

PROJET G1-G2 : Technoplane

CHARTIER-KASTLER Antoine
DE BELLEVUE Laetitia
HENAUT Louis
JONCKHEERE Alban
MAHE Léane
MICHAU Emmanuel
PREVOT Axel
SARAIVA Hugo
TIMON-DAVID Jules
SIT Antoine
ROMAIN Eliott
VACHETTE Alban



SOMMAIRE



- I. Présentation du projet
- II. Gestion du projet
- III. Pôle Liaison aile-cockpit
- IV. Pôle Tube Pitot
- V. Pôle Aérodynamisme
- VI. Conclusion

TECHNOPLANE

AERONAUTICAL INNOVATION

1. Présentation du projet



1. Contexte
2. Notre partenaire
3. Définition du Mini-Bee
4. Matrice Pestel
5. Matrice SWOT
6. Diagramme des exigences
7. Evolution du projet sur 2 ans

1.1 Contexte

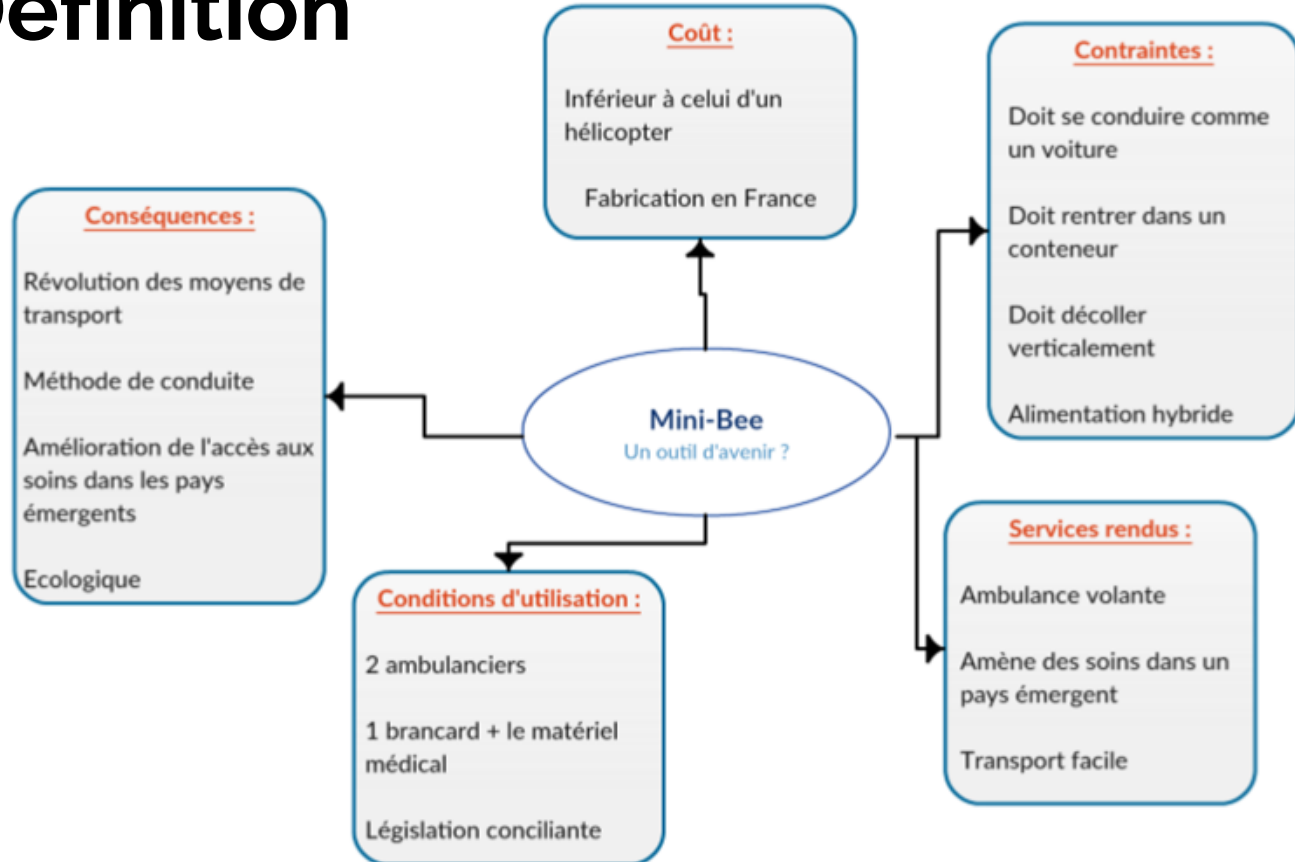


Projet collaboratif - Plateforme MiniBee

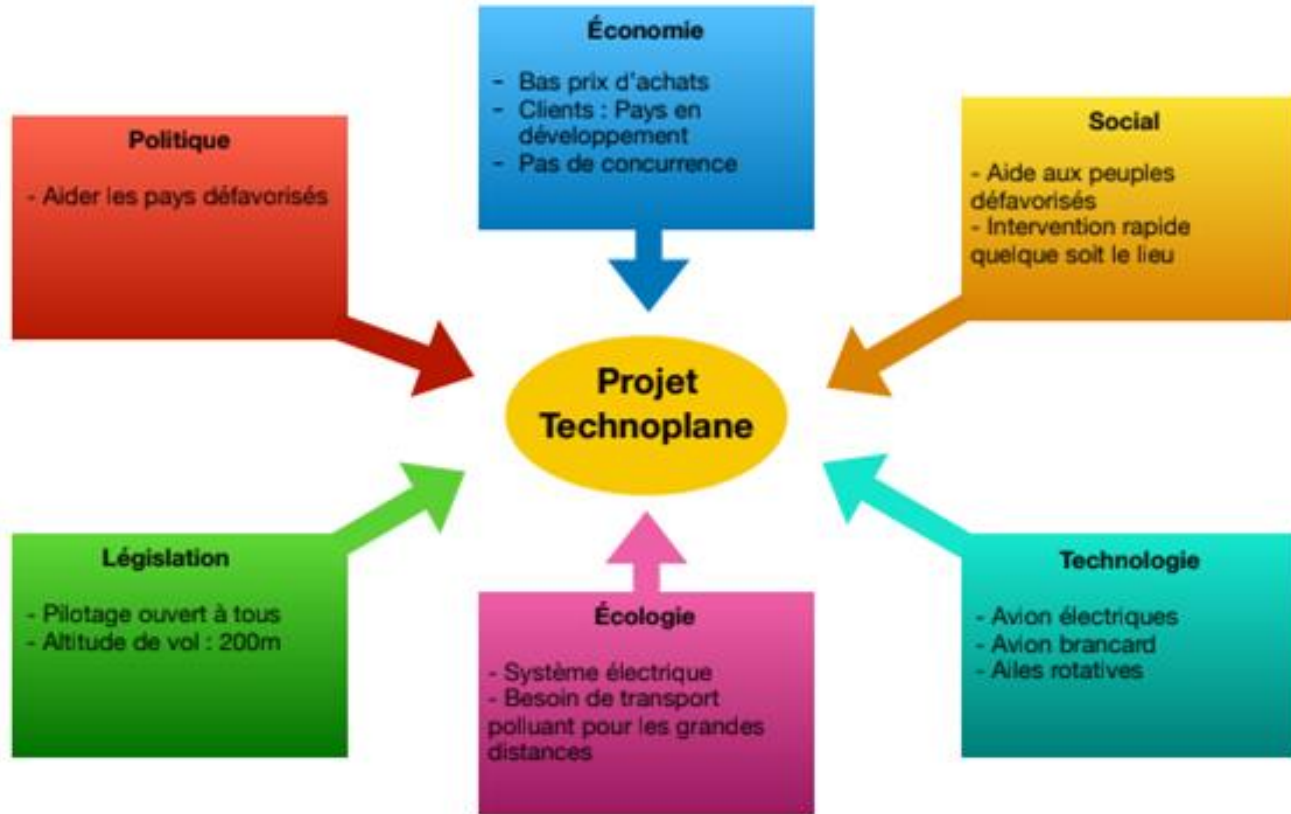
1.2 Notre partenaire



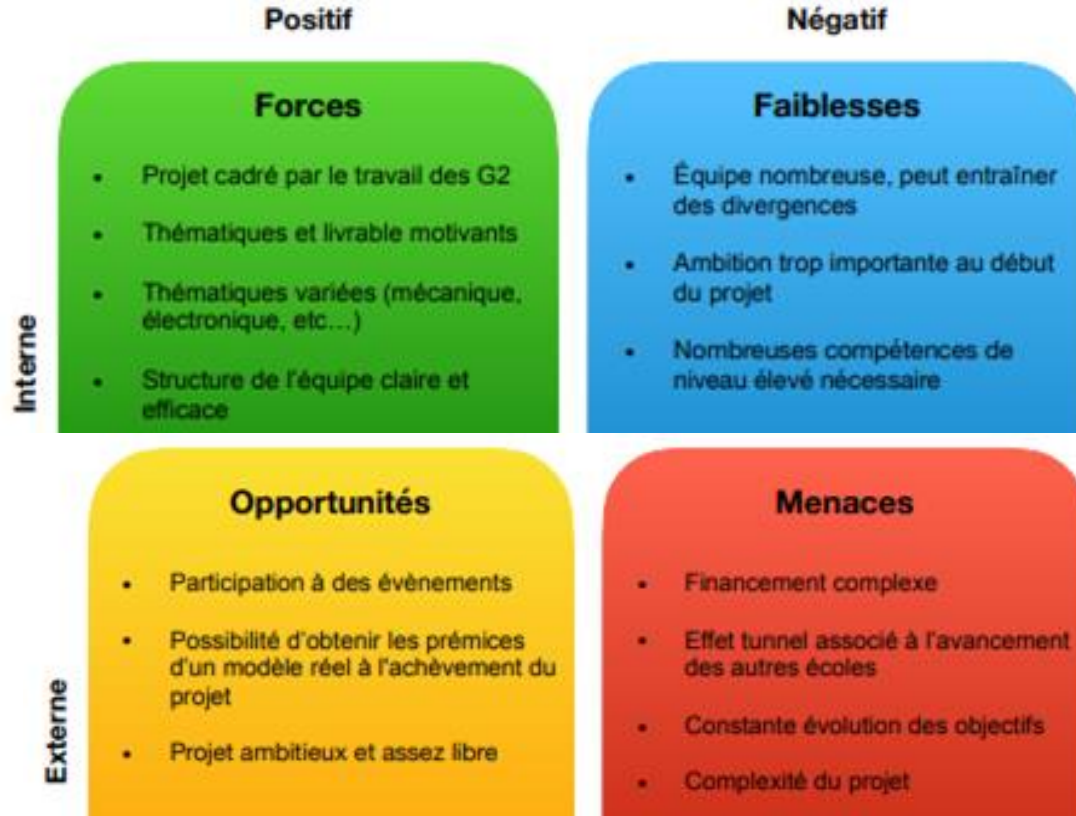
1.3 Définition



1.4 Matrice Pestel

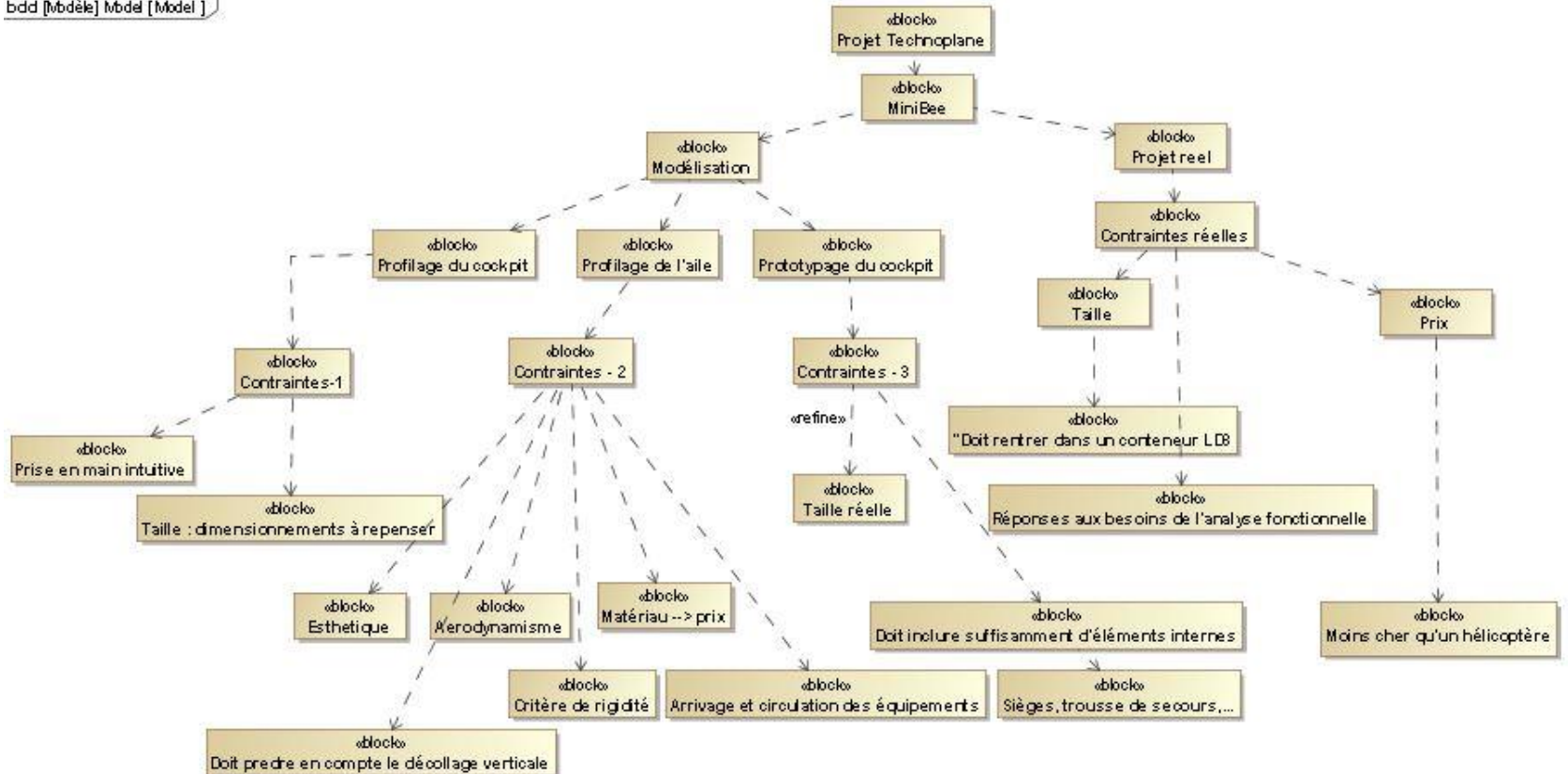


1.5 Matrice SWOT



1.6 Diagramme des exigences

bdd [Modèle] Mbdel [Model]



1.7 Evolution du projet sur 2 ans



Ne parler que sur le plan technique genre au début il ne tournait pas les ailes puis ensuite il est passé sur cette forme là...

Tout ce qui est changement de groupe, on en parlera ds la partie GDP

2. Gestion du projet



1. L'équipe projet
2. Projet repris aux anciens G2
3. Cahier des charges
4. Méthode agile
5. Matrice Gantt
6. Matrice RACI
7. La TO-DO list générale

