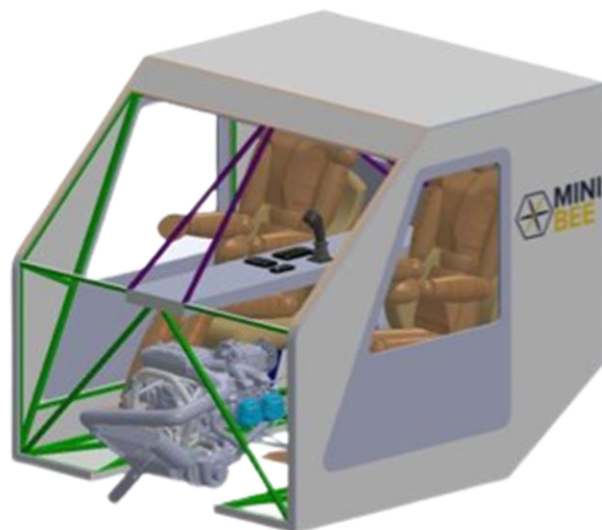
Maëlle Gouézec

Louis Partaix

Marine Pelletier de Chambure

**Commanditaire :**

Xavier DUTERTRE



## Table des matières

I.	Introduction.....	4
	Amorce.....	4
	Partenaire .....	4
	Evolution du projet .....	4
	Objectifs du projet .....	5
	Etat de l’art .....	5
	Cahier des charges .....	5
	Organisation.....	6
II.	Rotax.....	7
	Présentation du Rotax .....	7
III.	Emrax.....	8
	Emrax 228 (pour Rotax sans gearbox) .....	8
	Emrax 228 (pour Rotax avec gearbox).....	8
IV.	Pont de diode .....	9
	Etat de l’art et objectifs .....	9
	Solution hexaphasée.....	9
	Composants envisagés.....	10
	Composant retenu et valeurs en sortie .....	10
V.	Supercondensateurs.....	12
	Détermination du type de supercondensateurs .....	12
	Composants envisagés.....	12
	Détermination du nombre de supercondensateurs .....	13
	Composant retenu et valeurs en sortie .....	14
VI.	Moteurs.....	15
	Composants envisagés.....	15
	Composant retenu et valeurs en sortie .....	15
VII.	Hélices .....	15
	Composants envisagés.....	15
	Composant retenu et valeurs en sortie .....	16
VIII.	Conclusion : .....	17
	Les points importants : .....	17
	Retour sur les objectifs atteints :.....	17
	Ouverture :.....	18
IX.	Bibliographie.....	18



## I. Introduction

### Amorce

La société TECHNOPLANE, créée en 2013 par Xavier DUTERTRE, est une start-up qui repose essentiellement sur la collaboration universitaire pour le développement d'un véhicule volant, que l'on appelle 'Mini-Bee'.

En janvier 2015, le projet Mini-Bee a été lancé afin d'étudier le transport aérien individuel. En 2016, ce projet a évolué pour des fins de transports médicaux. L'objectif est de concevoir une ambulance aérienne à propulsion hybride.

