

# Cas d'étude - présentation finale

Groupe D - Tristan SCUILLER, Dominka RUPCIC, Firas  
SAYARI

# Sommaire

- Phase 1 - Analyse du problème et définition du point de design (DR)
- Phase 2 - Prédimensionnement (DR)
- Phase 3 - CAO (TS)
- Phase 4 - CFD (TS)
- Phase 5 - Prototypage (FS)
- Phase 6 - Essais (TS)
- Phase 7 - Industrialisation (FS)

# Phase 1 - Analyse du problème et définition du point de design

# Démarche

- donner les objectifs du système
- préciser l'environnement
- choisir une architecture
- établir le cahier des charges

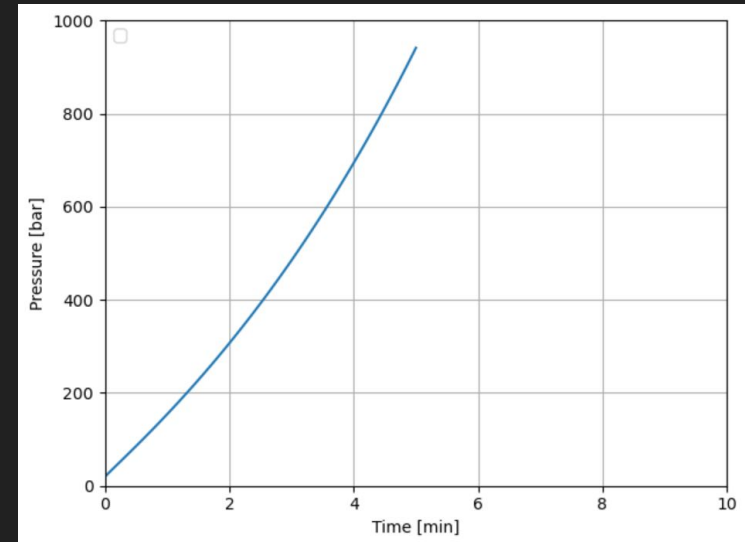
# Objectifs

**Maximiser le rendement**

**Minimiser le pompage**

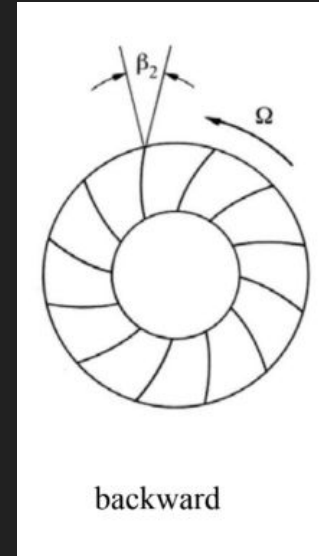
# Environnement

- Compresseur pour une pompe à hydrogène à destination de l'industrie automobile
- Pressions  $\sim 1000$  bar dans le réservoir



# Architecture

- Turbopompe centrifuge
  - meilleur pour créer de la charge que la turbo pompe axiale
- Aubages en opposition pour créer de la pression



# Cahier des charges

Nous sommes le groupe D

	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E	Groupe F	Group G	Group H
$c_1$ [m/s]	40	40	40	40	40	40	40	40
$\eta_{\text{nozzle}}$	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
$r_{1h}$ [m]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Pressure ratio - $\beta$	1.075	1.1	1.075	1.1	1.075	1.1	1.075	1.1
$\lambda$ (air exce.)	2.8	2.8	2.6	2.6	2.4	2.4	2.2	2.2
pF	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
$c_{m2}/c_{m1}$	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
Z	9	9	8	8	7	7	6	6
$t_2$ [mm]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\eta_v$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$u_2$ [m/s]	-	-	-	-	-	-	-	-
$b_2/D_2$	-	-	-	-	-	-	-	-
$\eta_c$	-	-	-	-	-	-	-	-



## Phase 2 - prédimensionnement

# Démarche

- Modélisation physique
- Choix du point de design
- Analyse paramétrique
- Conclusion

# Modèle physique

A implémenter dans le script Python : équation pour trouver beta 2 blade

$$\Delta h = p F \sigma u_2 c_{u2}$$

$$\sigma(\beta_{2b}) = f_1 \left( 1 - \frac{\sqrt{\beta_{2b}}}{Z_{eff}^{0.7}} \right) k_w$$

