

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

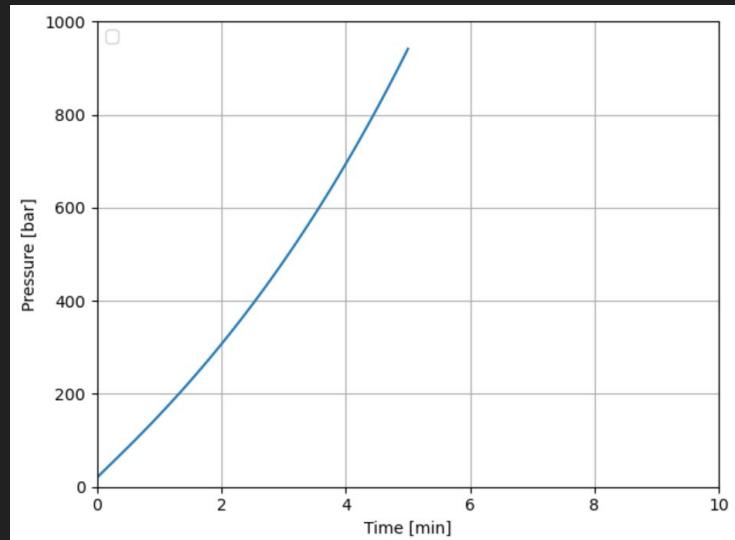
Objectifs

Maximiser le rendement

Minimiser le pompage

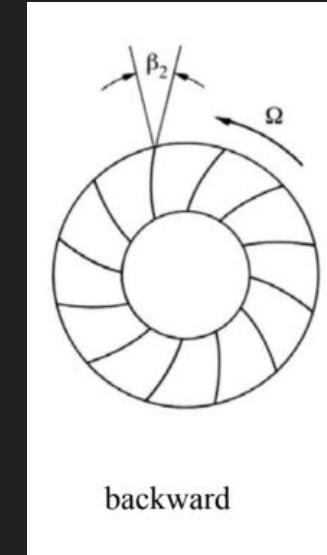
Environnement

- Compresseur pour une pompe à hydrogène à destination de l'industrie automobile
- Pressions ~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

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

$$\Delta h = pF \sigma u_2 c_{u2}$$

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

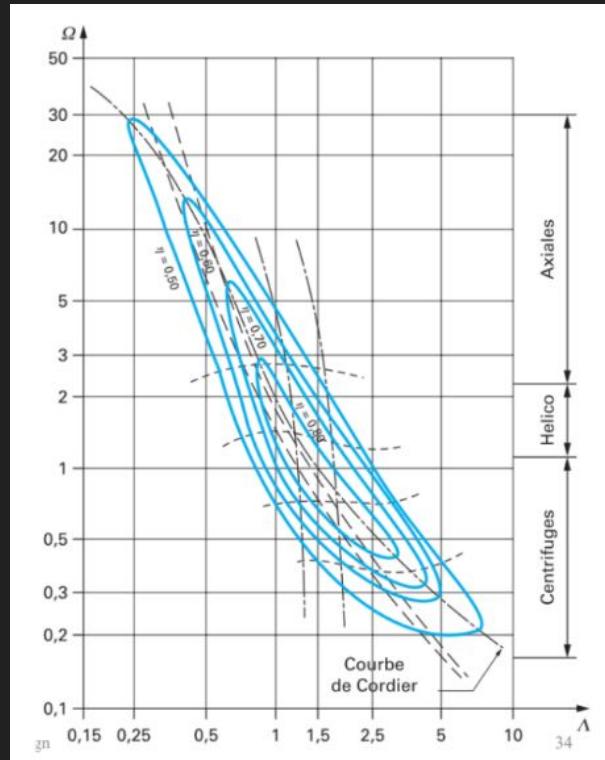
=>

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

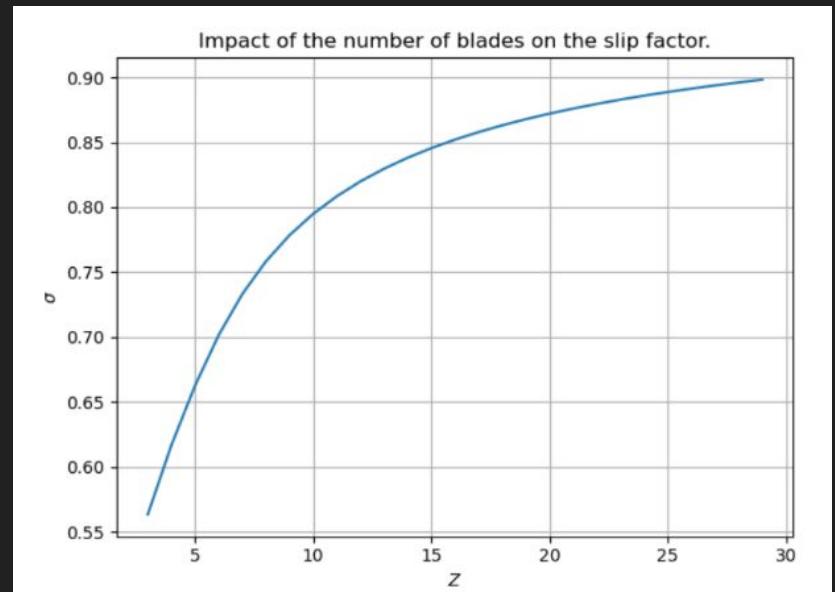
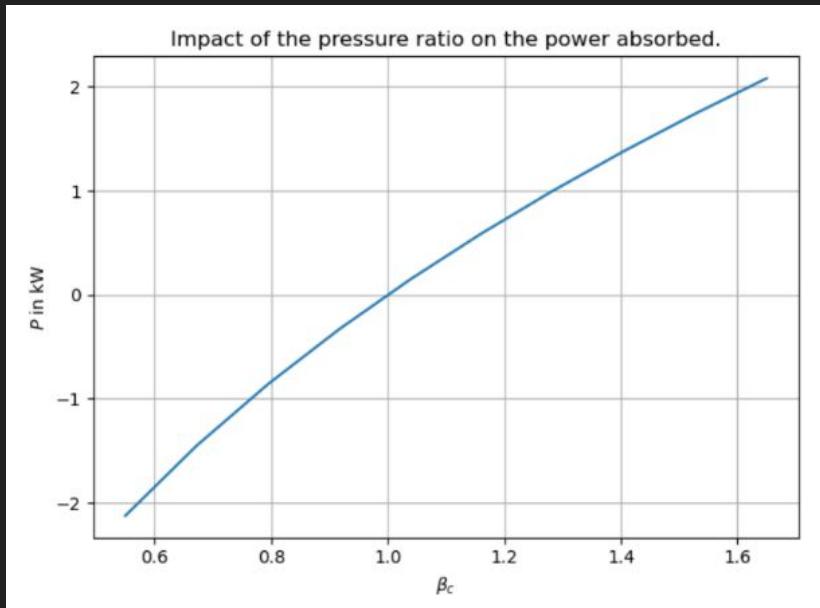
$$c_{u2}(\beta_{2b}) = u_2 - \frac{c_{m2}}{\tan(\beta_{2b})}$$

