



AER8875

Conception et fabrication d'un banc d'essai de soufflante aéronautique

Présentation finale

Présenté par:

Yassine Akhachane Antoine Drolet Adrien Leduc
Robin Arrachepied Valentin Follet Adam Regragui
Sarah-Habiba Dridi Paul Grosfils Kevin White

Introduction

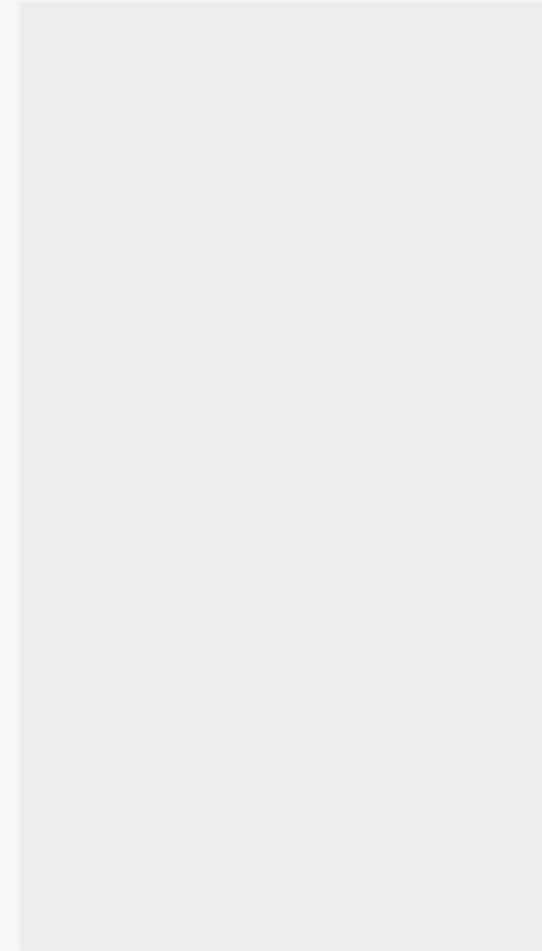
- But du projet intégrateur
- Cahier des charges
- Défis du projet intégrateur
- Méthodologie appliquée

2

Introduction

But du projet intégrateur

- Ce projet intégrateur est le projet final des génies aérospatial et mécanique
- Réalisé sur 2 trimestres et par 9 étudiants
- **Concevoir et fabriquer un nouveau banc d'essai de soufflante a haute vitesse (45000 RPM)**



Introduction

But du projet intégrateur (suite)

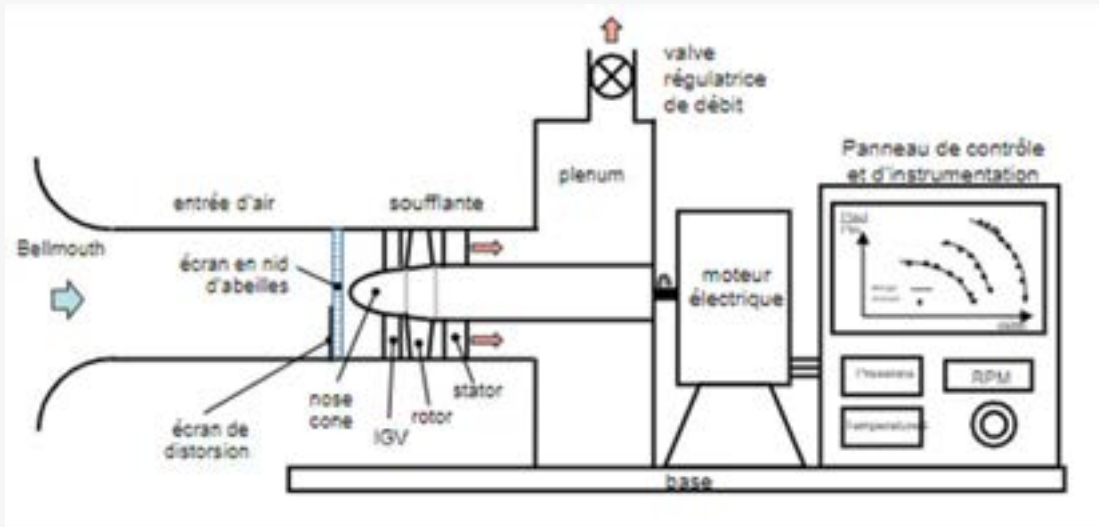
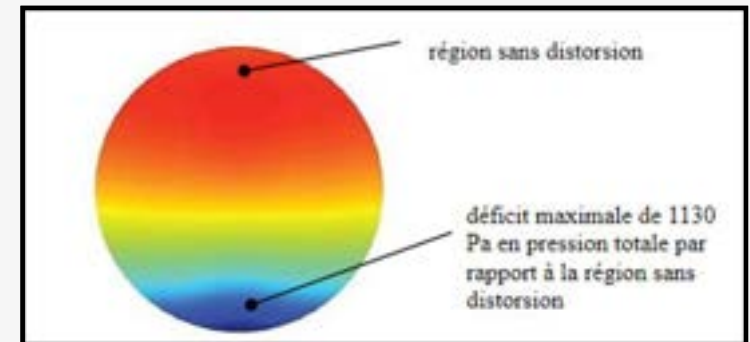


Illustration conceptuelle de la soufflante

Introduction

Cahier des charges

- Longueur et largeur max. de 600 mm et 400 mm
- Varier le débit massique en gardant la vitesse de rotation constante
- Générer la distorsion aérodynamique qu'en aval
- **Opérer a une vitesse rotationnelle max. de 45000 RPM pendant 2-3 heures en continu**
- *Être sécuritaire a opérer en tout temps*



Introduction

Défis du projet intégrateur

- **Budget:** 1800\$ CAD
- Mesurer le champ d'écoulement sur tout l'espace annulaire
- Viser une vitesse de rotation de **45000 RPM** pour valider une nouvelle technologie d'atténuation de distorsion aérodynamique
- Réaliser le projet intégrateur en deux trimestres

Introduction

Méthodologie appliquée

Réalisation du projet intégrateur sur **trois** livrables:

- **Livrable A : déterminer un design préliminaire**
 - Faire le plan général du banc d'essai, de l'instrumentation et des aubes
 - Préparer un budget préliminaire
- **Livrable B : finaliser le design**
 - Faire les plans finaux et commander les pièces
- **Livrable C : entamer les essais**

Plan de présentation

- Design
- Aérodynamique
- Structures
- Dynamique
- Instrumentation
- Gestion de projet

8

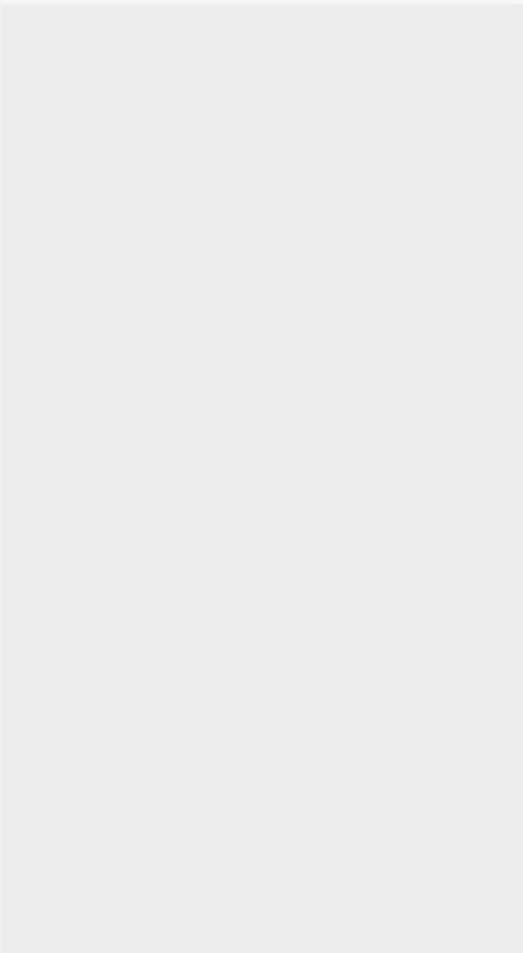


Figure 1 (haut) : design d'un avion à ingestion de couche limite

DESIGN

- Assemblages principaux
- Capteurs
- Vues générales (moteur et valve)
- Concepts assemblage du moteur
- Rotor – Stator - Moteur

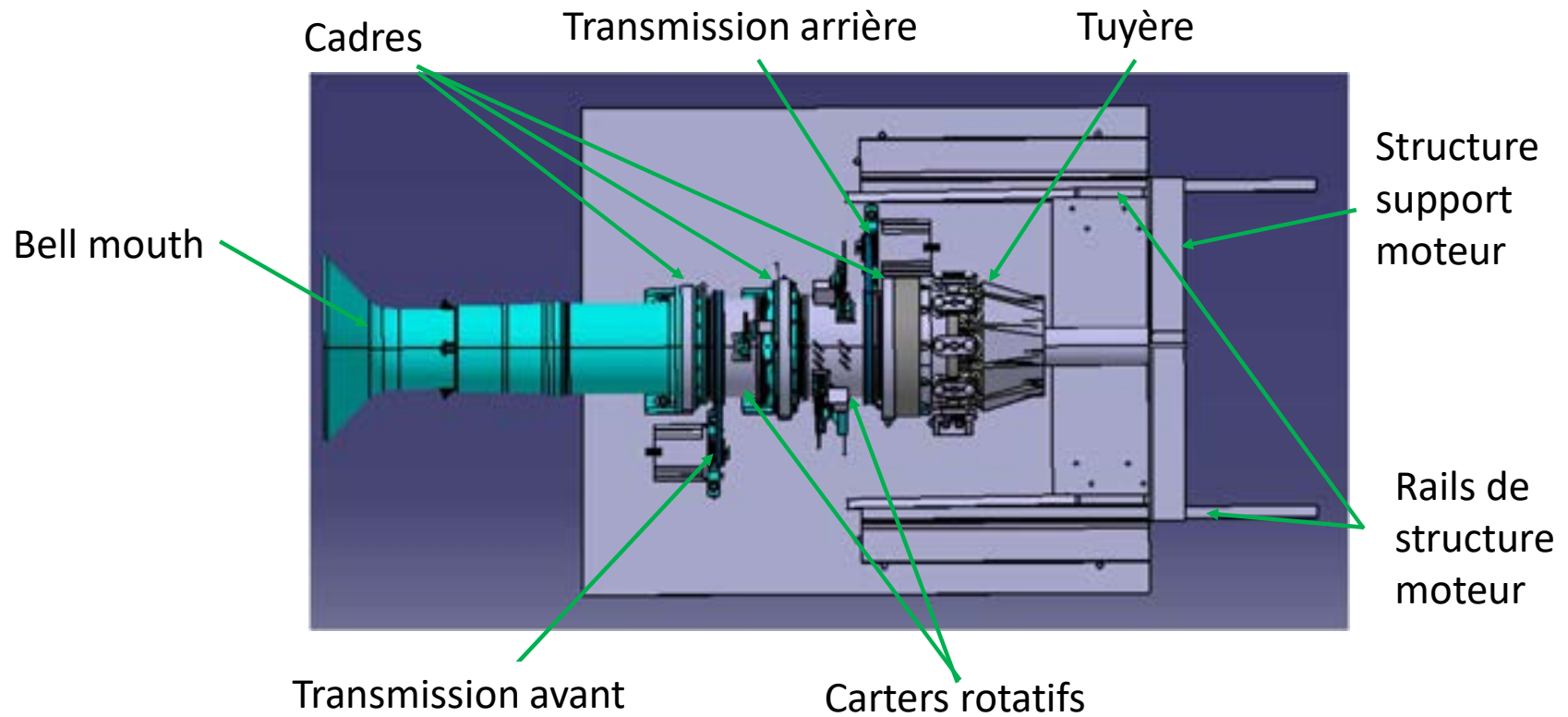
Présenté par
Valentin Follet
Paul Grosfils
Kevin White