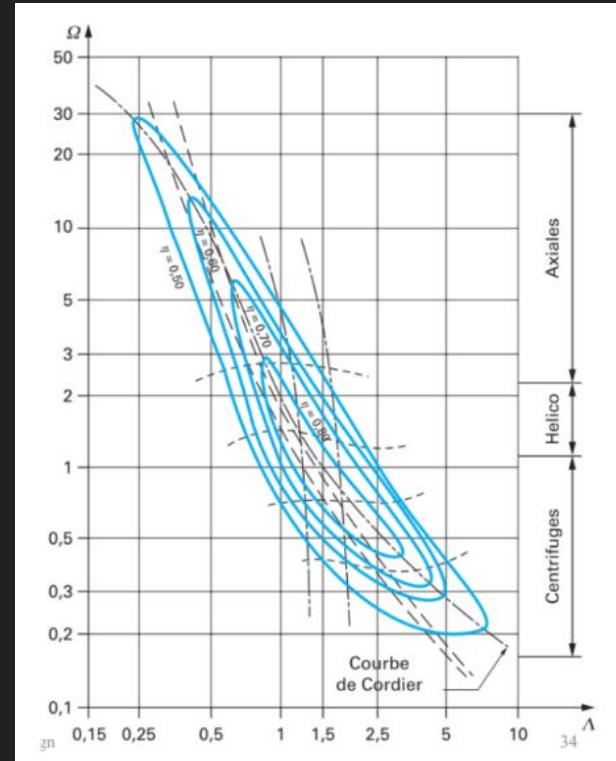
=>

$$f(\beta_{2b}) = 0$$

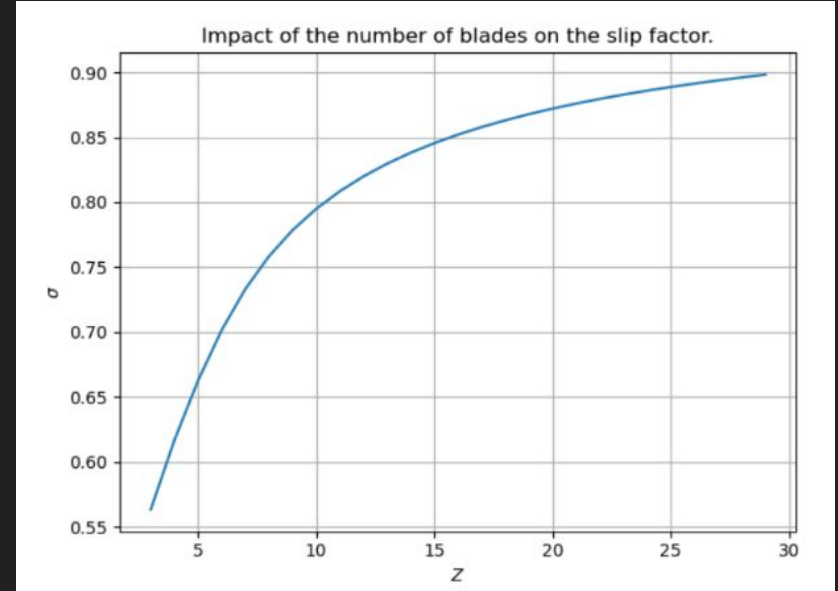
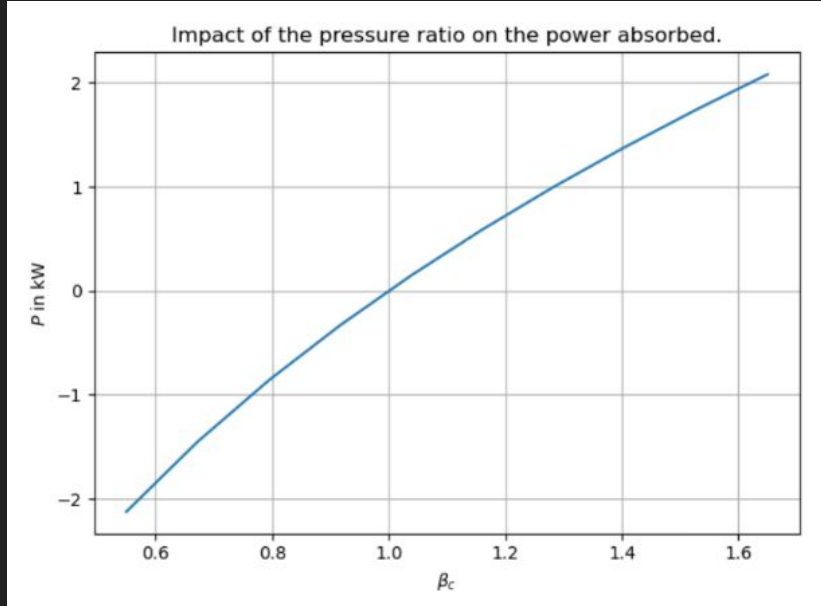
$$c_{u2}(\beta_{2b}) = u_2 - \frac{c_{m2}}{\tan(\beta_{2b})}$$

# Choix du point de design

## Diagramme empirique de Cordier



# Analyse paramétrique



# Conclusion

$\beta_{1h}$	23.7°
$\beta_{1t}$	60.7°
b1	12.2 mm
r1h	10.1 mm
r1t	16 mm
$\beta_{2b}$	70°
b2	6.4 mm
D2	53.4 mm
N	4400 rad/s
u2	117 m/s
$\eta_{is}$	85%

A detailed 3D CAD rendering of a mechanical pump assembly. The assembly consists of a circular, flange-like base with four mounting holes. A central impeller with six curved blades is mounted on a shaft within the base. A long, cylindrical outlet pipe extends from the side of the base. The entire model is shown in a dark, metallic finish with realistic lighting and shadows.