Choix du point de design

Diagramme empirique de Cordier

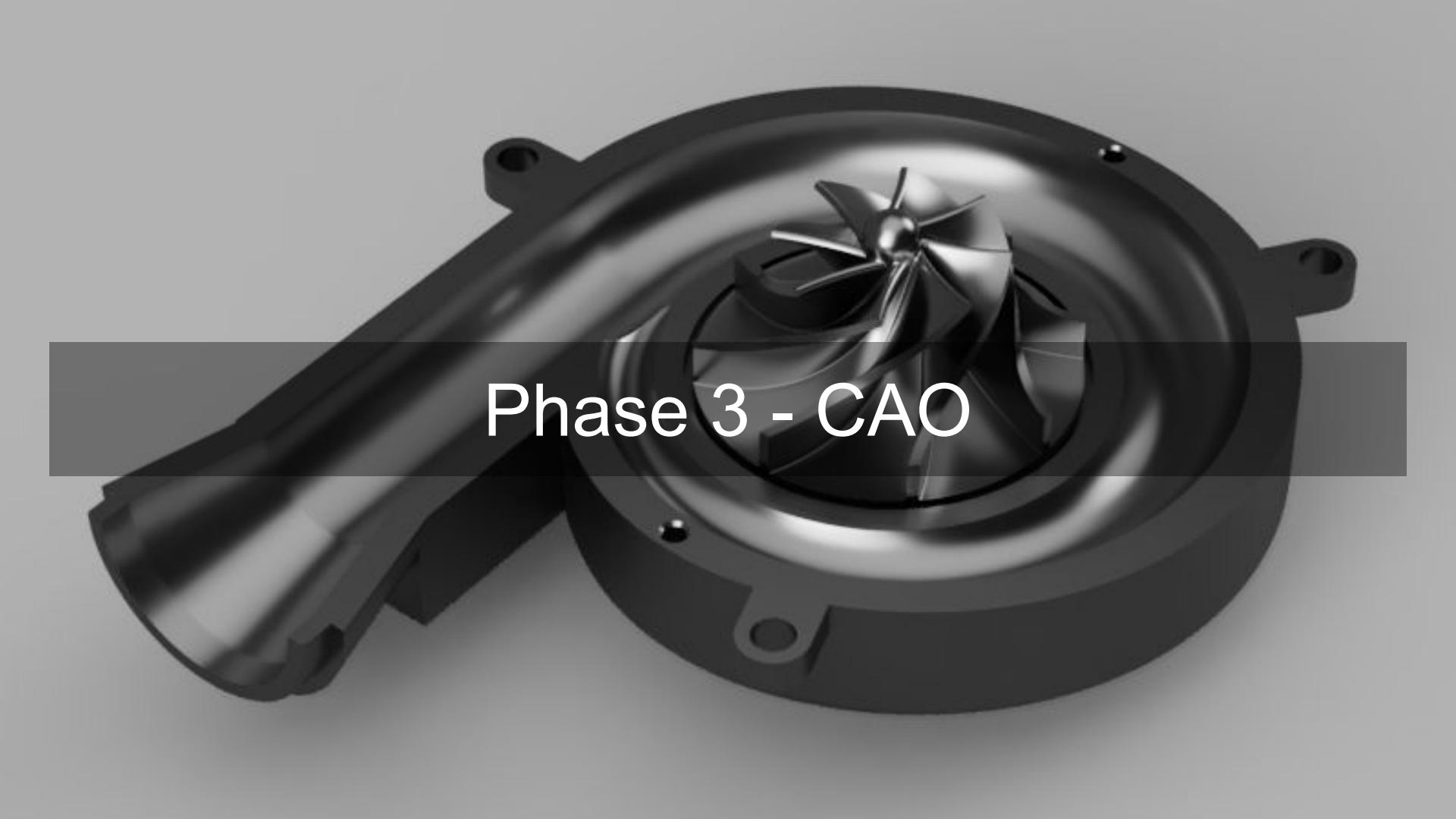


Analyse paramétrique



Conclusion

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



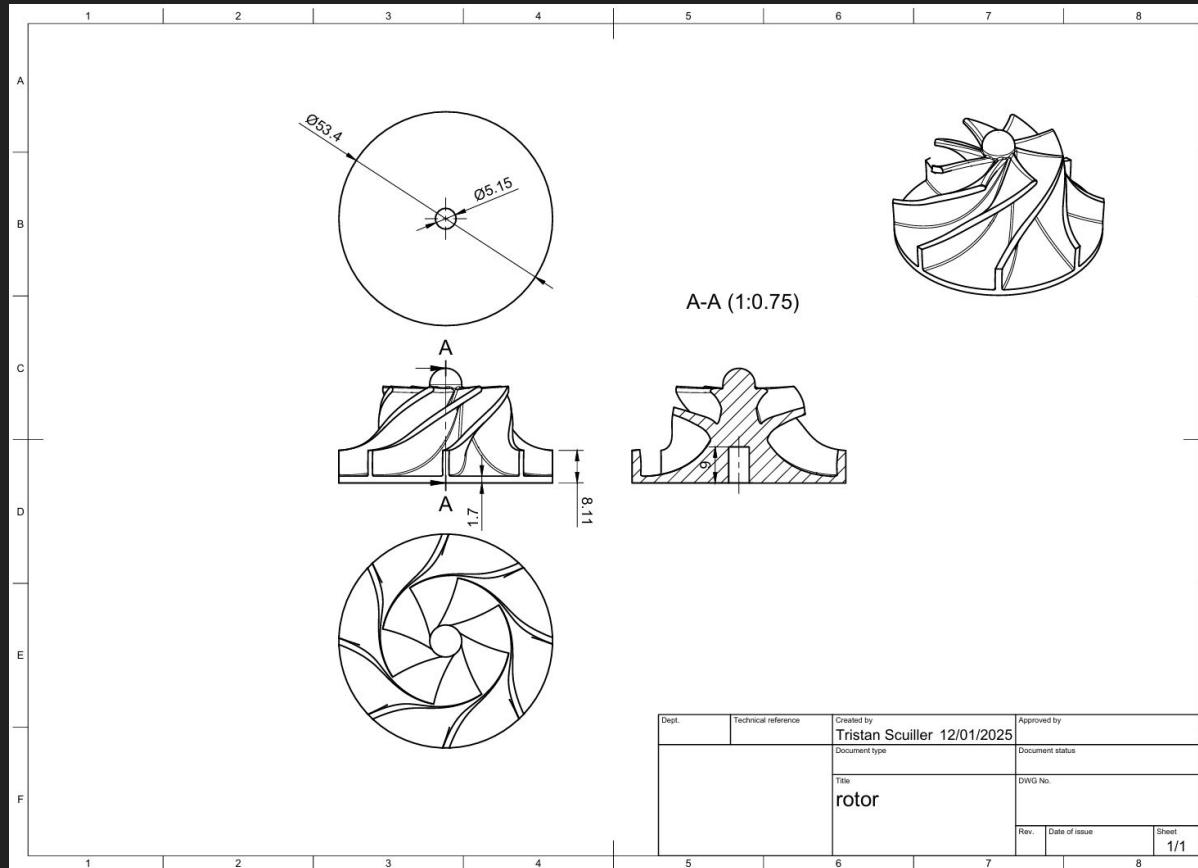
Phase 3 - CAO

Rotor

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