AER8875 – Presentation finale

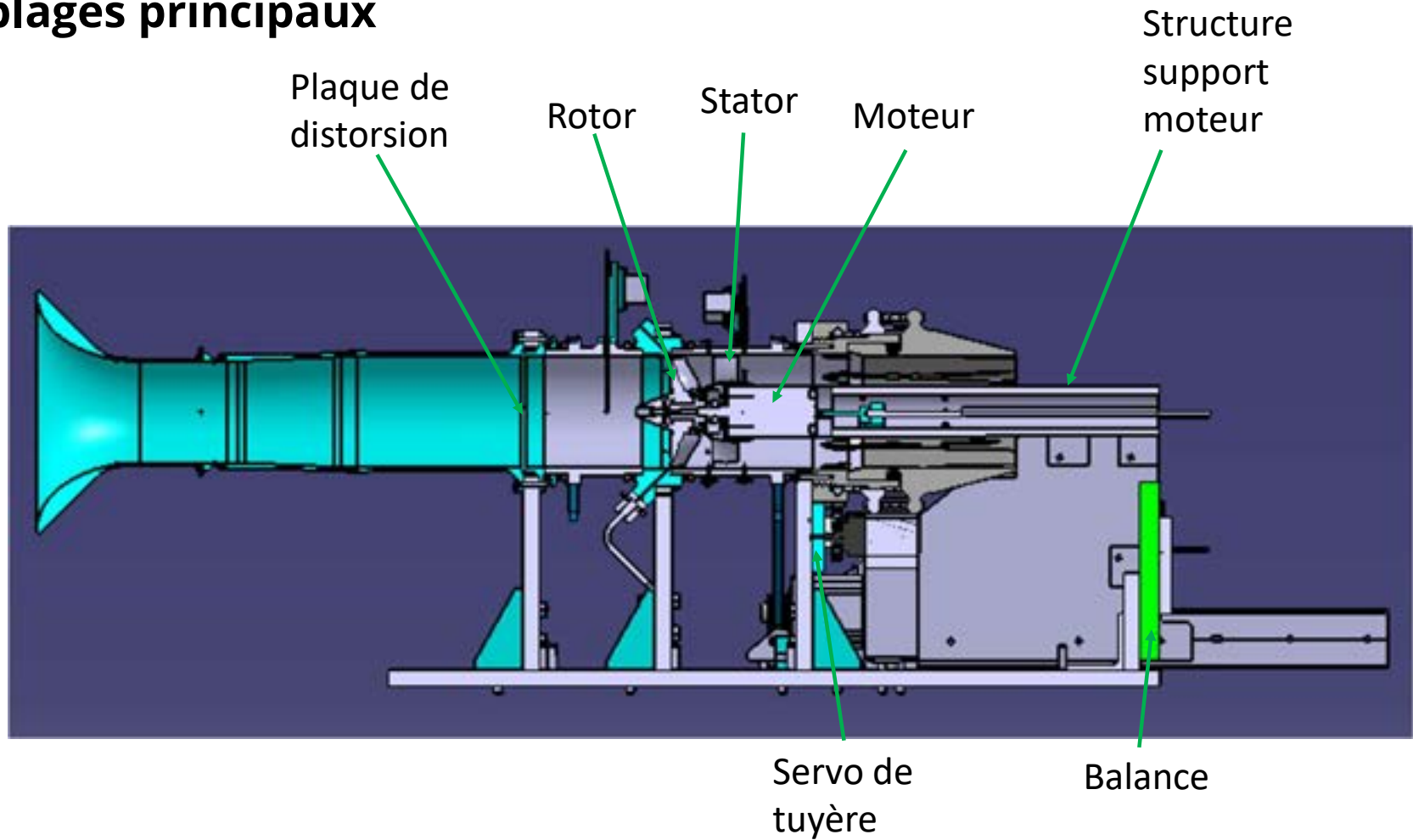
Design

Assemblages principaux



Design

Assemblages principaux



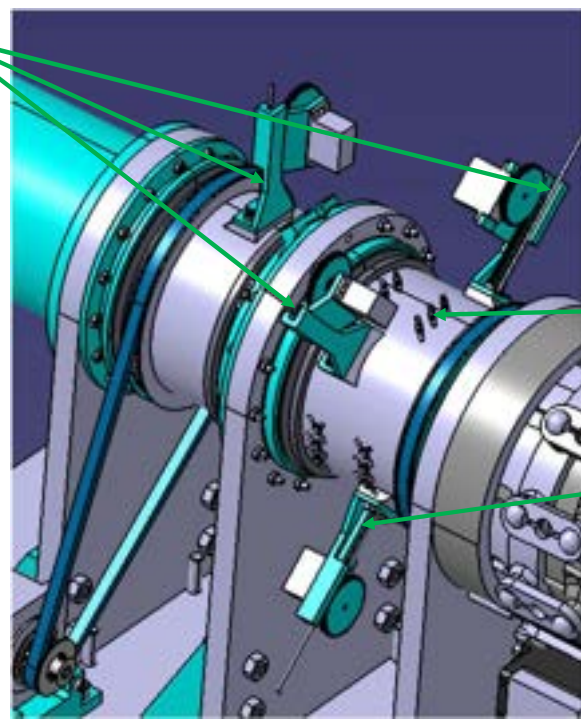
AER8875 - Presentation finale

Design

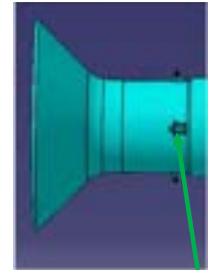
Capteurs

Capteurs de pression totale (kiel)

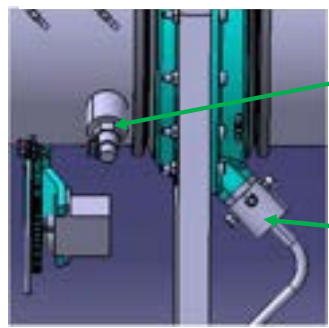
Carters rotatifs



Bellmouth



Carters rotatifs



Capteur de pression haute fréquence (Kulite)

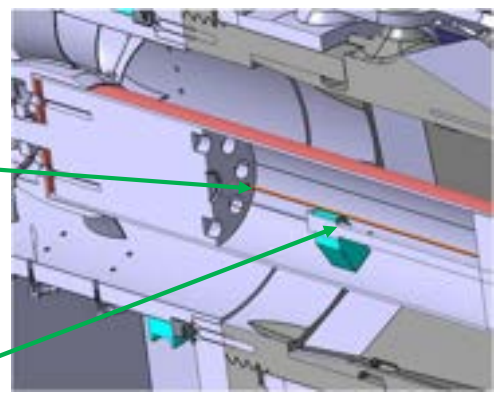
Capteur optique de déflexion des aubes

Prises de pression statique

Thermocouple

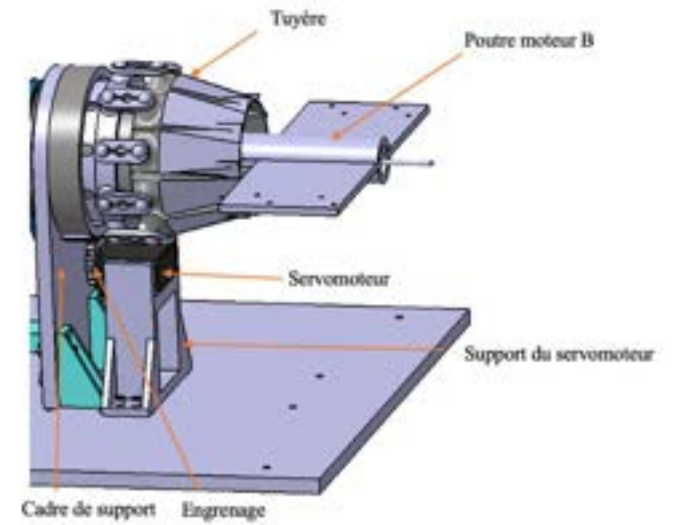
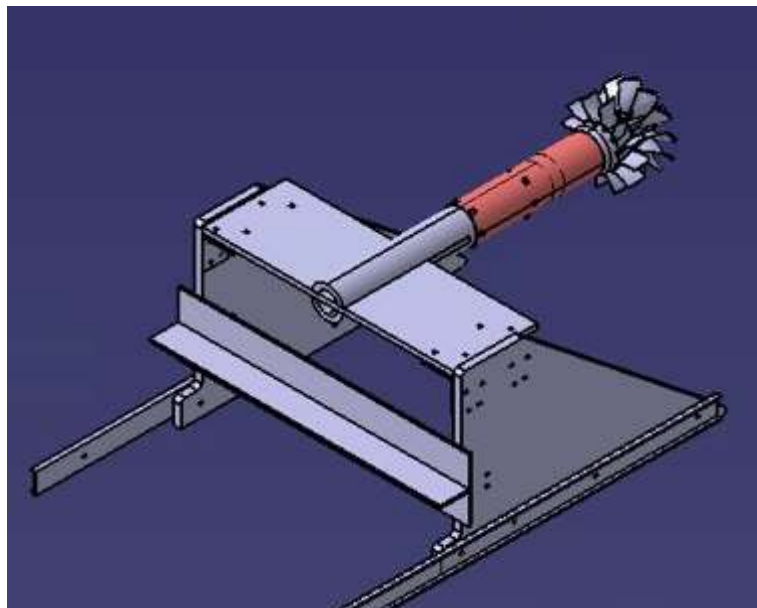
Capteur optique (RPM)

Moteur



Design

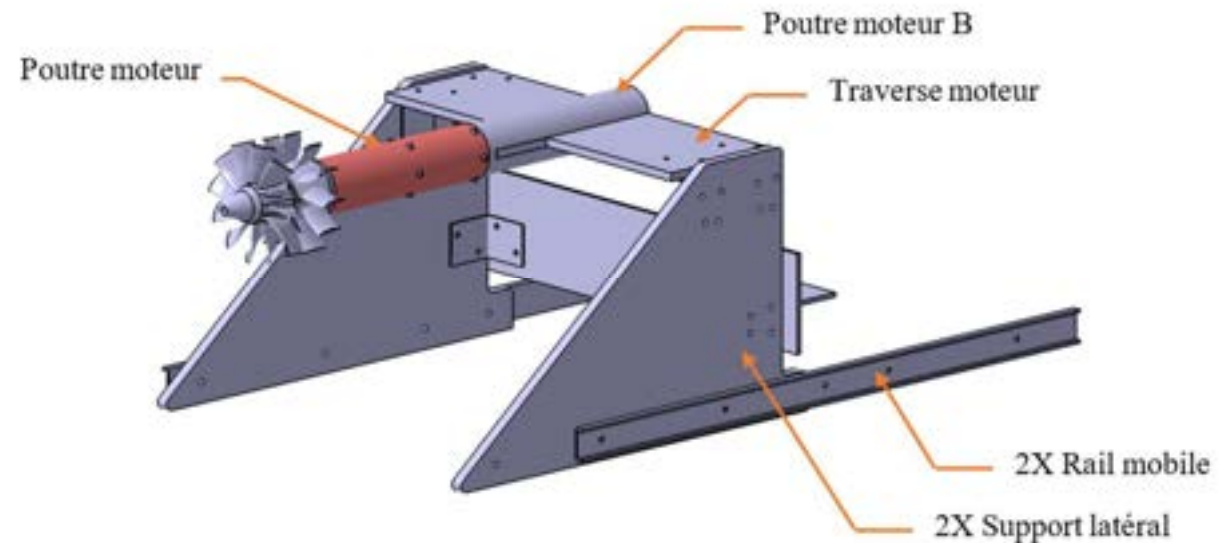
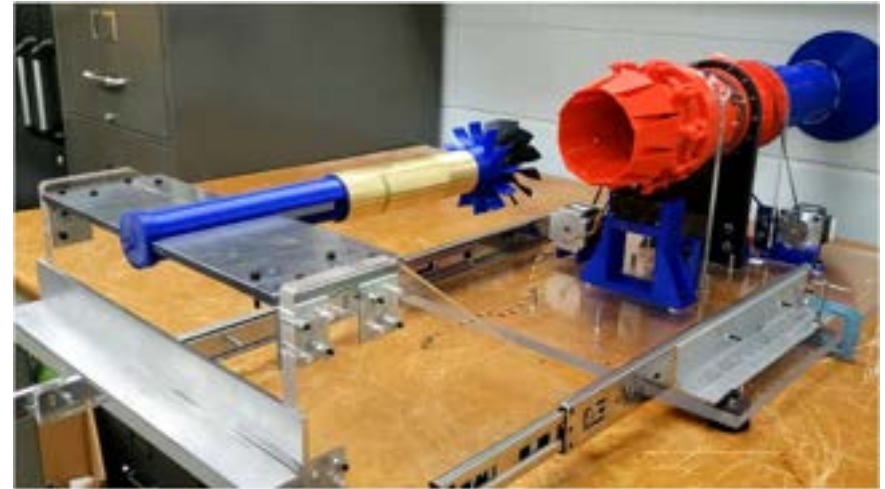
Vues générales (moteur et valve)



Design

Concepts assemblage du moteur

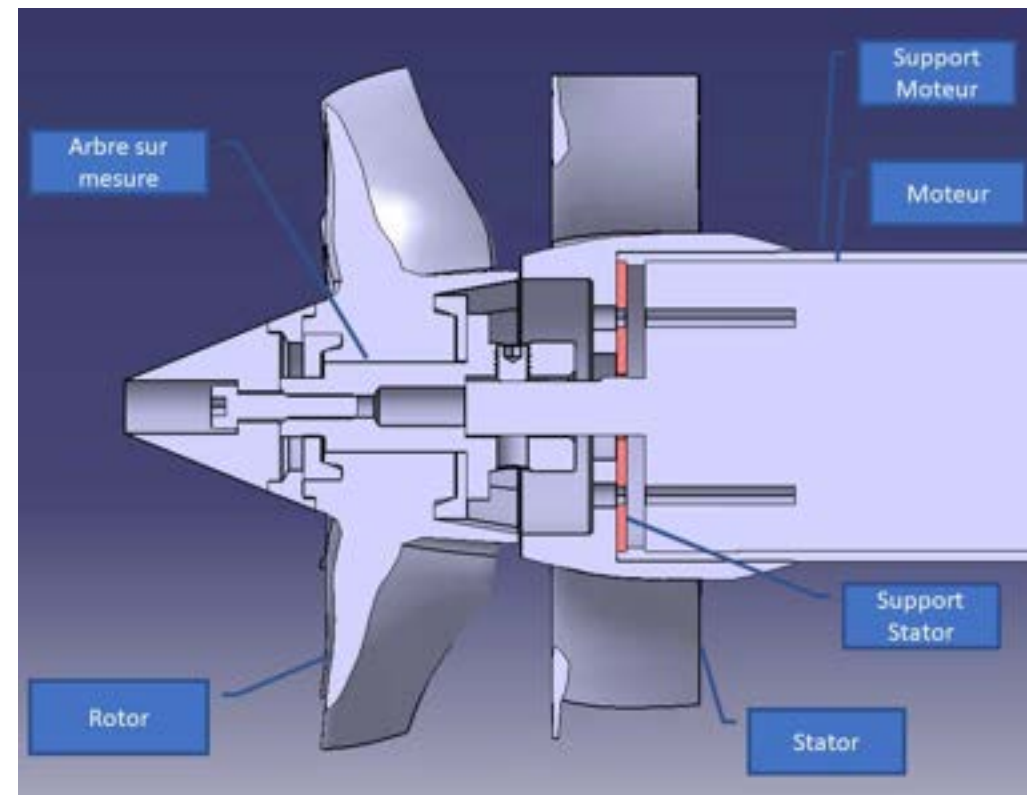
- Structure indépendante du reste du banc
 - Permet de mesurer la poussée
- Conçue afin de limiter la déflexion au rotor et stator
 - Assemblage soudé en acier
- Ajustable pour reprendre les erreurs de fabrication