Phase 3 - CAO

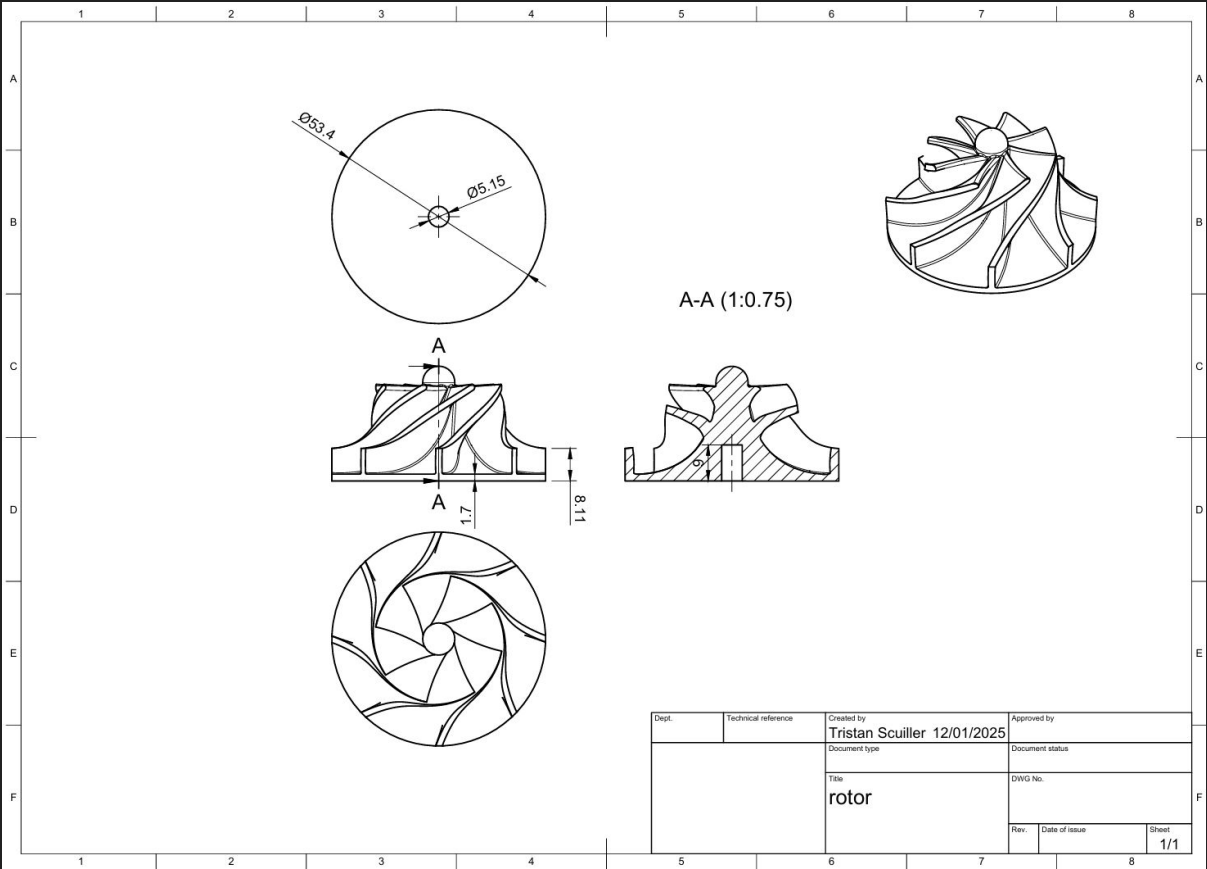
# Rotor

Définition d'une courbe de Béziérs sur Python avec les paramètres trouvés lors du prédimensionnement puis importation dans CATIA via une macro excel





# Rotor

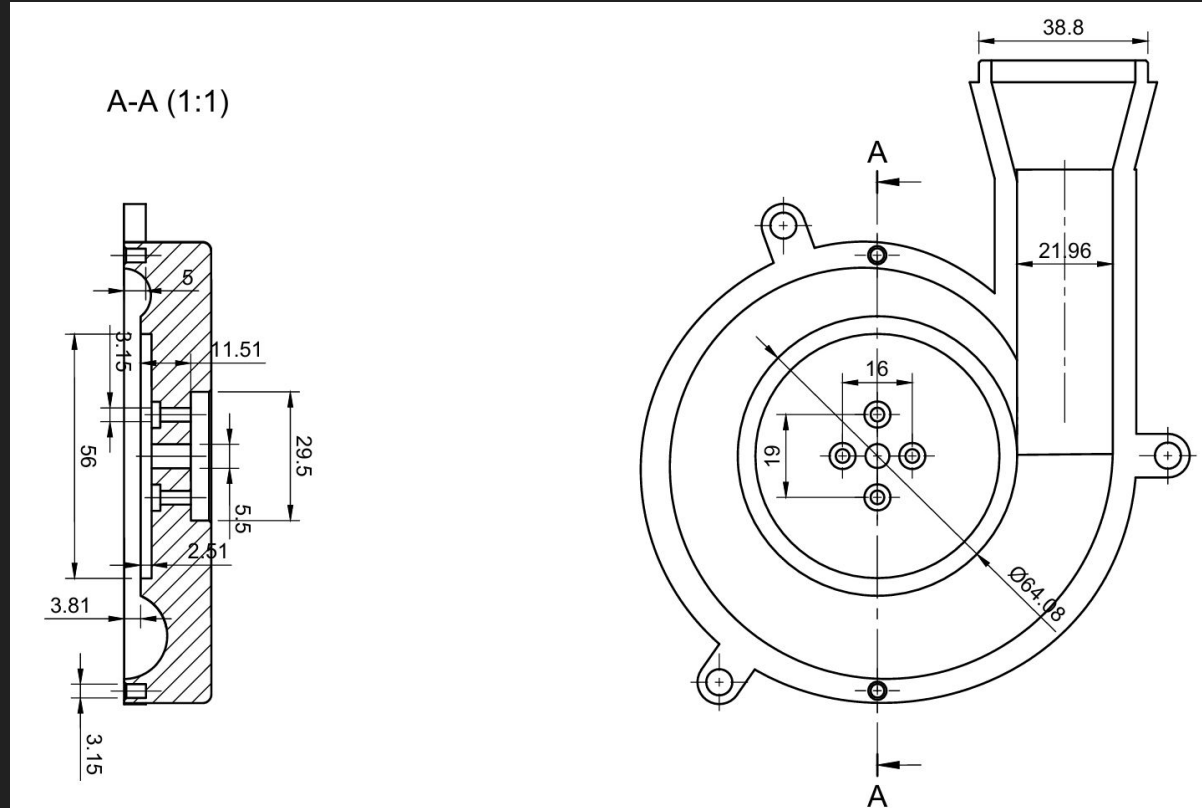


# Volute bas

## Problématiques

- maintenir une épaisseur suffisante de plastique à l'interface avec le moteur pour retarder le passage de la température de transition vitreuse
- +0.15 pour les cotes serrées, +0.5 pour les cotes lâches
- adaptation au diamètre du tuyau pour l'expérience