Rotor

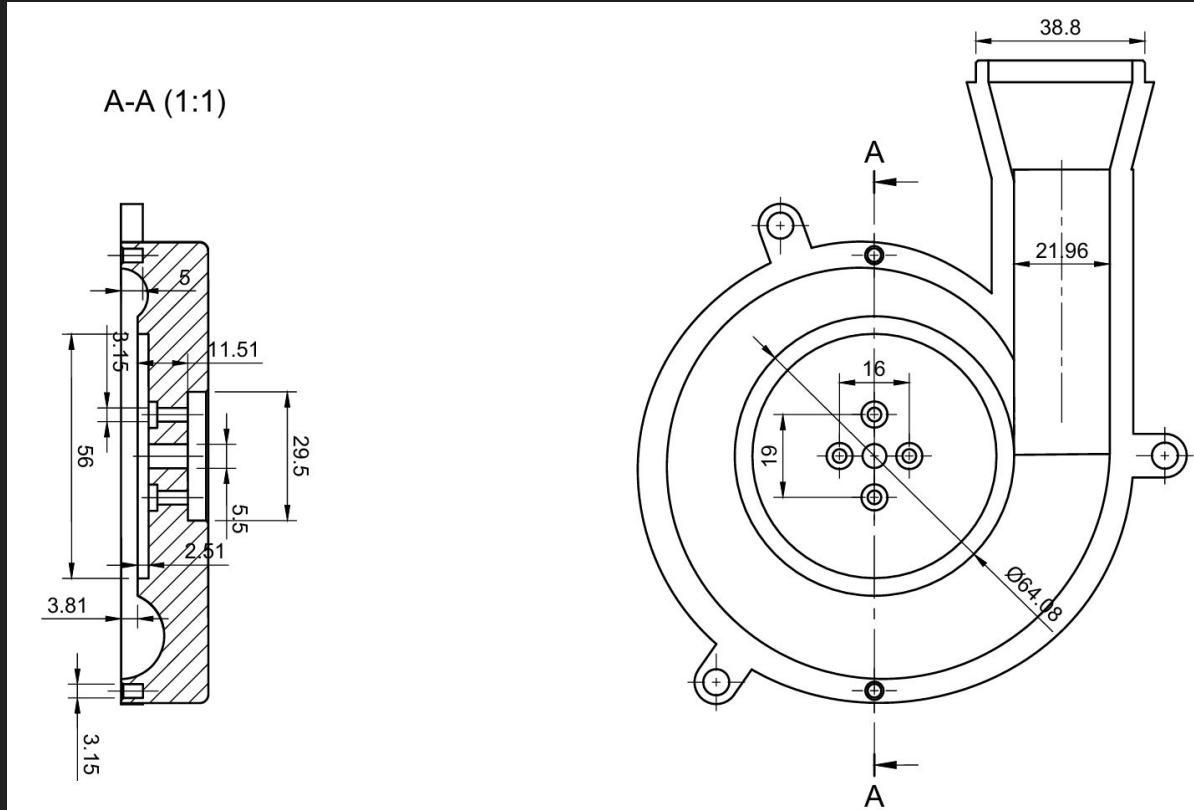


Volute bas

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

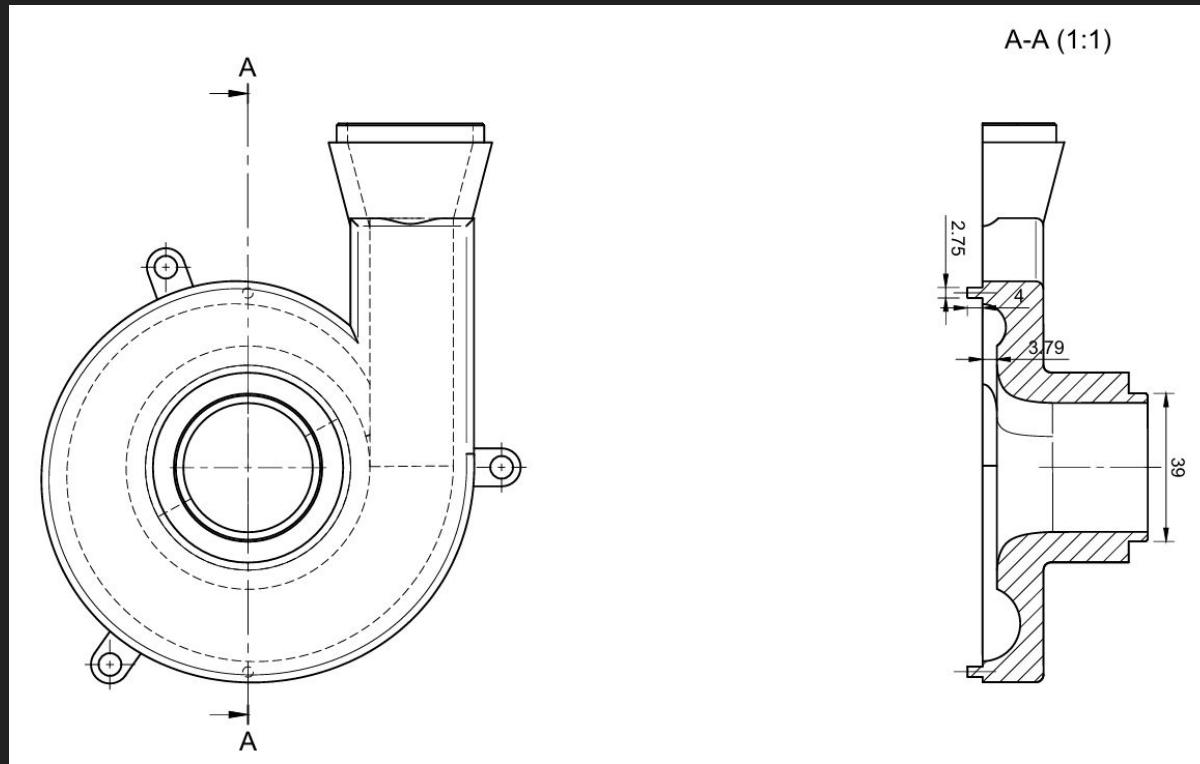


Volute haut (shroud)

Problématique :

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

Volute haut (shroud)

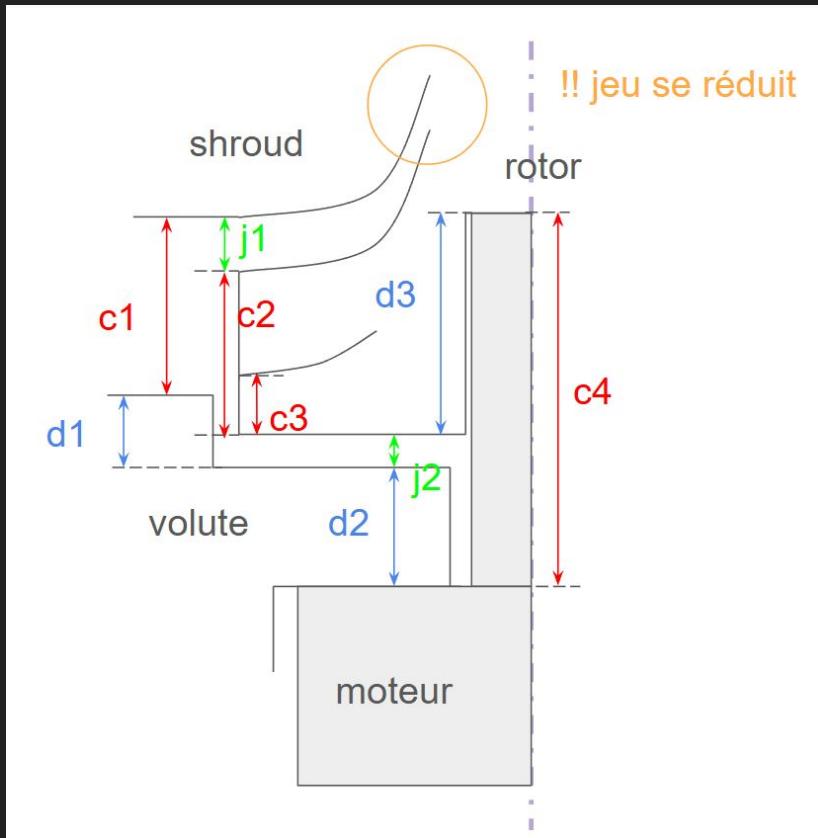