Design

Rotor - Stator - Moteur

- Support moteur :
 - Tube de laiton usiné pour accueillir le moteur
 - Favorise le transfert de chaleur
- Arbre sur mesure
 - Arbre en aluminium usiné
 - Permet de transmettre le mouvement du moteur au rotor



AERO DYNAMIQUE

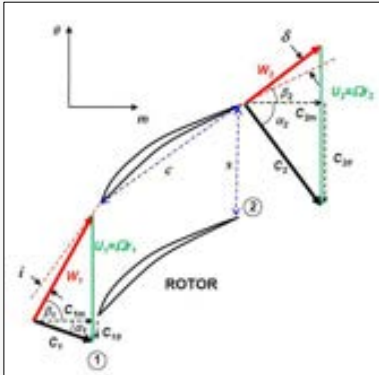
1. Simulations effectuées
2. Simulation ligne Moyenne
3. Conception détaillée
4. Forme retenue
5. Résultats de la simulation principale
6. Caractérisation de la soufflante

Présenté par:
Adrien Leduc
Sarah-Habiba Dridi

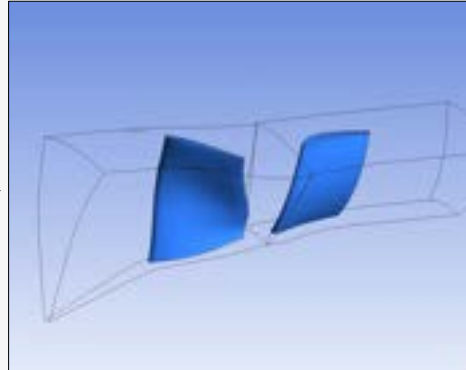
AERODYNAMIQUE

1. SIMULATIONS EFFECTUÉES

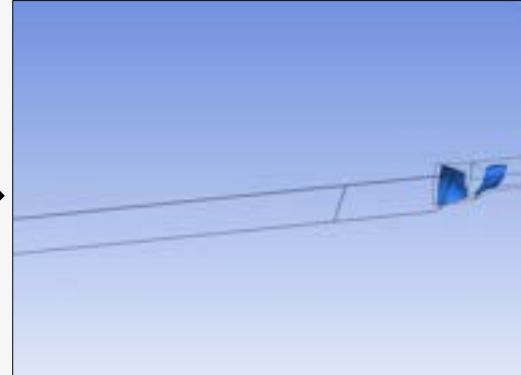
Simulation ligne moyenne 1D



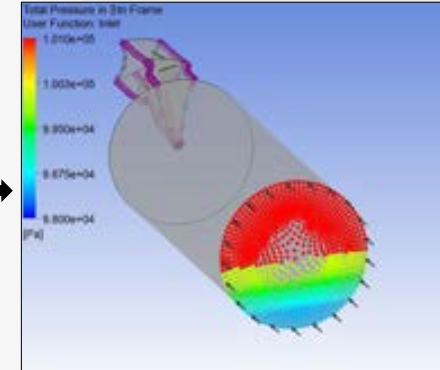
Simulation Core: Rotor + Stator



Simulation Complète: Entrée + Rotor + Stator

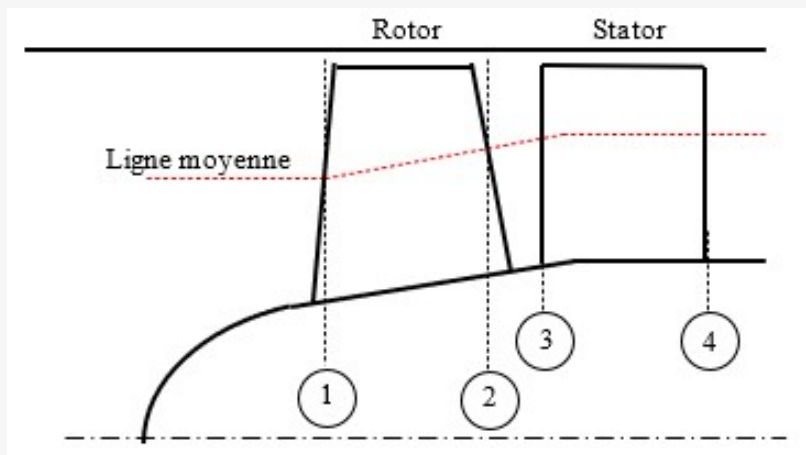


Simulation en distorsion

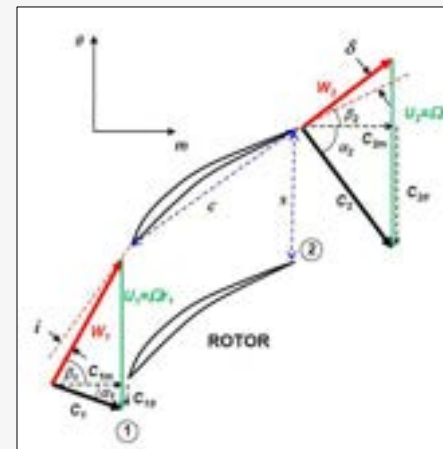


AERODYNAMIQUE

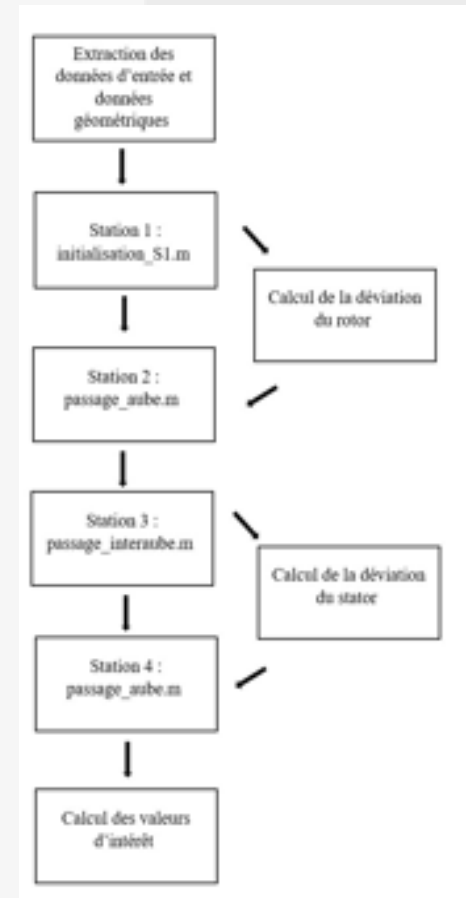
2. SIMULATION DE LIGNE MOYENNE (1D)



Domaine de calcul



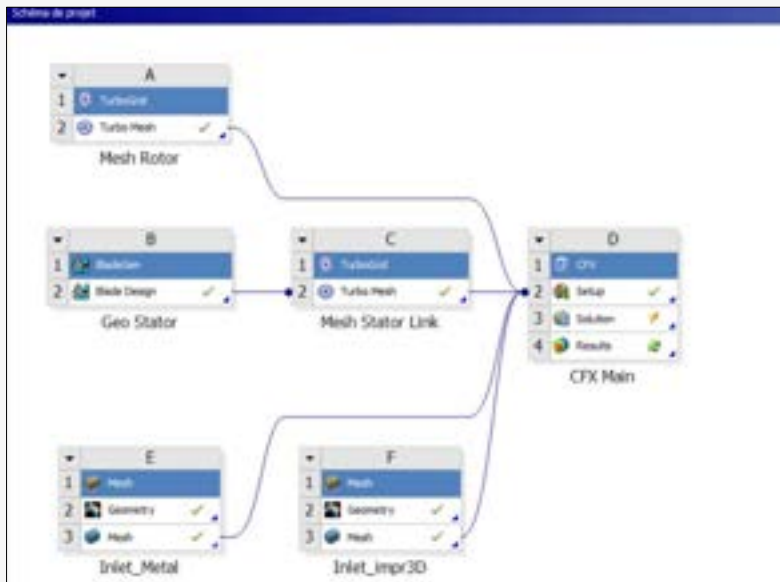
Triangle de vitesse



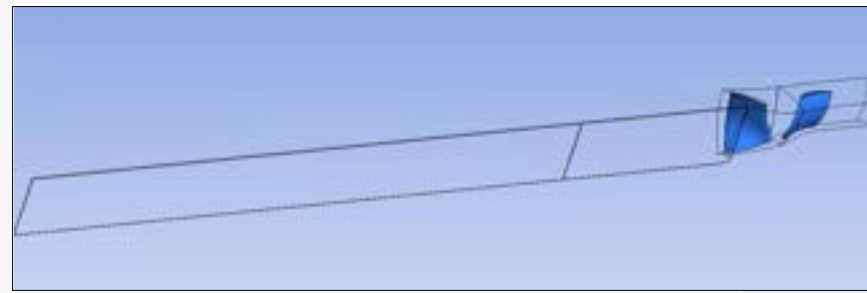
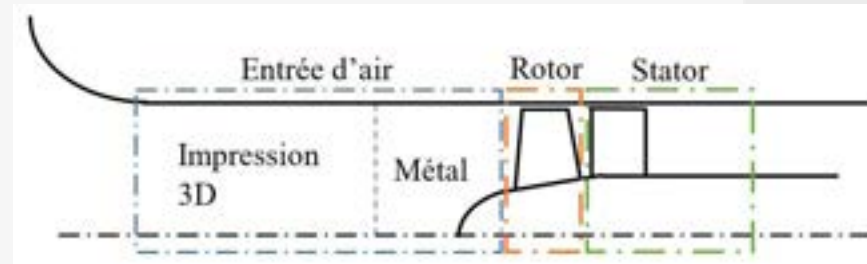
Structure du code

AERODYNAMIQUE

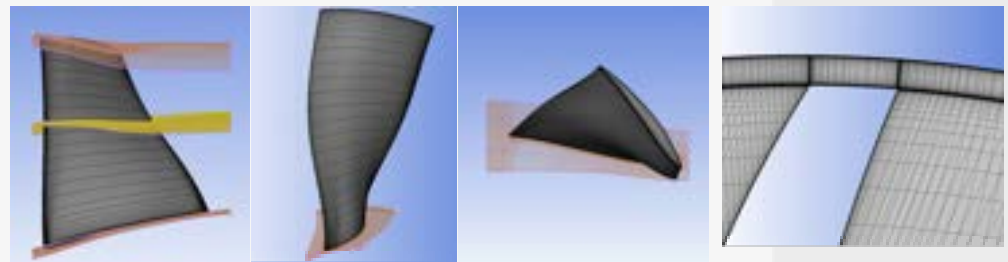
3. CONCEPTION DÉTAILLÉE



Logiciels de simulation



Domaine de simulation



Maillage du rotor

AERODYNAMIQUE

4. FORME RETENUE



Image réelle du rotor



Vue isométrique et vue de face du stator

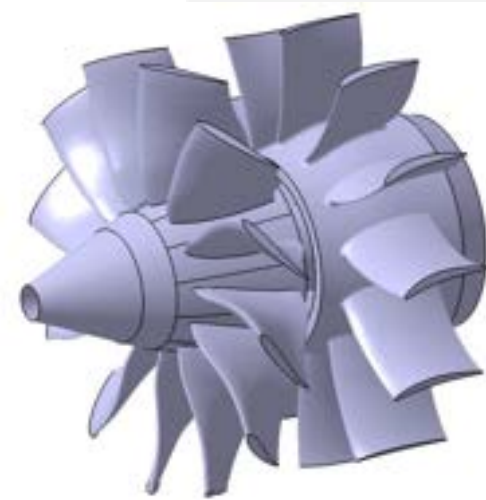
- Ligne de cambrure
- Empilement de la ligne moyenne
 - « *Bowed stator* »
- Épaisseur
 - Distribution NACA
- Jeu de bout d'aube
 - Rotor : variable
 - Stator : 0.010''

AERODYNAMIQUE

5. RÉSULTATS SIMULATIONS PRINCIPALES

Performances globales du compresseur au point de design pour la simulation en 1D et en 3D

Paramètres	Simulation 1D (ligne moyenne)	Simulation 3D (sans Bellmouth)	Simulation 3D (avec Bellmouth)
Débit massique	0.837 kg/s	0.7251 kg/s	0.6105 kg/s
Débit massique corrigé	0.845 kg/s	0.7338 kg/s	0.6247 kg/s
Vitesse de rotation	45 000 RPM	45 000 RPM	45 000 RPM
Vitesse de rotation corrigée	44 539 RPM	44 483 RPM	44 499 RPM
Coefficient de pression totale	129.65	0.4553	0.3863
Force sur l'aube du stator	-	4.895 N	3.2822 N
Poussée	-	61.8 N	44.3919 N