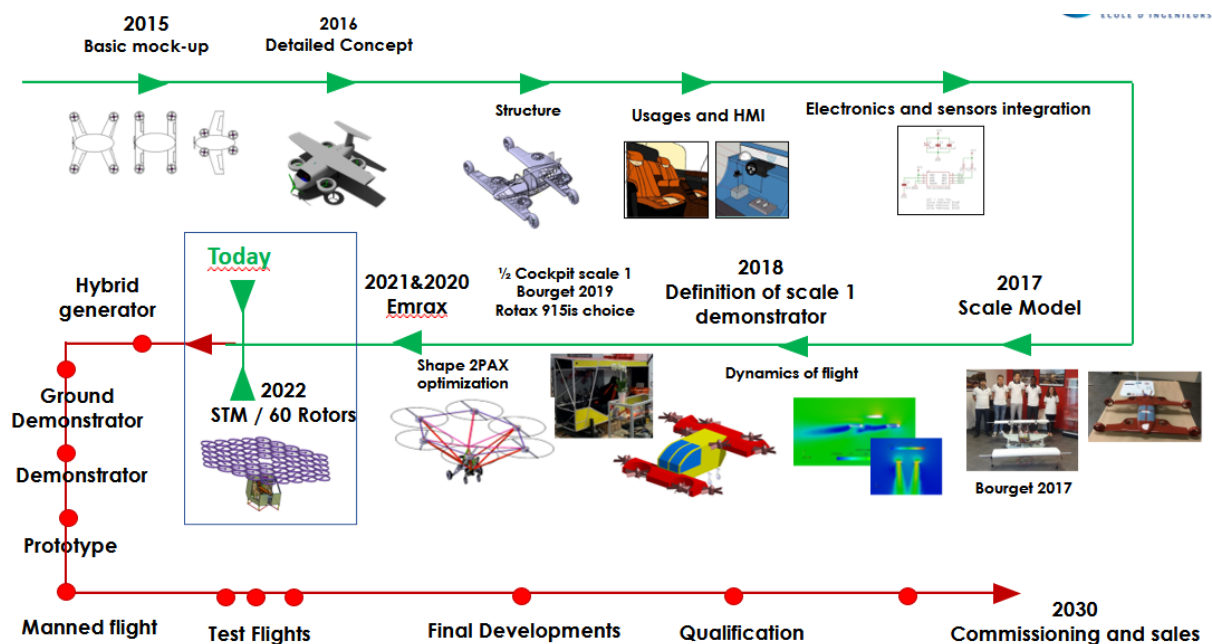
Le Mini-Bee est un VTOL (Vertical Take-off and Landing), qui a donc une phase de décollage, une phase de croisière et enfin une phase d'atterrissage.

C'est en fait un mix entre un drone, avion, hélicoptère et voiture. Afin de concurrencer les hélicoptères traditionnels, le Mini-Bee devra être plus rapide et moins coûteux au prix horaire de vol puis adapté aux transports de deux personnes

### Partenaire

La société TECHNOPLANE est à l'origine de ce projet, reposant sur une collaboration universitaire. On retrouve l'ESIGELEC qui travaille sur la partie électrique, l'ESTACA sur les hélices et la structure ainsi que CENTRALE SUPELEC, chargé de la partie électrique et de coordonner l'ensemble des parties entre elles.

### Evolution du projet



## Objectifs du projet

Pour répondre à cette demande, nous avons étudié la chaîne de puissance de l'appareil, ce qui nous permettra d'abord de déterminer la faisabilité du projet, puis de sélectionner les composants les plus pertinents. L'étude portera sur deux axes : étudier la chaîne de puissance avec et sans Gearbox.

## Etat de l'art

Pour ce qui est de l'état de l'art du projet, nous savons qu'il s'agit d'une architecture série composé d'un moteur thermique (le Rotax 915is), d'un générateur électrique le Emrax, le choix du type de Emrax restant à déterminer. Enfin, les composants de la partie électronique de puissance, composée du redresseur de courant, des supercondensateurs sont à trouver. Les moteurs qui alimenteront les hélices sont aussi à trouver ainsi que ces dernières.