# Volute bas

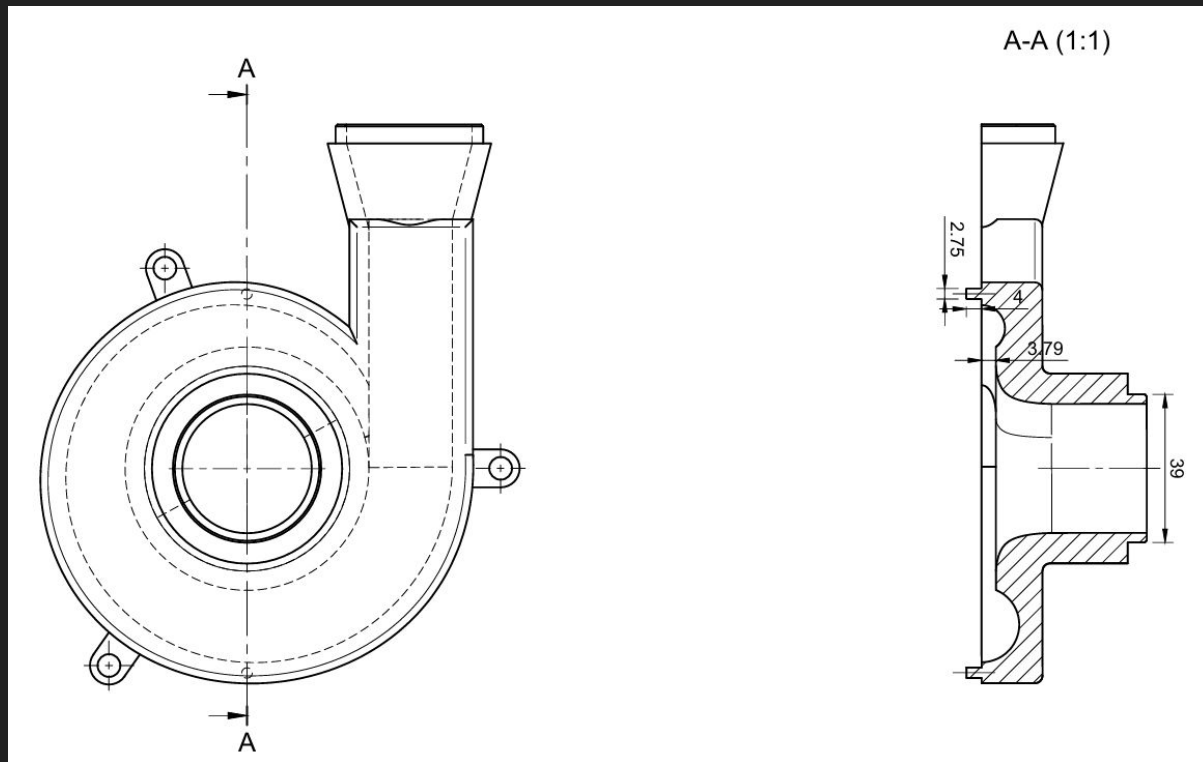


# Volute haut (shroud)

Problématique :

- Maintenir un jeu suffisant avec le rotor pour éviter les frottements
- adaptation au diamètre du tuyau pour l'expérience

# Volute haut (shroud)

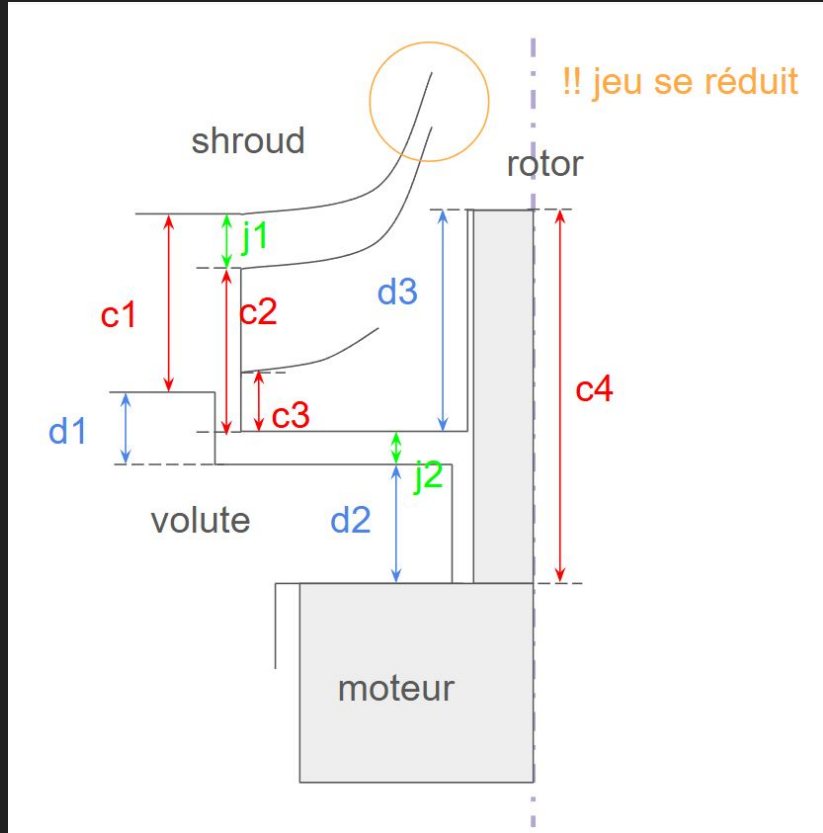


# Choix des dimensions

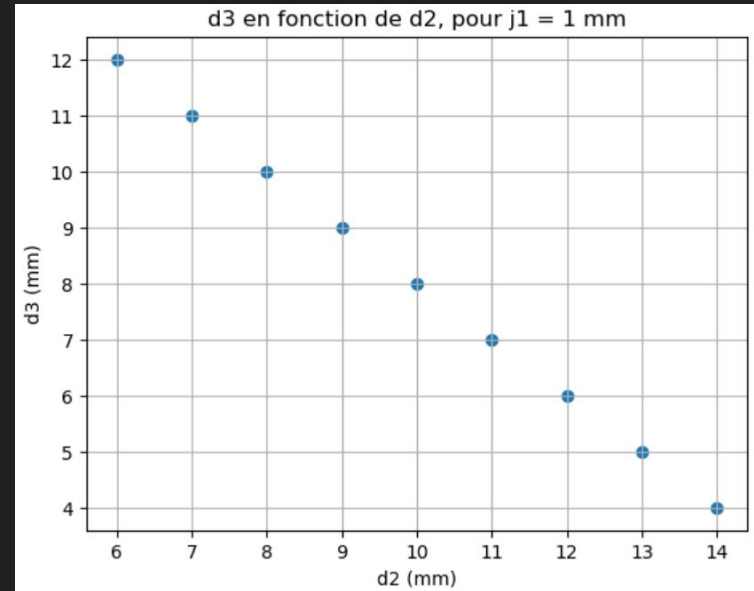
3 points conditionnant les dimensions :

- Chaîne de cote 1D moteur-rotor-volute-shroud
- diamètre extérieur du rotor
- jeux radiaux

# Chaîne de cote 1D



$$\begin{aligned}c4 &= d2 + j2 + d3 \\d1 + c1 &= j2 + c2 + j1 \\j2 + c3 &> d1\end{aligned}$$