2.1 L'équipe projet



2.2 Projet repris aux anciens G2



2.3 Cahier des charges



2.4 Méthode Agile



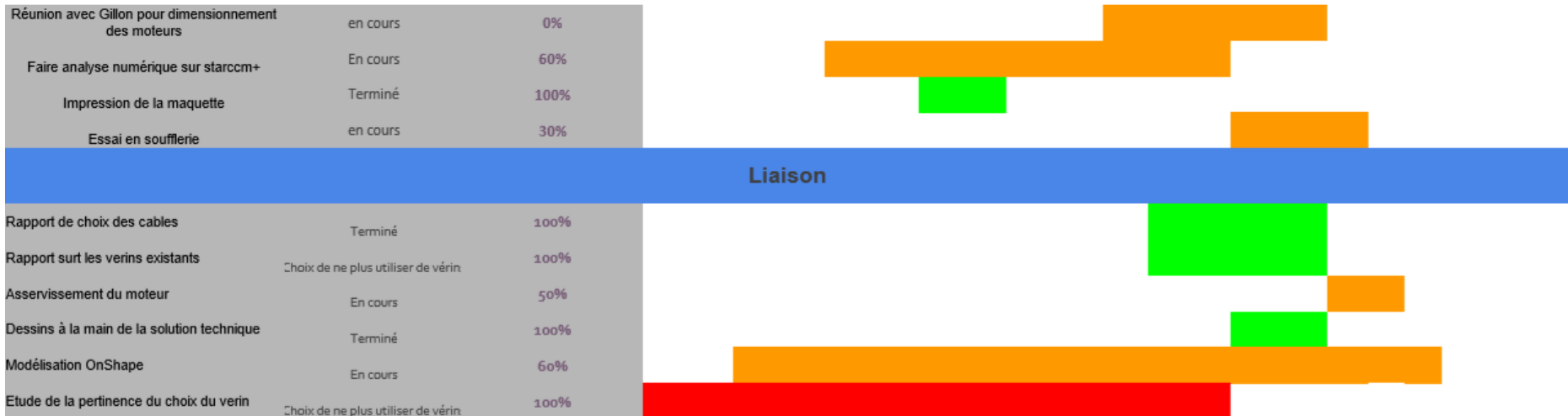
2.5 Matrice GANTT



2.5 Matrice GANTT



2.5 Matrice GANTT



2.6 Matrice RACI



2.7 TODO List Générale



3. Pôle Liaison Aile-Cockpit



1. Cahier des charges du pôle
2. Démarche et évolution du projet
3. Modélisation et CAO
 - a. Modèles 3D
 - b. Choix des matériaux
4. Automatique et électronique du système
 - a. Choix du moteur
 - b. Asservissement
5. Électricité et câblage

3.1 Cahier des charges (1/2)

Critère 1: Moteur

→ Choix du moteur

- 1.1 : Doit permettre la rotation des ailes sur $\pi/2$ radians
- 1.2 : Doit être maintenu en fonctionnement à une température comprise entre 15°C et 70°C
- 1.3 : Doit être électrique
- 1.4 : 2 moteurs du type choisi doivent pouvoir rentrés dans le cockpit
- 1.5 : Doit permettre la rotation d'une aile aux dimensions fixées

Critère 2 : Cablâge

- 2.1 : Résister à une rotation de $\pi/2$ et à l'usure engendré par ces rotations
- 2.2 : Le câble doit pouvoir se brancher sur une prise mère intégrée au cockpit, sur le même axe que l'arbre de rotation.
- 2.3 : Doit avoir une épaisseur entre 80 et 100 mm
- 2.4 : Doit avoir une résistance interne inférieure à XX Ohm pour limiter l'échauffement. Le choix du matériau en dépendra suivant sa résistivité.