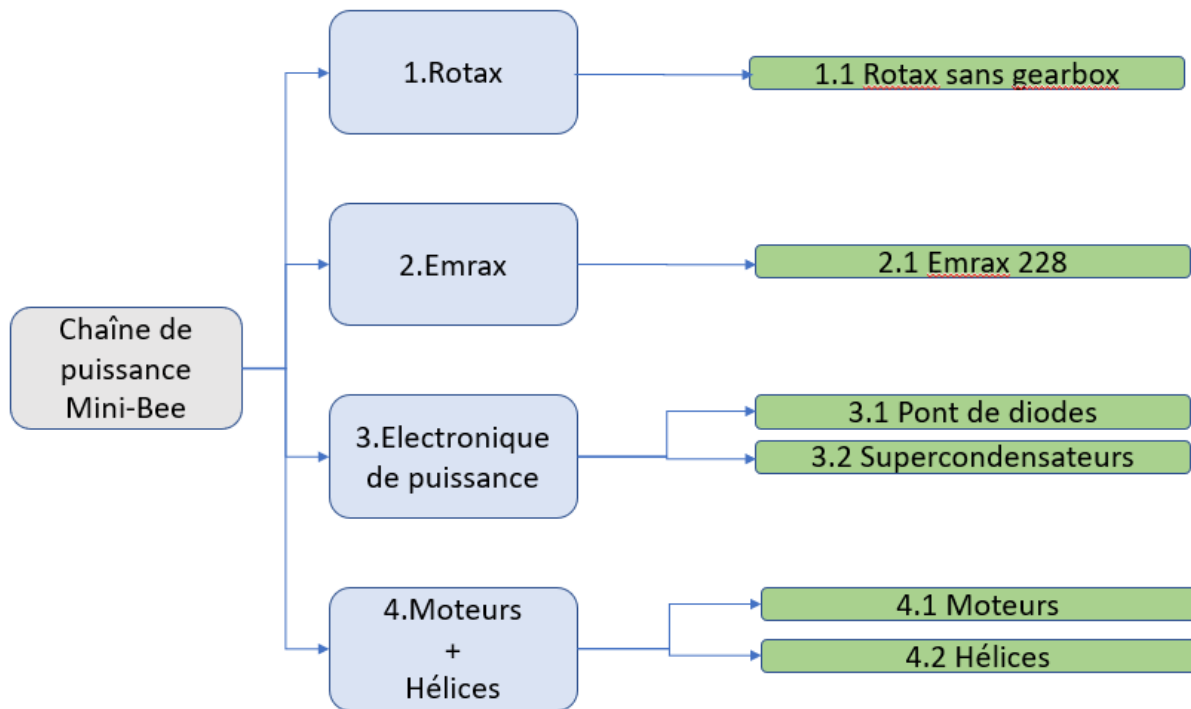
## Cahier des charges

En ce qui concerne notre partie, le cahier des charges est à ce jour le suivant :

- 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

## Organisation

Selon nos compétences personnelles, l'organisation pour étudier la chaîne de puissance au cours de l'année s'est répartie comme suit :



-Rotax : Jules

-Emrax : Marine/Jules

-Pont de diodes : Louis/Maëlle

-Supercondensateurs : Maëlle

-Moteurs : Louis

-Hélices : Louis

## II. Rotax

### Présentation du Rotax

Les documents techniques du Rotax 915is avec gearbox nous fournissent les caractéristiques suivantes pour la puissance du Rotax selon ses conditions de vol (c'est-à-dire selon sa vitesse de rotation) :

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

Les documents techniques du Rotax 915is avec gearbox nous fournissent les caractéristiques suivantes :

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

Le prix du Rotax (qui possède une gearbox initialement) est de 36 106€. Le Rotax sans gearbox, qui constitue une pièce non certifiée, rajoute un coût d'environ 10 000€ au 36 106€.

L'hypothèse de cette partie repose sur le rendement de 1 de la gearbox. En effet, on ne connaît pas les effets de sa suppression car la pièce sans gearbox n'est pas certifiée.

### III. Emrax

Emrax 228 (pour Rotax sans gearbox)

En analysant d'abord le cas du Rotax sans gearbox, nous avons en sortie de ce Rotax 2 Emrax 228. Nous présenterons ici les calculs pour le Emrax 228 en Highvoltage (existe aussi en Medium et Low, en sachant que tous les cas ont été étudiés sous la forme de tableaux Excel).