Modèle 3D

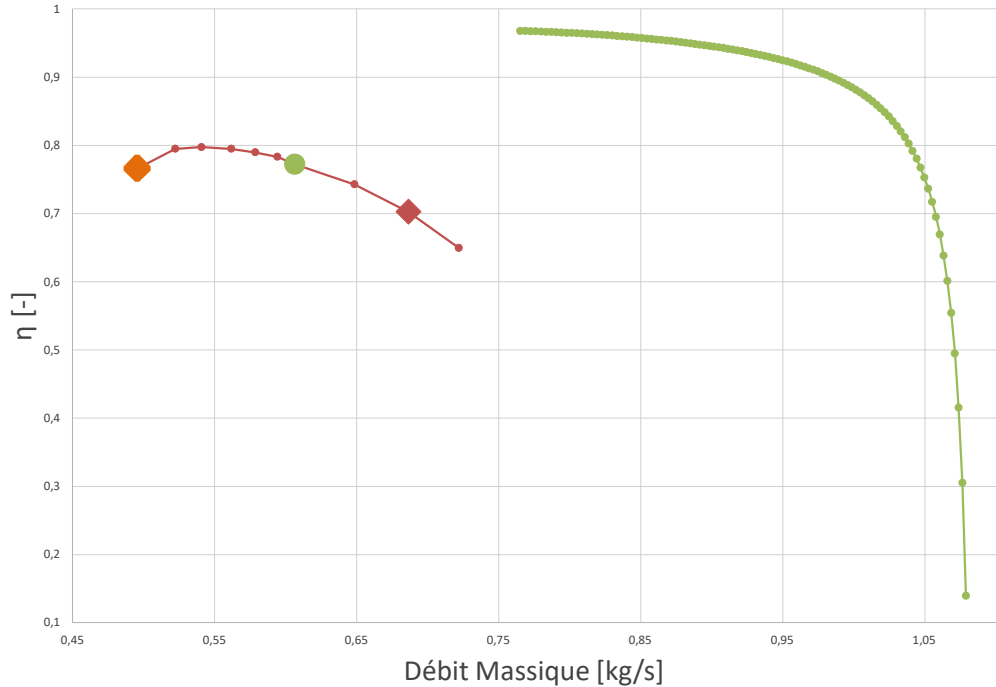
Rapport de pression totale	1.1184	1.1180	1.10015
Rendement adiabatique	95.97%	84.61%	77.51%

AERODYNAMIQUE

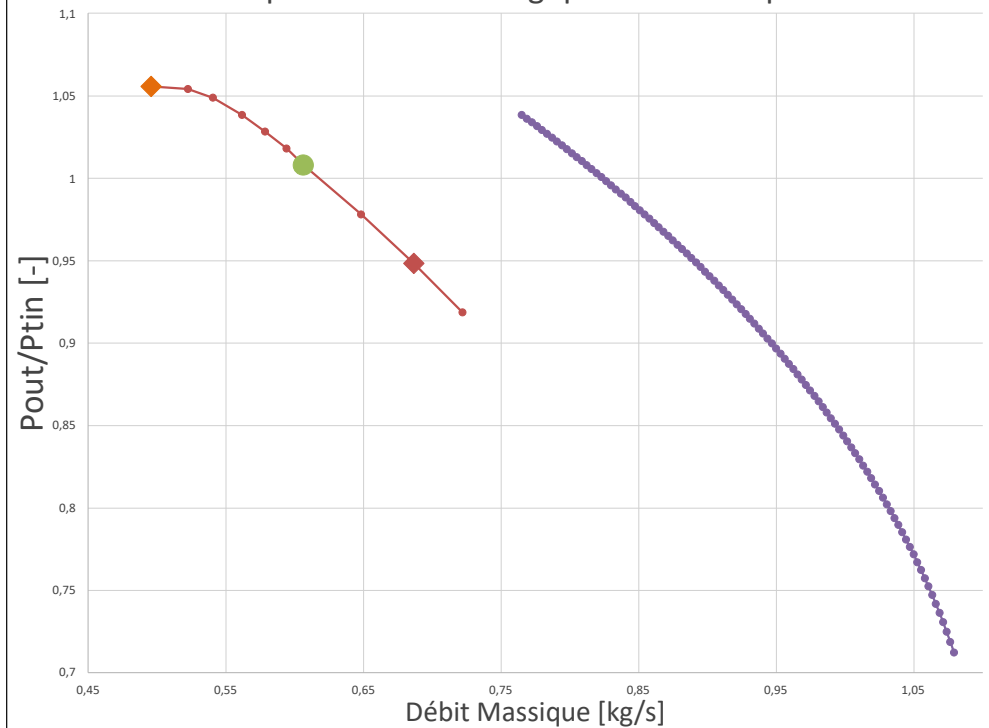
6. CARACTÉRISTIQUES DE LA SOUFLANTE

- Pression statique sortie imposée
- Approximation de la distortion

Rendement Adiabatique en fonction de la masse volumique pour l'étude analogique et numérique



Rapport de pression en fonction de la masse volumique pour l'étude analogique et numérique



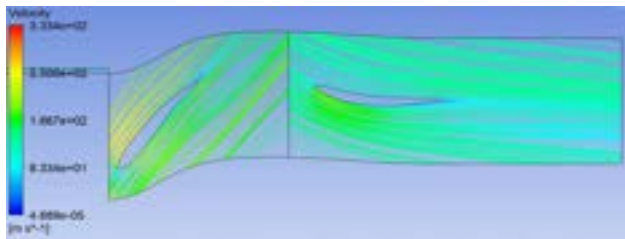
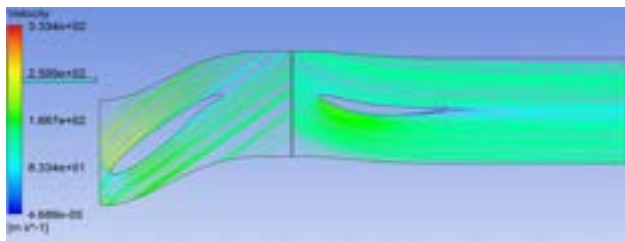
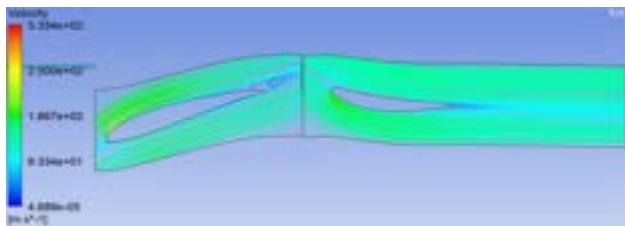
◆ Stall

● Design

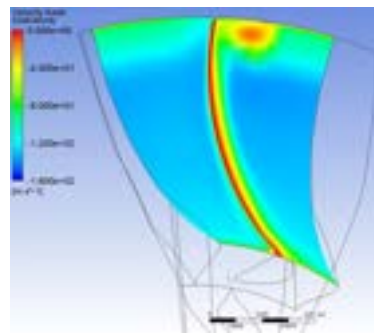
◆ Débit local max

AERODYNAMIQUE

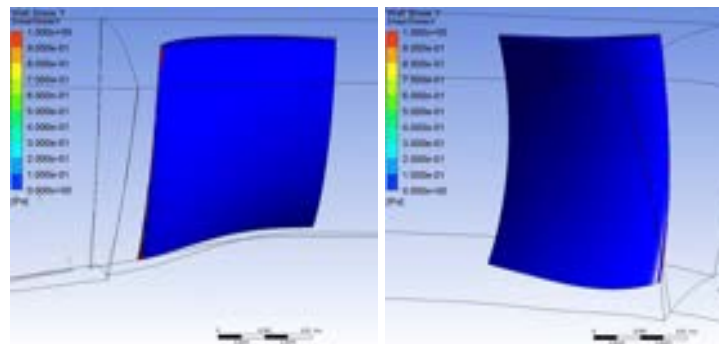
7. DÉCOLLEMENT DE COUCHE LIMITE



Lignes de courant à 20% (haut), 50% (centre) et 80% (bas)



Vitesse axiale au bord de fuite du stator



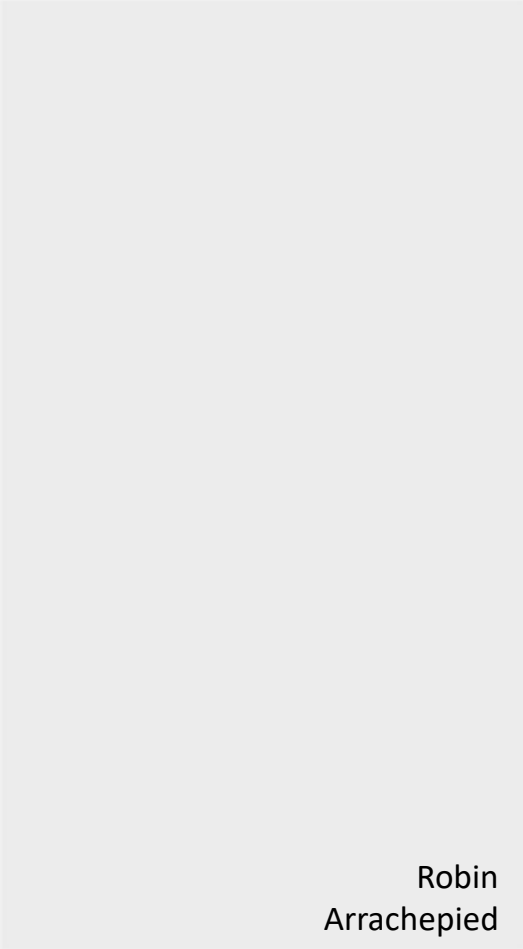
« Shear Stress » sur l'intrado (PS gauche) et l'extrado (SS droite)

- Pas de décollement de la couche limite
- Fiabilité des résultats:
 - ✓ Y+, Re, Ma, Timestep
 - ✓ RMS, débit massique, pression totale
 - ✓ Étude de convergence de maillage

STRUCTURES

1. Analyse préliminaire
2. Analyse détaillée
3. Résultats

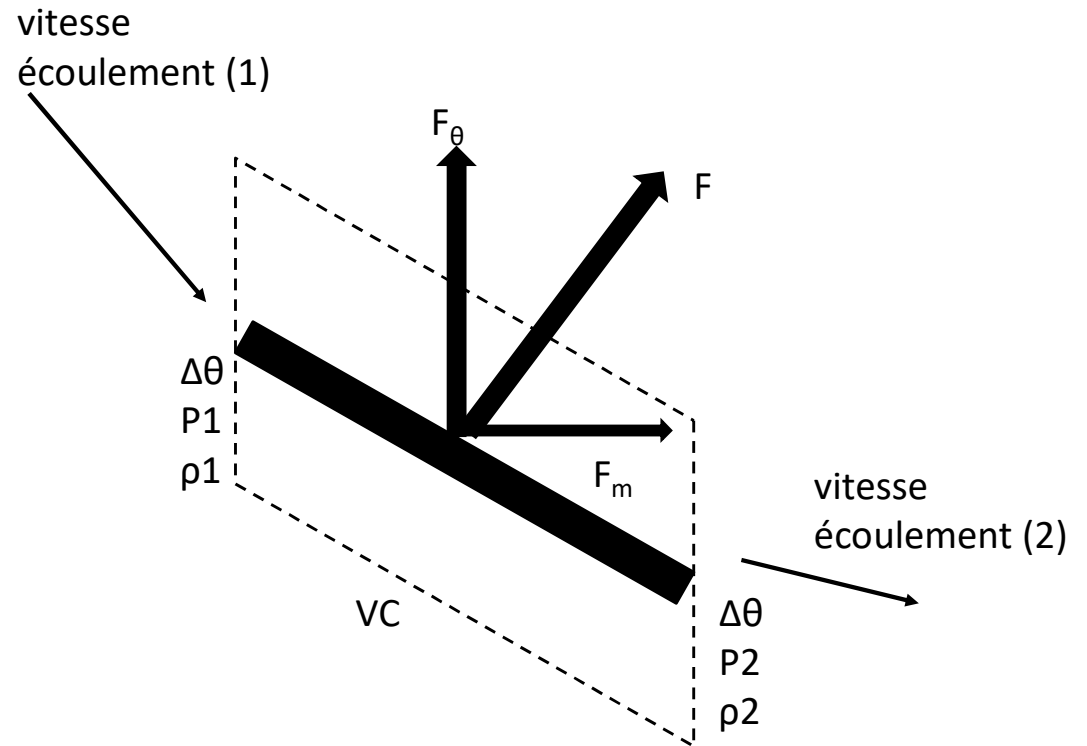
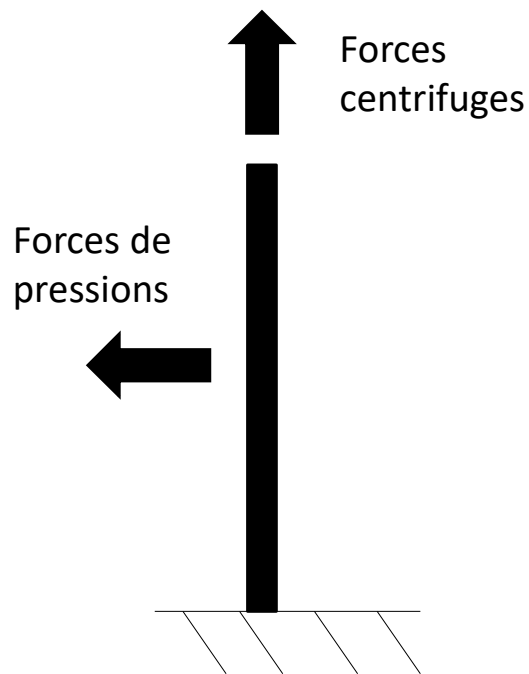
Objectif: S'assurer de la résistance des pièces et calculer leurs déformations



