

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master

Spécialité : Énergétique

THÈME

Optimisation topologique appliqué aux problèmes de la
dynamique des fluides

Préparé par : Mlle. MEHALLI Nedjma
Mlle. SAYAH Oumelkheir

Devant le Jury :

Noms et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mr. GUEMMOUR Mohamed	MCB	UIK Tiaret	Président
Mr. MEKROUSSI Said	MCA	UIK Tiaret	Examineur 1
Mr. BENARIBA Aboubakeur	Docteur	UIK Tiaret	Examineur 2
Mr. ABOSHIGHIBA Hicham	MCB	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2018 /2019

Dédicaces

**A cœur vaillant rien d'impossible
A conscience tranquille tout est accessible**

**Quand il y a la soif d'apprendre
Tout vient à point à qui sait attendre**

**Quand il y a le souci de réaliser un dessein
Tout devient facile pour arriver à nos fins**

**Malgré les obstacles qui s'opposent
En dépit des difficultés qui s'interposent**

**Les études sont avant tout
Notre unique et seul atout**

**Ils représentent la lumière de notre existence
L'étoile brillante de notre réjouissance**

**Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal
Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal**

**Espérant des lendemains épiques
Un avenir glorieux et magique**

**Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri**

**Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys,
Nous prions dieu que cette soutenance
Fera signe de persévérance
Et que nous serions enchantés
Par notre travail honoré**

**À ma mère qui m'a appris sans stylo
Et à mon père qui m'a appris l'amour du stylo
À mon frère unique
À mes adorables tantes
À une personne très spéciale dans ma vie
À tous ceux qui m'aiment et ceux qui ne m'aiment pas**

MEHALLI Nedjma

À mon meilleur père
À ma très chère mère
À mes merveilleuses sœurs
Aux développeurs des logiciels

SAYAH Oumelkheir

Remerciements

Nous voudrions nous plier aux traditionnels remerciements, en espérant n'oublier personne. Sachant la chose perdue d'avance, nous commencerons donc par présenter nos excuses à ceux que nous aurons fortuitement oubliés de mentionner ici, et si leur contribution directe ou indirecte ne figure pas dans ces pages, qu'ils sachent que nous ne manquerons pas de notre souvenir.

À notre Dieu le plus haut et le tout puissant

Merci infiniment de nous avoir donné le courage, la force, la volonté et la patience pour achever ce modeste travail.

Merci également de nous avoir aidé à arriver au bout de nos études, c'est vous qui nous avez accompagné dès le début jusqu'à la fin. Vous êtes notre ombre à nos mains droites.

À nos très chers parents

Aucun remerciement ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que nous avons toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour notre éducation et notre bien-être depuis notre naissance, durant notre enfance et même à l'âge adulte. Vous avez fait plus que des parents puissent faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leurs vies et leurs études.

Merci d'être tout simplement nos parents, c'est à vous que nous devons cette réussite, et nous sommes fières de vous l'offrir.

À nos chers frères et sœurs

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que nous portons pour vous. Merci nos anges gardien et nos fidèles pour l'accompagnement dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse. Nous vous souhaitons un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

À tous nos familles

Merci pour votre encouragement et votre aide. Vous avez toujours été présents pour les bons conseils ainsi que votre affection et votre soutien nous ont été d'un grand secours au long de notre vie professionnelle et personnelle.

À notre encadreur Mr ABOUSHIGHIBA Hicham

Un énorme merci à notre encadreur pour son guide, son suivi, son assistance, et ses conseils précieux le long de notre formation. Leur compétence ainsi que leur expérience dans le domaine nous ont été d'une grande utilité.

À Mr le président du jury Docteur GUEMMOUR Mohamed

Nous sommes très honorés de vous avoir comme président du jury de notre mémoire.

Veillez accepter ce travail, en gage de notre grand respect et notre profonde reconnaissance.

À Mr l'examineur de mémoire Docteur MEKROUSSI Said

Vous nous faites l'honneur d'accepter avec une très grande amabilité de siéger parmi notre jury de mémoire. Veuillez trouver ici l'expression de notre grand respect et nos vifs remerciements.

À Mr BENARIBA Aoubakeur docteur assistant

Un profond respect et un remerciement particulier pour tous vos efforts fournis. Vous avez toujours été présent. Nous voudrions vous remercier énormément pour vos conseils, vos encouragements, votre disponibilité et surtout votre gentillesse et votre persévérance. Qu'Allah vous rembourse mieux en retour.

À tous les enseignants et personnels administratifs du département de génie mécanique de l'université Ibn Khadoun

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du Département Génie Mécanique qui ont assuré notre formation, ainsi que tout le corps administratif pour leur disponibilité.

À nos chères ami (e)s

Nous ne pouvons trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer nos affections et nos pensées, vous êtes pour nous plus que des amis vous êtes des frères et des sœurs sur qui nous pouvons compter. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, avoir des amis, c'est être riche.

À nos chers collègues de la promotion 2018 /2019

Ces remerciements seraient incomplets s'ils ne s'adressent pas aussi à vous, nous vous souhaitons beaucoup de succès dans vôtres études et dans vôtres futures carrières.

SOMMAIRE

DEDICACES.....	ii
REMERCIEMENTS.....	v
SOMMAIRE.....	ix
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xv
NOMENCLATURES	xvi
LISTE DES ABREVIATION.....	xvii
INTRODUCTION GENERALE	2

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIGRAPHIQUE

1.1 Introduction	5
1.2 Introduction à l'optimisation topologique.....	6
1.2.1 Définition de l'optimisation	6
1.2.2 Composantes d'un problème d'optimisation.....	6
1.2.3 Processus d'optimisation.....	6
1.2.4 Les catégories d'optimisation.....	8
1.2.5 Définition de l'optimisation topologique	9
1.2.6 Buts de l'optimisation topologique	9
1.2.7 Les étapes d'optimisation topologique.....	10
1.2.8 Le principe de l'optimisation topologique	11
1.2.9 Optimisation topologique avec ADJOINT SOLVER	12
1.2.9.1 Modèles d'optimisation topologique	12
1.2.10 Avantages de l'optimisation topologique.....	14
1.2.11 Inconvénients de l'optimisation topologique	14
1.2.12 Applications de l'optimisation topologique	14
1.3 Dynamique des fluides	15
1.3.1 Définition de la dynamique des fluides.....	15
1.3.2 Les différents régimes d'écoulement	15
1.3.3 La turbulence.....	16

1.3.4	Les origines de la turbulence.....	16
1.3.5	Les conséquences de la turbulence.....	16
1.4	Tube coudé	17
1.4.1	Définition	17
1.4.2	Utilisation.....	17
1.4.3	Applications des coudes de tuyaux	17
1.4.4	Définition de la corrosion.....	18
1.4.5	L'origine de la corrosion	18
1.4.6	La corrosion érosion.....	18
1.5	Rétroviseur	19
1.5.1	Définition d'un rétroviseur.....	19
1.5.2	Composantes d'un rétroviseur.....	19
1.5.3	Emplacements des rétroviseurs	19
1.6	Conclusion.....	20

CHAPITRE 2 : FORMULATION MATHÉMATIQUE

2.1	Introduction	22
2.2	Equation de NAVIER STOKES.....	22
2.2.1	Equation de continuité.....	22
2.2.2	Equation de conservation de quantité de mouvement.....	23
2.3	Méthodes des volumes finis	24
2.3.1	Notion de maillage	24
2.3.2	Nœuds et éléments	24
2.3.3	Géométrie et topologie	25
2.4	Présentation du logiciel ANSYS WORKBENCH.....	25
2.5	Présentation du code de calcul.....	26
2.6	Étude numérique.....	26
2.7	Etude de cas simple	27
2.7.1	Présentation de tube coudé.....	27
2.7.2	Conditions aux limites.....	27
2.7.3	Les propriétés géométriques et physiques.....	28
2.7.4	Type de maillage	28
2.7.5	Les paramètres de maillage	29
2.7.6	Qualité de maillage.....	30

2.7.7	Convergence de maillage	30
2.7.8	Contour de pression.....	31
2.8	Etude de cas réel.....	31
2.8.1	Présentation de rétroviseur d'une voiture.....	31
2.8.1	Conditions aux limites.....	32
2.8.2	Les propriétés géométriques.....	32
2.8.3	Type de maillage utilisé	33
2.8.4	Les paramètres de maillage	33
2.8.5	Qualité de maillage.....	34
2.8.6	Convergence de maillage	35
2.8.7	Simulation du cas étudié	35
2.9	Conclusion.....	36

CHAPITRE 3 : OPTIMISATION TOPOLOGIQUE

3.1	Introduction	38
3.2	Étude numérique à l'aide d'ADJOINT SOLVER.....	38
3.3	Etude tube coudé	38
3.3.2	Déformation de maillage.....	39
3.3.3	Convergence de maillage	41
3.4	Etude de rétroviseur.....	42
3.4.1	La zone d'application de l'optimisation topologique.....	42
3.4.2	Déformation de maillage.....	42
3.4.3	Convergence de maillage avec ADJOINT SOLVER	44
3.5	Conclusion.....	44

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1	Introduction	46
4.2	Méthodes de résolution et organigrammes.....	46
4.3	Influence des paramètres numériques et physiques.....	48
4.3.1	Résistance de l'air	48
4.3.2	L'influence de maillage.....	48
4.3.3	L'influence de la simulation initiale.....	48
4.4	Etude dynamique	49
4.4.1	Influence de la vitesse du fluide.....	49
4.5	Comparaison entre les géométries avant et après l'optimisation topologique	50

4.5.1	Tube coudé	50
4.5.2	Rétroviseur	53
4.5.3	Résultats de l'optimisation topologique	56
4.5.4	En termes de volume de tube coudé.....	58
4.5.5	En termes de surface de rétroviseur	58
4.6	Discussion.....	59
4.7	Conclusion.....	59
Conclusion générale et perspectives		61
Référence Bibliographiques.....		63
Wabographies.....		64

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Processus d'optimisation	7
Figure 1.2	Les trois catégories d'optimisation.....	8
Figure 1.3	Optimisation topologique d'une pièce mécanique.....	9
Figure 1.4	Les différentes étapes d'optimisation topologique d'une pièce.	11
Figure 1.5	Schéma fonctionnel de l'optimisation topologique.....	12
Figure 1.6	Optimisation topologique d'un satellite sentinelle.....	13
Figure 1.7	Optimisation topologique d'un drift trick.....	13
Figure 1.8	Les différents régimes d'un fluide.....	15
Figure 1.9	Coude 90° pour un tube de remplissage $\varnothing 16\text{mm}$	17
Figure 1.10	Représentation schématique du phénomène de corrosion-érosion.....	18
Figure 1.11	Rétroviseurs intérieurs et extérieurs d'une voiture.....	19
Figure 1.12	Rétroviseur d'un motard.....	20
Figure 2.1	Illustration de la notion de maillage avec la méthode des volumes finis.	24
Figure 2.2	Quelques types d'éléments.....	25
Figure 2.3	Logo d'ANSYS WORKBENCH.....	25
Figure 2.4	Modèle géométrique de tube coudé.....	27
Figure 2.5	Les conditions aux limites de la géométrie.....	27
Figure 2.6	Maillage de la géométrie.....	29
Figure 2.7	Les paramètres de maillage de tube coudé.....	29
Figure 2.8	Qualité de maillage de modèle étudié.....	29
Figure 2.9:	Convergence de maillage.....	30
Figure 2.10	Distribution de la pression dans la conduite.....	31
Figure 2.11	Modèle géométrique d'un rétroviseur.....	31
Figure 2.12	Les conditions aux limites de la géométrie.....	32
Figure 2.13	Maillage de la géométrie.....	33
Figure 2.14	Les paramètres de maillage de rétroviseur.....	33
Figure 2.15	Qualité de maillage de modèle étudié (un rétroviseur).....	34
Figure 2.16	Convergence de maillage.....	35
Figure 2.17	Distribution de pression dans le rétroviseur.....	35
Figure 3.1	La zone d'application de l'optimisation topologique.....	39
Figure 3.2	Déformation de maillage	40

Figure 3.3	Convergence de maillage.....	41
Figure 3.4	La zone d'application de l'optimisation topologique.....	42
Figure 3.5	Déformation de maillage de cas étudié (rétroviseur)	43
Figure 3.6	Convergence de maillage.....	44
Figure 4.1	Convergence de maillage.....	44
Figure 4.2	Organigramme de résolution de problème d'optimisation topologique...	47
Figure 4.3	Continuité et sens de l'écoulement fluide de tube coudé.....	49
Figure 4.4	Continuité et sens de l'écoulement fluide de rétroviseur.....	49
Figure 4.5	La chute de pression de tube coudé.....	50
Figure 4.6	Champ de pression dans la configuration initiale.....	50
Figure 4.7	Champ de pression dans la configuration optimisée.....	51
Figure 4.8	Champ de vitesse dans la configuration initial.....	52
Figure 4.9	Champ de pression dans la configuration optimisée.....	53
Figure 4.10	Force de trainé observé avant et après l'optimisation.....	53
Figure 4.11	Champs de pression du rétroviseur avant l'optimisation.....	54
Figure 4.12	Champ de pression à l'état final du rétroviseur.....	54
Figure 4.13	Champ de vitesse autour de rétroviseur avant l'optimisation.....	55
Figure 4.14	Champ de vitesse autour du rétroviseur optimisé.....	55
Figure 4.15	La géométrie à optimiser (tube coudé).....	56
Figure 4.16	La géométrie optimisée (tube coudé).....	56
Figure 4.17	La géométrie à optimiser (rétroviseur).....	57
Figure 4.18	La géométrie optimisée (rétroviseur).....	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Les caractéristiques géométriques du tube coudé.....	28
Tableau 2.2	Les caractéristiques physiques du fluide.....	28
Tableau 2.3	Les caractéristiques géométriques de rétroviseur.....	32
Tableau 2.4	Qualité d'élément en fonction de F_d	34
Tableau 3.1	Les différents essais de maillage de tube coudé.....	41
Tableau 3.2	Les différents essais de maillage de rétroviseur.....	43
Tableau 4.1	La vitesse de fluide de tube coudé dans des différents points.....	50
Tableau 4.2	La vitesse de fluide de rétroviseur dans des différents points.....	51
Tableau4.3	La différence de volume de tube entre l'état initial et final.....	58
Tableau4.4	La différence de surface entre un rétroviseur simple (a) et un rétroviseur optimisé (b).....	58