3.1 Cahier des charges (2/2)

Critère 3 : Asservissement

- 3.1 : Erreur en position nulle, notamment en position de vol
- 3.2 : Rotation effectuée au mieux en 55s soit à $\pi/30 \pm 0,016$ rad/s (vitesse maximale).
- 3.3 : Erreur en poursuite constante
- 3.4 : Le système doit être stable et modélisable sur Matlab Simulink

Critère 4 : Mécanique

- 4.1 : L'arbre de transmission doit avoir un diamètre inférieur à 150 mm
- 4.2 : L'arbre de l'aile doit pouvoir s'emboîter dans le cockpit, sur un tronc de diamètre légèrement inférieur à celui de l'arbre
- 4.3 : Une sécurité mécanique doit permettre d'empêcher que l'aile se déboîte après le montage du mini-bee.
- 4.4 : L'aile est démontable facilement et rapidement

3.2 Démarche et évolution du projet



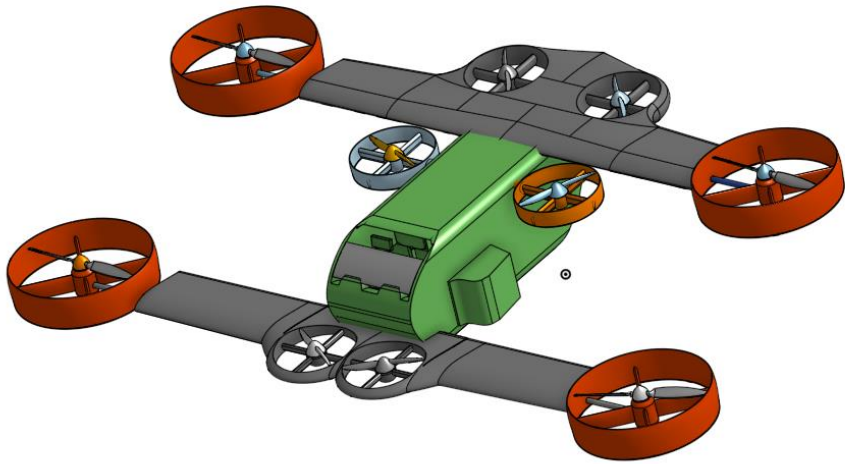
Solution pour la rotation :

- Choix du vérin imposé par le client
- Discussions avec des consultants de l'école
- Conclusion sur la difficulté "inutile" du vérin
- Décision de choisir un moteur

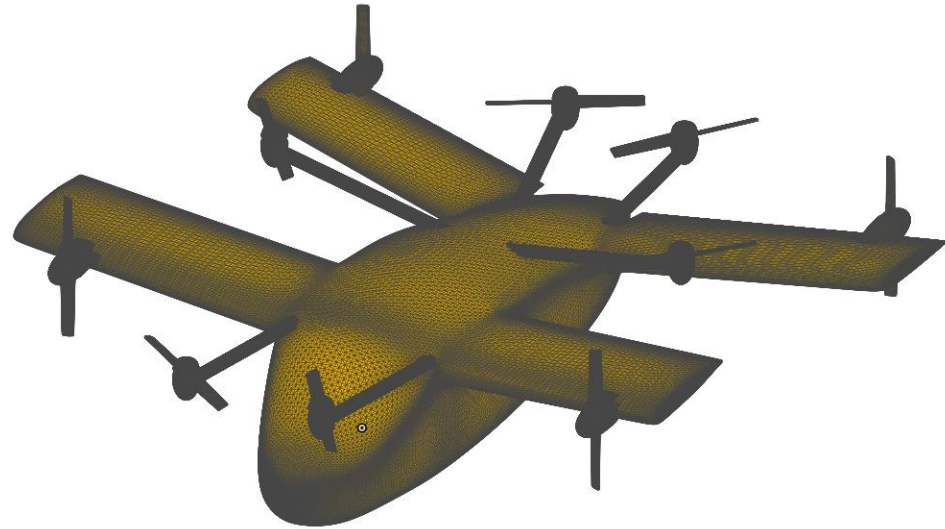
Solution pour la fixation :

- Pleine liberté laissée par le client a ce sujet
- Premier dessins papier
- Modélisation 3D de deux solutions
- Choix des matériaux par du consulting
- Validation de la solution par des simulations (SimScale) et impression 3D de cette dernière

3.3. Modélisation et CAO

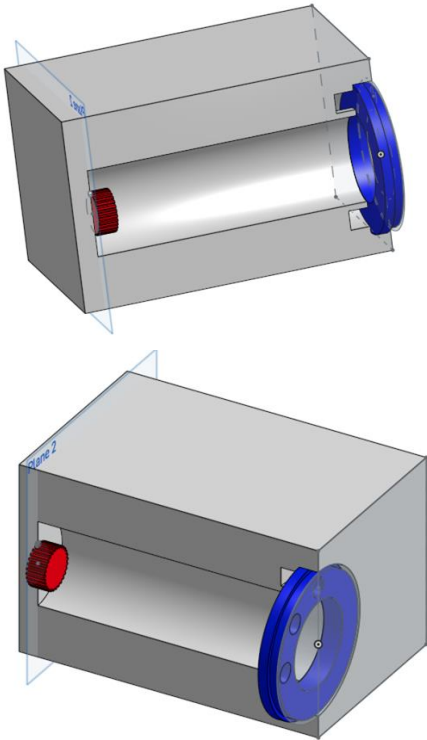


MiniBee à l'origine

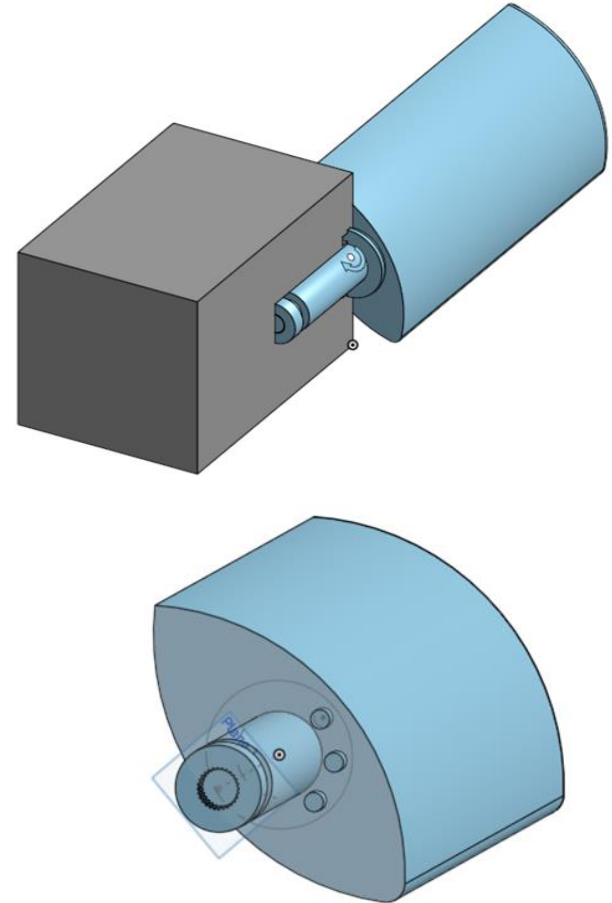


MiniBee actuel
(profil aérodynamique)

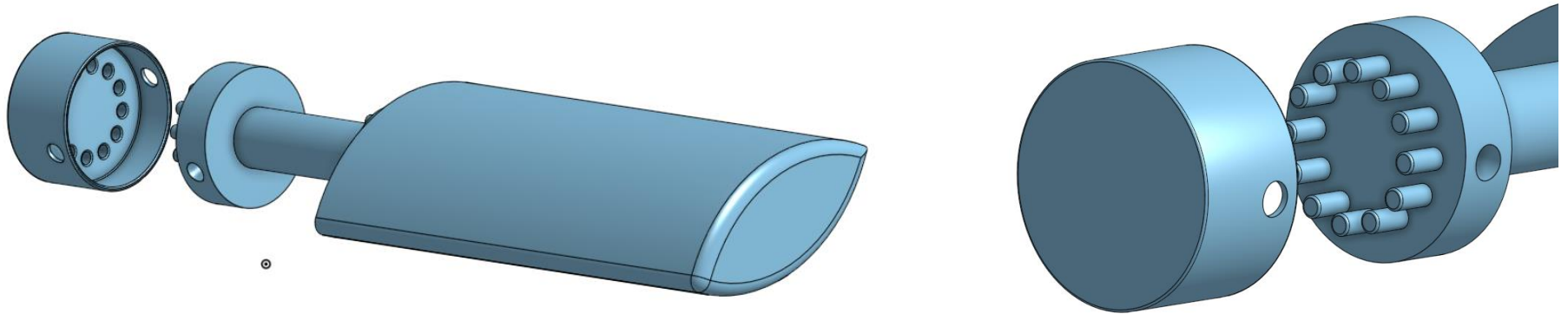
3.3.a Modèles 3D (1/3)