Choix des dimensions

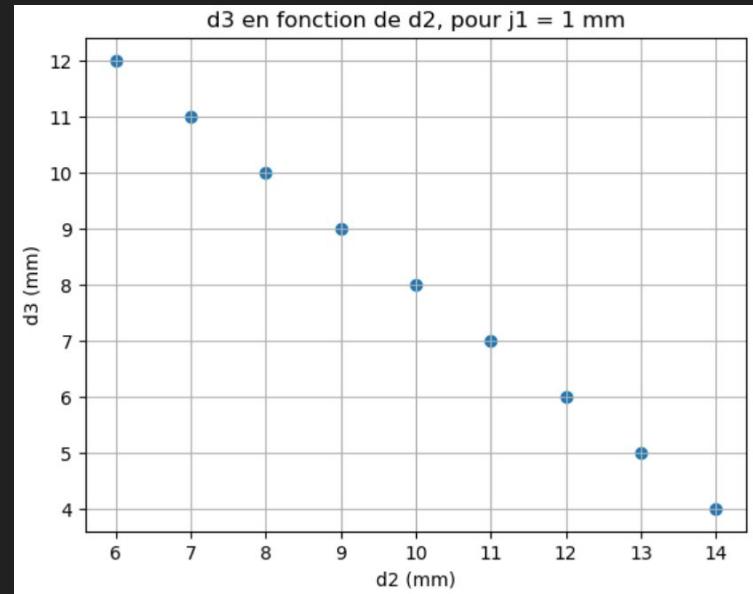
3 points conditionnant les dimensions :

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

Chaîne de cote 1D



$$\begin{aligned}c_4 &= d_2 + j_2 + d_3 \\d_1 + c_1 &= j_2 + c_2 + j_1 \\j_2 + c_3 &> d_1\end{aligned}$$