NOMENCLATURE

F	La force	[N]
h	L'épaisseur instantanée du film fluide	[m]
i, j, k, l	En ordre ; les indices dans la direction x, dans la direction z, temporelle et des itérations	[-]
P	La pression du fluide	[Pa]
μ	La viscosité dynamique.	[Pa.s]
ρ	Densité du fluide	[kg/m ³]
U	La vitesse de l'écoulement	[m/s]
$u, \bar{u}, u', v, \bar{v}, v', w, \bar{w}, w', p, \bar{p}, p', \rho, \bar{\rho}, \rho', T, \bar{T}, T'$	Les paramètres physiques totaux, moyens et fluctuants	[-]
V_p	La vitesse d'impact des particules.	[m/s]
x, y, z, t	Les 3 coordonnées spatiales et la coordonnée temporelle dans le repère cartésien	[-]

TABLE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

2D	Two-Dimensionnel	Bidimensionnel
3D	Tree-Dimensionnel	Tridimensionnel
ANSYS	Analysis of Systems	Analyse de systèmes
CAD	AutoCAD	AutoCAD
CAO	Computer Assisted Design	Conception Assisté par Ordinateur
CFD	Computational Fluid Dynamics	Dynamique des Fluides Computationnelle
CFX	Computation Fluid Dynamics Program	Programme de Calcul de Dynamique des Fluides
CVC	Combustible Vapor Concentration	Concentration de vapeur combustible
FEA	Finit Elément Analysis	Analyse des Éléments Finis
NOS	Network Optimization Support	Prise en charge de l'Optimisation du Réseau
RNG	Random Number Generator	Généteur De Nombres Aléatoires
SGE	Sun Grid Engine	Sun Grid Engine
STAR-CD	Standardized Testing And Reporting Cross Dresser	Test Standardisé Et Travesti en Reportage
TOSCA	Test of Self-Conscions Affect	Test d'Affect de Soi-Conscience

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans l'histoire de l'ingénierie le processus de conception est passé par plusieurs phases importantes. L'utilisation des modèles réduits réels a diminué considérablement les coûts des tests et des modifications.

L'introduction de l'ordinateur est la deuxième plus importante phase. La simulation numérique, ou ce qu'on appelle la conception assistée par ordinateur CAO, a réduit les coûts de fabrication et accélérer le temps nécessaire aux études. Que ce soit le changement d'une dimension, d'un matériau ou des conditions de fonctionnement, la tâche s'est réduite à quelques clics de souris.

Les exigences imposées par des défis modernes de plus en plus compliqués a nécessité l'automatisation de la CAO et a poussé les ingénieurs vers une nouvelle phase qui est la conception paramétrique. Dans cette approche le concepteur identifie les paramètres à modifier et anticipe la plage des valeurs dans laquelle ils varient. L'ordinateur se charge de l'étude de tous les cas et combinaisons possibles. Enfin, il retourne au début en respectant certaines contraintes, comme par exemple un poids réduit, et vérifie certains objectifs, comme une résistance maximale.

La nouvelle phase qui va révolutionner à nouveau la conception dans l'ingénierie est l'optimisation topologique. Concevoir dans une philosophie d'optimisation topologique commence par une simple simulation sur un modèle surdimensionné où on impose surtout les conditions aux limites et les contraintes à respecter. La connaissance des limites des paramètres étudiés n'est pas nécessaire. Sur la base des résultats de la simulation les algorithmes optimisent la géométrie en modifiant le maillage et en respectant la topologie initiale (forme globale) pour proposer itérativement des configurations qui peuvent être très originales.

L'application de l'optimisation topologique aux problèmes de solide ou des structures mécaniques est relativement mature. On peut la trouver accompagnée par une grande documentation dans beaucoup de logiciels commerciaux comme par exemple : SOLIDWORKS, ANSYS-MECHANICAL, ABAQUS et d'autres.

Nous avons choisi deux cas pratiques pour cette étude : L'homogénéisation du champ de pression dans un tube coudé et un rétroviseur de voiture. L'outil qu'on a choisi est le solveur ADJOINT inclus dans ANSYS-FLUENT.

Le travail présenté dans ce mémoire comprend une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion générale.

Le mémoire présente tout d'abord au chapitre 1 une brève revue de l'optimisation topologique, la mécanique des fluides ainsi une recherche sur les tubes coudés et les rétroviseurs qu'on veut traiter.

Le deuxième chapitre est consacré à la formulation mathématique : les équations de NAVIER- STOKES, de continuité et l'équation de REYNOLDS. Nous avons aussi exposés dans ce chapitre la méthode des volumes finies, les types de maillage, le code de calcul qu'est utilisé dans ce travail et finalement les deux cas étudiés.

Le chapitre 3 est consacré au problème d'optimisation topologique. Le problème d'optimisation est tout d'abord formellement posé dans le contexte de l'optimisation sous contraintes d'équilibre appliqué sur un tube coudé et un rétroviseur d'une voiture, puis la simulation est effectuée.

Le chapitre 4 expose et discute les résultats obtenus et les conclusions tirées.

Ce travail est terminé par une conclusion générale qui dégage les objectifs visés, les principaux résultats obtenus aussi les perspectives des futures études.

CHAPITRE 1
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Introduction

A partir d'une recherche bibliographique, le premier chapitre présente une vision globale de l'optimisation topologique, dynamique des fluides ainsi une brève recherche sur les tubes coudés et les rétroviseurs.

La méthode décrite dans ce chapitre constitue l'optimisation topologique qu'on va l'appliquer sur un tube coudé et un rétroviseur.

Ce chapitre est divisé en trois parties :

La première partie porte sur l'optimisation topologique, commençant par la définition, les composantes d'un problème d'optimisation, les processus et les catégories d'optimisation, ces buts, les étapes à suivre de cette technique, le principe par suite l'optimisation topologique avec ADJOINT SOLVER et finalisé par les avantages, les inconvénients et les applications.

Dans la deuxième partie, nous présenterons une brève étude sur la dynamique des fluides avec sa définition, les différents régimes d'écoulement et la turbulence.

La troisième partie concerne une recherche sur les tubes coudés qui débute par la définition, l'utilisation, applications des coudes de tuyaux après, la corrosion, son origine et la corrosion érosion.

Ensuite, une revue sur les rétroviseurs, leurs composantes et leurs emplacements.

Ce chapitre est finalisé avec une conclusion qui résume notre recherche bibliographique.

1.2 Introduction à l'optimisation topologique

1.2.1 Définition de l'optimisation

L'optimisation est une méthode mathématique qui occupe plusieurs domaines (mécanique, physique, électrique...) quel que soit la nature de la substance. Elle sert à modéliser et trouver la solution optimale d'un problème de minimisation ou maximisation.

C'est une discipline qui regroupe plusieurs activités ayant toutes un but commun qui est minimiser le cout, le temps et maximiser les performances [1].

1.2.2 Composantes d'un problème d'optimisation

Afin de résoudre un problème d'optimisation de structures en mécanique, le mathématicien ou le numéricien travaille à partir de trois composantes essentielles pour concevoir une méthode ou un algorithme de résolution du problème.

Ces composantes sont :

- Un **modèle** (typiquement une équation aux dérivées partielles) qui permet d'analyser le comportement mécanique d'une structure ;
- Un **critère** que l'on cherche à minimiser ou maximiser, et éventuellement plusieurs critères (on parle aussi de fonction objectif ou coût) ;
- Un **ensemble admissible de variables** d'optimisation qui tient compte d'éventuelles contraintes que l'on impose aux variables [2].

1.2.3 Processus d'optimisation

Le dimensionnement classique dans un bureau d'études repose souvent sur une approche essais-erreurs, c'est-à-dire pour réaliser un composant, le concepteur doit :

- Réaliser un modèle initial à partir d'un cahier des charges, de son expérience et de l'environnement général où se situe sa pièce ;
- Réaliser ensuite des modélisations (statique, dynamique, etc.) permettant de vérifier les critères de dimensionnement ;
- Itérer en modifiant sa conception de manière à respecter son cahier des charges.

Divers logiciels d'optimisation d'usage industriel existent actuellement sur le marché, on peut citer parmi eux : OPTISTRUCT, ANSYS DESIGNSPACE, GENESIS, MSCNASTRAN, TOSCA, DEVDEPT, etc.

Leurs principes de base sont de pouvoir reproduire de façon automatique ce qu'un concepteur réalisait auparavant manuellement, en y ajoutant :

- La possibilité de balayer un espace de conception plus large ;
- Les calculs automatiques ;
- Les possibilités de réaliser des plans d'expériences et de créer ainsi des fonctions d'approximation ;
- L'atteinte d'optimum grâce à des algorithmes de plus en plus performants.

Pour le concepteur, les étapes-clefs en optimisation de topologie sont donc :

- La réalisation du modèle de CAO paramétrée ;
- La détermination des analyses à effectuer (statique, dynamique, ...) ;
- La réalisation d'un modèle paramétré éléments finis et associé à la géométrie ;
- La définition des critères de dimensionnement associés à la pièce (contraintes maximales, plage de fréquence interdite, masse, déplacements maximaux, ...).

Le logiciel d'optimisation va être chargé de reconnaître et de gérer ces modèles (éléments finis, CAO, ...), également permettre à l'utilisateur d'identifier les paramètres sensibles, de piloter automatiquement le processus complet de calcul et de traiter les résultats en fonction des paramètres [3].



Figure 1.1 : Processus d'optimisation.

1.2.4 Les catégories d'optimisation

Les classes d'optimisation sont scindées arbitrairement en trois grandes familles classées historiquement par ordre de difficulté et de généralité.

1.2.4.1 Optimisation dimensionnelle

L'optimisation dimensionnelle consiste à faire varier la variable x liée à la géométrie de conception (variation des dimensions). Aucune modification de forme ou de topologie n'est alors appliquée. Elle est ainsi dépendante d'une forme de pièce initiale définie préalablement par l'utilisateur.

1.2.4.2 Optimisation de forme

L'optimisation de forme permet d'apporter des changements dans la forme initiale. La topologie qui reste fixe tout au long du processus d'optimisation est un paramètre fondamental d'entrée. L'optimisation de forme modifie la représentation paramétrique des frontières du domaine.

1.2.4.3 Optimisation topologique

L'optimisation topologique introduite par BENDSOE et KIKUCHI, permet de contrôler non seulement la géométrie, mais aussi la topologie de la structure. Elle consiste à une modification fondamentale de la nature de l'objet en termes de nombre et de position des composantes des domaines. L'avantage majeur de cette méthode réside dans le fait qu'aucune information initiale sur la topologie de la forme optimale n'est à donner [4].

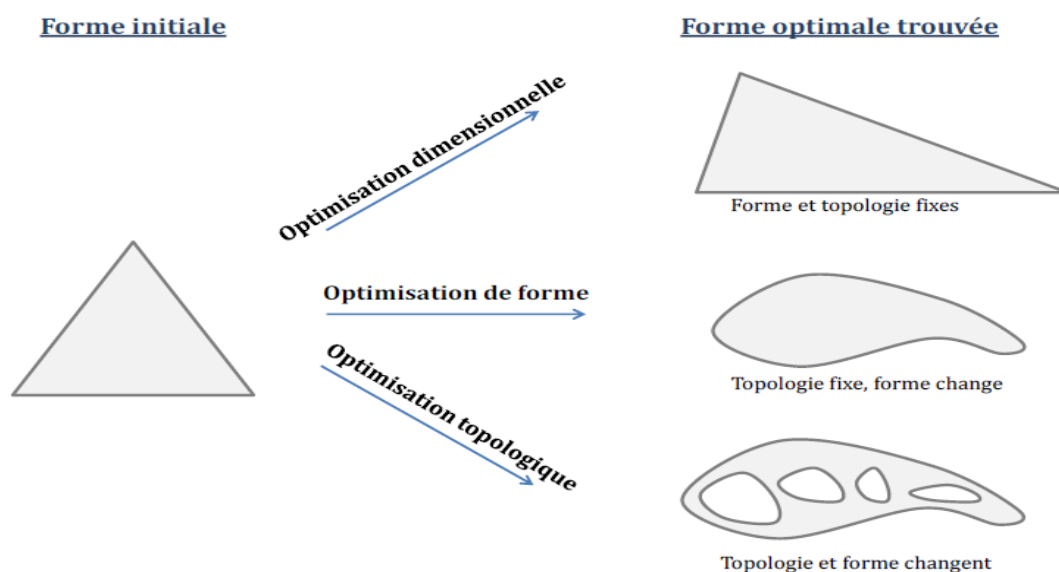


Figure 1.2 : Les trois catégories d'optimisation.

1.2.5 Définition de l'optimisation topologique

L'optimisation topologique est une méthode qui a donné naissance à l'utilisation de plusieurs outils d'aide utilisée pour déterminer la forme optimale d'un objet.

L'optimisation topologique consiste à réarranger la matière dans un volume donné (volume fonctionnel ou espace de conception) afin d'obtenir la forme idéale d'une pièce qui résistera au mieux aux différentes contraintes appliquées.

Elle permet de faire rapidement un choix sur la solution obtenue aussi combiner facilement des critères et des facteurs de décision entre plusieurs domaines dans le but d'aider les décideurs à faire un choix et à pouvoir les motiver [5].