En **sortie** de Rotax, nous avons **104 kW** qui correspondent à **5800 tr/min**, régime du **décollage**. En prenant l'exemple de ce régime, nous allons déterminer les tensions et intensités du Emrax.

Sachant que la puissance issue du rotax va se distribuer dans deux génératrices, on a :

$$P_{Emrax} = \frac{P_{Rotax}}{2} \cdot \rho = \frac{104 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,92 = \mathbf{47,8 kW}.$$

$\rho$  étant le rendement du Emrax 228 (voir données constructeur en annexe)

La tension est ensuite calculée comme suit :

$$U_{Emrax} = U_{phases} * N * \sqrt{3} = 0,073 * 5800 * \sqrt{3} = \mathbf{733 V}$$

$U_{phases}$  Étant la tension entre deux des six phases hexaphasées en sortie de Emrax.

Le courant est finalement déterminé par la relation  $P=U.I$

$$I_{Emrax} = \frac{P}{U} = \mathbf{65 A}$$

Emrax 228 (pour Rotax avec gearbox)

En analysant d'abord le cas du Rotax avec gearbox, nous avons en sortie de ce Rotax 2 Emrax 268. Nous présenterons ici les calculs pour le Emrax 268 en Highvoltage (existe aussi en Medium et Low, en sachant que tous les cas ont été étudiés sous la forme de tableaux Excel).

En **sortie** de Rotax, nous avons **104 kW** qui correspondent à **5800 tr/min**, régime du **décollage**. En prenant l'exemple de ce régime, nous allons déterminer les tensions et intensités du Emrax.

Sachant que la puissance issue du rotax va se distribuer dans deux génératrices, on a :

$$P_{Emrax} = \frac{P_{Rotax}}{2} \cdot \rho = \frac{104 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,92 = \mathbf{47,8 kW}.$$

$\rho$  étant le rendement du Emrax 228 (voir données constructeur en annexe)

La tension est ensuite calculée comme suit :

$$U_{Emrax} = U_{phases} * N * \sqrt{3} = 0,126 * 5800 * \sqrt{3} = \mathbf{498 V}$$

$U_{phases}$  Étant la tension entre deux des six phases hexaphasées en sortie de Emrax.

Le courant est finalement déterminé par la relation  $P=U.I$



$$I_{Emrax} = \frac{P}{U} = 96$$

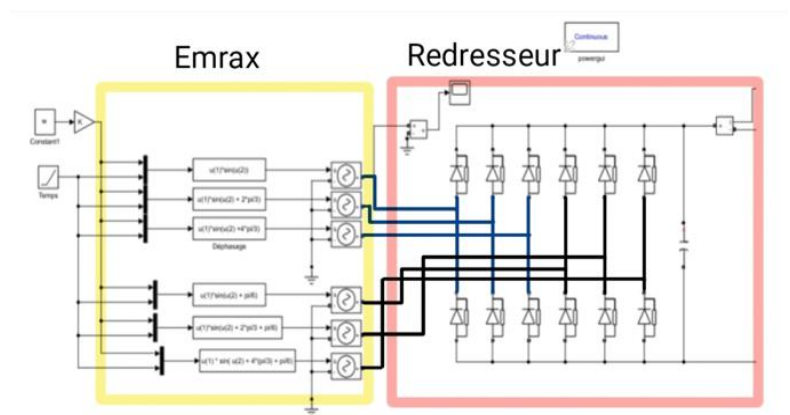
#### IV. Pont de diode

##### Etat de l'art et objectifs

Le courant sortant du Emrax est un courant hexaphasé, il nous faut obtenir un courant continue en sortie. Pour cela, on utilise deux ponts de diode triphasé par Emrax en se basant sur les données du high voltage sans gearbox.

##### Solution hexaphasée

On commence par le cas de figure en high voltage sans gearbox.