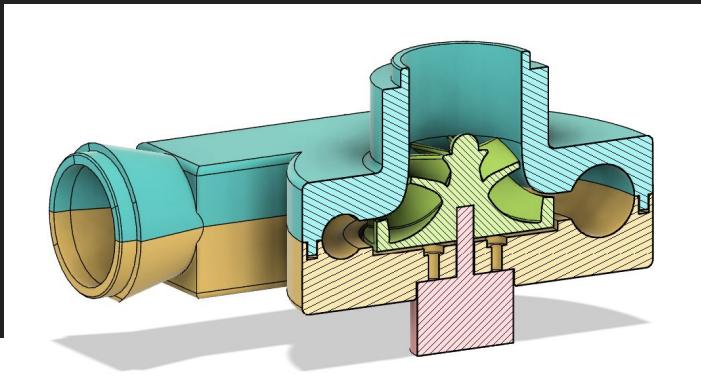


Jeux

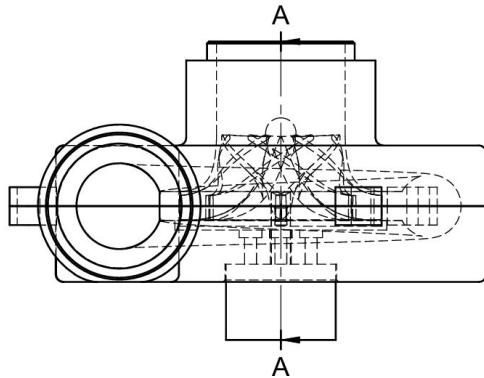
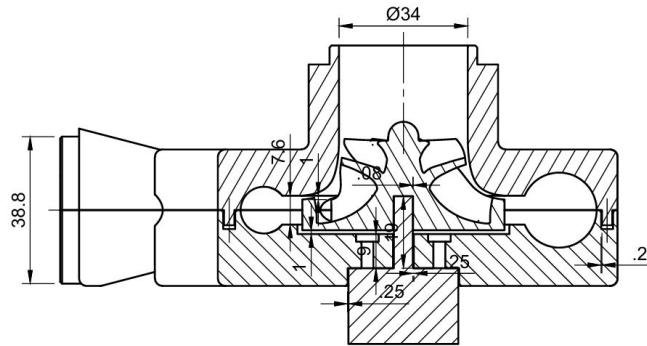
Jeux radiaux :

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

Assemblage final



A-A (1:1)

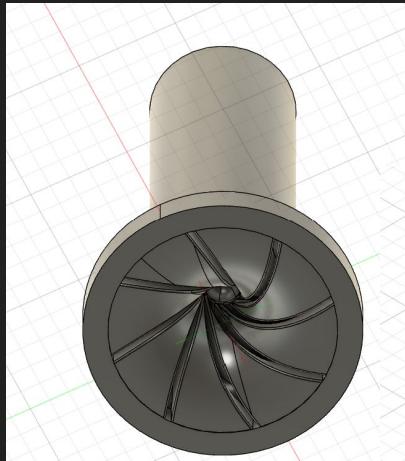


Phase 4 - CFD

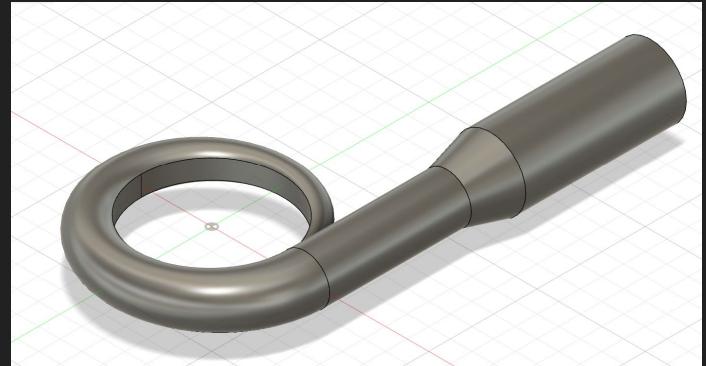
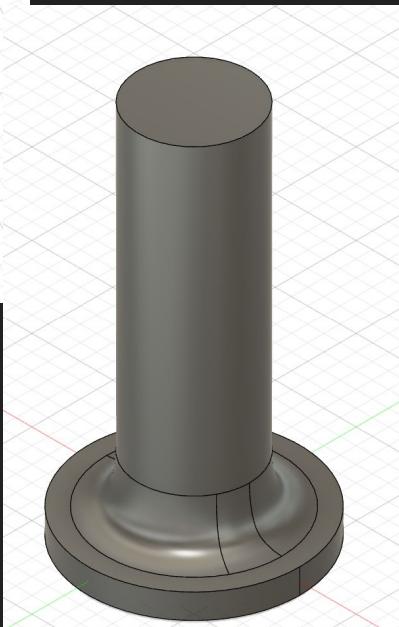
Démarche