Modélisation sur
Onshape du modèle 1 de
la liaison aile-cockpit

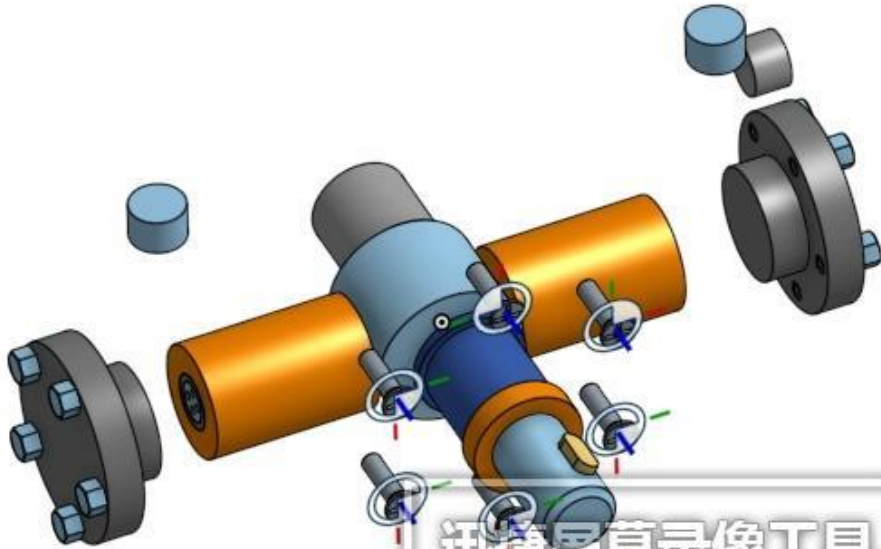


3.3.a Modèles 3D (2/3)



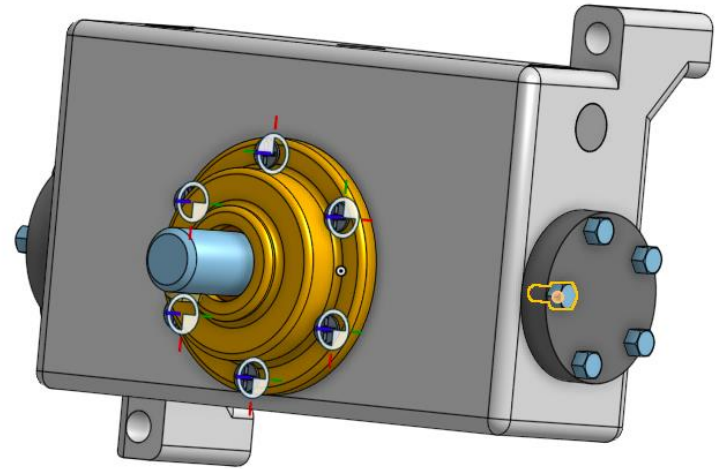
Modélisation sur Onshape du modèle 1 de
la liaison aile-cockpit

3.3.a Modèles 3D (3/3)



迅捷屏幕录像工具

www.xunjieshipin.com



Modélisation sur Onshape de la pompe hydraulique alimentant le vérin

3.3.b Choix des matériaux

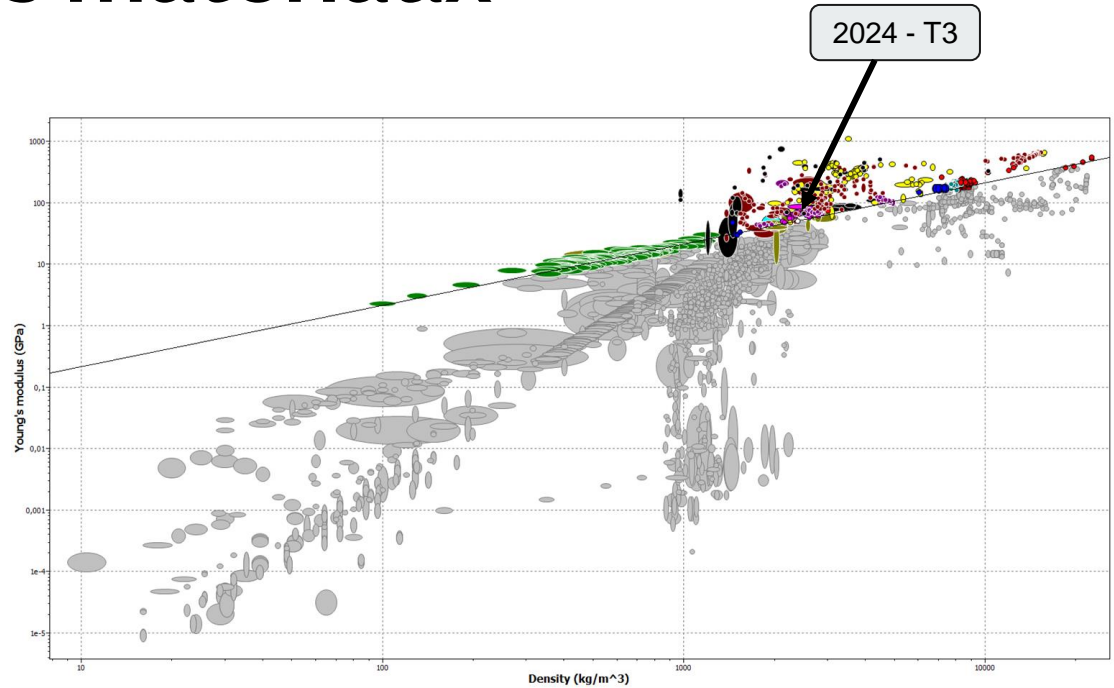
Critères de l'indice de performance :

- Maximisation du module d'Young
- Minimisation de la densité → masse volumique
- Minimisation du prix
- Aspect environnemental

Option fixée : 2024 - T3, Composite d'aluminium

- 70 % d'aluminium
- Cuivre, Magnésium, Manganèse

Calculs des données ici



Utilisation du logiciel CES EduPack

3.4 Automatique et électronique du système



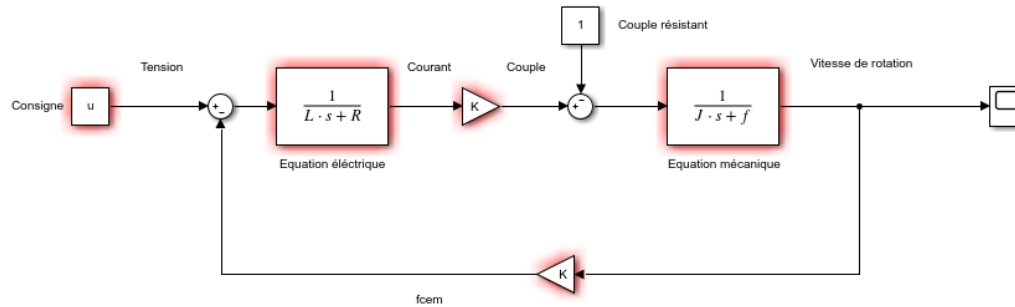
3.4.a Choix du moteur



- Description du choix du moteur
- Justifications de :
 - La puissance du moteur
 - Son encombrement
 - Son accessibilité tarifaire
 - Son impact environnemental

3.4.b Asservissement

- Moteur à courant continu
- Dimensionnement électrique et mécanique du système :
- Utilisation de Simulink



3.5 Électricité et câblage



4. Pôle Tube Pitot



1. Cahier des charges et démarche scientifique
2. Modèle du tube pitot
3. Aspect sécuritaire
4. Placement du tube pitot

4.1.1 Cahier des charges

Mesure de la
vitesse du
Minibee

1 Type de capteur

1.1 Mesure mécanique de la vitesse

2 Dimensions

2.1 Dimension adaptée à la couche limite

2.2 Diamètre 6mm | Longueur 300mm

3 Prix

3.1 ~ 200€

4 Résistance aux
contraintes/Respect
des normes
aéronautiques

4.1 Fonctionne entre $-20^{\circ}/200^{\circ}$

4.2 Inoxydable

4.3 Mesure entre 2/50 m/s

4.4 Pression statique de 2bar maximum

4.5 Norme ISO 3966

5 Précision

5.1 1% de la mesure

6 Placement

6.1 Placer dans un champ de pression stationnaire, atmosphérique

7 Sécurité

7.1 Doublage du tube


7.2 Protection du second tube

4.1.2 Démarche scientifique



- 1) Choix du modèle du tube de pitot
 - ⇒ Etude bibliographique de la sonde de pitot
 - ⇒ Etude de marché des sonde de pitot
 - ⇒ Analogie faite avec les tubes de pitot utilisés en aviation légère

 - 1) Etudier l'aspect sécuritaire
 - ⇒ Recherches bibliographiques : identification du problème de givrage et recherche d'une solution