Dans un premier temps, il nous récupérer les données de sortie du Emrax sans gearbox :

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

A l'entrée des deux ponts de diode, le voltage reste le même mais le courant se divise pour les deux ponts de diode. Il faut donc le recalculer le courant et la puissance qui deviennent :

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

De même, pour le cas high voltage avec gearbox, on récupère dans un premier temps la puissance, le courant et la tension du Emrax :

Emrax 268	Vit. nominale		Puissance (kW)	Vcc (V)	I Emrax (A)
High	Max	2 283	47,8	498,3	96,0
	Min	1 378	21,9	300,7	73,0

Pour ensuite, de la même manière que précédemment, recalculer le courant et la puissance nécessaire pour les redresseurs.

Emrax 268	Vit. nominale		Puissance (kW)	Vcc (V)	I Pont (A)
High	Max	2 283	23,92	498,3	48,0
	Min	1 378	10,97	300,7	36,5

A partir de ces valeurs, on fait une étude sur différents redresseurs afin de sélectionner le plus adapté.

## Composants envisagés

Pour la configuration sans gearbox, on étudie ces différents redresseurs :

Pont redresseur	Pt redresseur RS D63	Module PWS B RS	Module PWS D	Heschen SQL-100A (Amazon)
Voltage (V)	1200	1600	1200	1200
Courant d'entrée max (A)	20,2	33,5	36,4	57,7
Courant de sortie (A)	35	58	63	100
Puissance d'entrée max (kW)	24,2	53,6	43,6	69,3
Poids (g)	20	203	159	220
Prix (€)	20,06	58,12	52,02	15
Prix total (€)	80,24	232,48	208,08	60

Le Heschen semble le plus adapté à la situation en raison de son courant d'entrée et sa tension d'entrée qui remplissent les critères requis ainsi que son faible coût.

On remarque que pour l'étude avec gearbox, on arrive aux mêmes conclusions :

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

Finalement, dans les deux cas, le Heschen reste le plus avantageux.

## Composant retenu et valeurs en sortie

En prenant en compte le redresseur Heschen SQL choisi et sa disposition, deux redresseurs en série sortant d'un Emrax pour les 2 Emrax en parallèle, on cherche à déterminer les valeurs en sortie des redresseurs.

Lors du passage dans un redresseur, les quantités de voltage et de courant vont être modifiées et par la même occasion la puissance aussi.

Rapport entre tension et courant d'entrée et de sortie d'un redresseur :

$$U_f = 0,94 * U_e$$

$$I_f = \sqrt{3} * I_e$$

Les redresseurs en sortie d'un Emrax sont en série donc on applique 2 fois ces rapports et on obtient alors en sortie des redresseurs d'un Emrax :

Sans gearbox :

Sortie des redresseurs en série pour 1 Emrax		
Usr (V)	Isr (A)	Psr (kW)
648,0	74,9	48,5

Avec gearbox :

Sortie des redresseurs en série pour 1 Emrax		
Usr (V)	Isr (A)	Psr (kW)
440,3	110,3	48,5

Les 2 Emrax étant en parallèle on va avoir une addition des courants en sortie des redresseurs des Emrax, en revanche la tension reste constante en parallèle. On obtient donc en sortie de tous les redresseurs :

Sans gearbox :

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

Avec gearbox :

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

## V. Supercondensateurs

### Détermination du type de supercondensateurs

On s'intéresse maintenant au type de supercondensateurs à choisir pour pouvoir stocker la puissance et supporter les différentes valeurs obtenues en sortie des redresseurs des 2 Emrax. Le choix d'un condensateur se fait par rapport à sa capacité supportable et son voltage.

Pour la capacité, on applique :  $C = \frac{E}{U^2}$ .

Ici, on s'intéresse à un fonctionnement de 5s donc :  $E = 5 * P$ .

On prend ensuite une marge de 30% nécessaire pour le bon dimensionnement de la capacité et on obtient alors :  $C = 5F$ .