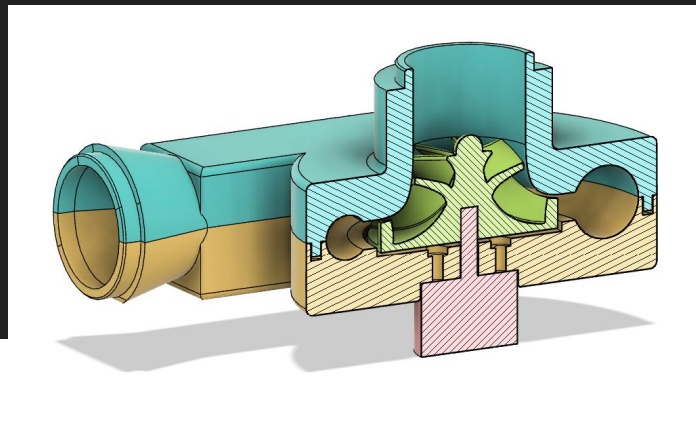
# Jeux

Jeux radiaux :

- +0.15 alésage rotor
- +0.5 pour le diamètre de l'alésage de la volute
- +1mm entre le rotor et la volute



A-A (1:1)



# Phase 4 - CFD

# Démarche

- Extraction du volume fluide et découpage en une partie tournante et une partie statique
- Modèle physique et conditions limites sur StarCCM+
- Analyse du maillage
- Tracé des caractéristiques “réelles” pression-débit et rendement-débit
- Conclusion

# Extraction du VF et découpage



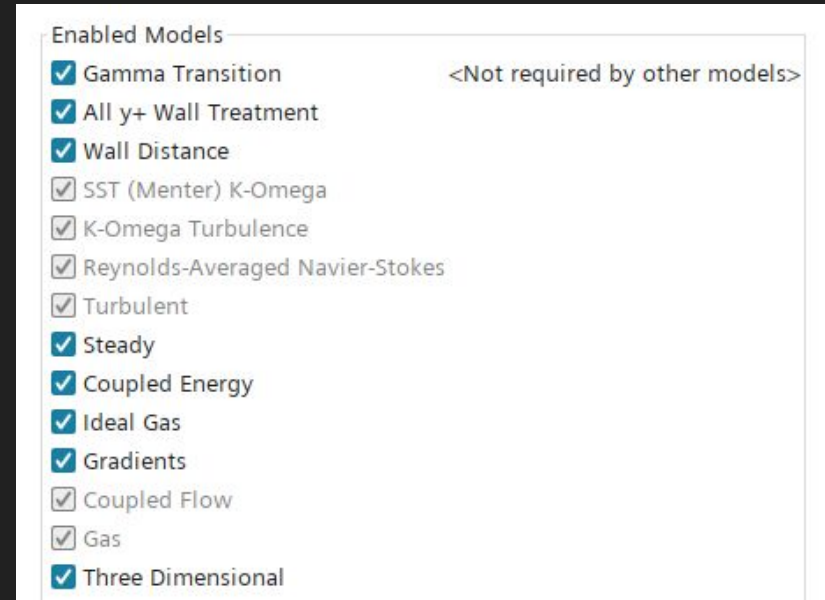
# Modèle physique et conditions limites

Conditions limites :

- en débit : 0.0371 kg/s (valeur issue du script Python pour taux comp. = 1.1)
- en vitesse de rotation
  - $N = 4400$  rad/s

-> valeurs servant de référence pour l'analyse du maillage

**Simulation stationnaire**



Modèle physique

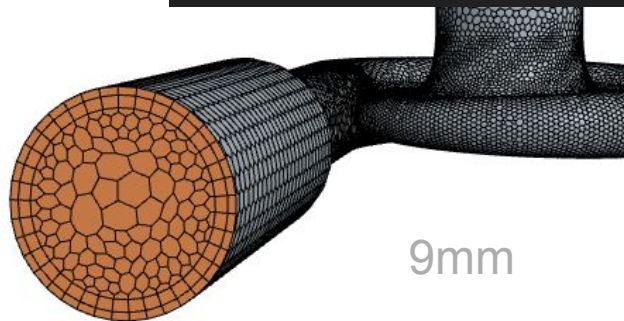
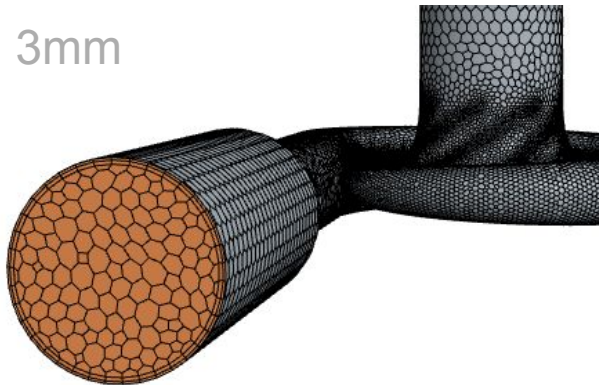
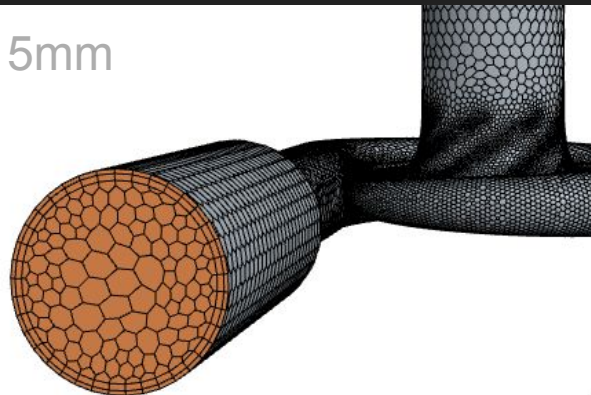
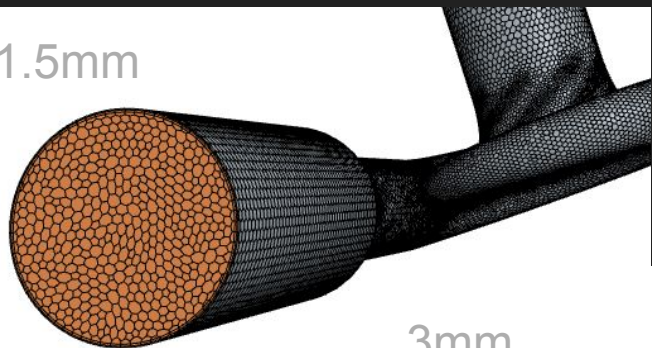
# Analyse du maillage