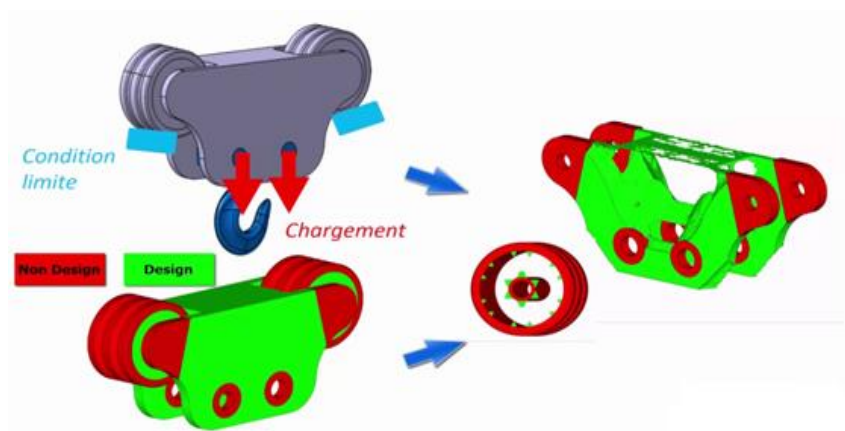


Figure 1.3 : Optimisation topologique d'une pièce mécanique.

1.2.6 Buts de l'optimisation topologique

Parmi les buts de l'optimisation topologique, nous pouvons citer :

- Résoudre les problèmes de conception ;
- Proposer des concepts innovants et efficaces ;
- La détermination rapide en avant-projet de la faisabilité ou non de certaines spécifications ;
- Contrôler la géométrie et la topologie d'une substance afin de trouver une matière idéale plus légère et économique ;
- L'allègement du poids des pièces ;
- Gagner de la matière première et le temps de développement ;
- Augmenter les performances.

1.2.7 Les étapes d'optimisation topologique

Les étapes à suivre dans une optimisation topologique sont :

1.2.7.1 Importation et simplification de la géométrie

Cette étape sert seulement à dessiner la pièce dans le logiciel ANSYS qui permet d'importer différents types de fichiers (SOLIDWORKS, MODLER,).

1.2.7.2 Mise en données

Comme dans tout logiciel de calcul, la mise en données est l'une des étapes les plus cruciales, les résultats d'analyse ou d'optimisation en découlent. Il faut bien définir :

- Les connexions et liaisons, par exemple fixation par écrou, liaison pivot ;
- Les matériaux (on les trouve dans le logiciel ANSYS) ;
- Les options de fabrication et/ou les simplifications (symétrie de la pièce ou plan de joint).

1.2.7.3 Cas de charge

Un des atouts du logiciel est de pouvoir mener de front une analyse sur des cas de charges différentes sur le même fichier et de les comparer rapidement. On peut donc définir différents cas de charges correspondant à différents moments d'utilisation de la pièce.

1.2.7.4 Étude et analyse par éléments finis

La méthode des éléments finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles. La précision et le temps de calcul dépendent du maillage. Ces calculs sont relativement rapides.

1.2.7.5 Optimisation topologique

Il est possible d'optimiser une pièce ou un assemblage en fonction de différents paramètres, et de deux objectifs.

Ces objectifs sont :

- Maximiser la raideur (par rapport à un % de masse de l'espace de conception par exemple) ;
- Minimiser la masse (par rapport à un facteur de sécurité...).

Nous devrions déterminer quels points de l'espace doivent être des points matériels et quels points doivent rester nuls.

1.2.7.6 Etude de topologie

L'optimisation de la topologie cherche une nouvelle présentation du matériau à l'intérieur des limites de la géométrie maximale autorisée en redistribuant le matériau.

Elle propose des concepts sur base d'une distribution optimale de matière. Le composant optimisé satisfait toutes les exigences mécaniques et de fabrication requises.

1.2.7.7 Reconstruction

Réparer des pièces mécaniques est une activité très particulière qui demande des équipements adaptés à des situations très différentes, des outillages facilement transformables et un savoir-faire particulièrement aiguisé et inventif.

La réparation et reconstruction d'une pièce mécanique est un secteur appartenant à la construction mécanique et spécialisé dans la réalisation d'opérations destinées à remettre en état des pièces mécaniques endommagées par usure ou par accident [6].

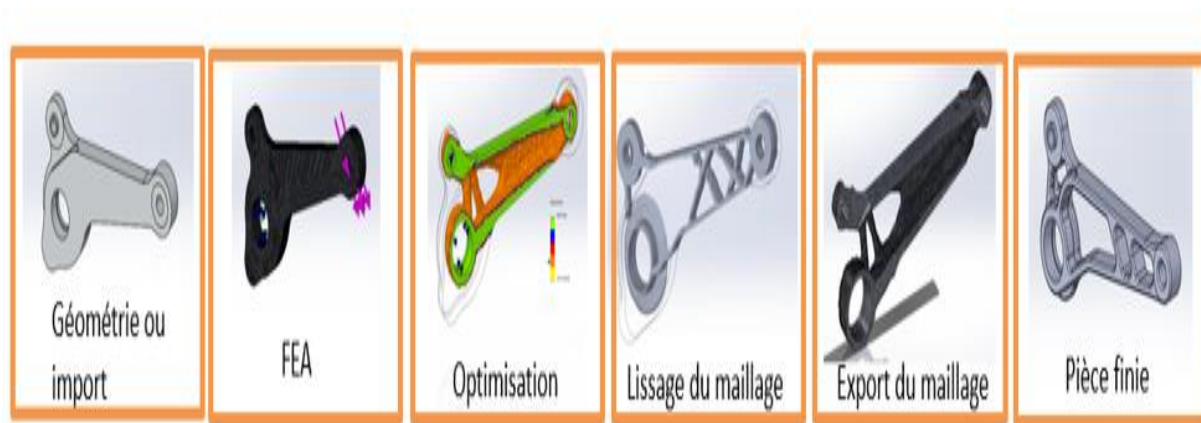


Figure 1.4 : Les différentes étapes d'optimisation topologique d'une pièce.

1.2.8 Le principe de l'optimisation topologique

Le principe de l'optimisation topologique est basé sur :

- **Données en entrée**
 - Une zone d'espace fonctionnel ou une conception existante ;
 - Les contraintes de charges ;
 - La matière utilisée voir même la méthode de fabrication.
- **Obtenues en sortie**
 - La répartition de la matière minimum et optimale pour que votre pièce tienne.

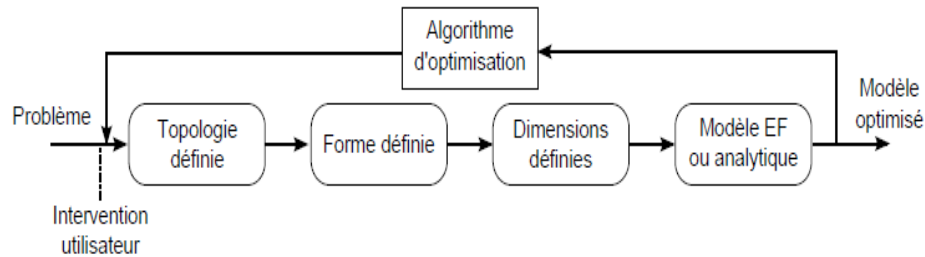


Figure 1.5 : Schéma fonctionnel de l'optimisation topologique [7].

1.2.9 Optimisation topologique avec ADJOINT SOLVER

Les solveurs adjoints prennent une solution de flux COMPUTATIONALFLUID DYNAMICS (CFD) et calculent la sensibilité des indicateurs de performance (par exemple, le glissement ou le transfert de chaleur) pour toutes les variables de conception. L'obtention d'une solution adjointe fournit aux concepteurs des informations essentielles sur la manière de modifier la forme du dessin pour améliorer la quantité d'intérêt. Le morphing de maillage est un outil simple et puissant qui permet aux concepteurs de modifier la géométrie au niveau du maillage et au sein du solveur parallèle pour évaluer les effets des modifications de conception. Les concepteurs peuvent alors parcourir ce processus pour obtenir une conception optimale sans avoir à revenir à la géométrie CAO d'origine. Pour les géométries complexes, les interactions aérodynamiques deviennent complexes et la perspicacité acquise par adjoints, les solveurs peuvent prendre le dessin dans des directions inattendues difficiles à représenter en utilisant une géométrie paramétrique [8].

1.2.9.1 Modèles d'optimisation topologique

Nous avons choisi un satellite sentinelle et un drift trick comme des exemples d'application d'optimisation topologique pour mettre en évidence l'utilité de cette technique dans les différents domaines de l'industrie.

➤ Exemple 01

Plus un satellite est léger, moins son envoi dans l'espace est coûteux. Malgré les conditions extrêmement difficiles lors de son lancement et pendant sa phase opérationnelle dans l'espace, il doit être résistant. Les industriels recherchent des solutions d'allègement pour régler ce problème. Parmi les technologies décisionnelles, l'optimisation topologique nous donne une solution avec ADJOINT SOLVER.

Les méthodes d'optimisation permettent aux industriels d'alléger leurs structures en identifiant les zones où la matière est vraiment nécessaire et où elle peut être supprimée sans nuire aux performances.

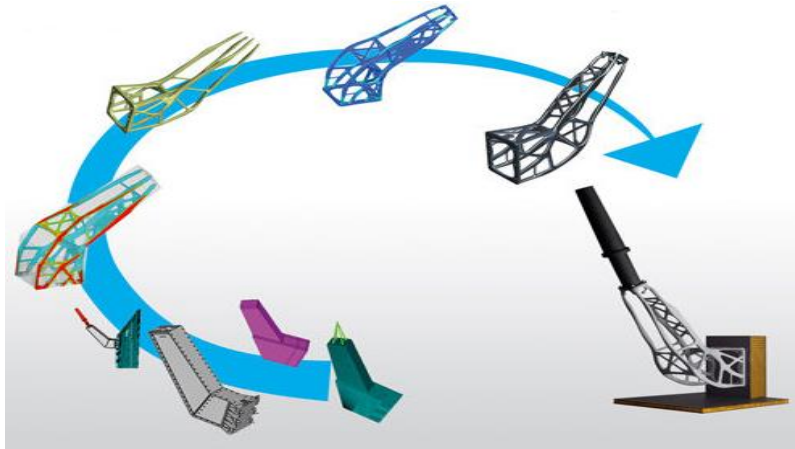


Figure 1.6 : Optimisation topologique d'un satellite sentinelle.

✓ **Exemple 02**

Le drift trick est automobile de sport de descente à trois roues sur bitume qui permet de dévaler des pentes en drift (une forme de dérapage). De par son côté ludique, sécuritaire et sensationnel. Il est développé au cours des dernières années dans le monde entier. Plus un drift trick est léger, plus il est rapide, malgré les conditions extrêmement difficiles de la route, il doit être plus résistant. Les industriels ont cherché un moyen d'optimisation pour lui rendre plus rapide qu'avant. Ils ont trouvé l'optimisation topologique comme une technique d'aide, grâce ça réalisation des formes optimale avec des performances plus améliorables.



Figure 1.7 : Optimisation topologique d'un drift trick.

1.2.10 Avantages de l'optimisation topologique

Les avantages de l'optimisation topologique sont :

- Meilleure connaissance de la forme ;
- Meilleure intégration des contraintes de processus ;
- Résultat en contrainte mécanique plus précis ;
- Développement d'un outil d'optimisation paramétrique interfacé à la CAO ;
- Diminution du risque d'échec de projet ;
- Maîtrise des performances du produit ;
- Optimisation du temps de développement.

1.2.11 Inconvénients de l'optimisation topologique

Les inconvénients de l'optimisation topologique sont :

- L'optimisation topologique n'est pas la panacée à tous les problèmes de conception ;
- Il y a des cas où les formes de pièces ne sont pas exploitables ;
- Elle pose des problèmes en phase industrialisable.

1.2.12 Applications de l'optimisation topologique

Concernant les applications, l'optimisation topologique intervient dans presque tous les domaines des sciences de l'ingénieur, citons quelques applications particulières :

- Secteur aéronautique, spatial et défense : recherche permanente de gain de poids et de masse ;
- Secteur industriel : réduire les coûts ;
- Secteur artistique : liberté de créer des formes ;
- Secteur médical : structures lattices pour ostéo-intégration.

1.3 Dynamique des fluides

1.3.1 Définition de la dynamique des fluides

La dynamique des fluides, ou l'hydrodynamique est l'étude des mouvements des fluides, qu'ils soient liquide ou gazeux. La résolution d'un problème de dynamique des fluides demande normalement de calculer diverses propriétés des fluides.

1.3.2 Les différents régimes d'écoulement

Connaitre le régime d'écoulement c'est de calculer le nombre de REYNOLDS qu'est donné par :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (1.1)$$

On note les deux régimes d'écoulement :

1.3.2.1 Régime laminaire

Où le mouvement des particules est dans la même direction de façon régulière et ordonnées avec :

$$Re < 2000 \quad (1.2)$$

1.3.2.2 Régime turbulent

L'écoulement des particules est de façon irrégulière désordonnés la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire [9].

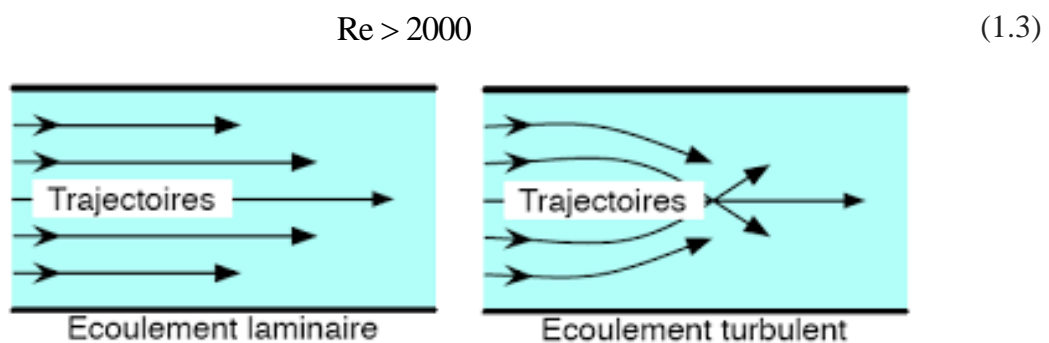


Figure 1.8 : Les différents régimes d'un fluide.

1.3.3 La turbulence

La turbulence est l'état d'un fluide dont l'écoulement est irrégulier tel qu'en tout point de l'espace la vitesse varie aléatoirement, les mouvements des fluides sont en fait complexes, désordonnés, turbulents .