 - 1) Placement du tube de pitot
 - ⇒ Etude des couches limites & impact des rotors sur cette couche limite
 - ⇒ Plan d'expérience et résultat
- 

4.2 Modèle du tube pitot ($\frac{1}{6}$)

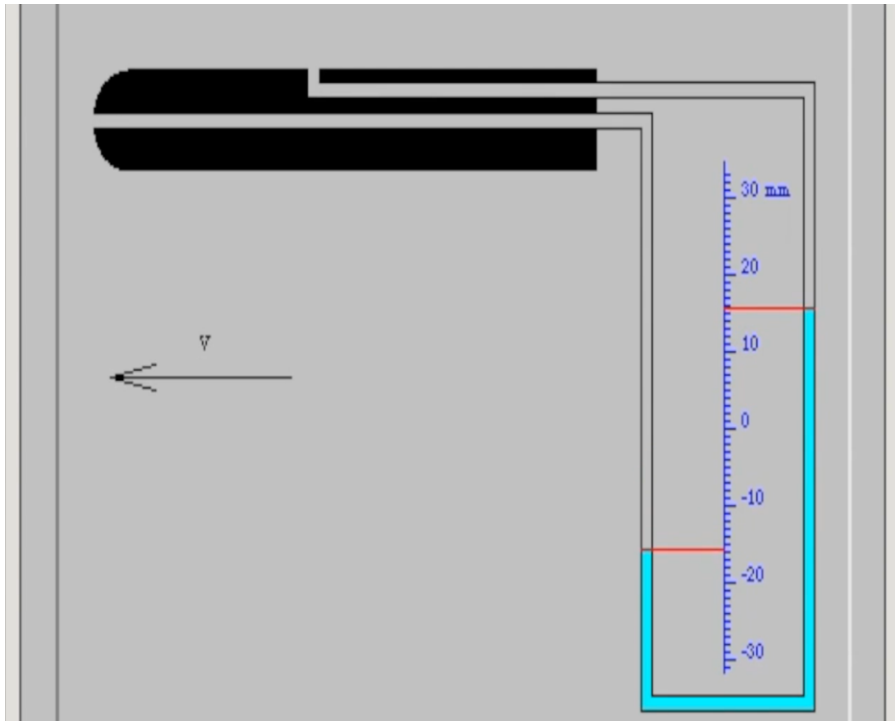


Fiable

Simple

Abordable

4.2 Modèle du tube pitot (2/6)



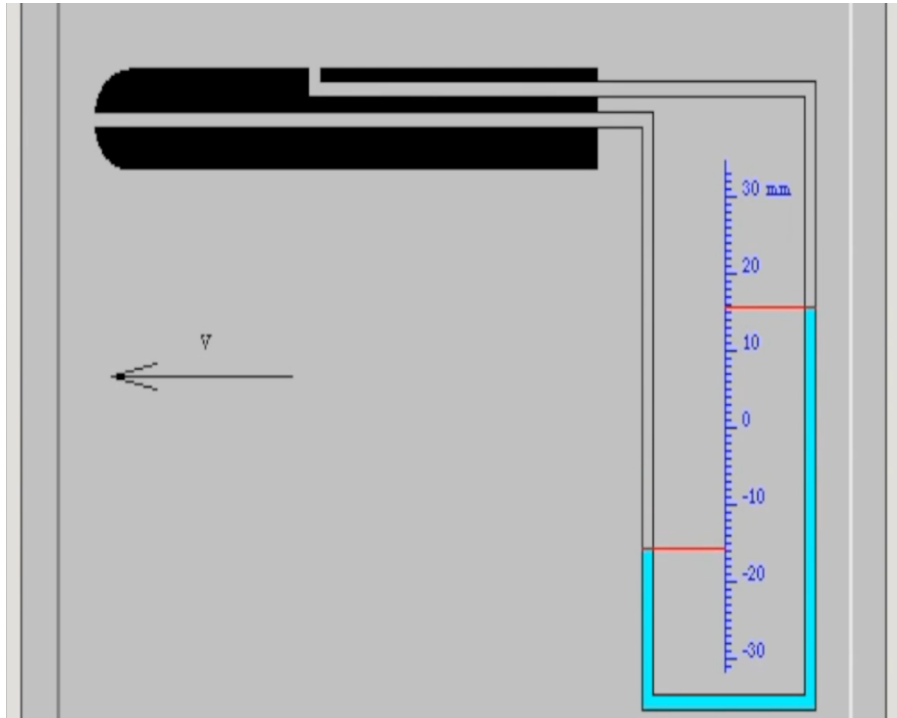
2 prises de pression :

Pression totale

Pression statique

Liquide en bleu

4.2 Modèle du tube pitot (3/6)



Théorème de Bernoulli

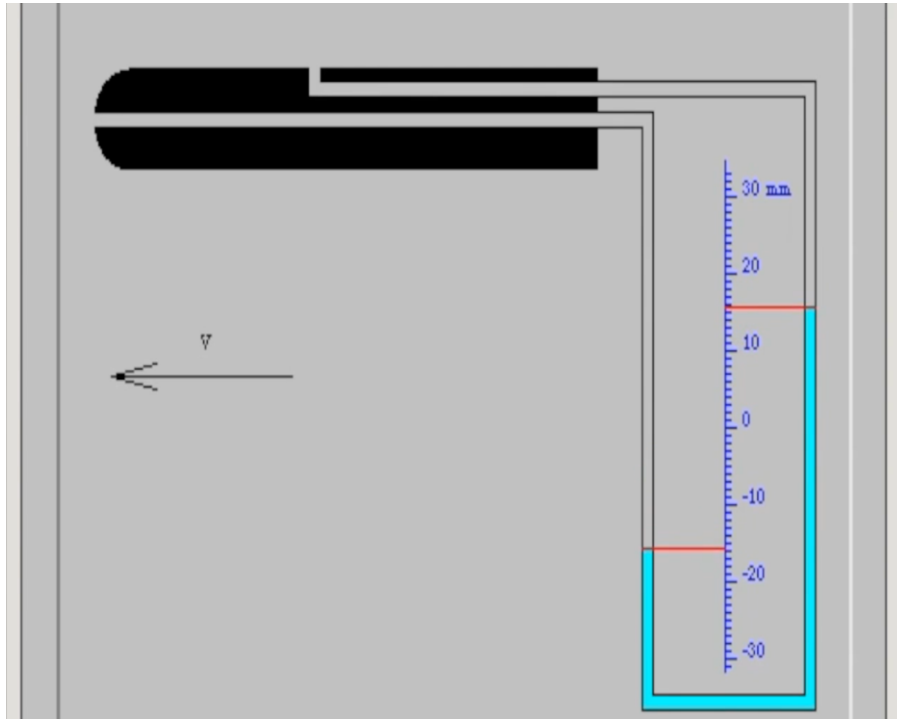
$$P_0 + \frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2 + \rho g z = P_{tot} + 0 + \rho g z$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2$$

Statique des fluides

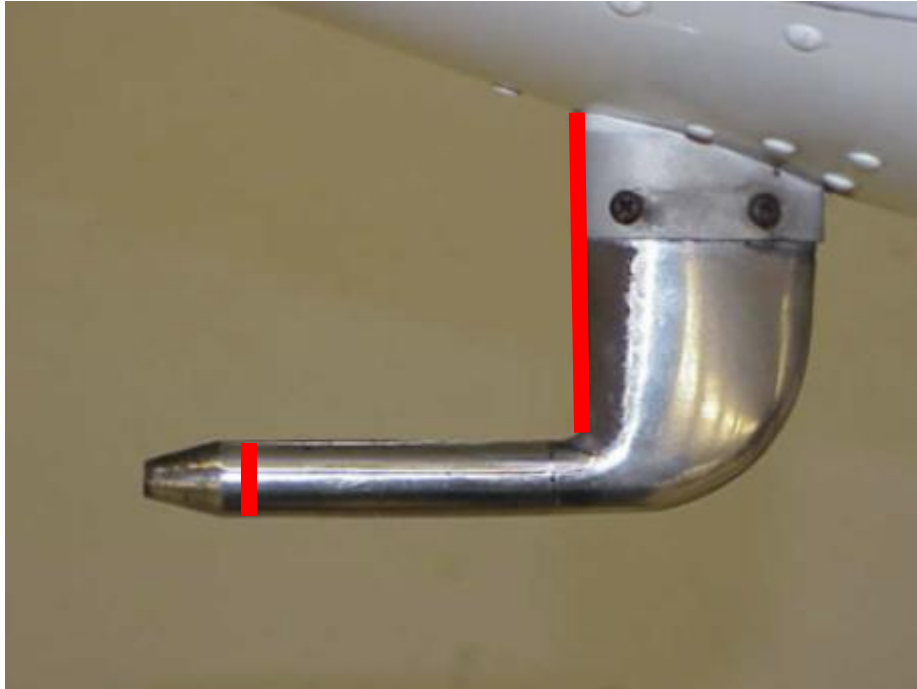
$$\Delta P = \rho g h$$

4.2 Modèle du tube pitot (4/6)



$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{2\rho_0 g h}{\rho_{\text{air}}}}$$