- 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



réf.
tournant



réf. fixe

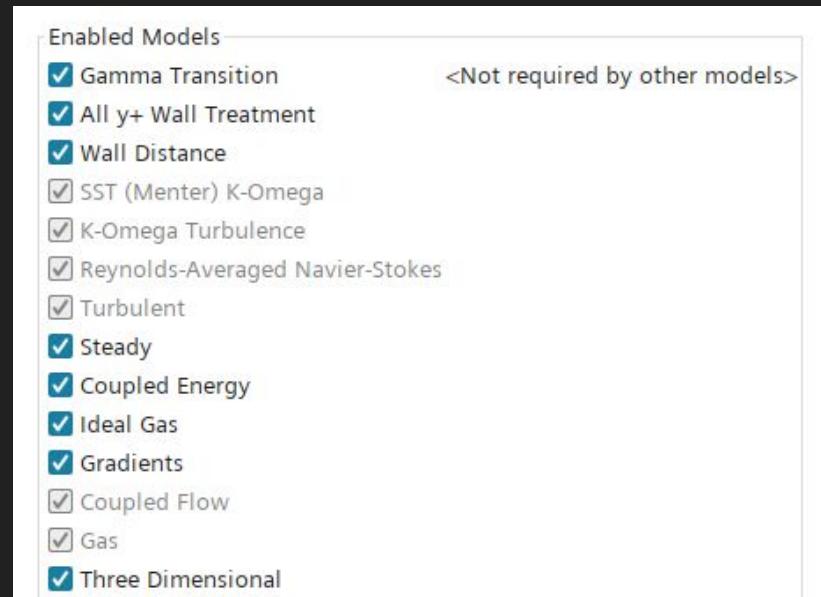
Modèle physique et conditions limites

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

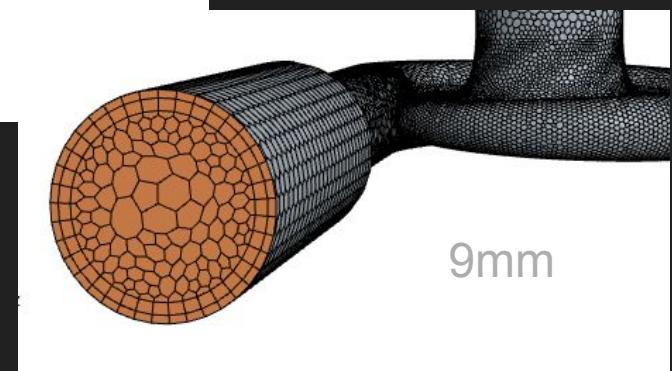
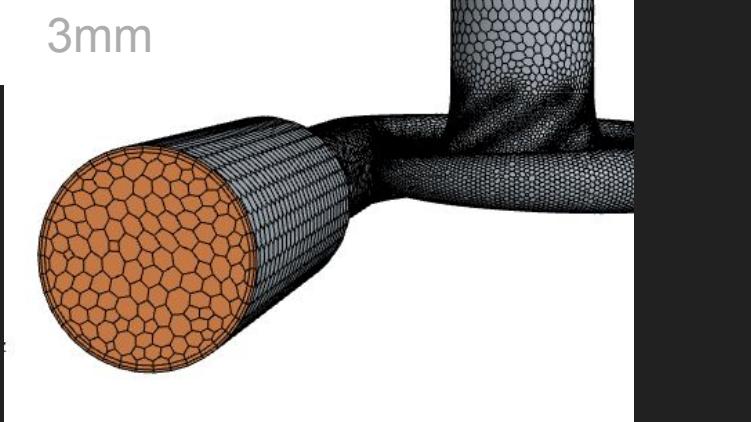
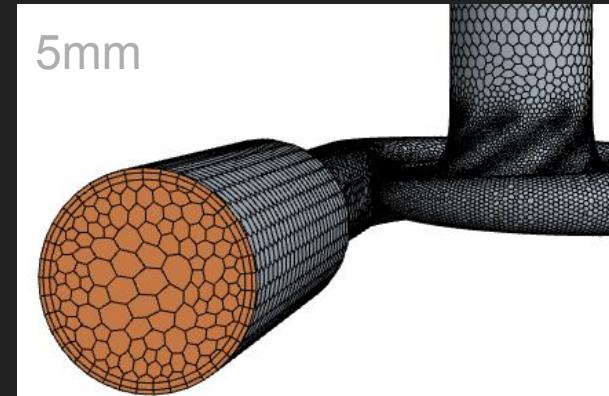
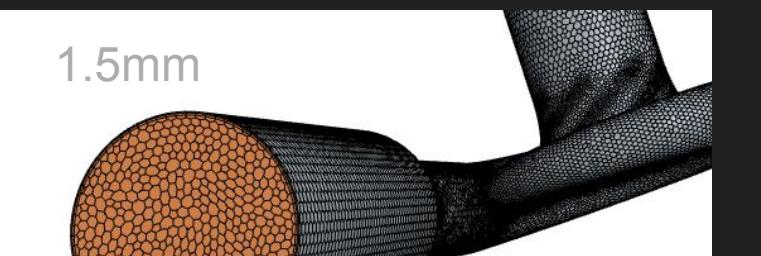
-> valeurs servant de référence pour l'analyse du maillage

Simulation stationnaire

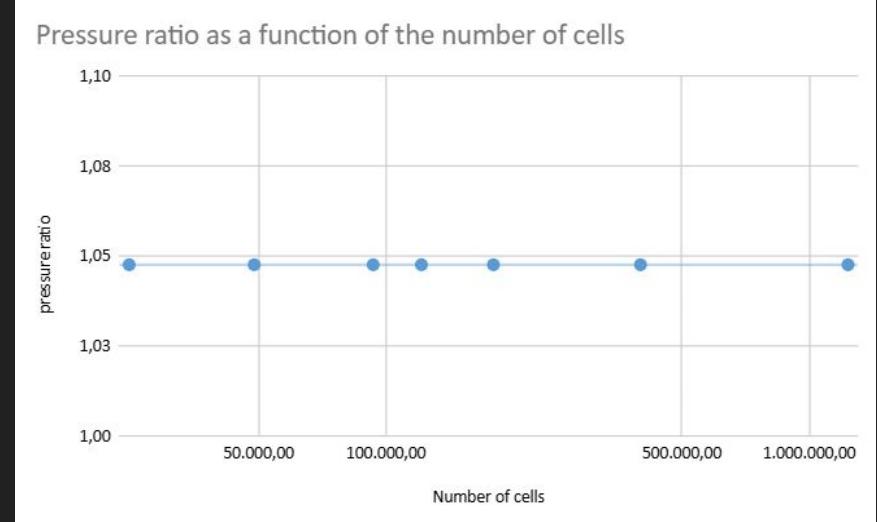
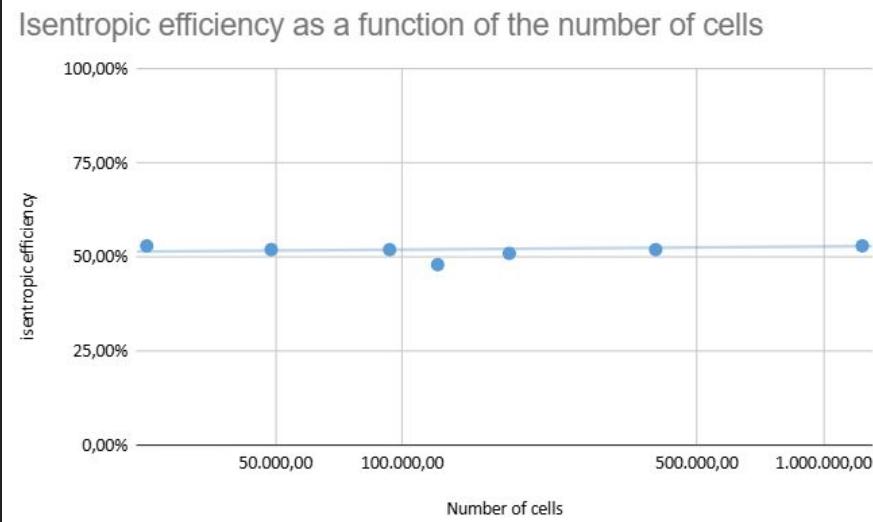