1.3.4 Les origines de la turbulence

On s'intéresse à la manière dont les écoulements deviennent instationnaires et désordonnés à grand nombre de REYNOLDS. L'origine de ce désordre repose sur le terme non-linéaire de l'équation de NAVIER-STOKES qui est le terme inertiel de transport par convection. Ainsi, plus le nombre de REYNOLDS est grand, plus ce terme aura de poids dans la dynamique et plus on aura affaire à des écoulements complexes et turbulents.

Les origines de la turbulence sont :

➤ **Les instabilités**

Instabilité de cisaillement, Instabilité centrifuge, Instabilité des tourbillons.

➤ **Le phénomène de décollement**

Le décollement de couche limite laminaire est souvent à l'origine de la turbulence car il produit des zones potentiellement instables.

➤ **Transitions vers la turbulence**

Transition à caractère sous critique, Transitions à caractère supercritique [10].

1.3.5 Les conséquences de la turbulence

Les conséquences de la turbulence sont les suivants :

- Perte de stabilité ;
- Irréversibilité ;
- Plus grande dissipation d'énergie ;
- Plus grande divulsion ;
- Création de structures à grande échelle [11].

1.4 Tube coudé

1.4.1 Définition

Un coude à 90°, également appelé "coude 90°" ou "quart de coude", se fixe facilement au plastique, au cuivre, fonte, acier ou plomb. Il permet de modifier le flux de matière cela ajoute des pertes de pression au système due à l'impact de la particule.



Figure 1.9: Coude 90° pour un tube de remplissage $\varnothing 16\text{mm}$.

1.4.2 Utilisation

- Il est principalement utilisé pour connecter des tuyaux à vannes, pompes à eau et drains de pont ;
- Il peut être utilisé dans l'eau : alimentation, drainage, égouts, événements, aspirateur central ;
- Systèmes, conduites d'air et de gaz, CVC, puisard;
- On peut le trouver aussi au pompe les drains, et tout endroit où la plomberie ainsi que les raccords seraient utilisées pour joindre des sections de tuyau [12].

1.4.3 Applications des coudes de tuyaux

Les différentes applications des coudes de tuyaux sont les suivantes :

- Ils sont fabriqués pour être utilisés dans des nombreuses applications spécialisées ;
- Les coudes sont construits avec des matériaux lourds pour applications rigides telles que températures extrêmement basses / élevées résistance etc ;
- Les coudes sont spécialement conçus pour être utilisés sur procédés et systèmes de contrôle, instrumentation et équipements utilisés dans les domaines de la chimie, du pétrole, des fluides, usines électroniques et de pâtes et papiers [12].

1.4.4 Définition de la corrosion

La corrosion est un grand problème mondial touche tous les secteurs surtout l'industrie pétrolière. La corrosion est la dégradation du matériau par réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. Il subit en effet de manière progressive aux points de contact avec le milieu environnant [13].

1.4.5 L'origine de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement :

- Composition chimique et microstructure du métal ;
- Composition chimique de l'environnement ;
- Paramètres physiques (température, convection, irradiation, ...) ;
- Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottement, ...) [14].

1.4.6 La corrosion érosion

La corrosion par érosion est due à l'accélération du taux de corrosion dans le métal en raison du mouvement relatif d'un fluide et d'une surface métallique. Elle se produit généralement dans les tuyaux cintrés (coudes), les étranglements de tuyaux et dans d'autres structures qui altèrent la direction ou la vitesse de l'écoulement. Le mécanisme de ce type de corrosion provient de l'écoulement continu du fluide, qui élimine tout film protecteur ou oxyde métallique de la surface du métal. Il peut se produire en présence et en l'absence de matières en suspension dans le flux d'écoulement.

Elle est souvent favorisée par l'écoulement rapide d'un fluide.

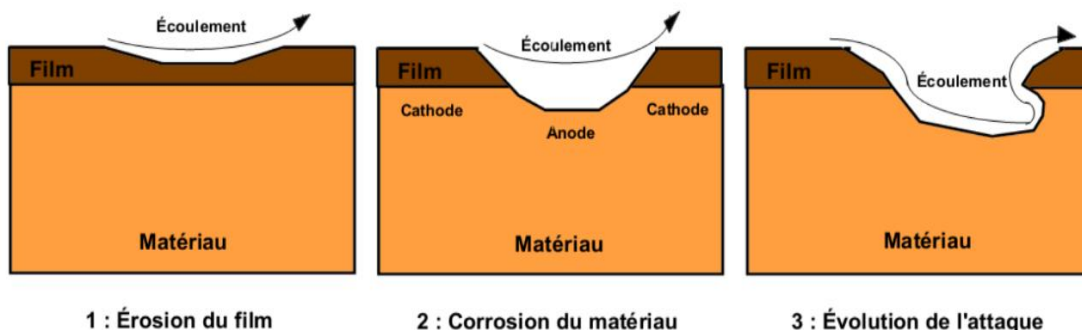


Figure 1.10 : Représentation schématique du phénomène de corrosion-érosion [14].

1.5 Rétroviseur

1.5.1 Définition d'un rétroviseur

C'est un dispositif d'aide à la conduite dont la principale composante est une surface réfléchissante, habituellement un miroir, orienté vers l'arrière d'un véhicule afin de permettre au conducteur de voir derrière lui sans devoir tourner la tête.

1.5.2 Composantes d'un rétroviseur

Le rétroviseur est composé de plusieurs éléments (coque ; miroir ; système de réglage...).

1.5.3 Emplacements des rétroviseurs

1.5.3.1 Automobile

Nous trouvons les rétroviseurs dans le domaine d'automobile, parmi ces types nous citons :

- Rétroviseur intérieur (ou central);
- Rétroviseur extérieur côté conducteur ;
- Rétroviseur extérieur côté passager.



Figure 1.11 : Rétroviseurs intérieurs et extérieurs d'une voiture.

1.5.3.2 Deux-roues

Sur les deux-roues, là où les rétroviseurs sont le plus souvent fixés sur le guidon .



Figure 1.12: Rétroviseur d'un motard.

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons situé le type de l'optimisation choisi, à savoir que l'optimisation topologique parmi les dernières technologies disponibles qui a donné naissance à l'utilisation de plusieurs outils d'aide à la décision.

Nous avons défini l'optimisation topologique couramment utilisé dans l'industrie avec ses étapes, son principe, ses avantages et ses inconvénients ainsi que son rôle dans l'application industriels.

En plus, nous avons fait une brève étude sur la dynamique des fluides et la turbulence.

Ce chapitre est finalisé par une recherche sur les tubes coudés et les rétroviseurs.

CHAPITRE 2
FORMULATION
MATHEMATIQUE

CHAPITRE 2

FORMULATION MATHÉMATIQUE

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons commencer par exposer la formulation mathématique de problème de NAVIER STOKES.

Les problèmes qu'on va les traiter en régime turbulent, sous les hypothèses du fluide newtonien, incompressible, sans effet d'inertie, sans rapport de chaleur, permanent.

Nous allons ensuite accomplir une étude paramétrique sur les modèles à traiter.

Le modèle numérique est résolu sous ANSYS avec des séries d'études de maillage et des conditions à la limite. Ces essais sont effectués pour assurer la bonne convergence.

2.2 Equation de NAVIER STOKES

Les équations de NAVIER STOKES sont très puissantes. Elles peuvent décrire à la fois les écoulements laminaires et turbulents. Cependant, les résoudre directement pour des écoulements turbulents est très coûteux en termes de ressources informatiques.

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v \quad (2.1)$$

2.2.1 Equation de continuité

L'équation de la conservation de masse est donnée par :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.2)$$

Pour un écoulement permanent $\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \right)$, bidimensionnelle incompressible ($\rho = \text{cte}$) :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

On peut distinguer l'équation de Reynolds modifié :

$$\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} + 12 \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.4)$$

2.2.2 Equation de conservation de quantité de mouvement

L'équation de bilan de la quantité de mouvement découle du principe fondamental de la dynamique appliqué à un fluide. Avec l'équation de conservation de la masse et l'équation de la chaleur elle fait partie des équations de Navier-Stokes. Elle est donnée par :

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} \right] = -\nabla p + \nabla \bar{T} + \rho b \quad (2.5)$$

$$\text{Avec } \bar{T} = \begin{Bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{Bmatrix}$$

Dans un régime permanent et en négligeant les forces de volumes :

$$\rho \left[(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} \right] = -\nabla p + \nabla \bar{T} \quad (2.6)$$

Chaque paramètre dépendant du temps s'écrit comme la somme d'une valeur moyennée dans le temps et de sa fluctuation :

$$u = \bar{u} + u', v = \bar{v} + v', w = \bar{w} + w', p = \bar{p} + p', \rho = \bar{\rho} + \rho' \text{ et } T = \bar{T} + T' \quad (2.7)$$

Chaque paramètre est moyenné dans un point fixe dans l'espace en prenant sa moyenne sur une grande période s'écrit comme :

$$\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} u dt \quad (2.8)$$

L'équation de continuité (moyenné par rapport au temps):

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

Les fluctuations moyennées dans le temps sont toutes supposées égales à zéro.

2.3 Méthodes des volumes finis

La méthode des volumes finis est caractérisée par son avantage à satisfaire la conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie dans tous les volumes finis, ainsi que dans tout le domaine de calcul. Elle facilite la linéarisation des termes non linéaires dans les équations de conservation telle que le terme source par exemple. La méthode consiste à partager le domaine de calcul en plusieurs volumes, où chaque volume entoure un nœud.

2.3.1 Notion de maillage

Un maillage est la discrétisation d'un milieu continu, ou aussi une modélisation géométrique d'un domaine par éléments proportionnés finis et bien définis. L'objet d'un maillage est de procéder à une simplification d'un système par un modèle représentant ce système et, éventuellement, son environnement (le milieu), dans l'optique de simulations de calculs ou de représentations graphiques.

2.3.2 Nœuds et éléments

La modélisation numérique repose sur la reformulation des équations de conservation sur des volumes V_n élémentaires ou discrets, appelés éléments ou mailles. A ces éléments, sont associés les nœuds de discrétisation, c'est-à-dire les points de résolution des équations discrètes. Ceux-ci peuvent être aussi bien placés aux sommets des éléments qu'en leur centre ou encore sur les faces, selon la méthode de discrétisation utilisée.

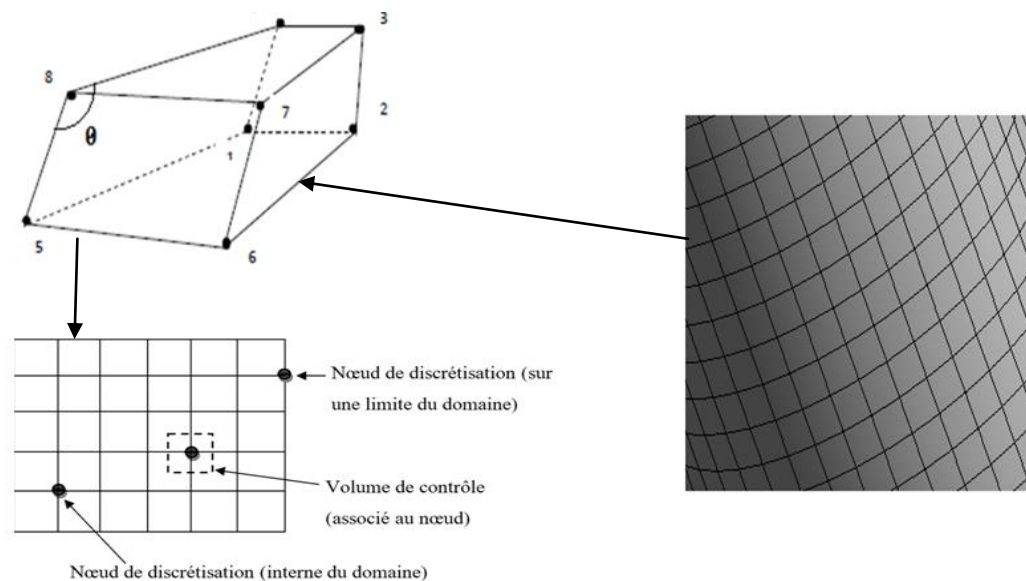


Figure 2.1 : Illustration de la notion de maillage avec la méthode des volumes finis.

Les éléments et les nœuds associés composent le maillage, qui se fait par un découpage géométrique du domaine de calcul.

2.3.3 Géométrie et topologie

Nous faisons la différence entre la géométrie qui caractérise la forme du domaine et la topologie qui est le résultat du découpage spatial du domaine sur lequel s'appuie le maillage. La topologie est donc une classification des objets de type segments, faces, etc.

Nous distinguons plusieurs types de maillages, définis par le nombre de nœuds associés à chaque élément (**Figure 2.2**) et par le nombre de liaisons pour chaque nœud.

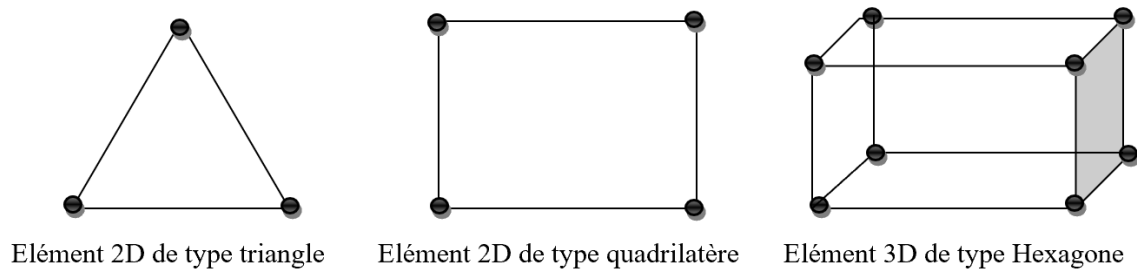


Figure 2.2 : Quelques types d'éléments.

2.4 Présentation du logiciel ANSYS WORKBENCH

Le WORKBENCH permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique.