4.2 Modèle du tube pitot (5/6)



Diamètre :
6mm

Longueur :
30mm

Vitesses couvertes :
jusqu'à 250km/h

Type:
Type L

4.2 Modèle du tube pitot (6/6)

Présentation de la gamme

- Tubes de Pitot Type L et type droit

Diamètre	Référence Type L	Référence Type droit	Longueur
Ø3 mm	TPL-03-100	TPL-D-03-100	100 mm
	TPL-03-200	TPL-D-03-200	200 mm
	TPL-03-300	TPL-D-03-300	300 mm
Ø6 mm	TPL-06-300	TPL-D-06-300	300mm
	TPL-06-500	TPL-D-06-500	500 mm
	TPL-06-800	TPL-D-06-800	800 mm
Ø8 mm	TPL-08-1000	TPL-D-08-1000	1000 mm
	TPL-08-1250	TPL-D-08-1250	1250 mm
Ø12 mm	TPL-12-1500	TPL-D-12-1500	1500 mm
	TPL-12-2000	TPL-D-12-2000	2000 mm
Ø14 mm	TPL-14-2500	-	2500 mm
	TPL-14-3000	TPL-D-14-3000	3000 mm



4.3 Aspect Sécuritaire



Le problème

75% des crash à cause de défaillance technique

Vol 447 le plus meurtrier de l'histoire d'Air France (228)

Givrage des sondes aux températures extrêmes

Orages

4.3 Aspect Sécuritaire



Les solutions

Sonde de température et thermostat

Doublage (ou plus!) des sondes

Sonde rétractable

4.3 Aspect Sécuritaire



Notre choix sur le Minibee

Sonde rétractable car :

- Pas de place pour d'autres sondes
- Conditions extrêmes avec risque de bouchon

Protocole : sortir la 2nd lors d'un décalage entre vitesse GPS et vitesse PITOT.

4.4 Placement du tube Pitot

- Etude des couches limites



4.4 Placement du tube Pitot



- Impact des rotors sur la couche limite : expérience et résultat

mettre le plan de l'expérience

4.4 Placement du tube Pitot



- Placement final

Mettre le Onshape du Minibee avec le pitot

5. Pôle Aérodynamique



1. Cahier des charges du pôle
2. Partie mécanique des fluides
 1. Calcul analytique des forces nécessaires
 2. Similitude pour maquette
 3. Essai en soufflerie
 4. Simulation numérique
1. Partie dimensionnement moteur

5.1 Cahier des charges du pôle



Objectif : performance aérodynamique de l'avion : l'avion peut-il voler ?

Critère 1 : Aérodynamisme

Critère 2 : compensation rotation hélice

Critère 3: Transmission de puissance

- 3.1 : Motorisation
 - 3.1.1 : La chaîne de transmission de puissance est constituée de 2 moteurs thermiques, 2 alternateurs connectés à 4 et 6 moteur électriques qui entraînent les hélices
 - 3.1.2 : Les moteurs thermiques sont des Rotax 915IS
 - 3.1.3 : Les alternateurs sont des Emrax 188 CC
- 3.2 : Phases de vol
 - 3.2.1 : Le Mini-Bee peut décoller du sol et atteindre la vitesse de 5m/s
 - 3.2.2 Le Mini-Bee est capable de rester en l'air à vitesse constante

5.2.2 Similitude du problème (1/2)

Similitude : mise en évidence de nombres sans dimensions permettant de réduire le nombre de paramètres intervenant dans les équations décrivant un système afin de simplifier son analyse.

Similitude sur le nombre de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Re : nombre de Reynolds s.u.

V : vitesse débitante en m/s

D : diamètre en m

ν : viscosité cinématique en m²/s

μ : viscosité dynamique en kg/(m.s)

ρ : masse volumique en kg/m³

Résultats :

Maquette à 1/10 → vitesse à 550 m/s

→ domaine de vitesse compressible, non modélisable

→ dimensions hors norme pour la soufflerie et l'impression 3D

5.2.2 Similitude du problème (2/2)

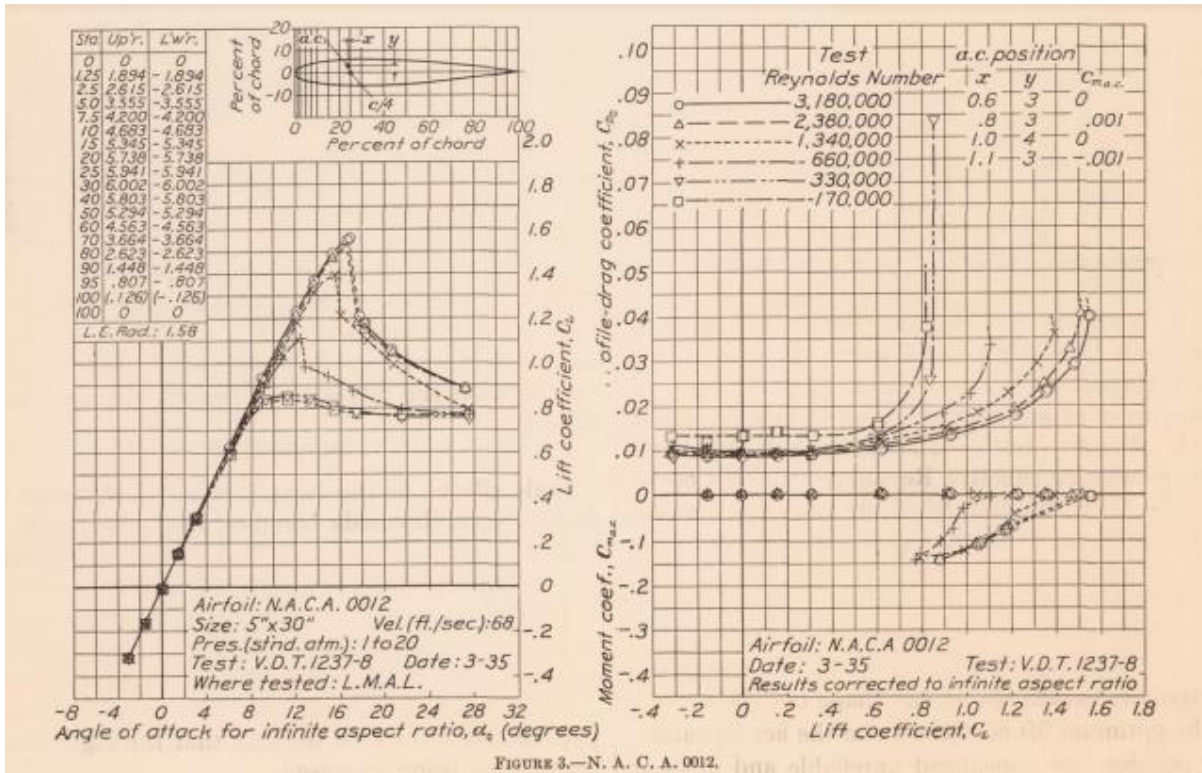


FIGURE 3.—N. A. C. A. 0012.

Profil pour un profil d'aile NACA en fonction du nombre de Reynolds

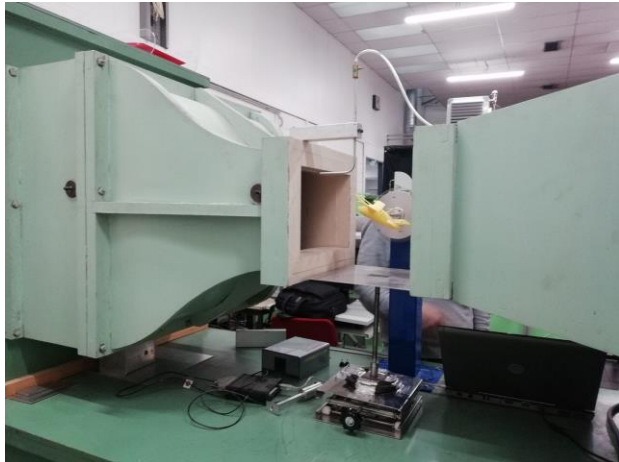
Observation : pour des faibles incidences, les différences entre les nombre de Reynolds sont négligeables. (pour des Reynolds $\sim 10^5$)

→ Expérience en soufflerie à faible incidence significative

5.2.3 Essai en soufflerie (1/5)

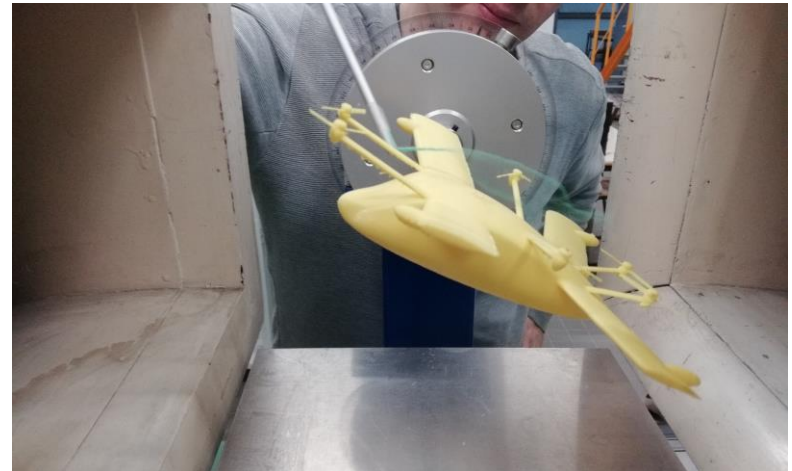
Veine d'essai du laboratoire de mécanique des fluides