Pour le voltage, on compare différents types de supercondensateurs avec différents voltages :

	HV1020-2R7505-R	PHV-5R4V505-R
Capacité (F)	5	5
Tension nominale (V)	2,7	5,4
Prix TTC (€)	4,04	21,89
Prix pour 5,4V	8,08	21,89

On observe que le prix est largement supérieur pour 5,4V pour une efficacité égale donc on va privilégier un supercondensateur de 2,7V.

Le type de supercondensateurs sera donc 5F/2,7V.

### Composants envisagés

Maintenant que l'on a le type de supercondensateurs et les valeurs en sortie des redresseurs, on peut déterminer le nombre de supercondensateurs minimal dont on aurait besoin pour stocker la puissance en sortie des redresseurs.

Grâce à la formule  $Nb_{supercondensateurs} = \frac{P*t}{C*U_{sr}}$ , on obtient donc les nombres suivants :

Sans gearbox :

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

Avec gearbox :

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

On compare ensuite plusieurs supercondensateurs du même type :

	SCCR25B505PRB	HV1020-2R7505-R	BCAP0005 P270 X01
Nombre minimal	221	221	221
Masse unitaire (g)	21,3	26,2	23,7
Encombrement unitaire (cm <sup>3</sup> )	1,33	1,93	1,69
Prix unitaire TTC (€)	2,24	4,04	3,34
Encombrement total (cm <sup>3</sup> )	293,93	426,53	373,49
Prix total TTC (€)	495,04	892,84	738,14
Masse totale (g)	4707,3	5790,2	5237,7

On sélectionne donc le supercondensateurs SCCR25B505PRB en fonction de sa rentabilité au niveau du prix de la masse et de l'encombrement de celui-ci.

### Détermination du nombre de supercondensateurs

Le nombre de supercondensateurs est à déterminer en fonction de plusieurs critères :

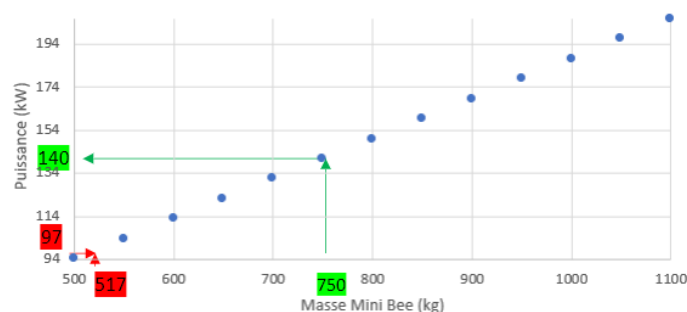
- Pouvoir stocker une puissance nécessaire pour faire décoller un Mini Bee de 750kg.
- Avoir une marge sur le nécessaire pour pouvoir faire fonctionner plus efficacement la structure.
- Faire attention au poids, coûts et encombrements que ce nombre implique.

On effectue donc une étude de la puissance nécessaire en fonction du poids du Mini Bee pour faire décoller la structure en utilisant la formule :

$$P = (F_{gravité} + F_{trainée}) * V_{croisière}$$

Ce qui nous donne :

### Puissance nécessaire pour faire décoller le Mini Bee en fonction de sa masse



Il faut donc une puissance de 140kW pour faire décoller le Mini Bee.

Cependant, il nous est nécessaire d'avoir une marge pour la cohérence avec la surface alaire nécessaire pour faire décoller la structure et pour pouvoir utiliser ce stockage pendant une plus longue durée. On décide de prendre alors une puissance de 190kW en sortie des supercondensateurs. Cela correspond avec la formule utilisée précédemment à un nombre de supercondensateurs de 294 sans gearbox et 432 avec.

### Composant retenu et valeurs en sortie

Le composant retenu est le supercondensateur SCCR25B505PRB et on en aura 294 sans gearbox et 432 avec dans la structure. La puissance stockable par les supercondensateurs est 190kW.