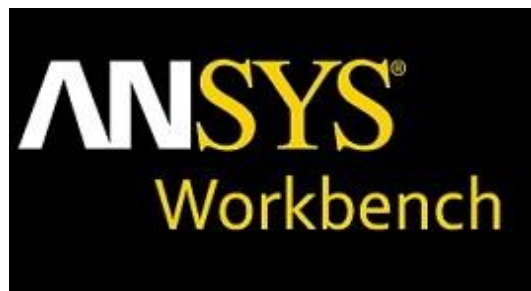


Figure 2.3: Logo d'ANSYS WORKBENCH.

C'est à partir de là que vont être créés les fichiers, lancés les logiciels et gérées les interactions entre les différents logiciels utilisés pour la géométrie, le maillage, la simulation proprement dite et le posttraitement. On verra aussi que le WORKBENCH permet d'automatiser les procédures, de comparer les résultats de différentes simulations etc....

2.5 Présentation du code de calcul

Le code de calcul "FLUENT" est commercialisé par le groupe ANSYS. Ce groupe est actuellement l'un des pôles de compétence en mécanique des fluides numérique les plus importants. Il développe et commercialise une solution complète sous forme de logiciels de CFD généralistes qui simule tous les écoulements des fluides compressibles ou incompressibles, impliquant des phénomènes physiques complexes tels que la turbulence, le transfert thermique, les réactions chimiques, les écoulements multiphasiques pour toute l'industrie. Les produits et services proposés par le groupe "FLUENT" aident les ingénieurs à développer leurs produits, à optimiser leur conception et à réduire leurs risques.

Ce code est largement utilisé dans l'industrie aéronautique, automobile et offre une interface sophistiquée qui facilite son utilisation. Le logiciel "FLUENT" modélise par la méthode des volumes finis des écoulements très variés dans des configurations plus ou moins complexes.

2.6 Étude numérique

Nous allons utiliser une seule méthode de résolution numérique la méthode des volumes finis sous ANSYS-FLUENT pour la formulation basée sur les équations de NAVIER STOKES.

ANSYS FLUENT est un code de calcul dans la CFD qui modélise par la méthode des volumes finis des écoulements très variés dans des configurations plus ou moins complexes.

Ce solveur offre toutes les capacités physiques nécessaires pour la modélisation des écoulements fluides, des turbulences, des transferts de chaleur et des réactions chimiques.

Ce qui nous a amené à choisir FLUENT comme solveur pour la problématique traitée c'est d'une part, le fait de l'avoir utilisée auparavant pour d'autres projets.

2.7 Etude de cas simple

2.7.1 Présentation de tube coudé

Pour le calcul numérique on adopte le modèle de tube coudé à 90° comme un choix d'application d'optimisation / simulation.

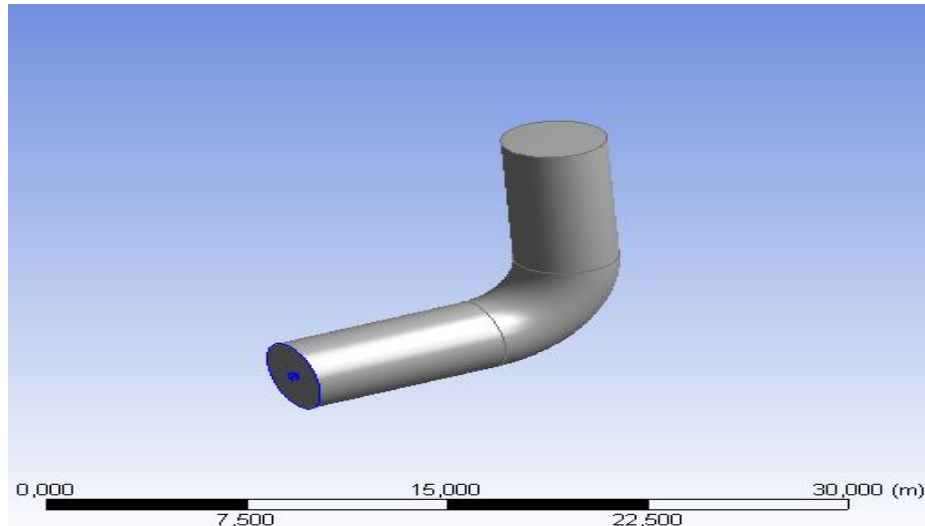


Figure 2.4: Modèle géométrique de tube coudé.

2.7.2 Conditions aux limites

Initialement, le fluide à l'entrée de tube coudé est déclaré comme vitesse d'entrée, son diamètre nominal vaut de 4m, sa longueur est de 12m considéré comme mur (Z1, Z2, Z3) et la sortie de tube déclaré comme pression de sortie.

Nous avons indiqué que la vitesse d'entrée de tube est de 0,5m/s quiest spécifiée comme une condition à la limite. La sortie de tube est prise à la pression atmosphérique.

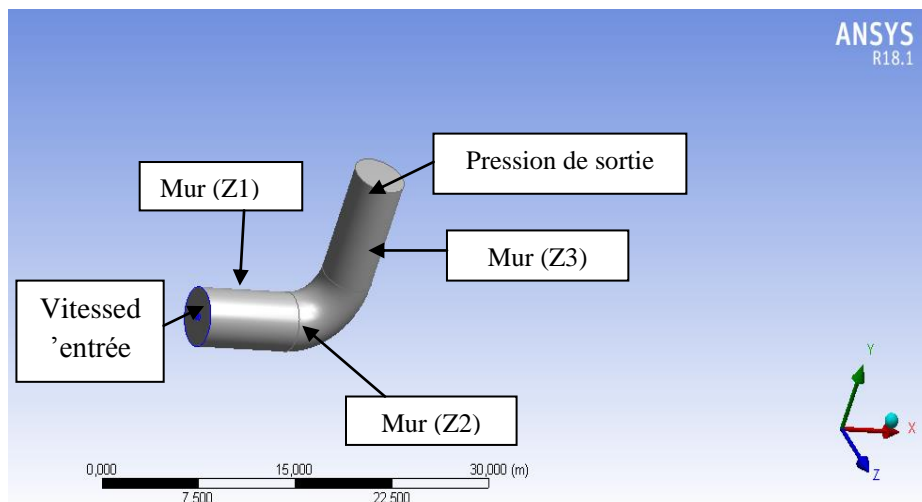


Figure 2.5: Les conditions aux limites de la géométrie.

2.7.3 Les propriétés géométriques et physiques

Le tableau (2.1) montre les caractéristiques géométriques de tube coudé.

Paramètre	Valeur(m)	Définition
D	4	Diamètre
R _C	2	Rayon de courbure du coude
L _m	12	Longueur de la conduite en amont du coude
L _v	12	Longueur de la conduite en aval du coude

Tableau 2.1: Les caractéristiques géométriques de tube coudé.

Dans notre étude, nous avons utilisé l'air comme un choix de fluide de simulation.

Le tableau 2.2 montre les caractéristiques physiques de ce fluide.

Densité	Viscosité dynamique	Vs
1.225Kg/m ³	1.7894*10 ⁻⁵ Pa.s	0.5m/s

Tableau 2.2 : Les caractéristiques physiques du fluide.

2.7.4 Type de maillage

Le maillage utilisé dans notre simulation est un maillage structuré (hexaédrique), d'une densité raisonnable. Cela sera fait sous le logiciel ANSYS qui peut créer des maillages utilisables directement par FLUENT.

Vu la régularité de la géométrie avec DESIGNMODELER, un maillage structuré à base d'éléments hexaédriques est adopté. Un soin spécial est donné aux zones suivantes :

- L'entrée de la conduite coudée est plus de 20 éléments ;
- La zone de courbure du coude est plus de 10 éléments pour bien caractériser la couche limite visqueuse ;
- La sortie de tube coudé est de plus de 20 éléments.

Des phénomènes de la mécanique des fluides, vu l'influence de ce paramètre sur la solution.

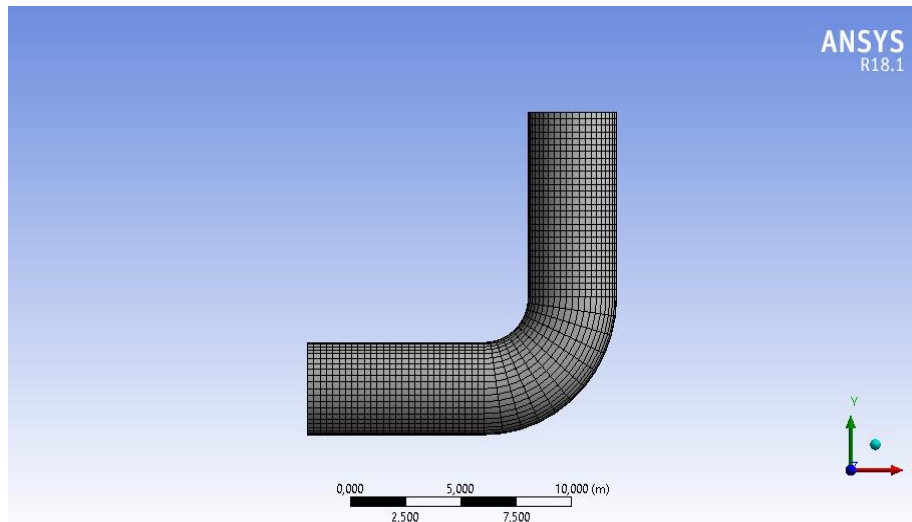


Figure 2.6 : Maillage de la géométrie.

2.7.5 Les paramètres de maillage

Les paramètres de maillage choisis dans le tube coudé est l'inclinaison avec un max de 0.54 (voir Figure 2.7).

Paramètres de maillage	Inclinaison
<input type="checkbox"/> Min	3,9264e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,54441
<input type="checkbox"/> Moyenne	0,13179
<input type="checkbox"/> Ecart type	0,10037

Figure 2.7: Les paramètres de maillage de tube coudé.

2.7.6 Qualité de maillage

La génération d'une bonne qualité de maillage est essentielle pour l'obtention d'un résultat de calcul précis. Dans notre cas le maillage observer est fin de qualité bonne.

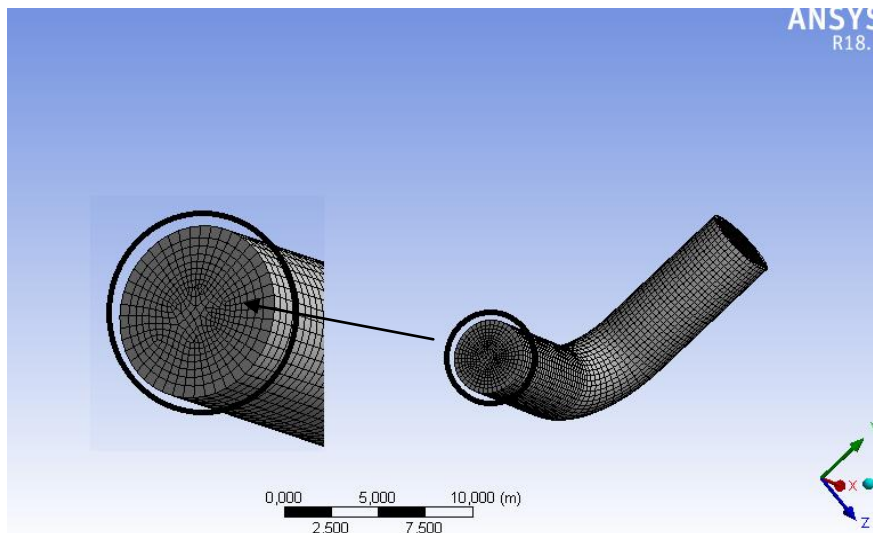


Figure 2.8: Qualité de maillage de modèle étudié.

2.7.7 Convergence de maillage

Le maillage est constitué de 28696×26934 nœuds. La série a été convergée autour de 180 secondes et l'itération est égale à 120. Une procédure est convergente si toute erreur tend à décroître au cours des itérations. Elle a convergé lorsque les itérations ne produisent plus de changements significatifs sur les variables selon un critère qui doit être inférieure à 10^{-5} pour stopper le processus itératif lorsqu'il est satisfait.

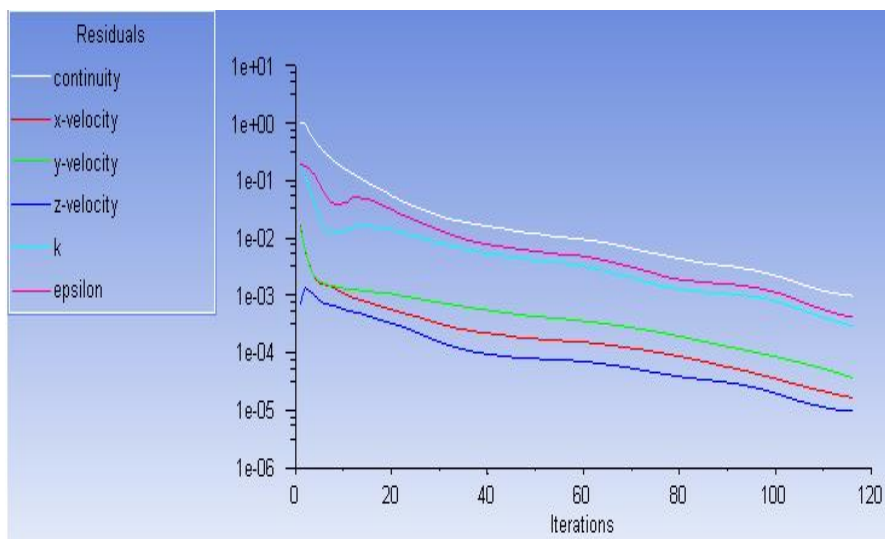


Figure 2.9: Convergence de maillage.

2.7.8 Contour de pression

Ce rapport présente les résultats des simulations effectuées. Les résultats de base utilisent le modèle de turbulence RNG k- ϵ . Nous avons obtenues comme résultats de la chute de pression 0.051 Pa.