1.5mm

5mm

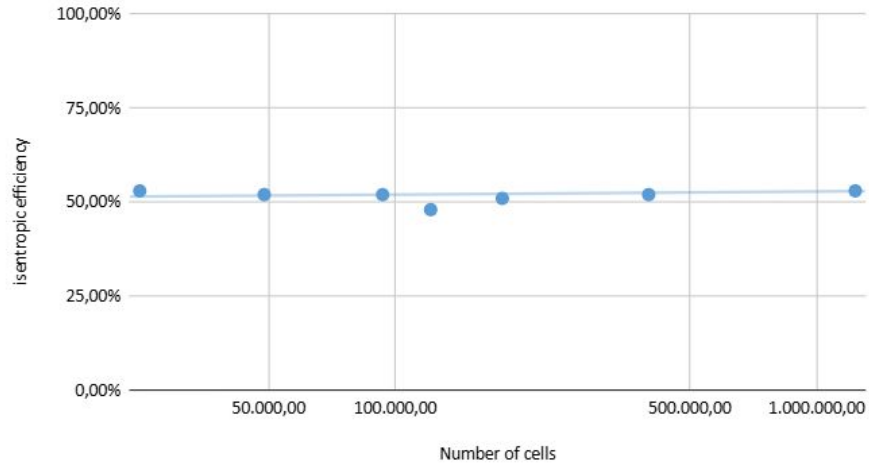
3mm

9mm

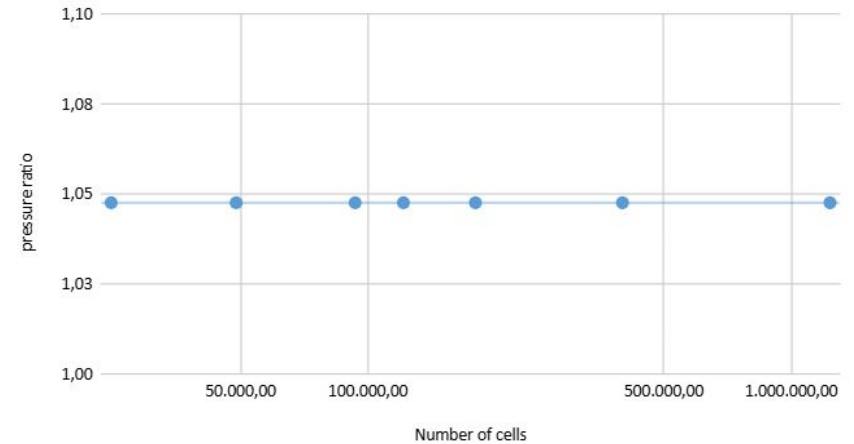


# Analyse du maillage

Isentropic efficiency as a function of the number of cells

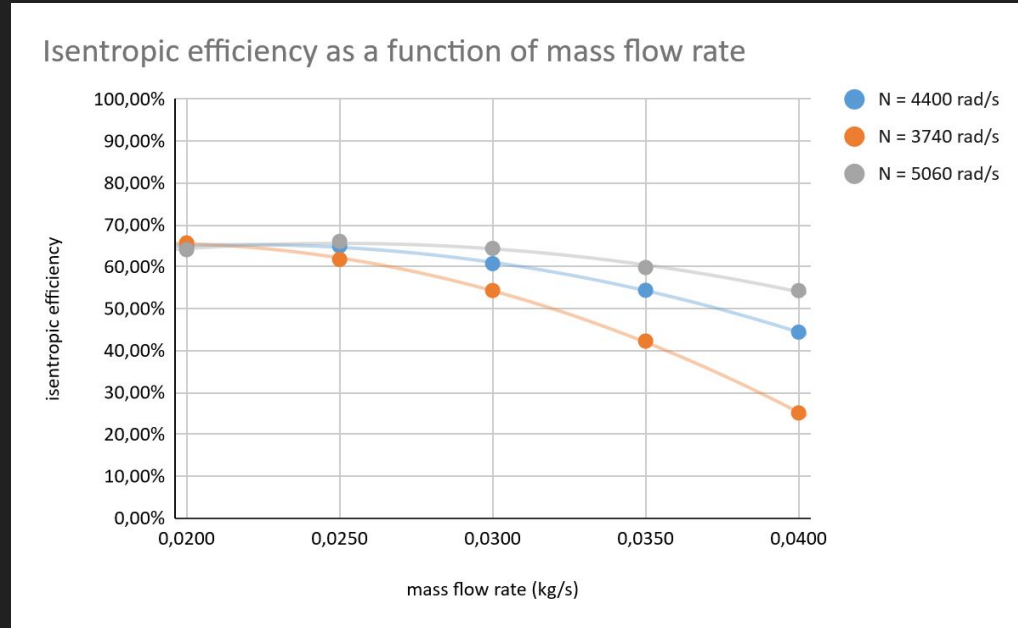


Pressure ratio as a function of the number of cells



Option automatic surface repair - taille de base influence  
peu la convergence - choix de 5mm