Modèle physique

Analyse du maillage

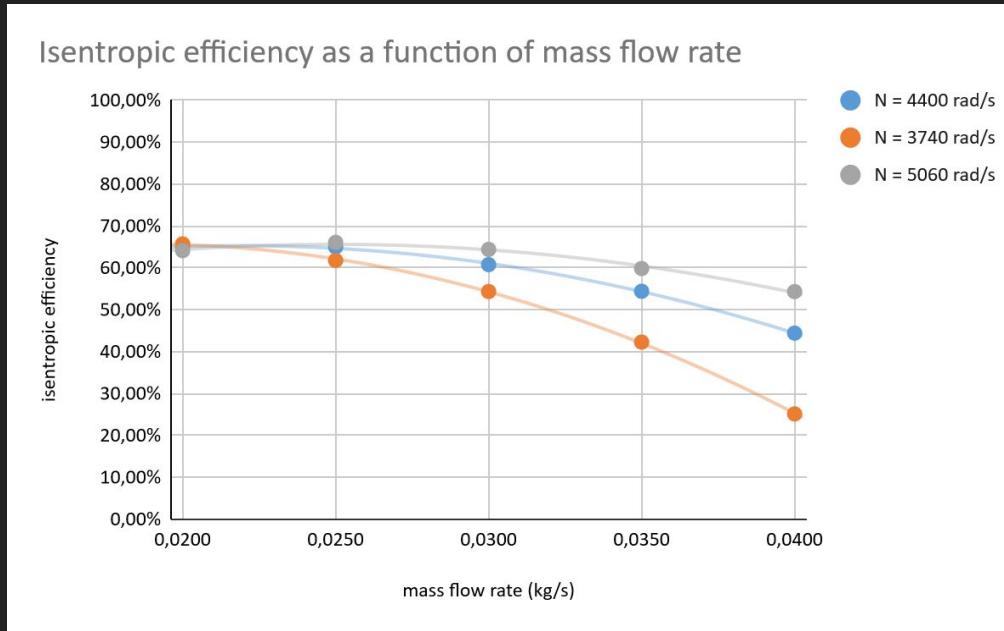


Analyse du maillage



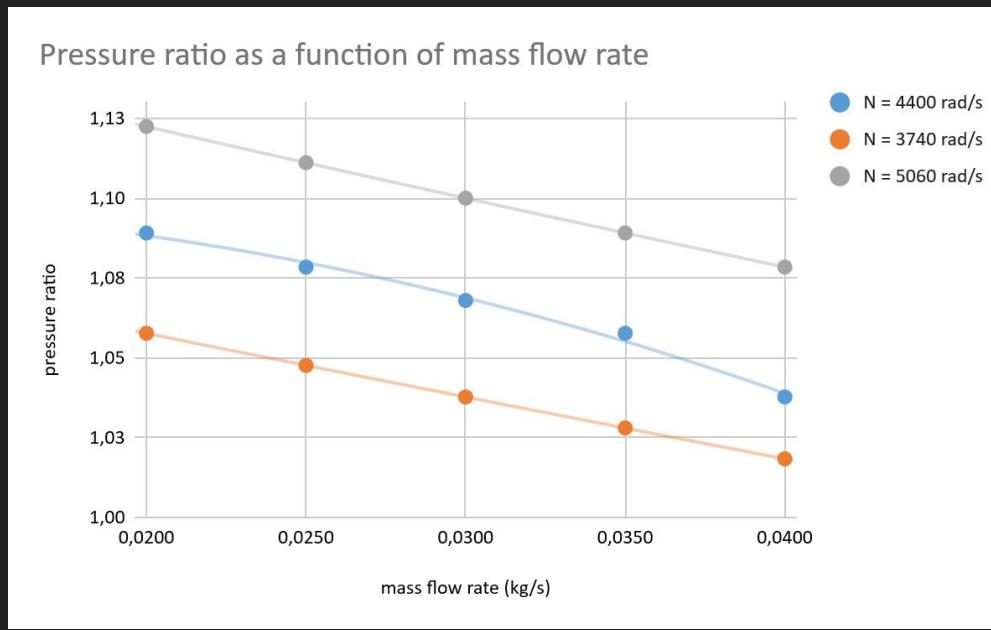
Option automatic surface repair - taille de base influence
peu la convergence - choix de 5mm