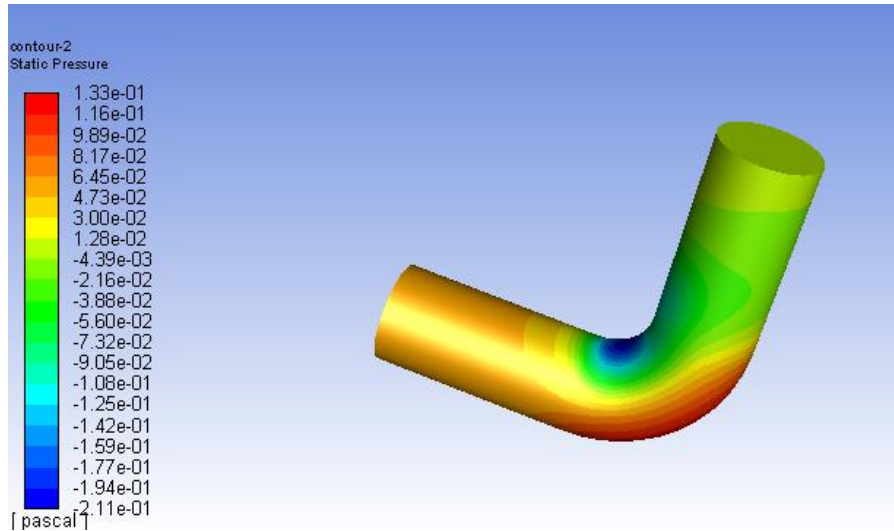


Figure 2.10: Distribution de la pression dans la conduite.

2.8 Étude de cas réel

2.8.1 Présentation de rétroviseur d'une voiture

Pour le calcul numérique on adopte le modèle de rétroviseur extérieur d'une voiture.

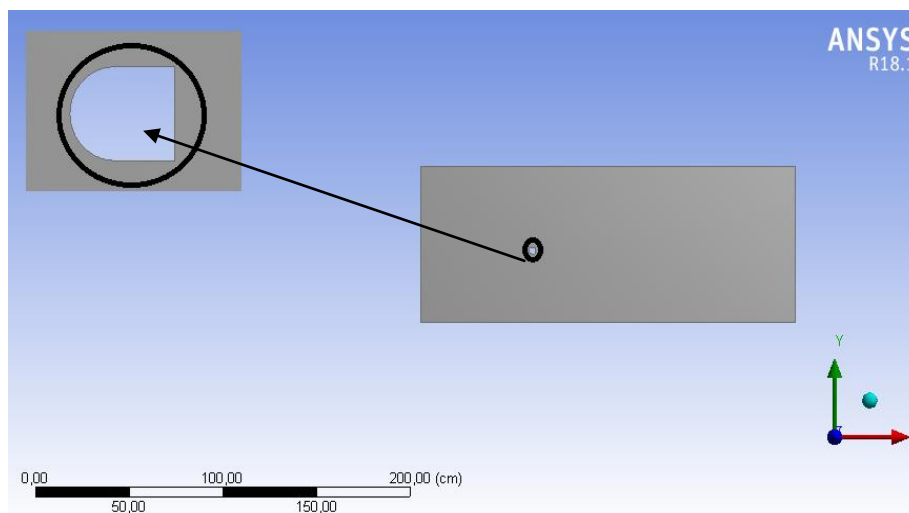


Figure 2.11: Modèle géométrique d'un rétroviseur.

2.8.1 Conditions aux limites

Initialement le fluide traverse la face avant de rétroviseur qu'est déclaré comme vitesse d'entrée. La sortie du rétroviseur déclaré comme pression de sortie.

Nous avons considéré l'entrée de rétroviseur avec une vitesse de 90 m/s qui est spécifiée comme une condition à la limite.

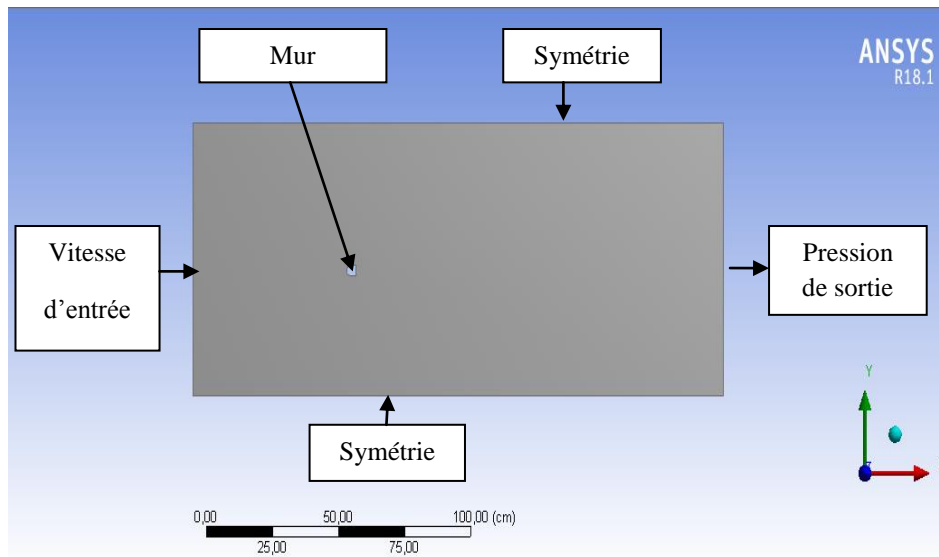


Figure 2.12 : Les conditions aux limites de la géométrie.

2.8.2 Les propriétés géométriques

Dans notre étude nous avons utilisé le même fluide (air) de cas précédent.

Le tableau ci-dessus illustre les paramètres géométriques de rétroviseur.

Le paramètre	Valeur (m)	Définition
D	0.03	Diamètre
L_e	0.09	La longueur de la côté inférieur de rétroviseur
L_s	0.03	La longueur de la face avant de rétroviseur

Tableau 2.3 : Les caractéristiques géométriques de rétroviseur.

2.8.3 Type de maillage utilisé

Le maillage utilisé ne concerne que les domaines fluides de chaque élément (vu que le but de l'étude est l'écoulement du fluide. Un soin spécial est donné aux zones suivantes :

- L'entrée de rétroviseur est plus de 40 éléments pour caractériser la couche limite près de rétroviseur ;
- La sortie du rétroviseur est de plus de 30 éléments.

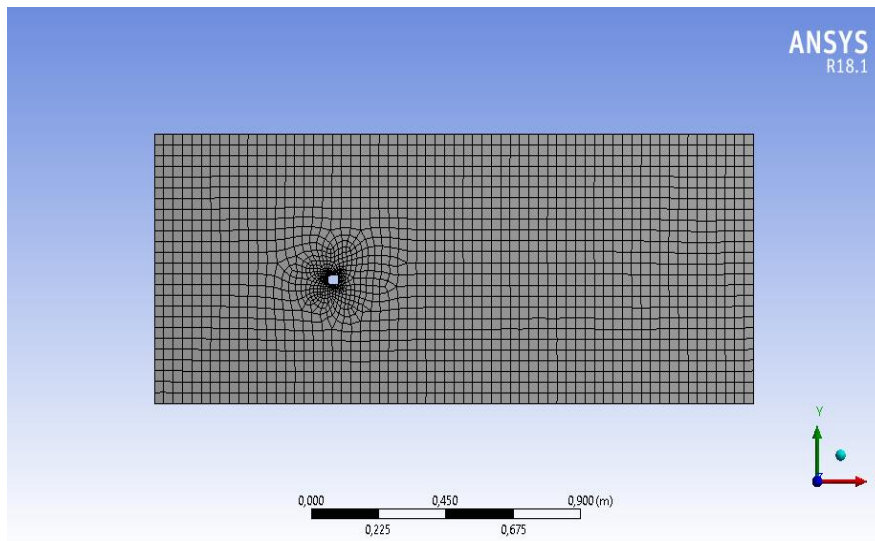


Figure2.13 : Maillage de la géométrie.

2.8.4 Les paramètres de maillage

Les paramètres de maillage choisi dans le rétroviseur est inflation avec un max de 0.54.

Paramètres de maillage	Inclinaison
<input type="checkbox"/> Min	1,8279e-005
<input type="checkbox"/> Max	0,5433
<input type="checkbox"/> Moyenne	6,8763e-002
<input type="checkbox"/> Ecart type	0,11592

Figure 2.14 : Les paramètres de maillage de rétroviseur.

2.8.5 Qualité de maillage

Le maillage de cas traité est fin avec bonne qualité.

Le tableau ci-dessus montre les différentes qualités de maillage :

F_d	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.8	0.8-0.95	0.95-0.99	0.99-1.00
Qualité de maillage	Excellente	Bonne	Acceptable	Pauvre	Très pauvre	Mauvaise

Tableau 2.4 : Qualité d'élément en fonction de F_d .

La figure suivante montre la qualité de maillage autour le rétroviseur :

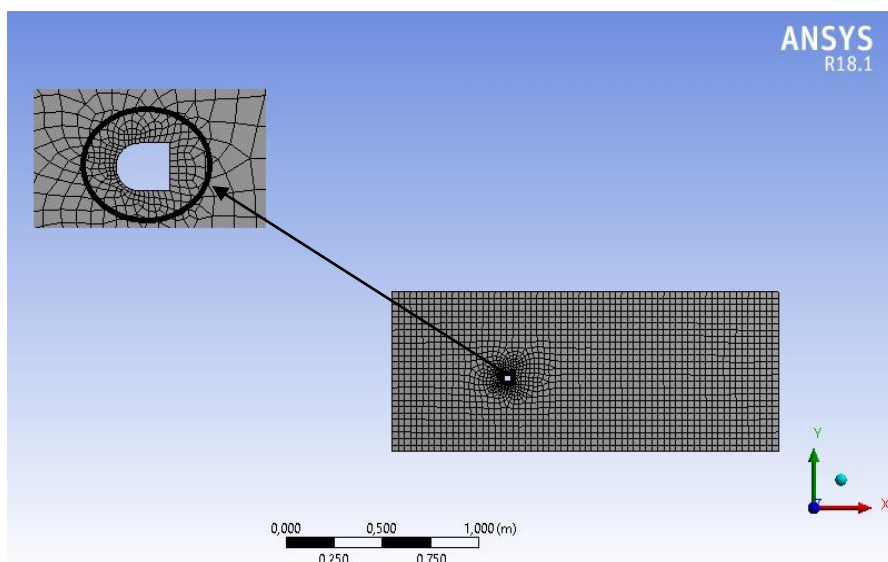


Figure 2.15: Qualité de maillage de modèle étudié (un rétroviseur).

2.8.6 Convergence de maillage

Le maillage est constitué de 2136×2029 nœuds. La série a été convergée autour de 30 secondes et l'itération est égale à 43. Une procédure est convergente si toute erreur tend à décroître au cours des itérations, un critère d'erreur qui doit être inférieure à 10^{-5} pour stopper le processus itératif lorsqu'il est satisfait.

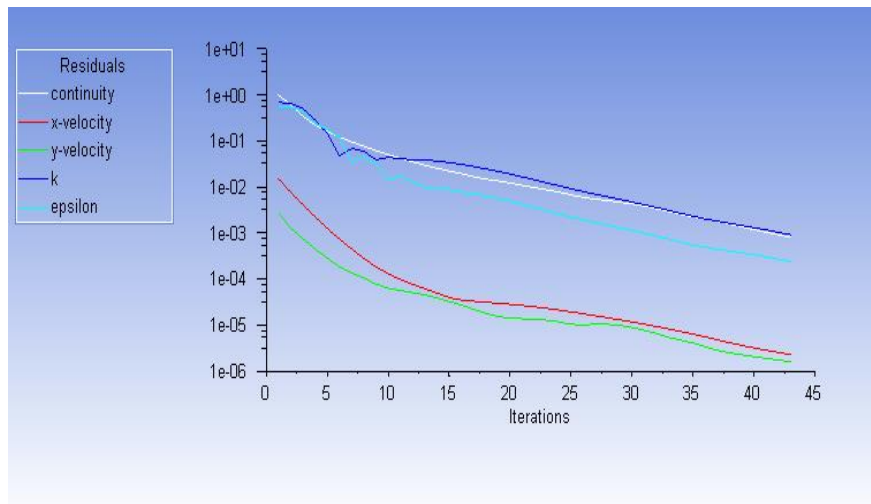


Figure 2.16 : Convergence de maillage.

2.8.7 Simulation du cas étudié

Ce rapport présente les résultats des simulations effectuées. En utilisant le modèle de turbulence RNG k- ϵ . Nous avons obtenue comme résultat de force 121,58N.

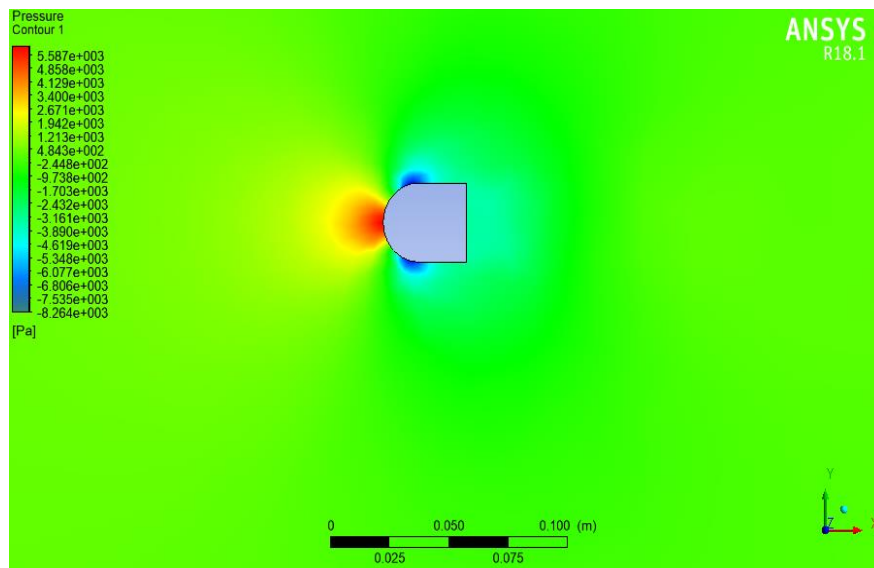


Figure 2.17: Distribution de pression dans le rétroviseur.