Robin
Arrachepied

STRUCTURES – Analyse préliminaire

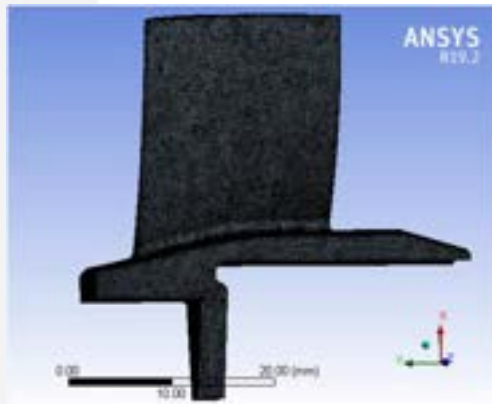
Méthode d'analyse



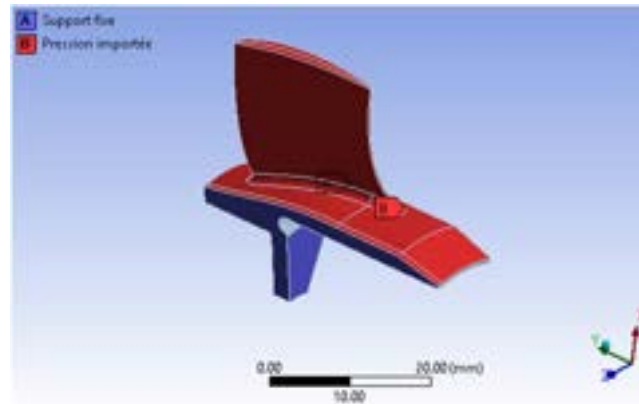
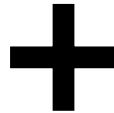
Simplification de l'aube en une poutre et résolution des formules avec un code Matlab.

STRUCTURES – Analyse détaillée

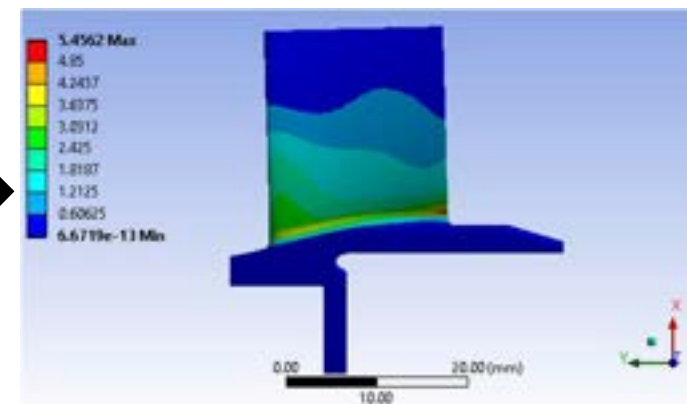
Méthode d'analyse



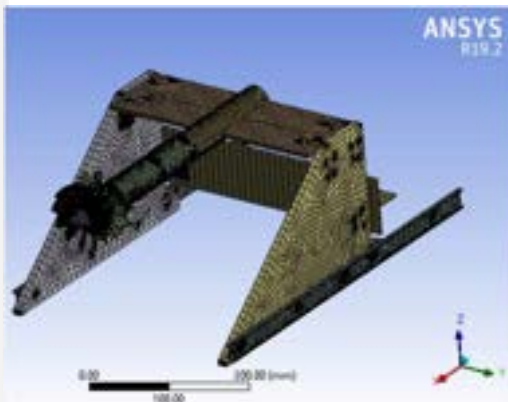
Maillage



Conditions limites et importations des résultats CFD



Contraintes et déplacements



Même principe pour toutes les pièces et tous les assemblages jugés critiques.

On maille le modèle 3D et on calcule les résultats avec le logiciel Ansys Mechanical et les propriétés des matériaux.

AER8875 – Presentation finale

STRUCTURES – Résultats

Marge de sécurité:

Jeux d'aubes prévus du rotor – à chaud:

Pièces	Marge de sécurité (%)		Emplacement	Jeu d'aube (po)
	Cas nominal	Cas en décrochage		
Rotor	92.7	93.6	Bord d'attaque	0.0211
Stator (analytique)	113.88	113.72	Bord de fuite	0.0688
Stator (numérique)	836.5	889.2		
Structure moteur	27.77	N/A		

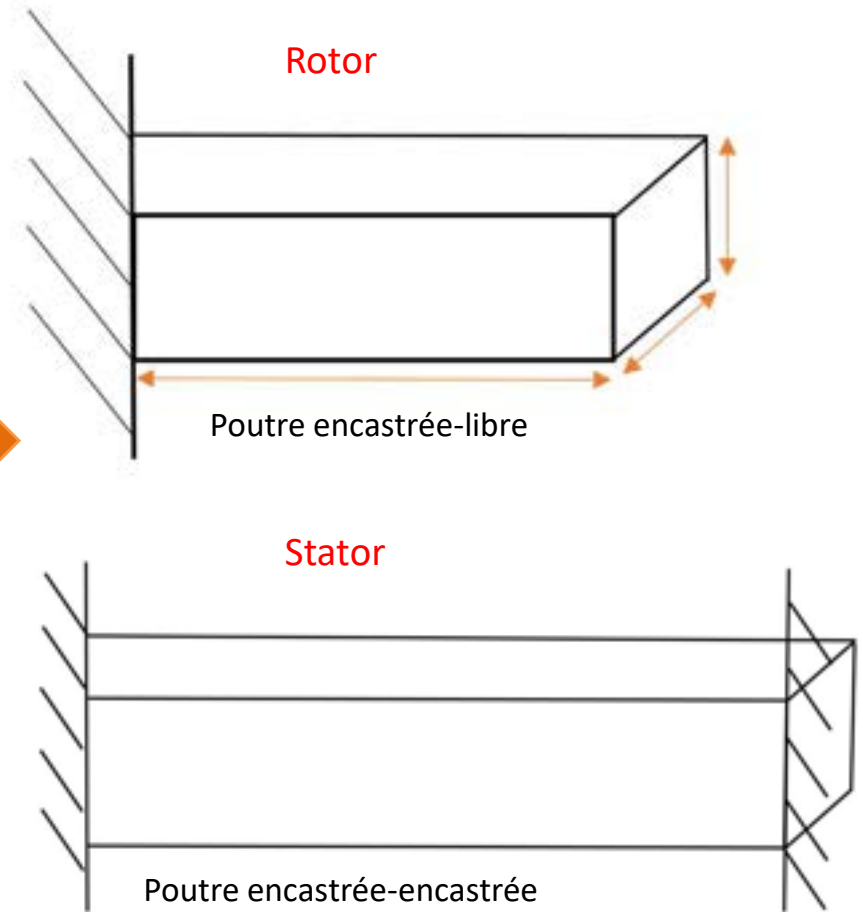
Bref, toutes les pièces devraient permettre une utilisation sécuritaire du banc d'essai.

DYNAMIQUE

- Design préliminaire
- Design détaillé
- Résultats

Yassine Akhachane

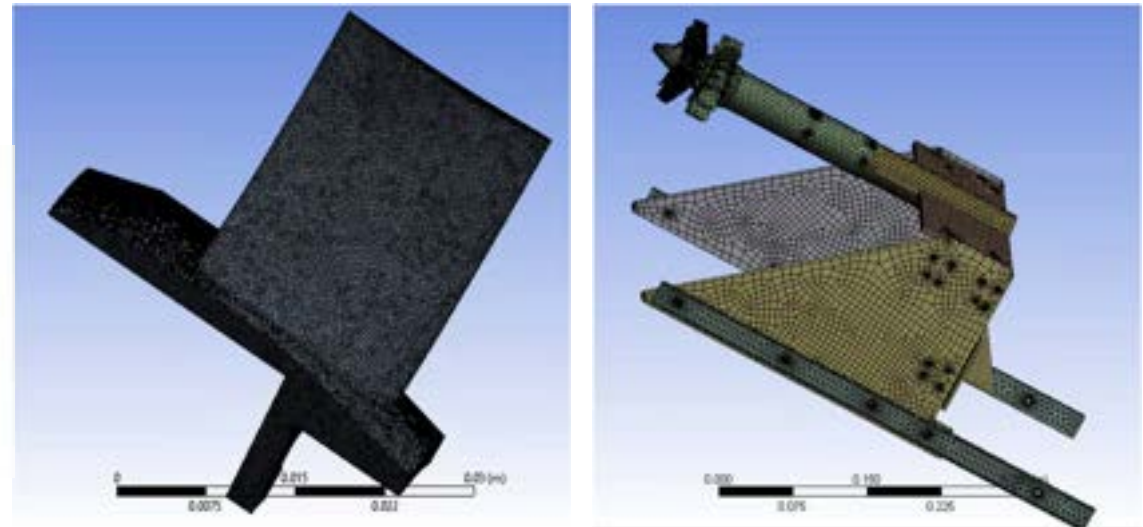
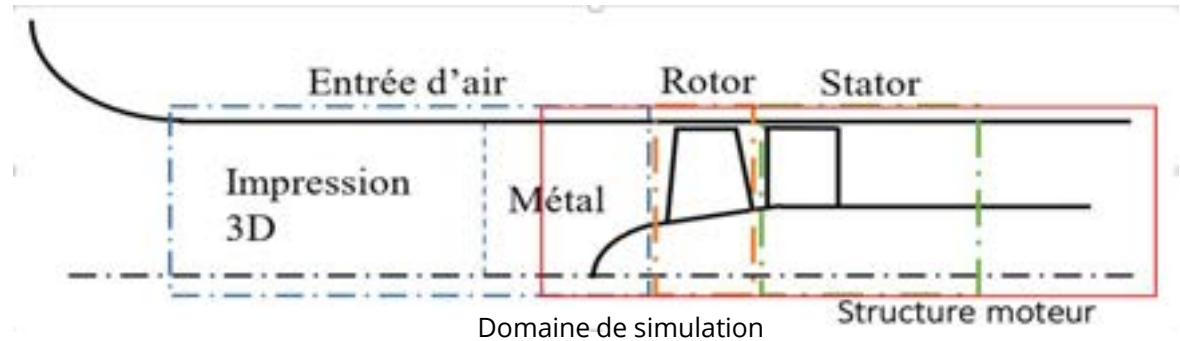
DYNAMIQUE : Design préliminaire



DYNAMIQUE : Design détaillé

Logiciel de simulation:

- Ansys Mechanical 19.2

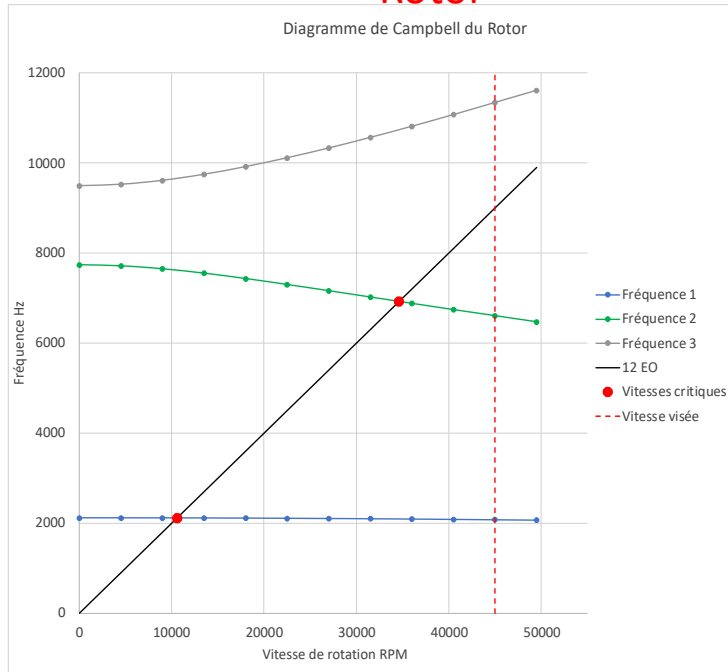


Maillage du stator et de la structure moteur

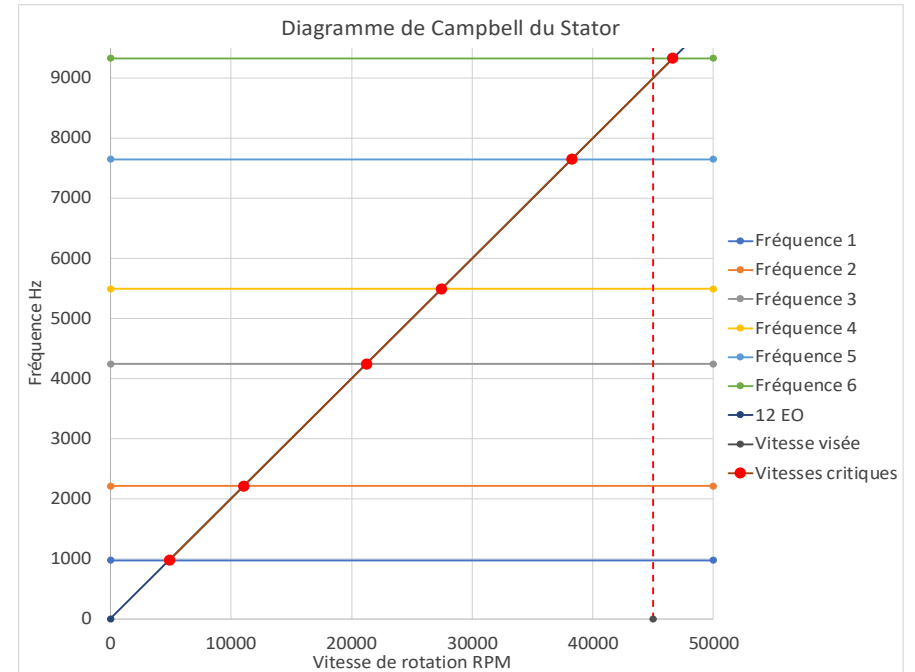
AER8875 – Presentation finale

DYNAMIQUE : Résultats

Rotor



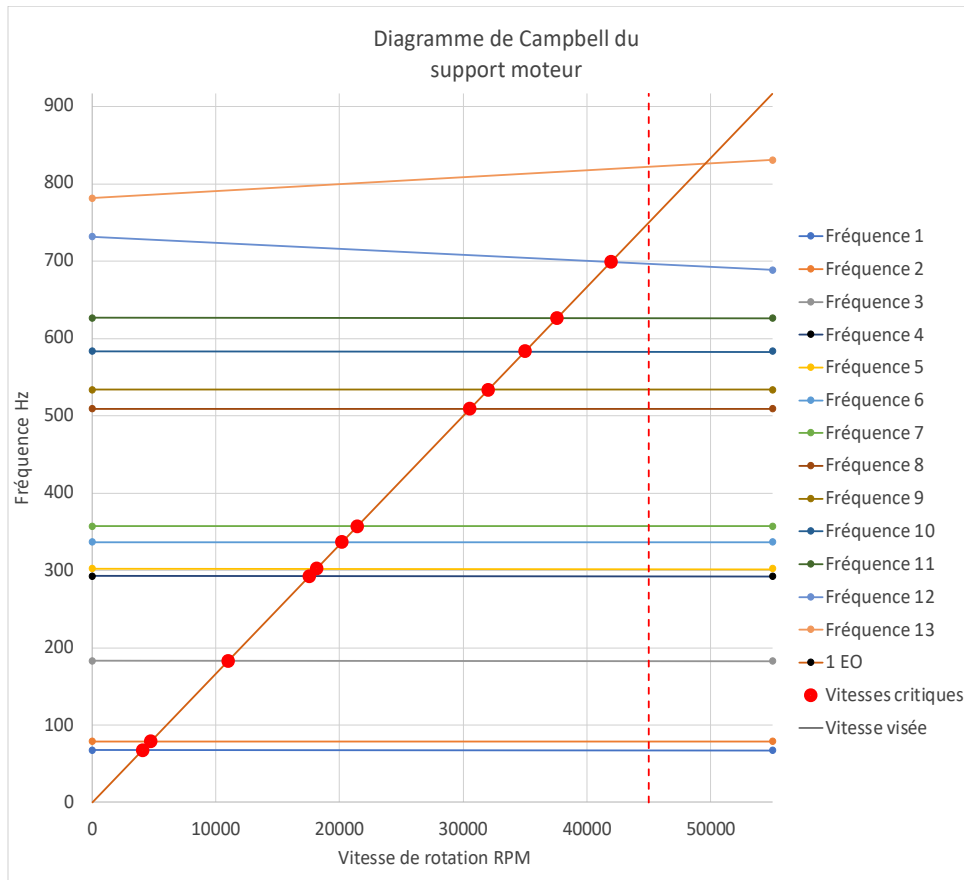
Stator



Mode	Vitesses critiques du Rotor (RPM)	Vitesses critiques du Stator (RPM)
1	10589	4865.4
2	34596	11045.5
3	-	21217.5
4	-	27455.5
5	-	38251
6	-	46634.5

DYNAMIQUE : Résultats

Structure moteur



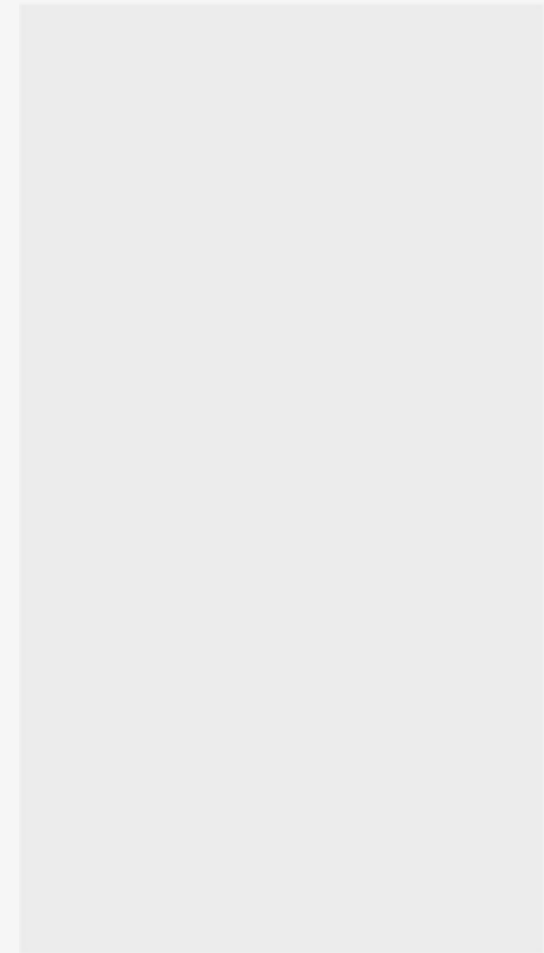
Mode	Vitesses critiques (RPM)
1	4049.6
2	4724.3
3	10993
4	17562
5	18129
6	20199
7	21423
8	30538
9	32024
10	35007
11	37579
12	41939

INSTRUMENTATION

Plan d'instrumentation

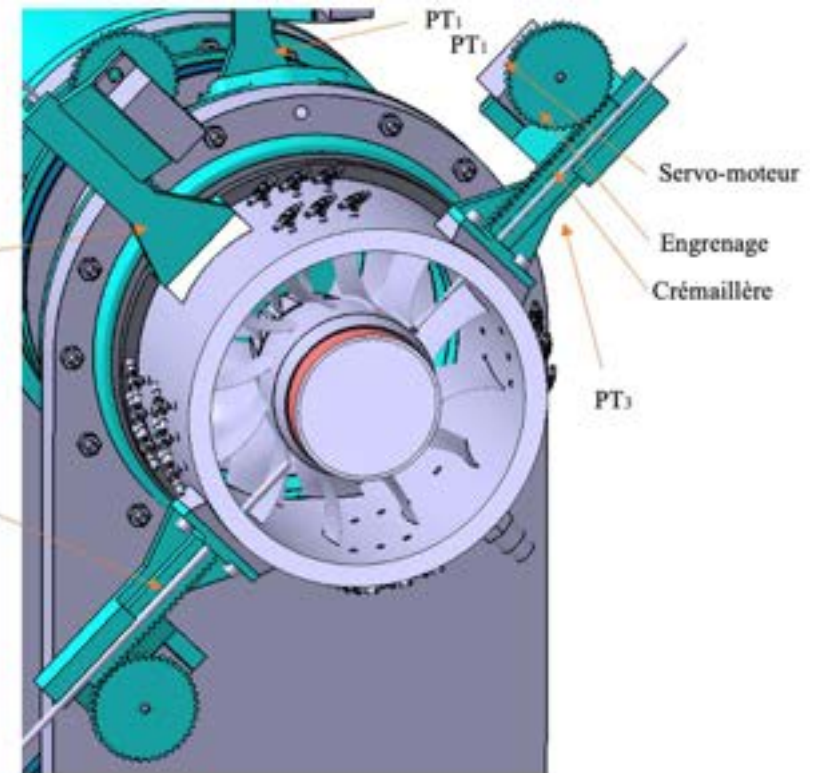
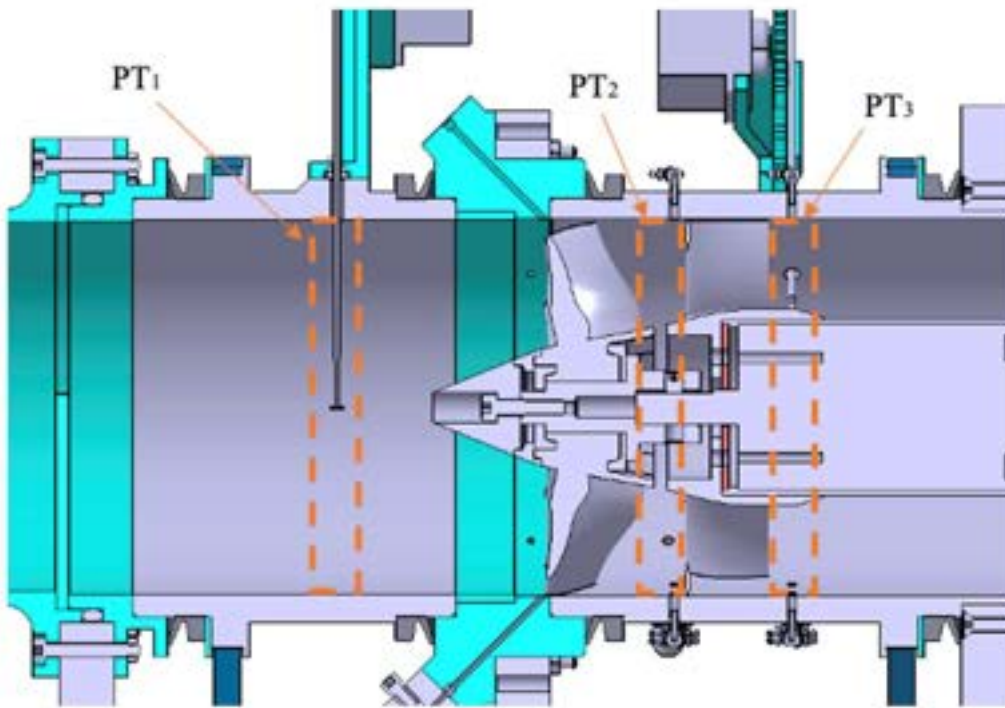
33