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

## VI. Moteurs

### Composants envisagés

Les différents moteurs envisagés étaient les U12 KV120, U13 KV130 et MP8318. Ces moteurs présentent une puissance et une poussée intéressante, ils sont fiables, résistant à la poussière et étanche à l'eau. Ils sont capables de fonctionner dans des conditions climatiques extrêmes.

De plus, chaque moteur doit supporter une puissance d'entrée de  $190\,000/60 = 3166.7$  W et un poussée max supérieur à 20 kg.

### Composant retenu et valeurs en sortie

On a retenu le moteur U12 KV120 car sa poussée maximale et ses puissances sont en accord avec celles délivrées par les supercondensateurs, de plus il présente un poids avantageux ainsi qu'un coût abordable. On retiendra ses caractéristiques :

- Masse avec câbles de 778g
- Poussée max de 20.4kg
  - Prix de 373.6 €
  - Voltage de 48 V
- Puissance max de 4526.4 W

## VII. Hélices

### Composants envisagés

Les hélices étudiées variaient uniquement selon leur taille, allant de la G29\*9.5 inch à la G34\*11.5 inch. Ces hélices carbonées sont parfaites pour l'utilisation voulue.

Pour trouver la surface alaire, on utilise les caractéristiques du moteur choisi, à savoir que l'on a  $190000/60 = 3\,166,7$  W disponible pour chaque moteur.

Grâce à la fiche technique du moteur, on trouve une portance égale à 16.8 kg pour une puissance de  $3\,166,7$  W.

Pour le dimensionnement des hélices, on utilise une formule utilisée en aérodynamique :

$$Sa = \frac{P}{0,5 * \rho * v^2 * Cx}$$

Où :

- P est la portance disponible soit  $P = 16,8 * 9,81 * 60 = 9\,888,5$  N
- $\rho$  est la densité de l'air à 3657,6 m, soit  $0,69\text{kg/m}^3$
- v est la vitesse de vol soit  $v = 47,22$  m/s
- Cx est le coefficient de portance moyen pour un hélicoptère soit  $Cx = 0.5$

On vérifie que la portance est bien supérieure à celle nécessaire pour soulever le Minibee, à savoir  $750 \times 9,81 = 7\,357,5$  N. Donc comme  $9\,888,5 > 7\,357,5$  c'est validé.

On effectue donc le calcul avec les valeurs ci-dessus, et on trouve donc  $S_a = 25,8$  m<sup>2</sup> pour  $P = 9\,888,5$  N et  $S_a = 19,1$  m<sup>2</sup> pour  $P = 7\,357,5$  N. Afin de laisser une marge et en cas d'accélération totale (pour le décollage, nous sommes à 100% des gaz) on prendra la valeur maximale, soit  $S_a = 25,8$  m<sup>2</sup>.

## Composant retenu et valeurs en sortie

On a retenu l'hélice G30\*10.5 inch qui a pour caractéristiques :

- Une masse de 97.5g
- Une poussée max de 33 kg
- Une surface alaire de 27.35 m<sup>2</sup>
- Un prix par paire de 319.6 €

En effet, cette surface alaire nous permet d'être en accord avec la valeur théorique avec une certaine marge.



## VIII. Conclusion :

D'après les études faites ci-dessus, nous avons pu déduire les différences pour les configurations du Emrax Avec/Sans Gearbox. La puissance ne change pas pour l'une ou l'autre des configurations et le prix est dans les mêmes ordres de grandeurs. Il y a une différence de poids de seulement 20kg. Cependant le cas sans Gearbox est plus avantageux pour l'application sur le Mini-bee.

Les points importants :

Tout au long de ce projet nous avons réalisé l'état de l'art des différents composants qui constituent la chaîne de propulsion. Pour cela nous avons d'abord formaliser les deux schémas avec/sans gearbox en quantifiant les voltages, puissances et intensités ainsi que les coûts et les masses de chaque composant.