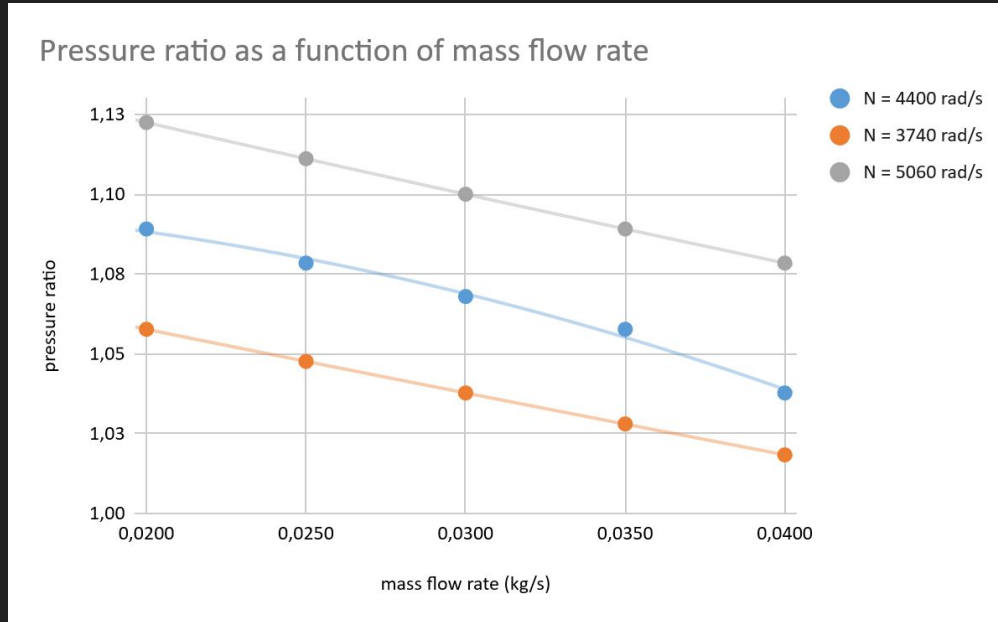
# Tracé des caractéristiques



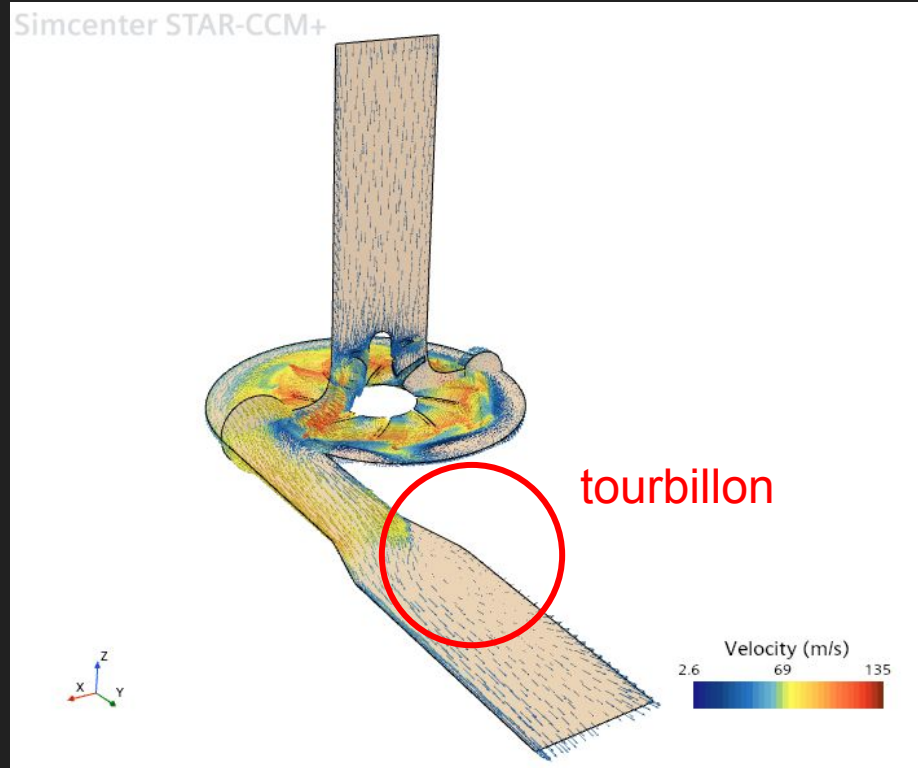
rendement max. au pré dimensionnement : 84%



# Tracé des caractéristiques



# Analyse du champ de vitesse



# Conclusion

Axes d'amélioration :

- Adoucir le divergent en sortie pour éviter la formation de tourbillons
- réduire le jeu entre la volute et le rotor

# Phase 5 - Prototypage

# Phase 5 - Prototypage

Procédé de fabrication : fabrication additive polymère

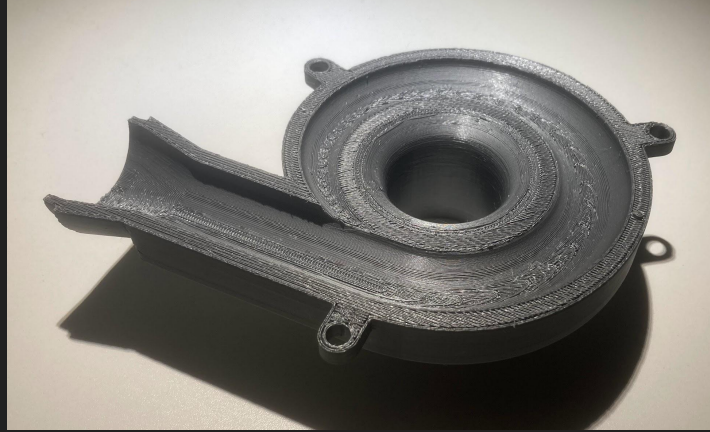
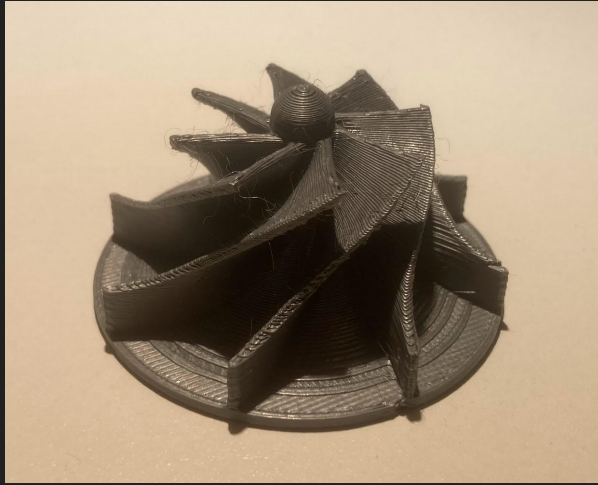
Paramètres d'impression :

- 100% remplissage sur le rotor

Facettisation avec CATIA (atelier STL prototypage rapide) - réduire le pas et la flèche

- position à l'endroit des composants sur le plateau pour réduire la quantité de supports