2.9 Conclusion

Dans un premier temps, nous avons présenté et exposé la formulation mathématique de NAVIER STOKES (équation de continuité, équation de mouvement, équation de REYNOLDS).

Dans second temps, nous avons traité l'influence de la densité de maillage et quelques autres paramètres de simulation sur la convergence de la solution.

Ces deux méthodes sont utilisées pour parvenir à des résultats de simulation qui sera l'objectif de chapitre suivant.

Le maillage obtenu on va l'utiliser pour la suite de l'étude d'optimisation, portant sur le temps total de la simulation et le nombre d'itération.

CHAPITRE 3
OPTIMISATION
TOPOLOGIQUE

CHAPITRE 3

OPTIMISATION TOPOLOGIQUE

3.1 Introduction

Après avoir simulé le tube coudé et le rétroviseur dans le chapitre précédent. La démarche utilisées pour optimiser topologiquement les géométries dans ce chapitre est de définir d'une part les surfaces fonctionnelles et d'autre part un espace au sein duquel le logiciel pourra nous donner des nouvelles géométries optimisées.

Nous avons focalisés notre attention sur les principales approches ayant abouti à des outils d'aujourd'hui, plus précisément nous avons présenté la technique basée sur la recherche des chemins minimaux qui offre des outils optimaux.

3.2 Étude numérique à l'aide d'ADJOINT SOLVER

Déterminer la forme appropriée des composants structuraux est un problème de première importance pour l'ingénieur avec ANSYS ADJOINT SOLVER qui propose des options qu'on peut les réaliser, ANSYS fournit un outil numérique qui calcule une distribution optimale des matériaux par rapport à un espace de conception prédéfini. Les charges mécaniques (statiques / dynamiques) et les restrictions (constructives / liées à la production) doivent être prises en compte.

3.3 Etude tube coudé

Dans cette section, nous présentons la méthodologie d'optimisation topologique appliquée sur un tube coudé pour reconcevoir cette pièce.

Pour l'optimisation topologique nous allons utiliser ADJOINT SOLVER comme un outil d'aide à la recherche optimale selon une approche directe, la chute de pression est définie comme contrainte de maximisation.

3.3.1 La zone d'application de l'optimisation topologique

Nous allons appliquer la méthode décisionnelle sur la zone identifiée dans la figure suivante.

La figure 3.1 montre le domaine d'application de l'optimisation topologique :

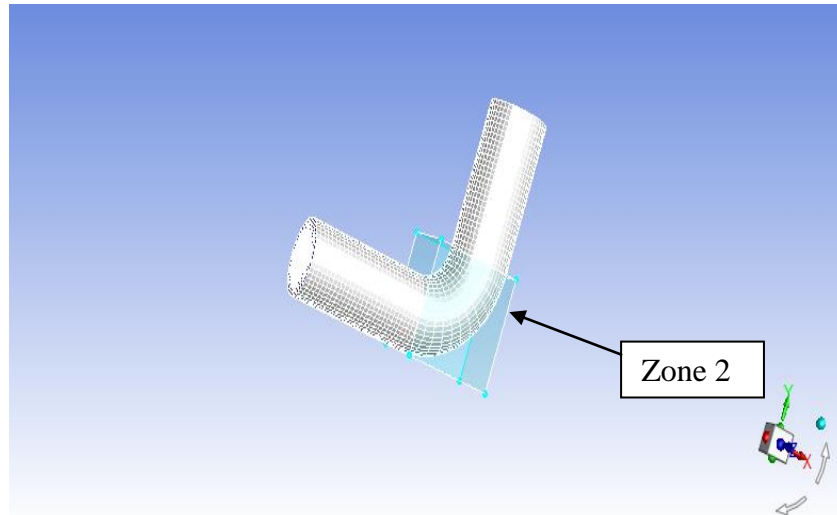


Figure 3.1 : La zone d'application de l'optimisation topologique.

3.3.2 Déformation de maillage

La déformation de maillage est également effectuée à la surface et sur le volume de l'écoulement qui influe sur la forme d'objet. La génération d'une bonne qualité de maillage est essentielle pour l'obtention d'un résultat de calcul précis. La qualité de maillage a beaucoup d'influence sur la convergence des résultats, sur la précision de la solution et surtout sur le temps de calcul.

La figure 3.2 montre la déformation de maillage effectuée, la manière des raffinées et la déformation du tube coudée avec ADJOINT SOLVER.

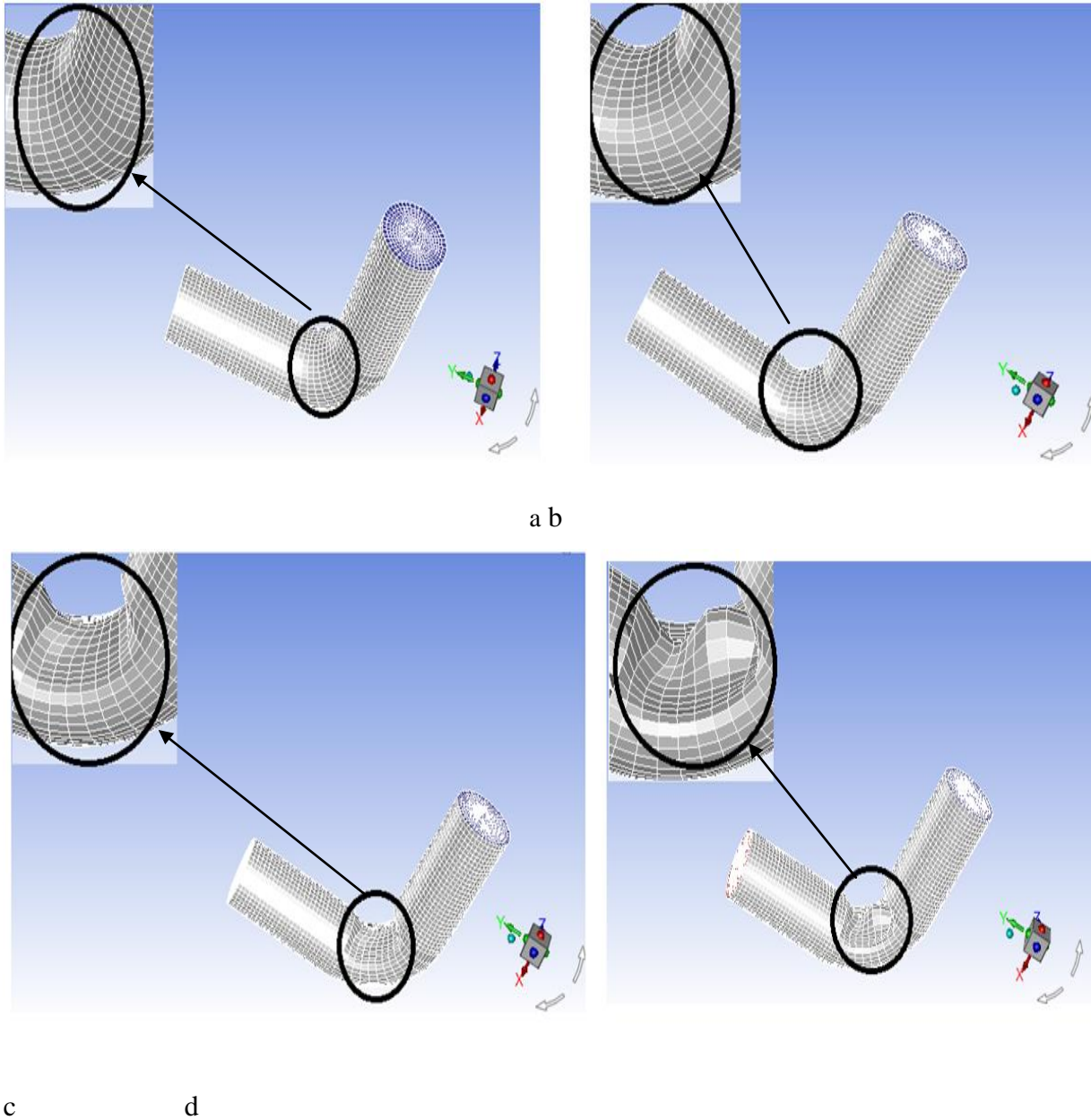


Figure 3.2: Déformation de maillage : (a) Maillage à l'état initial, (b) Déformation de maillage après 240 s, (c) Déformation de maillage après 450 s, (d) Maillage à l'état final.

Le tableau 3.1 illustre les différents maillages, le nombre d'itération et le temps de calcul trouvés dans la figure 3.2.

Maillage	Nombre d'itération	Le temps de calcul
A	1	60s
B	6	240 s
C	15	450s
D	20	600s

Tableau 3.1 : Les différents essais de maillage.

3.3.3 Convergence de maillage

La courbe ci-dessus de convergence représente l'évolution de la meilleure solution obtenue à chaque itération.

Cette courbe permet une analyse de la rapidité de convergence vers l'optimum pour un paramètre de contrôle choisi.

La série a été convergée autour de 240 secondes, l'itération est égale à 200 et l'erreur inférieur à 10^{-9} .

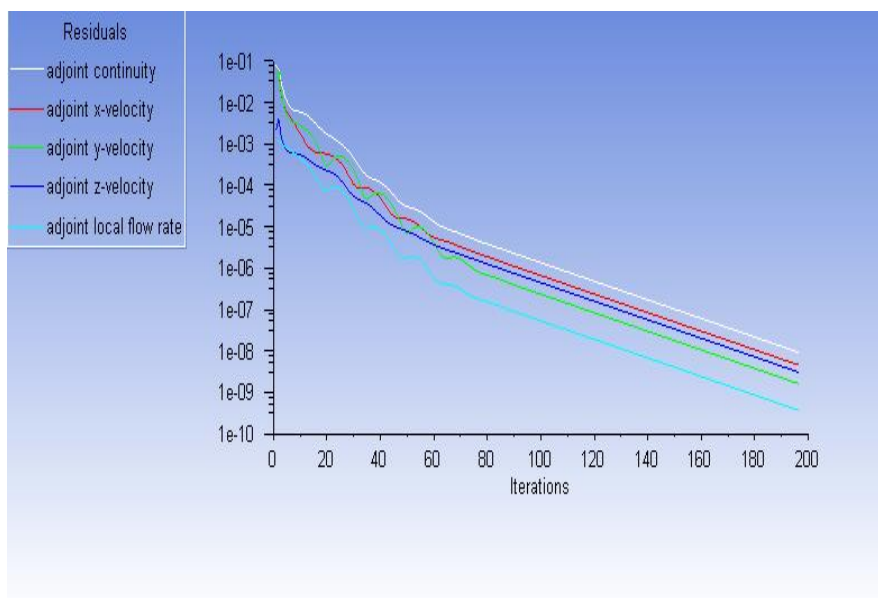


Figure 3.3 : Convergence de maillage.

3.4 Etude de cas réel

Nous allons appliquer l'optimisation topologique sur un rétroviseur de voiture afin de diminuer la force qui est déclaré comme une contrainte de minimisation.

3.4.1 La zone d'application de l'optimisation topologique

Nous allons appliquer la technique sur le rétroviseur de voiture.

La figure 3.4 montre le domaine d'application d'optimisation topologique sur le cas qu'on va le traité.

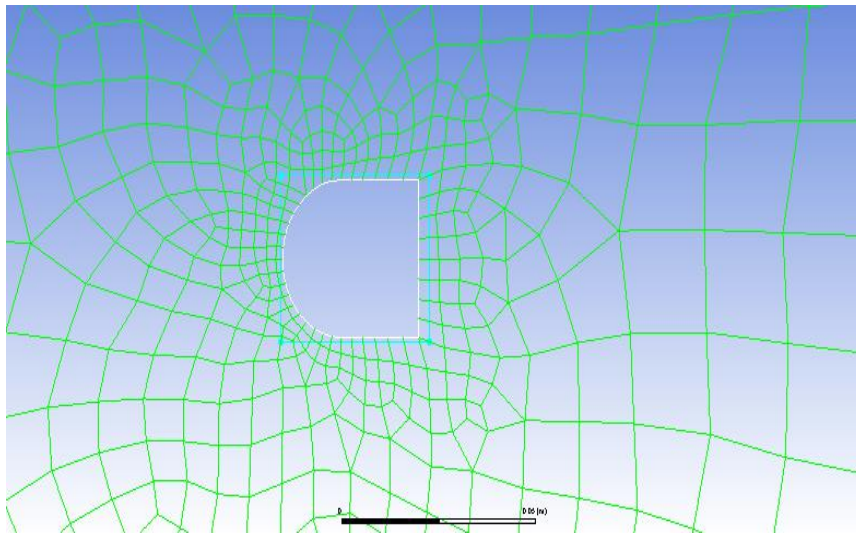


Figure 3.4 : La zone d'application de l'optimisation topologique.

3.4.2 Déformation de maillage

La figure 3.5 illustre la déformation de maillage effectué par ADJOINT SOLVER, et la déformation du rétroviseur.