Antoine Drolet



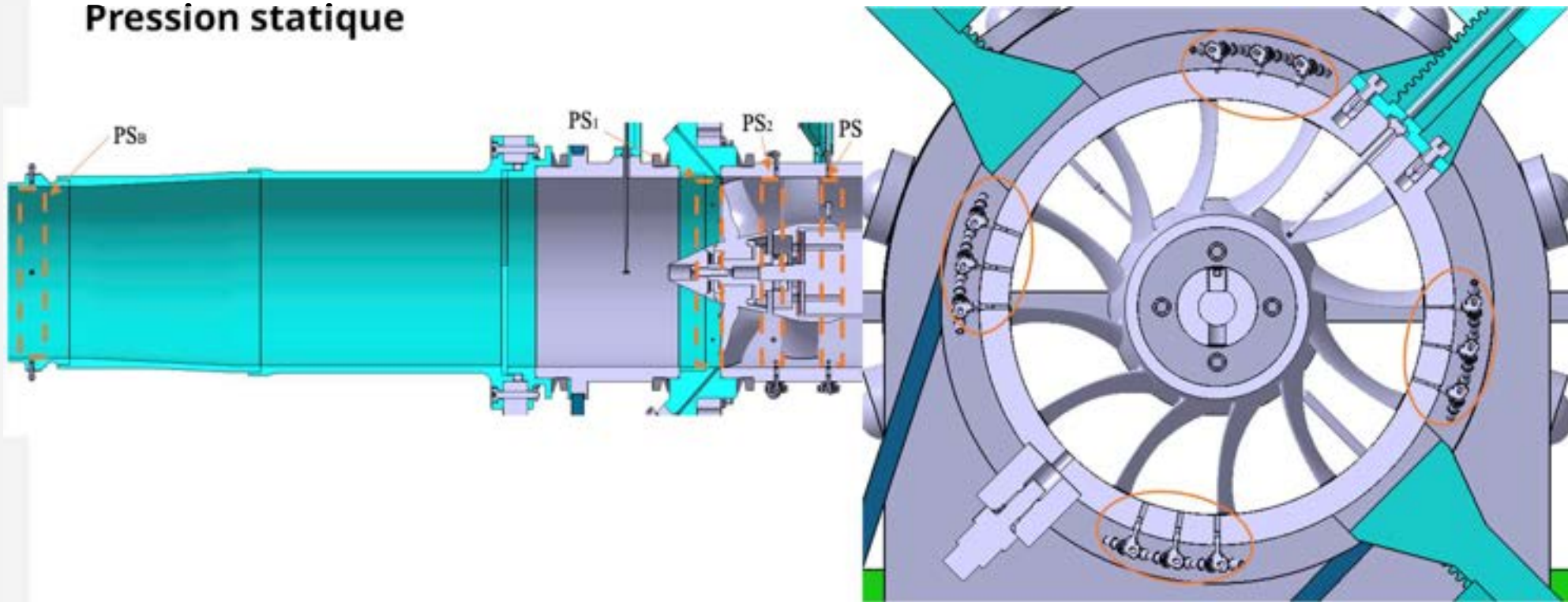
Plan d'instrumentation

Traverses et carter rotatif



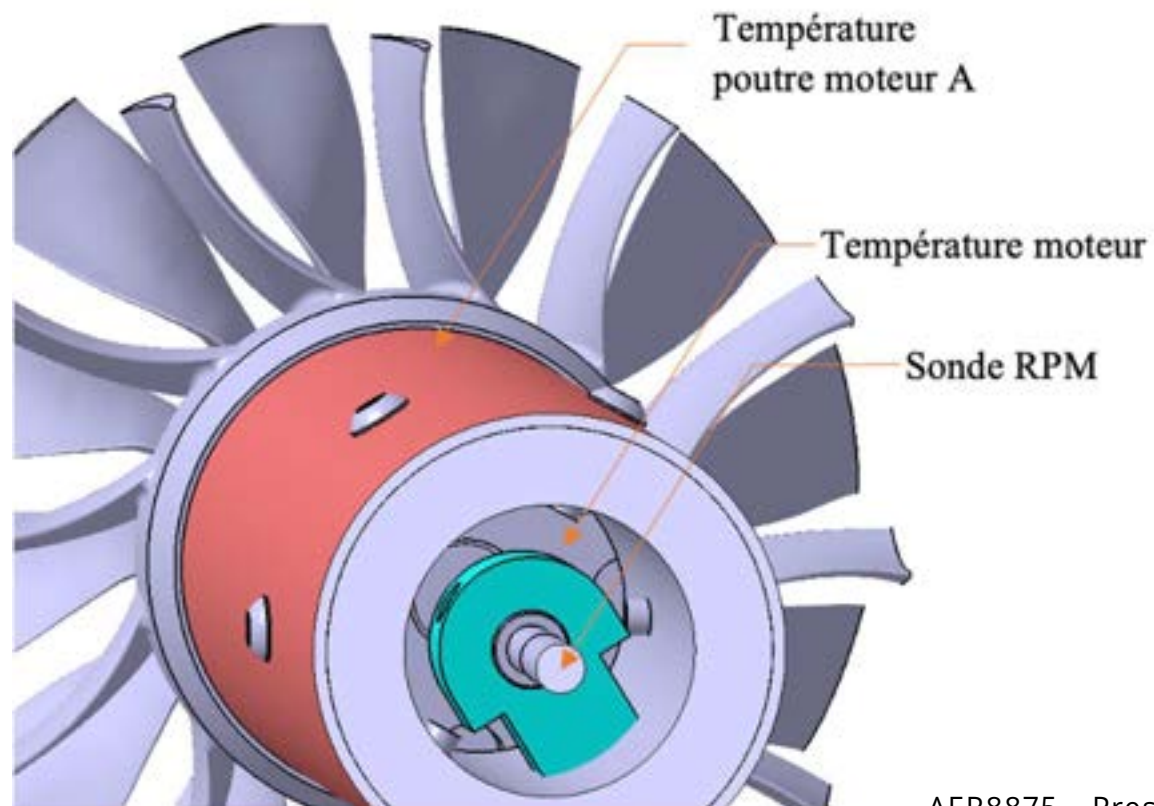
Plan d'instrumentation (suite)

Pression statique



Plan d'instrumentation (suite)

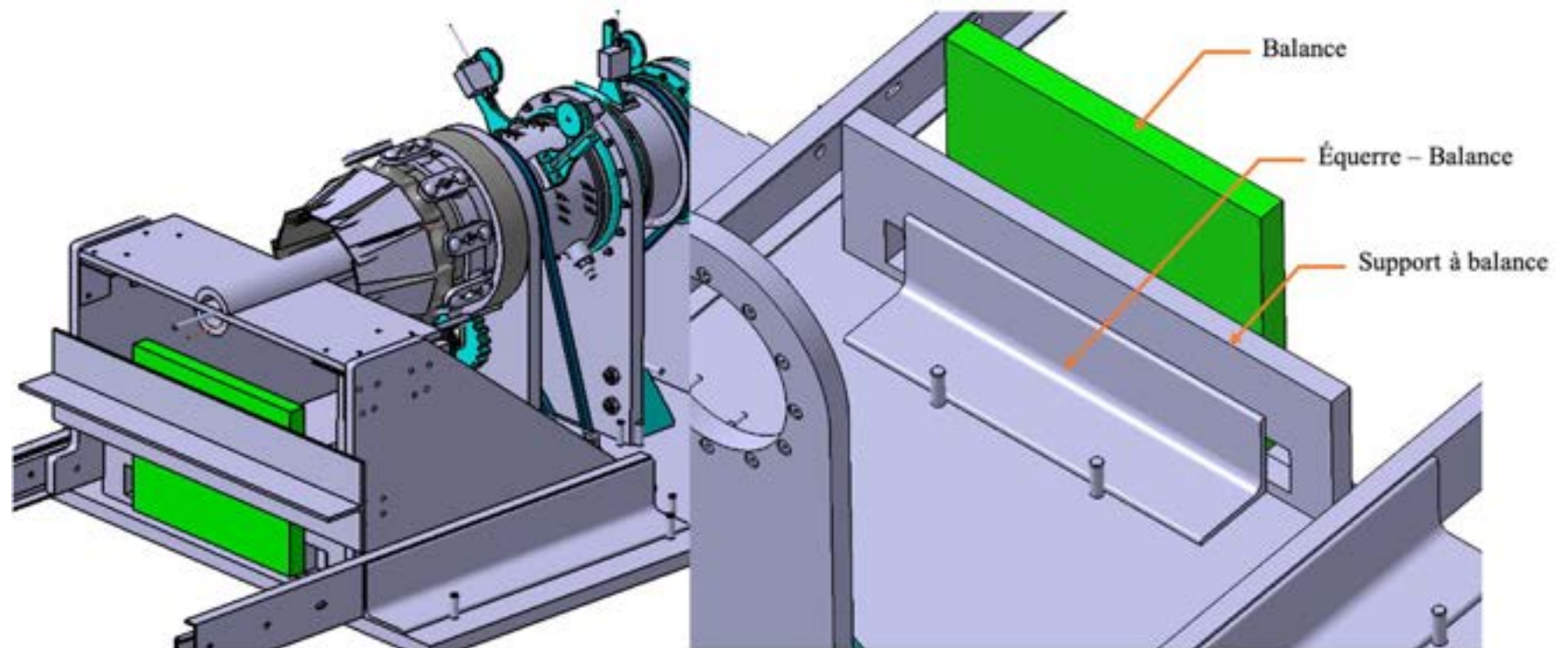
Mesure du RPM et température du moteur



AER8875 - Presentation finale

Plan d'instrumentation (suite)

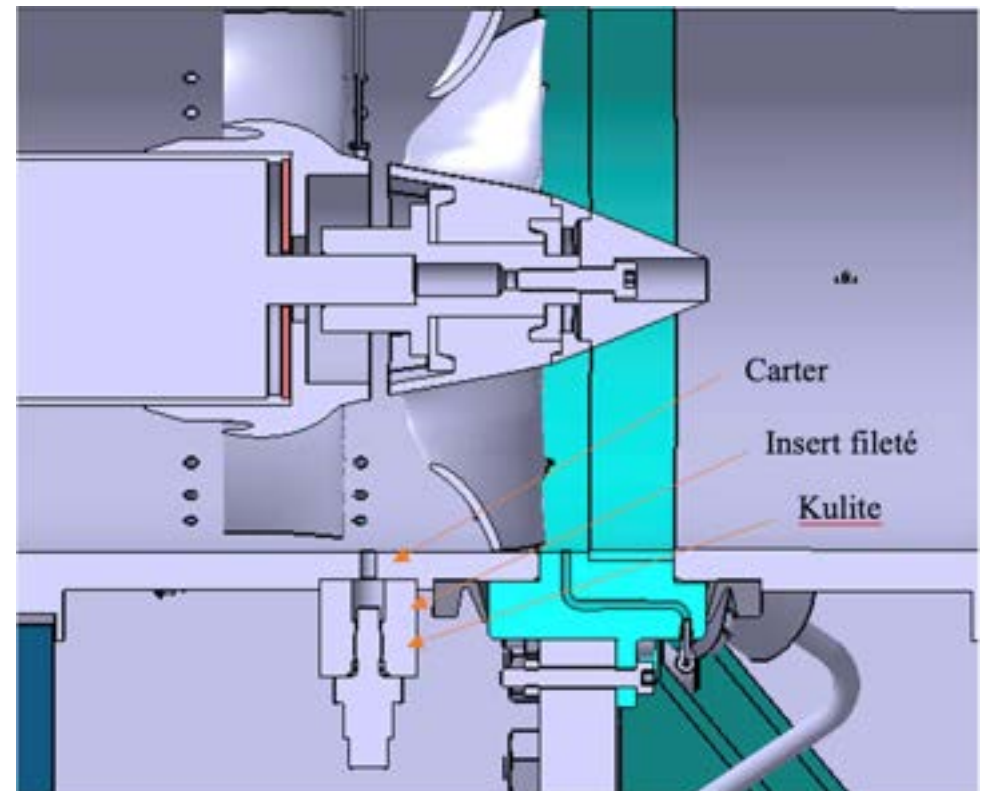
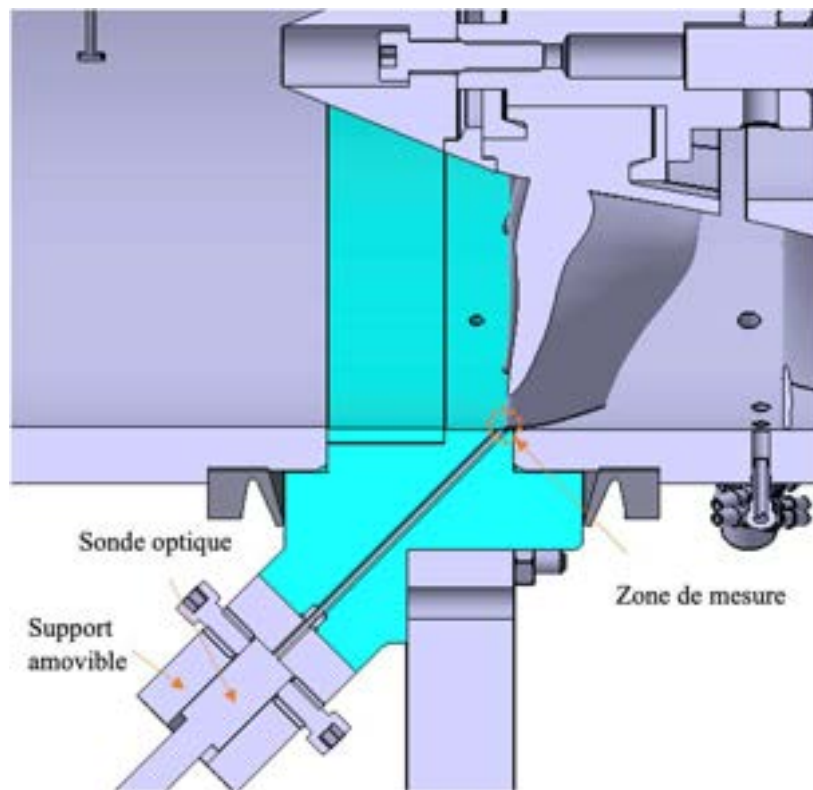
Poussée du moteur



AER8875 - Presentation finale

Plan d'instrumentation (suite)

Déflexion axiale



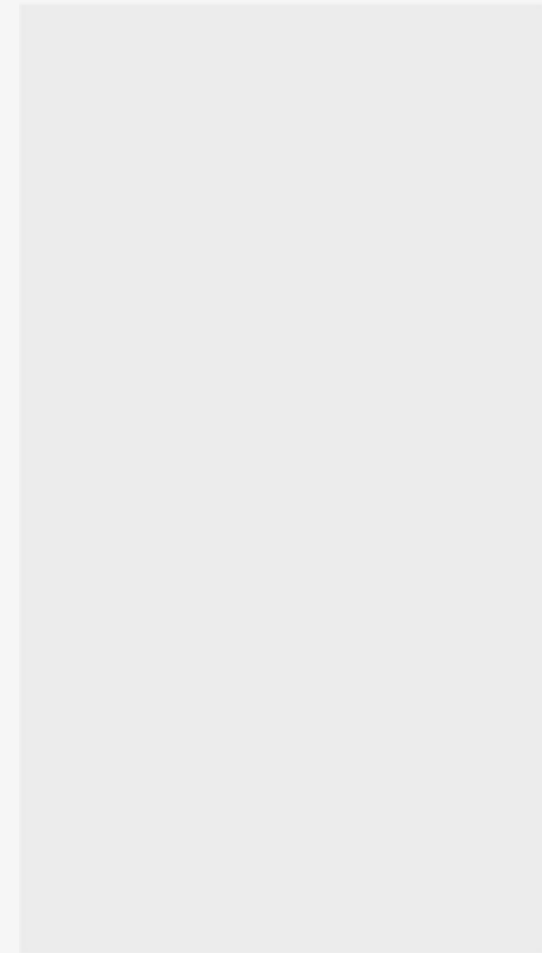
AER8875 - Présentation finale

Gestion du projet

Adam Regragui

Budget final

Statut du projet



Gestion du projet

Budget final

Fournisseurs	% des commandes	Total CAD	% du budget
Amazon	7	162	9
HobbyKing	4	180	10
Les Joints Etanches R.B. inc.	2	0	0
McMasterCarr	56	468	25
PolyFab	2	972	53
Impression 3D	29	18	2