A travers cette étude nous avons aussi déterminé le voltage le plus optimal pour le Emrax qui est le high voltage. De plus nous avons étudié les composants et le choix des supercondensateurs ainsi que les moteurs.

C'est à l'aide de toutes ces analyses que nous avons pu conclure que la configuration high voltage sans Gearbox est la plus optimale pour le projet Mini-bee.

Retour sur les objectifs atteints :

Premièrement, il serait utile de contacter la société EMRAX pour valider la configuration de sortie, c'est à dire celle sans la gearbox. Nous avons fait l'hypothèse d'un rendement à 1 et il serait intéressant et même nécessaire d'étudier les effets de la gearbox avec son vrai rendement. Pour valider notre démarche théorique, il faudra réaliser des essais sur cette nouvelle configuration. Nous conseillons de faire des essais avec la gearbox (pour minimiser les coûts vu que les grandeurs en entrée sont identiques et pour éviter une étude cinématique supplémentaire) et voir si la chaîne de puissance est bien compatible avec le reste du Mini bee. Ensuite, nous pourrions passer à la configuration sans gearbox. De plus cette nouvelle configuration du Emrax devra être certifiée, c'est un autre point dont il faut être conscient.

Pour ce qu'il est des supercondensateurs, le prix et le poids ne varie pas énormément. Il y a aussi possibilité de revoir le choix des hélices en affinant les hypothèses liées au coefficient de portance du Mini-bee. De même pour les hypothèses sur le coefficient de traînée que nous avons utilisé pour les calculs.

Ouverture :

Pour les projets à venir, il faudrait vérifier les calculs pour la bonne configuration c'est à dire celle sans gearbox et contacter le fabriquant Rotax pour obtenir pièce sans gearbox ainsi que, potentiellement sa certification.

De plus nous pensons qu'il serait judicieux d'effectuer des essais sur cette nouvelle pièce ainsi que l'associer au reste du Mini-bee pour voir la compatibilité et son bon fonctionnement.

Remerciements :

Enfin, nous tenions à remercier les personnes qui nous ont aidées à travailler sur ce projet. Nous remercions notre chef de projet Monsieur Xavier DUTERTRE, président de la société TECHNOPLANE. Au cours de la réalisation de ce projet, il a su nous encadrer et nous guider pour arriver à nos objectifs finaux.

Enfin, nous voulons remercier les professeurs de l'ESTACA, notamment Monsieur Niel, qui nous ont aidé et donné les connaissances et compétences nécessaires à l'avancement du projet Mini-bee

## IX. Bibliographie

- [www.collaborativebee.com](http://www.collaborativebee.com)

- [www.flyrotax.com](http://www.flyrotax.com)

- [www.emrax.com](http://www.emrax.com)

Rotax et Emrax :

[http://www.flying-directory.com/popup\\_info.php?action=aircraft&id=56479](http://www.flying-directory.com/popup_info.php?action=aircraft&id=56479)

[https://emrax.com/wp-content/uploads/2020/03/manual\\_for\\_emrax\\_motors\\_version\\_5.4.pdf](https://emrax.com/wp-content/uploads/2020/03/manual_for_emrax_motors_version_5.4.pdf)

Pont de diode :

<https://www.amazon.fr/Heschen-triphas%C3%A9-Redresseur-Sq1-100-bornes/dp/B071S73N4K>

<https://www.mongsukulu.com/>

Supercondensateur :

<https://fr.rs-online.com/>

<https://www.techniques-ingenieur.fr/>

Moteur :

<https://www.hexadrone.fr/fr/gamme-u-efficiency/1726-moteur-brushless-u12ii-120kv-t-motor.html>

Hélices :

<https://www.hexadrone.fr/fr/carbone-glossy/1258-helice-carbone-g30x105-paire-tmotor-6971360351061.html>