Tracé des caractéristiques

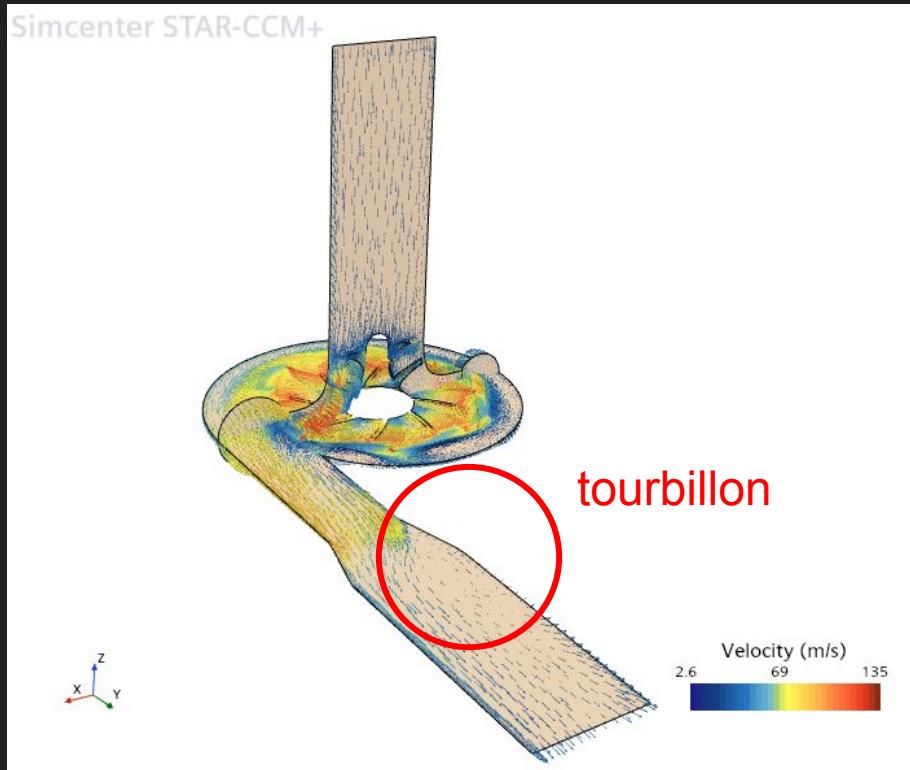


rendement max. au pré dimensionnement : 84%

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

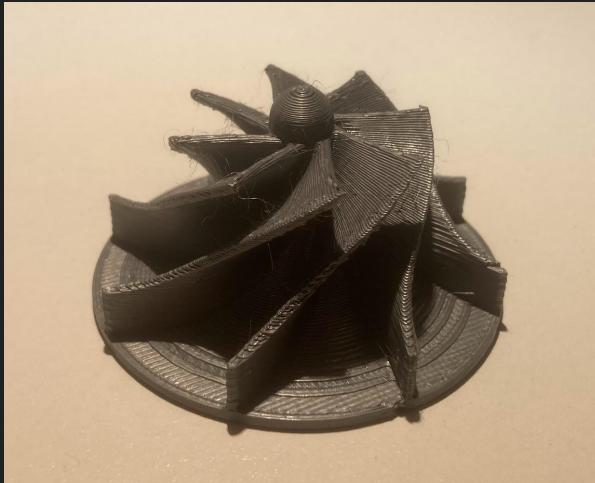
Paramètres d'impression :

- 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

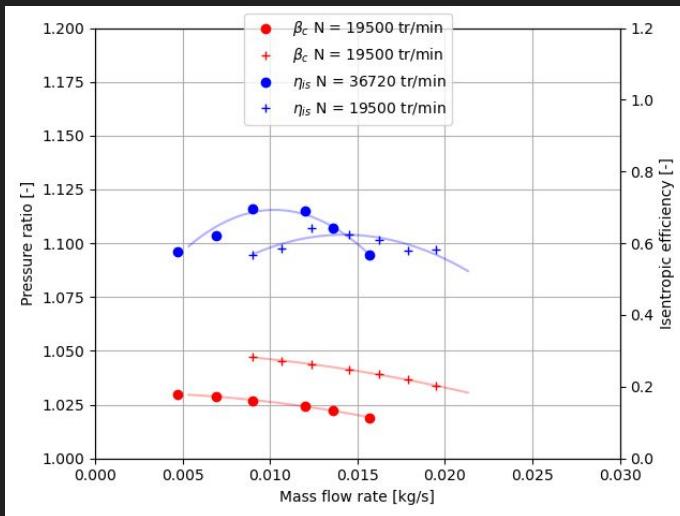


Phase 6 - Essais

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

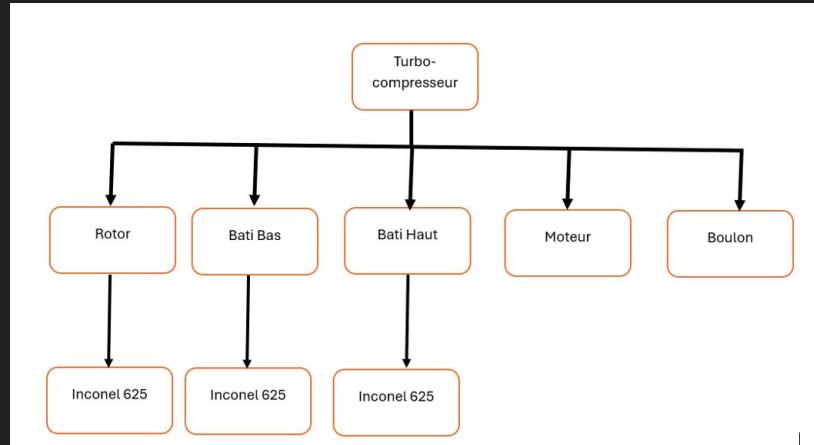
Conclusion des essais

- 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

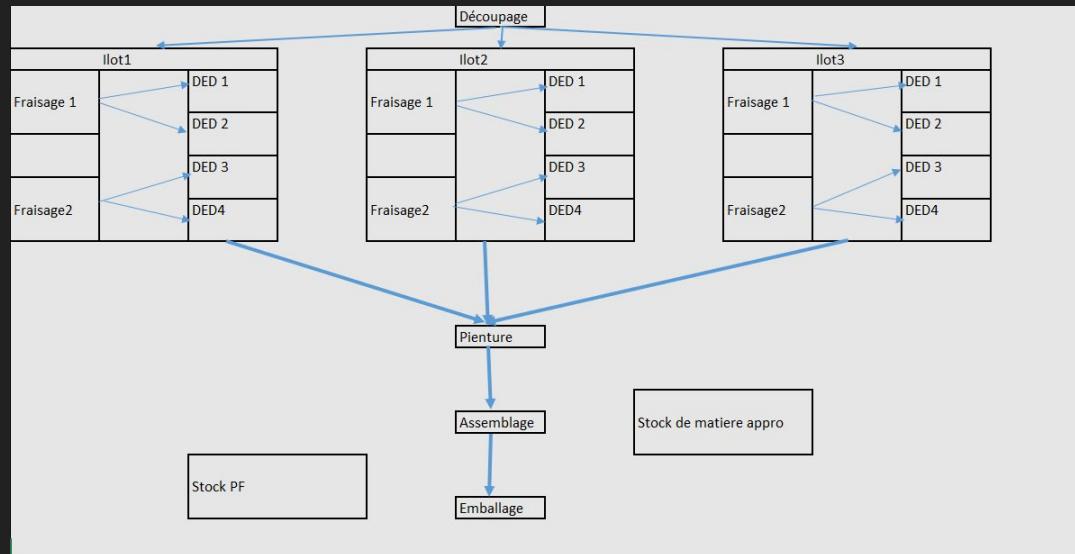
Nomenclature

- 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