Budget total:
CAD 1800

Gestion du projet

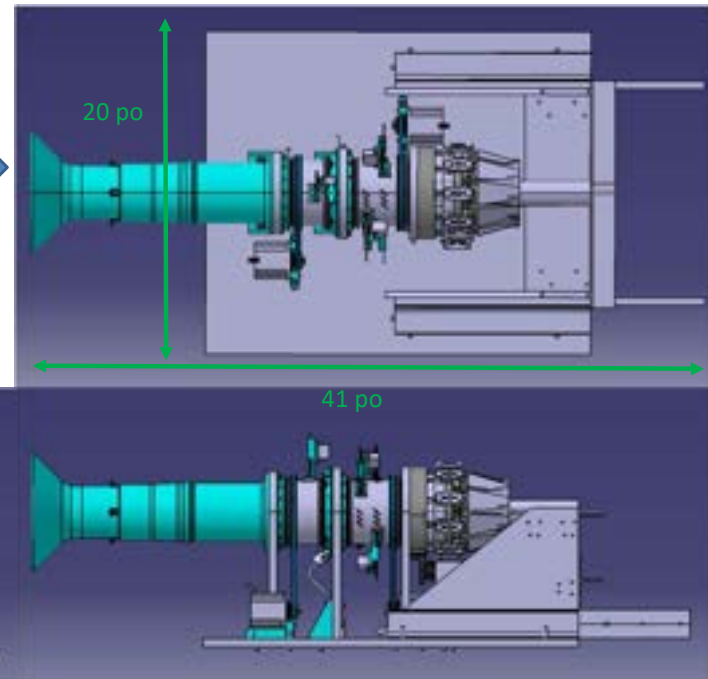
Statut du projet

Photo



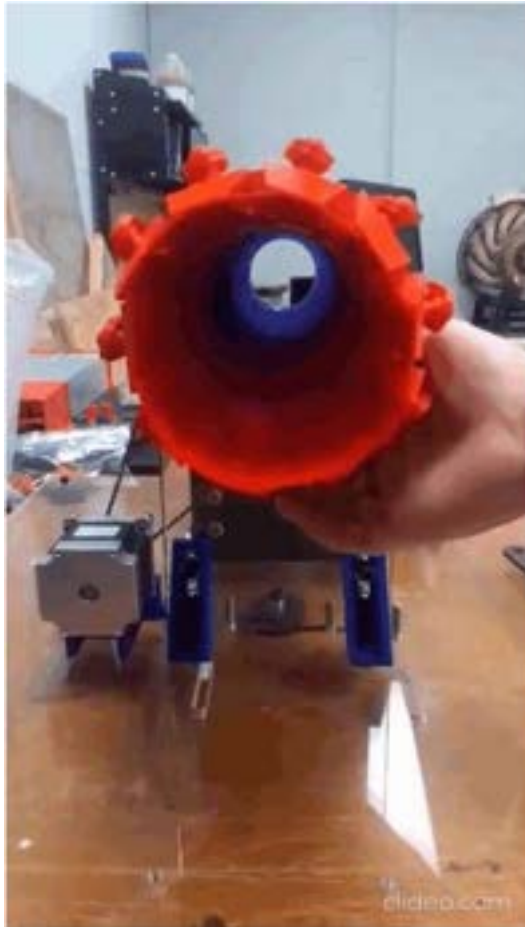
Modèle 3D

Air →



Gestion du projet

Statut du projet (suite)



AER8875 - Presentation finale

Gestion du projet

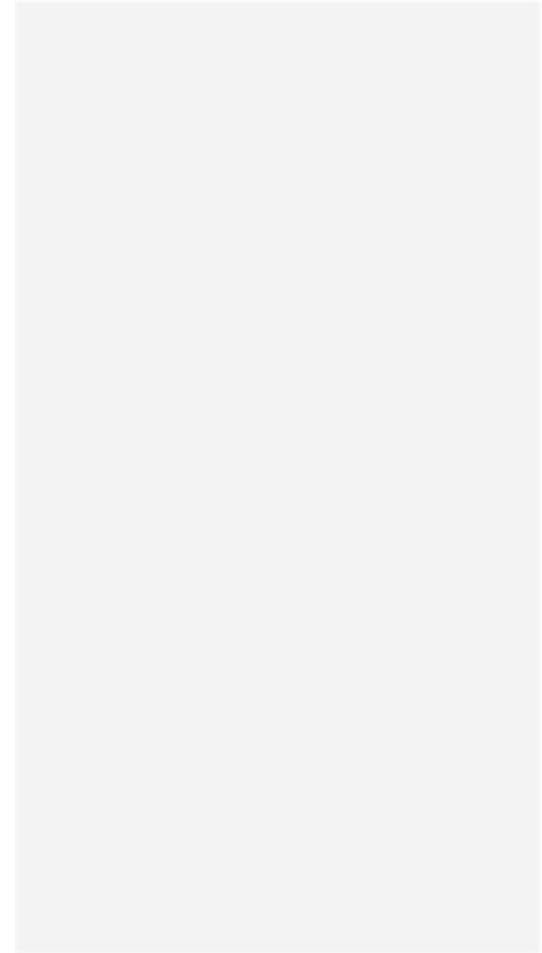
Statut du projet (suite)

Prochaines étapes pour l'assemblage (*date limite, 29 avril*):

- Souder la plaque de métal au tube de métal ;
- Assembler la plaque et le tube sur le banc d'essai ;
- Attacher les aubes de la valve pour éviter le mouvement lorsqu'elle est en marche ;
- Calibrer les servo-moteurs des *kiels*
- Continuer les essais (*a partir du 21 avril*)



MERCI

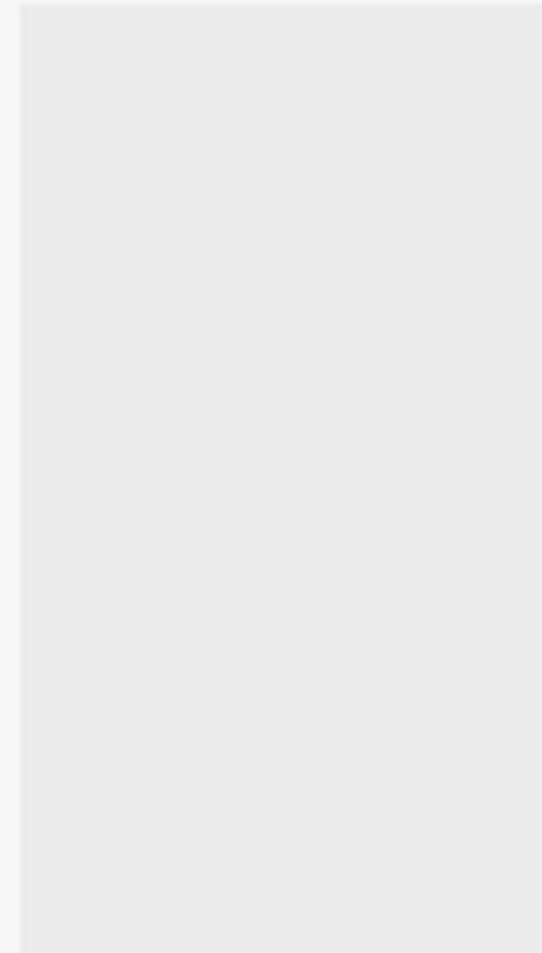


ANNEXES

Aérodynamique

Structures

Instrumentation



ANNEXE - AERODYNAMIQUE

Distorsion

- Simulation en distorsion
 - 360 degrés → Lourde
 - Mise en place
- Approximation
 - 33% → Limite décollement
 - 66% → Débit compensé

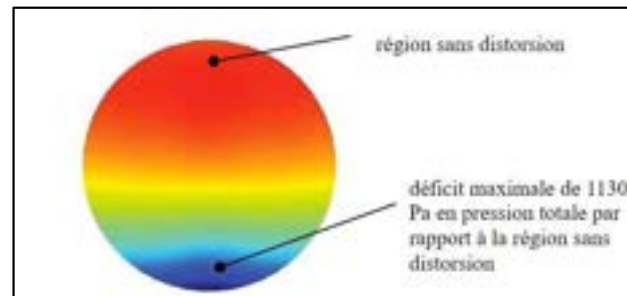
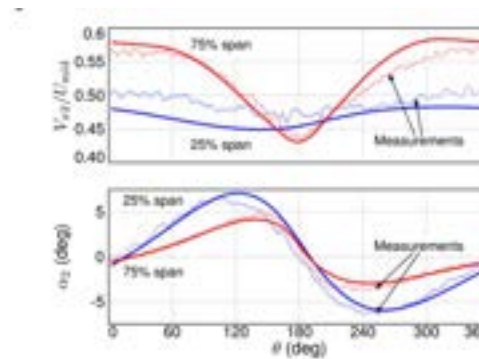
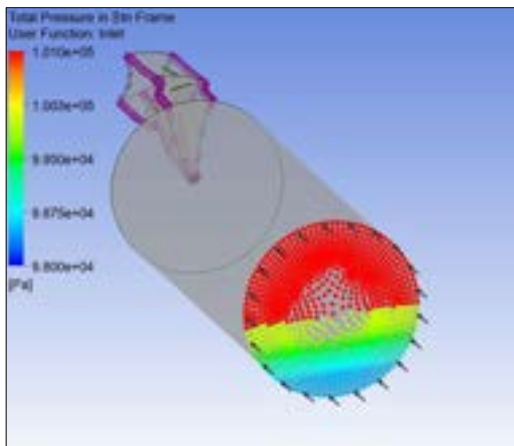
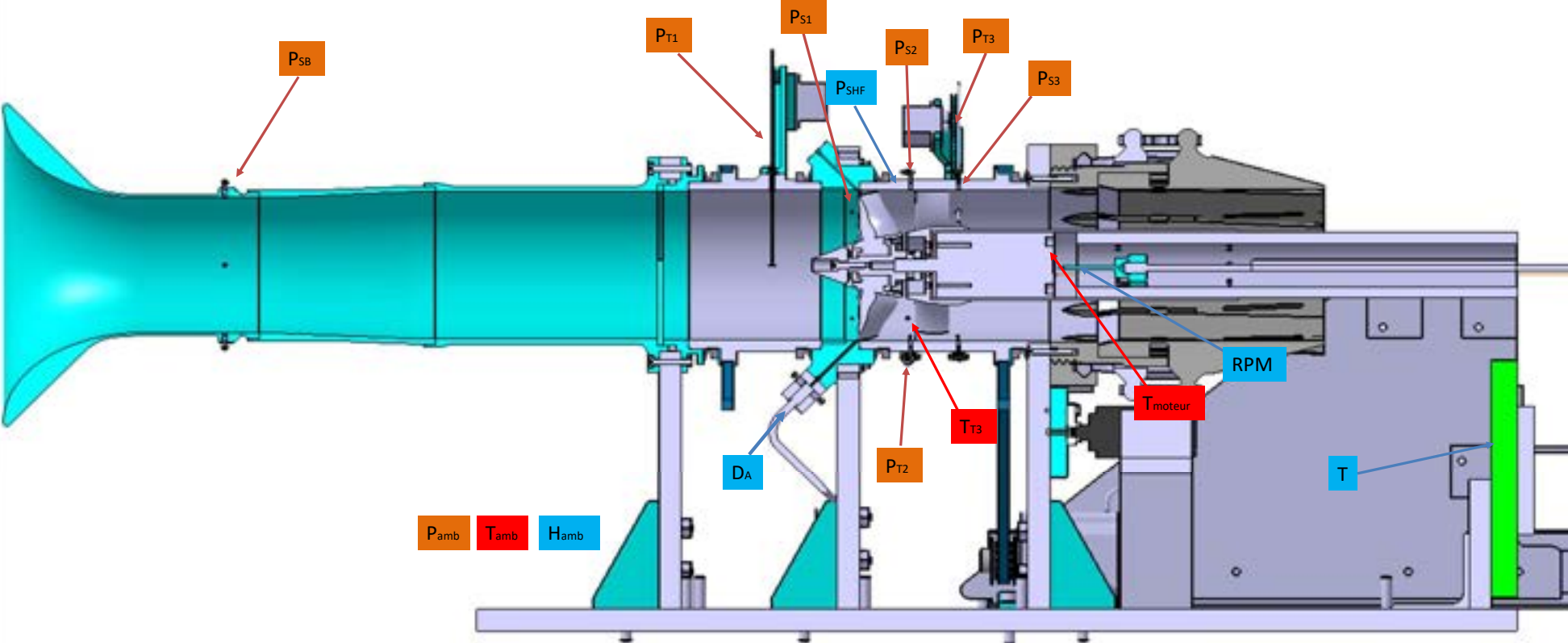


Figure XX: Représentation de la distorsion en pression (graphique tiré de *Analysis of Fan Stage conceptual Design Attributes*, K. Hall)

Plan d'instrumentation



AER8875 - Presentation finale

Incertitude des données

Paramètres	Simulation 3D	Erreur absolue	Erreur relative
Débit massique	0.6105 kg/s	0.0142 kg/s	2.3%
Débit massique corrigé	0.6247 kg/s	0.0206 kg/s	3.3%
Vitesse de rotation	45 000 RPM	2250 RPM	5.0%
Vitesse de rotation corrigée	44 499 RPM	2450 RPM	5.5%
Coefficient de pression totale	0.3863	0.0430	11%
Poussée (Sim. 3D)	44.39 N	0.0981 N	0.022%
Rapport de pression totale	1.10015	0.00153	0.14%
Rendement adiabatique	77.51%	4.39%	5.66%