- 300x200mm
- Surface frontale de la maquette d'un dixième de la taille la veine soit 60cm².
- Vitesse maximum de 15 m/s



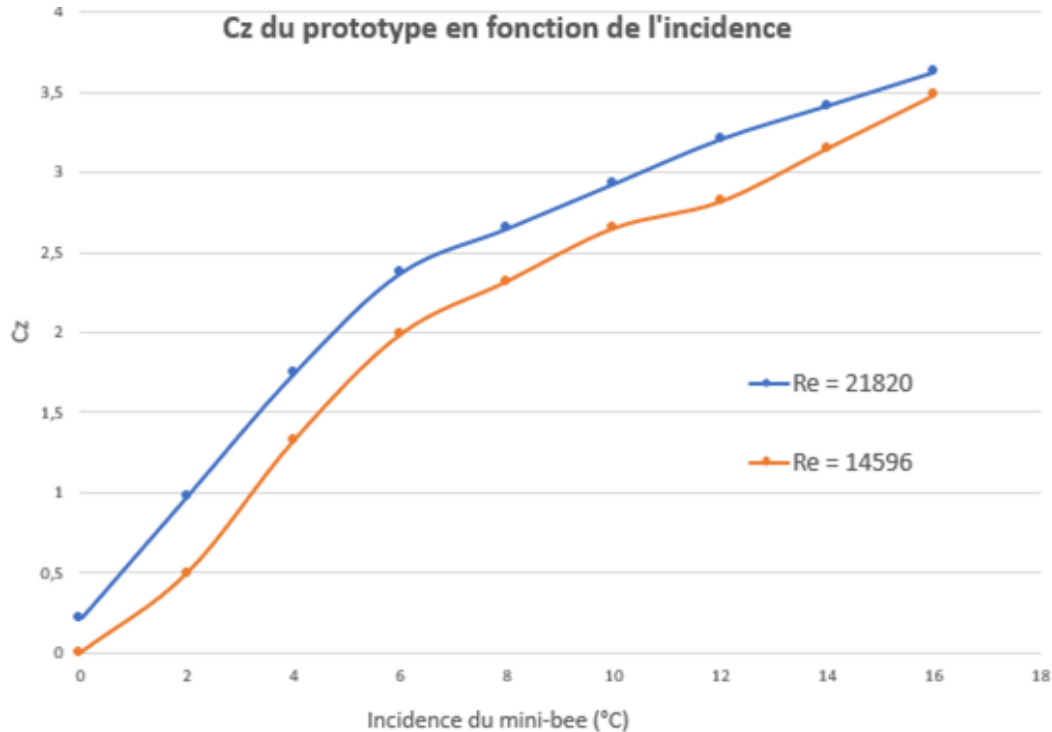
Maquette

- Imprimée au FabMéca en PLA
- Echelle
- Précision d'impression au 10ème de mm

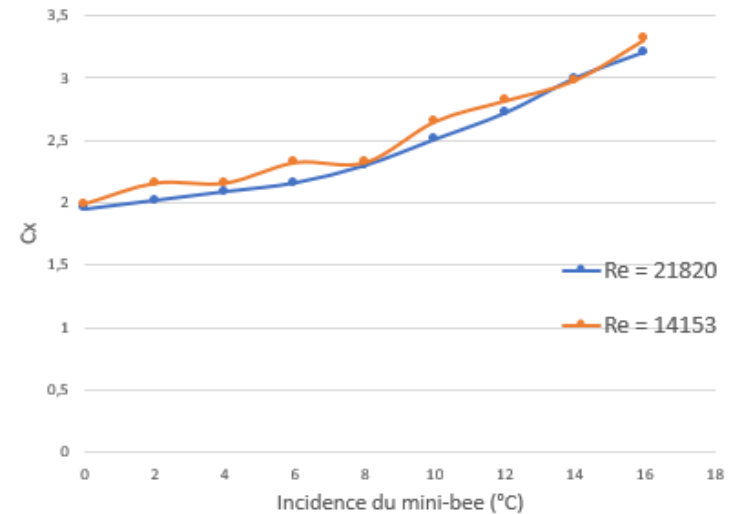


5.2.3 Essai en soufflerie (2/5)

Cz du prototype en fonction de l'incidence

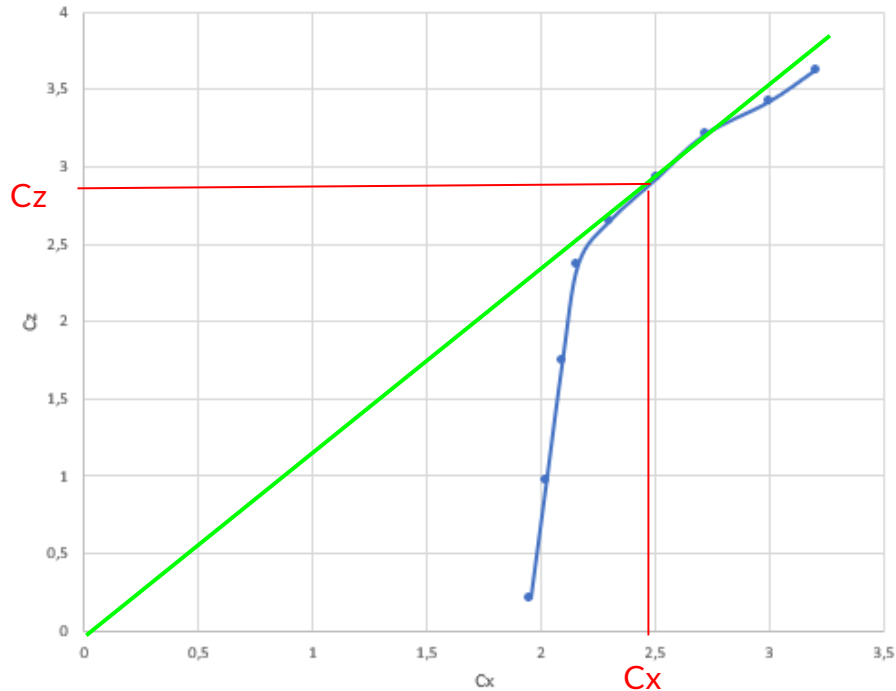


Cx du prototype en fonction de l'incidence



5.2.3 Essai en soufflerie (3/5)

Polaire du Mini-Bee



Performances :

- Incidence de finesse maximale = 11°
- Point de C_z Maximale avant 12°

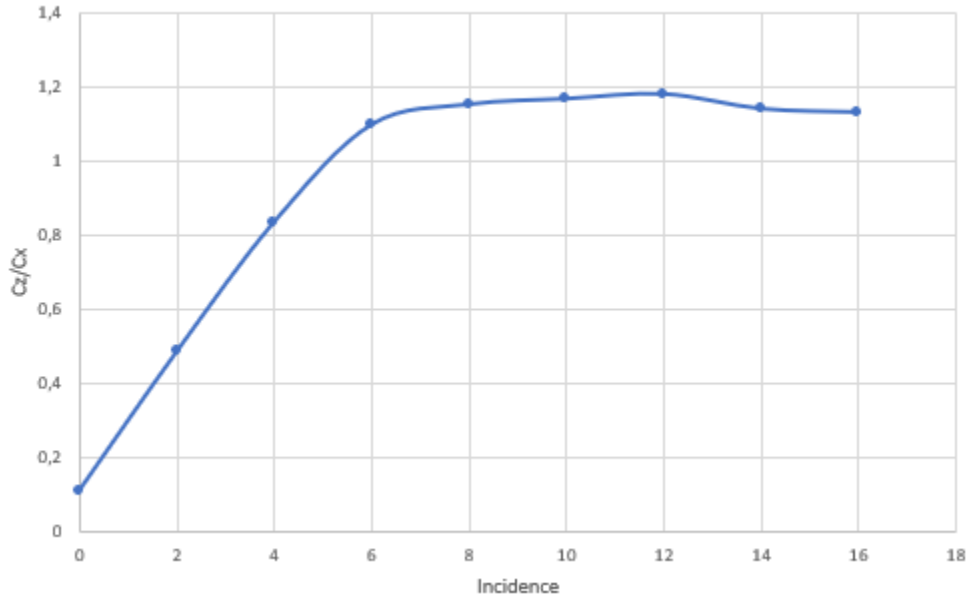
Critique :

- *on ne peut déterminer si décrochage dû au corps ou aux ailes*

→ Hypothèse : corps décroche en premier

5.2.3 Essai en soufflerie (4/5)

Finesse



Performances :