## Phase 5 - Prototypage



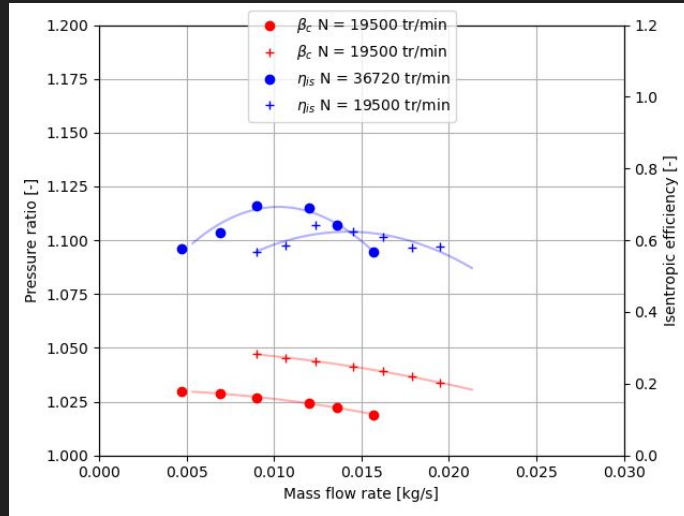
# Phase 6 - Essais

# Déroulement des essais

- Tester la pompe pour des points de fonctionnement comparables à ceux simulés en CFD - évaluer les écarts.
- Problème rencontré : vis trop longue a créé un court circuit dans les bobinages du moteur d'essai.
- Essai non reportable en raison des délais du projet.
- Pas de données exploitables : utilisation des données du groupe F qui possédait une géométrie comparable



# Résultats expérimentaux



- Point testé en CFD : 35000 tr/min
- rendement isentropique comparable (~70%)
- Taux de compression plus faible (<1.05)
  - Pertes de charge dues à la rugosité des surfaces intérieures

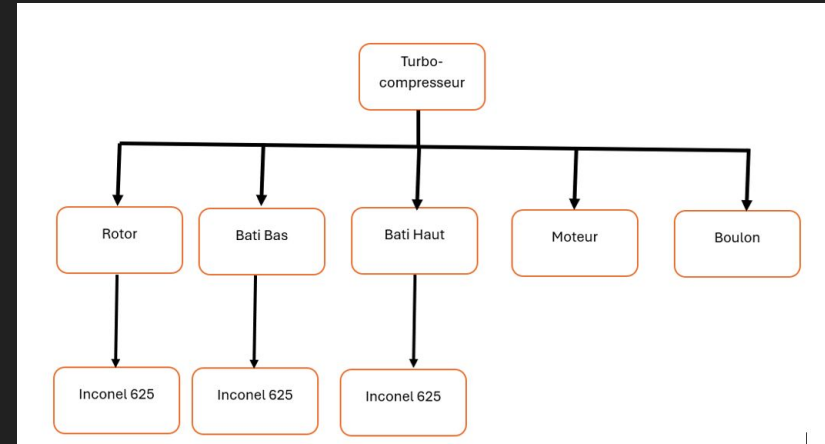
# Conclusion des essais

- Essais à refaire avec des vis moins longues
- Constats pour le groupe F : écarts relativement faibles entre les simulations CFD et les essais expérimentaux
- Pistes d'amélioration
  - Changer de procédé de fabrication - usinage plutôt que fabrication additive pour de meilleurs états de surface afin de minimiser les pertes de charge
  - Changer de matériaux - polymère résiste mal thermiquement

# Phase 7 - industrialisation

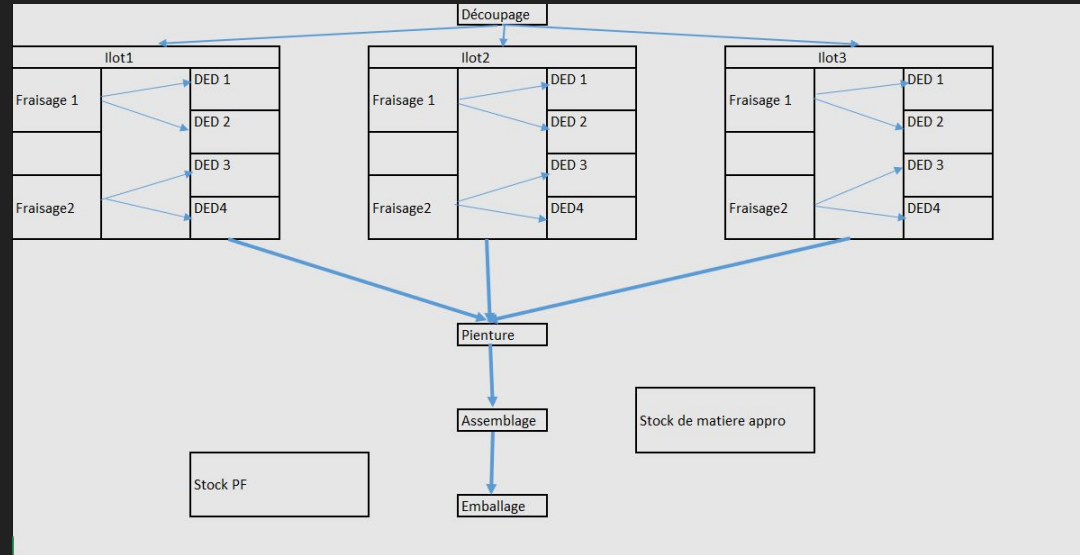
# Nomenclature

- Produit fabriqué
  - Rotor
  - Bâti haut
  - bâti bas
- Produit acheté
  - moteur
  - boulon
  - matière première



# Fabrication

- Besoin de production
  - Découpage
  - Usinage
  - Fab. Add.
  - Peinture
  - Assemblage
  - Emballage
- Temps d'ouverture : 8h
- Takt time : 5.1s
- Lead time : 111 min



# Conclusion

# Conclusion

- Besoin : concevoir un turbocompresseur pour une pompe à hydrogène qui possède le meilleur rendement et la plus grande plage de fonctionnement
- Bilan de la démarche
  - Toutes les étapes réalisées sans accroc jusqu'à la CFD
  - Essais à reconduire pour pouvoir caractériser les performances du prototype