- Incidence de finesse maximale = 11°
- **Finesse maximale = 1,2**

→ Finesse très basse

Finesse = $\frac{\text{distance parcourue}}{\text{hauteur perdue}}$ en planant



→ finesse de 60



→ finesse de 10



→ finesse de 5

5.2.3 Essai en soufflerie (5/5)



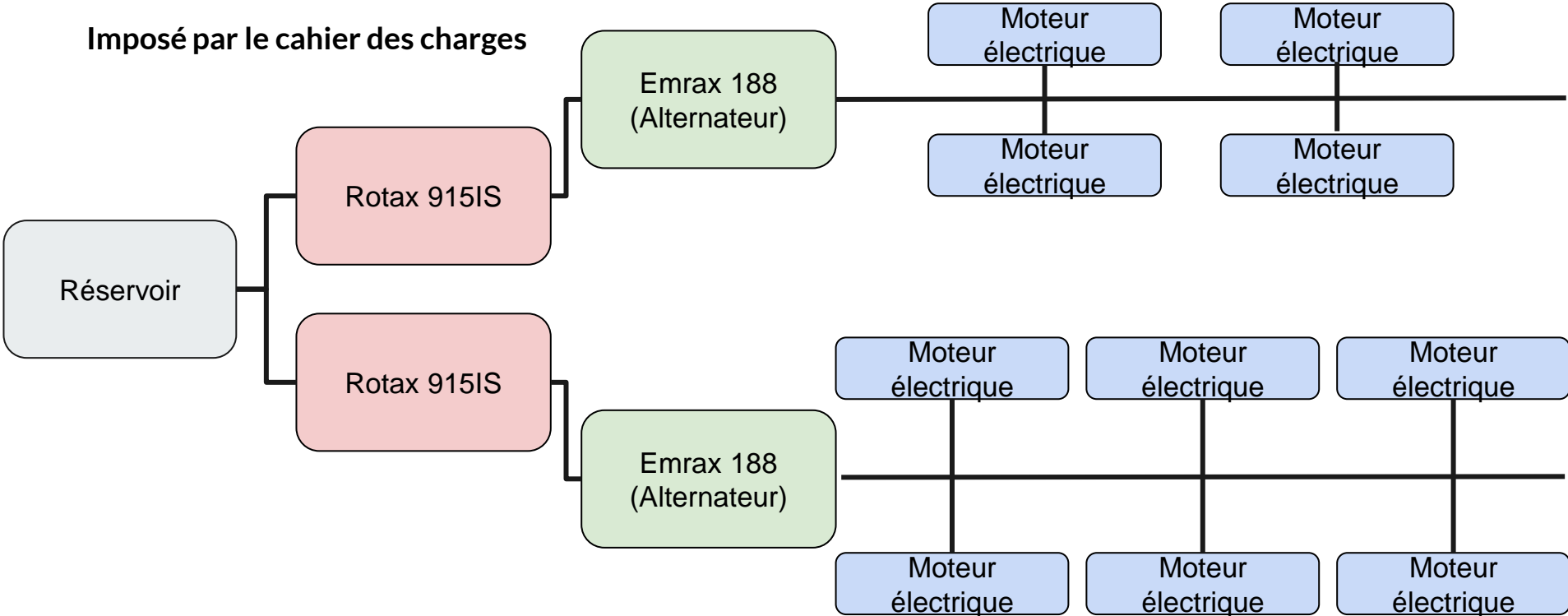
Limite/imprécision de l'étude :

- Nombre de Reynolds bas
- Tourbillons supplémentaires dans l'essai dû à l'effet 3D
- Erreur de lecture
- Barre perturbant l'écoulement
- Imprécision dû à l'impression

Nécessité de confirmer et compléter nos résultats avec l'analyse numérique !

1. Chaîne de transmission de puissance (1/7)

Imposé par le cahier des charges



Chaîne de transmission de puissance (2/7)

Calcul de la puissance nécessaire pour voler à 5m/s

A vitesse constante :

$$m \frac{dv}{dt} = F_{\text{hélices}} - F_{\text{Poids}}$$

$$\Rightarrow P_{\text{hélices}} = P_{\text{Poids}} = mgv = 59 \text{ kW}$$

Chaîne de transmission de puissance (3/7)



Calcul de la puissance nécessaire pour voler à 5m/s

Puissance minimale utile d'un rotor

7,7 kW

Puissance minimale utile d'un rotor en décollage vertical (8 rotors)

9,6 kW

Puissance minimale des alternateurs

46 kW (6 rotors)

30,7 kW (4 rotors)

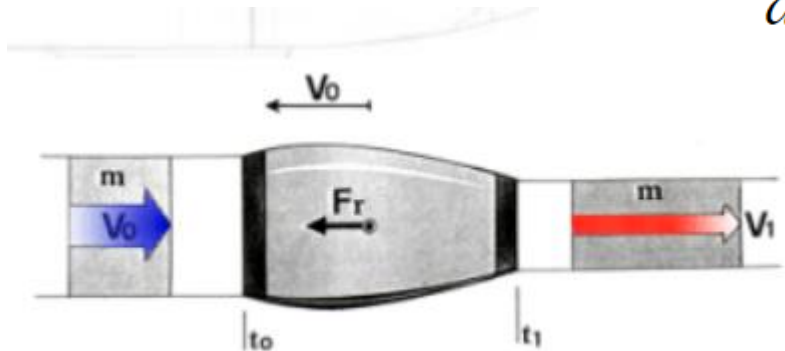
Facteur de sécurité

1,3

Chaîne de transmission de puissance (4/7)

Rendement propulsif juste après décollage à 5m/s

$$v_0 = 5 \text{ m.s}^{-1} \quad P_{\text{disponible}} = 27 \text{ kW} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (v_1^2 - v_0^2)$$
$$\text{avec } \frac{dm}{dt} = \rho_{\text{air}} A \frac{(v_1 + v_0)}{2}$$



$$\Rightarrow v_1 = 17 \text{ m.s}^{-1}$$

$$P_{\text{utile}} = 10 \text{ kW}$$

$$R_p = 35\%$$

Chaîne de transmission de puissance (5/7)

Choix des blocs de la chaîne de transmission de puissance

Moteur thermique ROTAX 915IS :

- 99 kW de puissance fournie
- 5500 RPM en fonctionnement nominal



EMRAX 188 CC → EMRAX High Voltage 268 CC

- 3200/3800 RPM
- 50 à 85 kW fournie



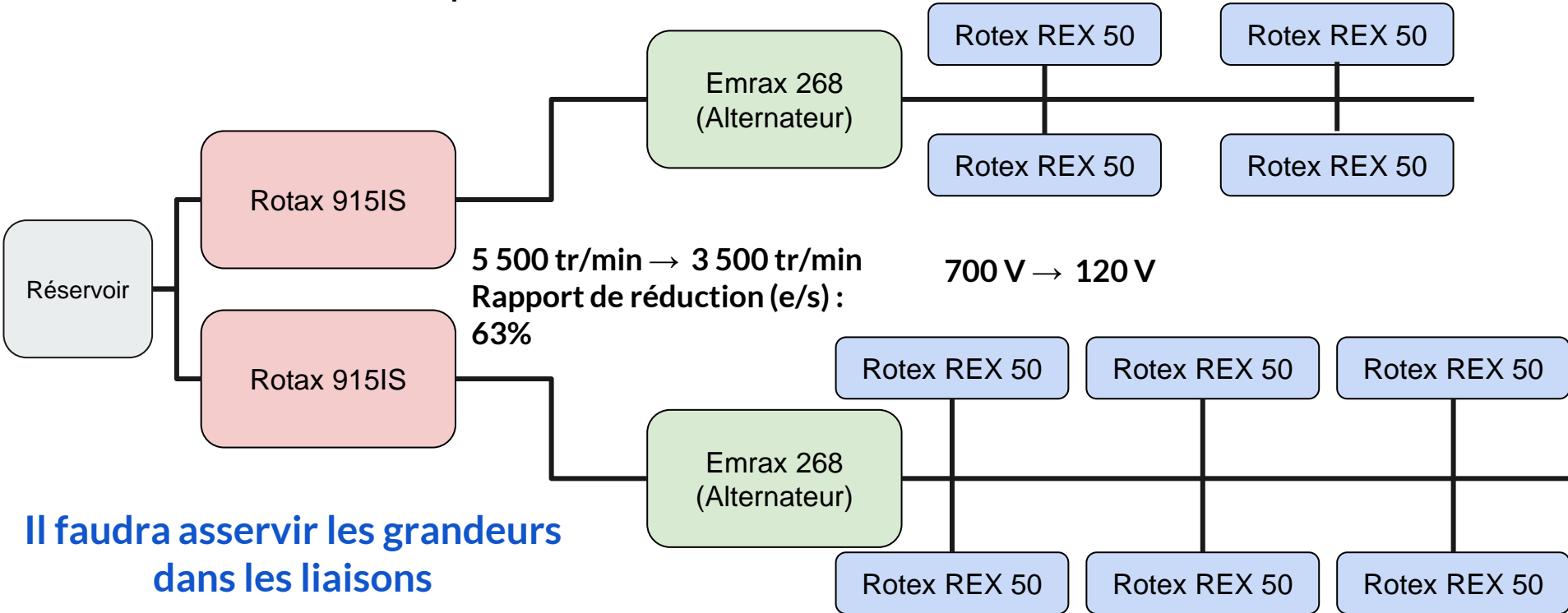
Moteur électrique Rotex Rex 50 :

- 15 à 28 kW fournie
- 1,4 à 1,5 m idéale pour les pâles



Chaîne de transmission de puissance (6/7)

Chaîne de transmission de puissance retenue



Il faudra asservir les grandeurs dans les liaisons

Chaîne de transmission de puissance (7/7)



Verdict