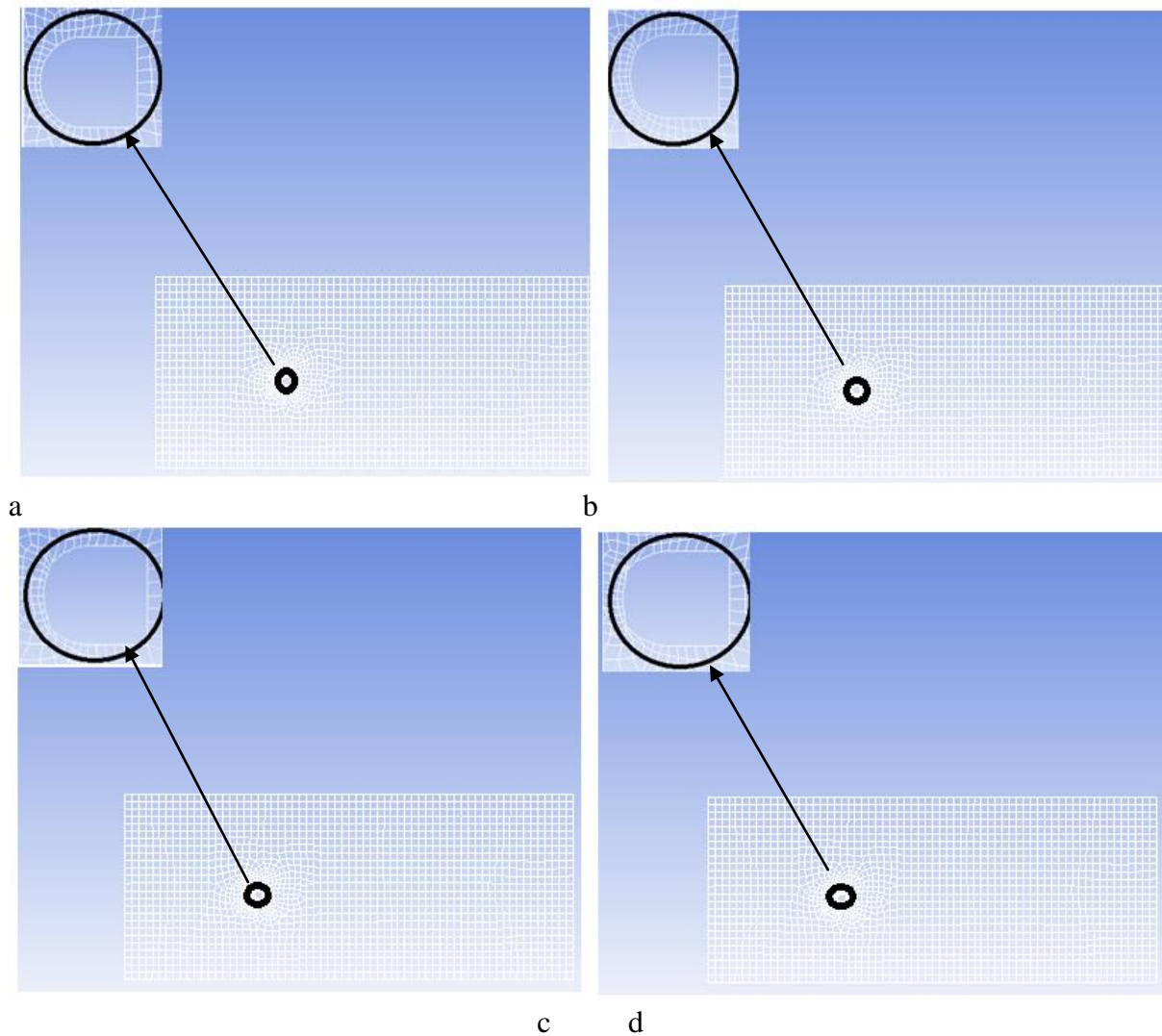


Figure 3.5 : Déformation de maillage de cas étudié (rétroviseur) : (a) Maillage à l'état initial, (b) Le maillage après 2h 50 mn, (c) Le maillage après 5h 35mn, (d) Le maillage à l'état final.

Le tableau 3.2 montre les différents essais de maillage et le nombre d'itération, le temps de calcul trouvés dans la figure 3.5.

Maillage	Nombre d'itération	Le temps de calcul
A	10	600s
B	100	2h 50 mn
C	400	5h 35mn
D	1000	10h 26mn

Tableau 3.2 : Les différents essais de maillage.

3.4.3 Convergence de maillage avec ADJOINT SOLVER

La série a été convergée autour de 300 secondes, l'itération est égale à 150 et l'erreur inférieur à 10^{-7} .

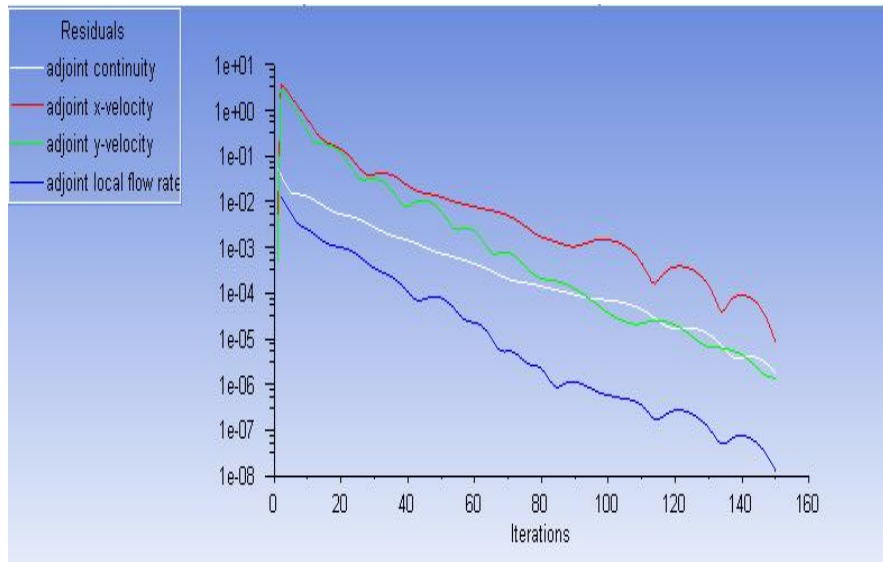


Figure 3.6: Convergence de maillage.

3.5 Conclusion

Mettant en considération ce qui a été établi à la section précédente, il est possible donc d'optimiser les deux cas étudiés dans ce chapitre et avoir une autre topologie que l'habituel.

Nous avons essayé de chercher des nouvelles géométries qui atteignent notre but.

En termes de difficulté, le problème majeur rencontré est celui de l'adaptation de maillage après la déformation de la géométrie.

Par conséquent, pour obtenir la forme optimale il nous faudra un bon maillage avec des conditions aux limites.

CHAPITRE 4
RESULTAS ET
INTERPRETATION

CHAPITRE 4

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter et interpréter les résultats obtenus par l'étude des cas traités dans les chapitres précédents.

Nous allons étudier l'influence des paramètres (la force, la pression, la géométrie initiale, la précision de la simulation initiale, le maillage...) sur l'application de l'optimisation topologique.

A la fin nous allons faire une comparaison entre le modèle initial et le nouveau modèle optimisé avec ADJOINT SOLVER.

4.2 Méthodes de résolution et organigrammes

L'étude est effectuée sous ANSYS-FLUENT ADJOINT SOLVER appliqué sur un tube coudé et un rétroviseur, ce programme est basé sur :

- ✓ Calcul et optimisation de la chute de pression avec un changement de la forme du tube coudé.
- ✓ Calcul et optimisation de la charge avec une modification de la forme d'un rétroviseur.

L'objectif de la première étude est d'homogénéiser le champ de pression (et de la vitesse) dans le tube coudé, tandis que celui de la deuxième est de minimiser la force de traînée générée par le rétroviseur.

La figure 4.1 expose la démarche de l'optimisation topologique.

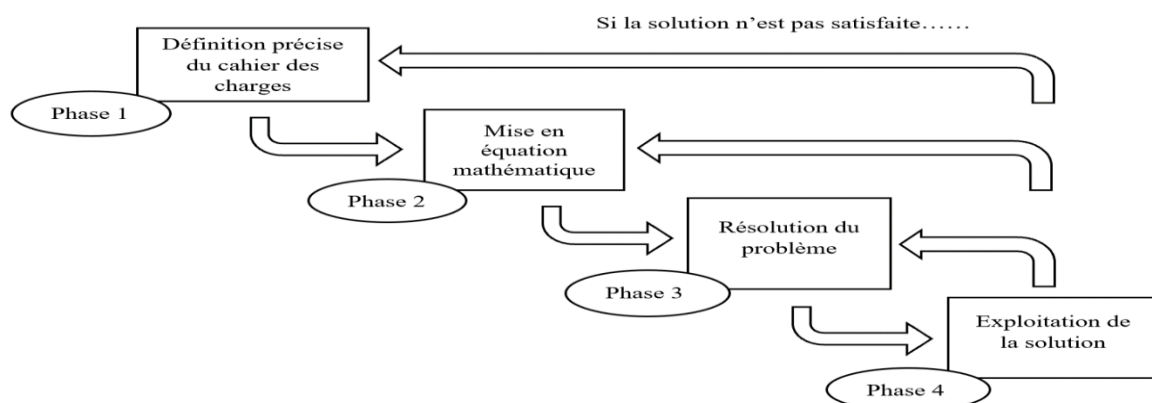


Figure 4.1: Démarche de l'optimisation topologique.

La figure 4.2 présente l'organigramme de l'optimisation topologique on utilisant ADJOINT SOLVER.

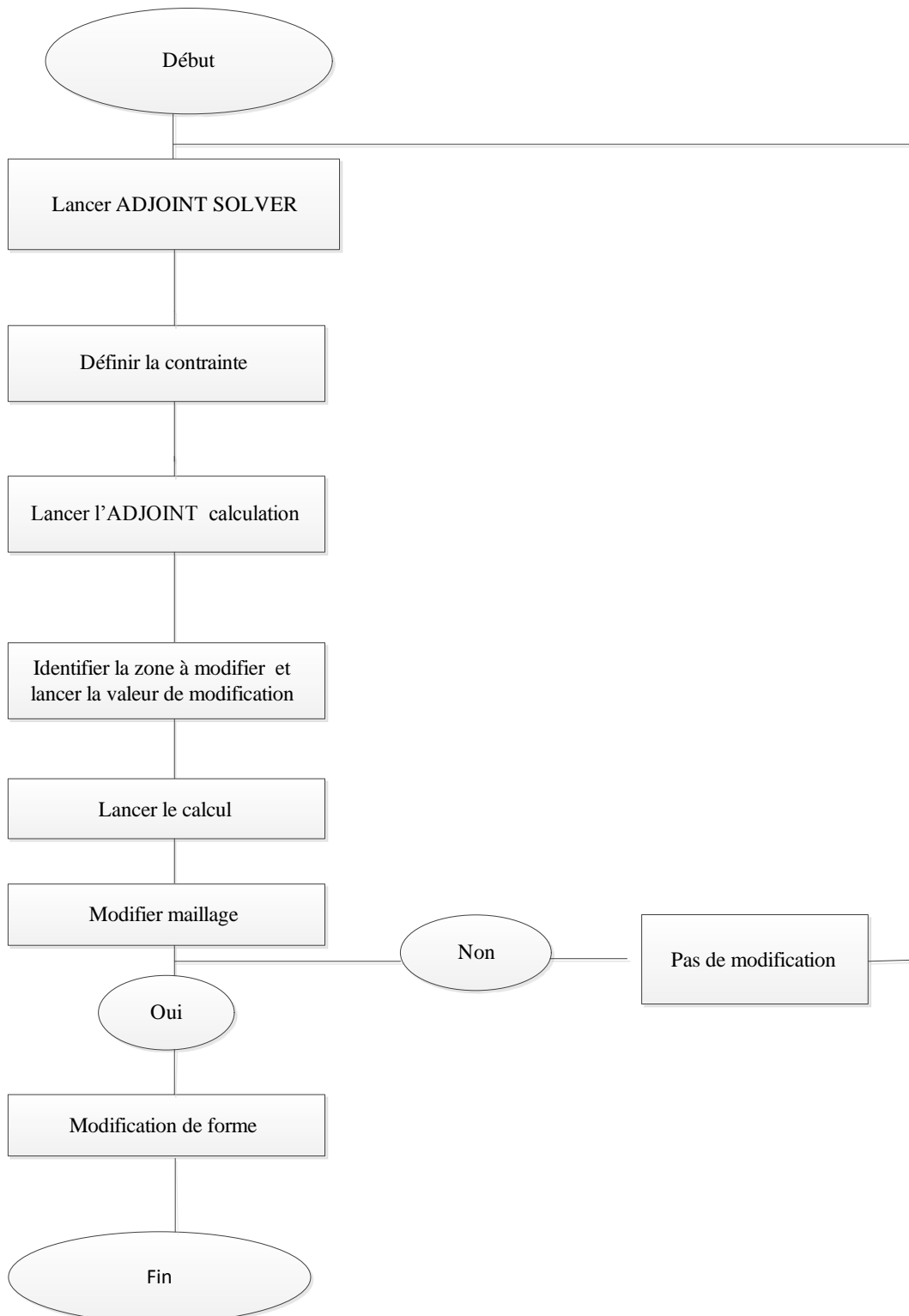


Figure 4.2 : Organigramme de résolution de problème d'optimisation topologique.

4.3 Influence des paramètres numériques et physiques

Plusieurs paramètres numériques et physiques sont examinés dans cette section :

4.3.1 Résistance de l'air

Chaque corps en mouvement dans l'air est soumis de la part de celui-ci à une résistance qui tend à s'opposer à ce mouvement. Cette résistance à son origine dans les propriétés de l'air, mais dépend aussi des caractéristiques du corps concerné (surface, forme....). Les forces de pression dépendent de la forme du corps et la disposition que celui-ci occupe

Par rapport à la direction de la vitesse relative du flux d'air. Les forces de frottement, dues à la viscosité de l'air, ont un effet directement en rapport avec l'étendue de la surface du corps et aussi avec l'état de cette surface.

4.3.2 L'influence de maillage

Comme nous avons vu précédemment, pour avoir une bonne modélisation il faut avoir le maillage le plus optimal possible. Le temps de calcul est proportionnel à la densité du maillage. Pour remédier à ça et pour garder un nombre d'élément et une précision tous deux acceptables, un maillage irrégulier serré au près des parois est utilisé. Cependant il faut assurer une progression graduelle entre la zone à maillage dense et celle du grossier.

4.3.3 L'influence de la simulation initiale

L'optimisation topologique commence toujours par la simulation de la configuration initiale. Une fois le solveur réglé puis lancé il calcule itérativement plusieurs variations du maillage. Les résultats de l'optimisation dépendent fortement de la qualité de la simulation initiale. Si elle est médiocre le solveur peut diverger ou converger vers des configurations géométriques absurdes.

4.4 Etude dynamique

4.4.1 Influence de la vitesse du fluide

Le fluide utilisé est l'air, dont les propriétés sont définies dans le chapitre 2 tableau 2.1. La première chose à faire c'est de vérifier que le résultat de la simulation initiale est logique. En utilisant ANSYS-CFD-POST les résultats sont représentés sur les figures suivantes:

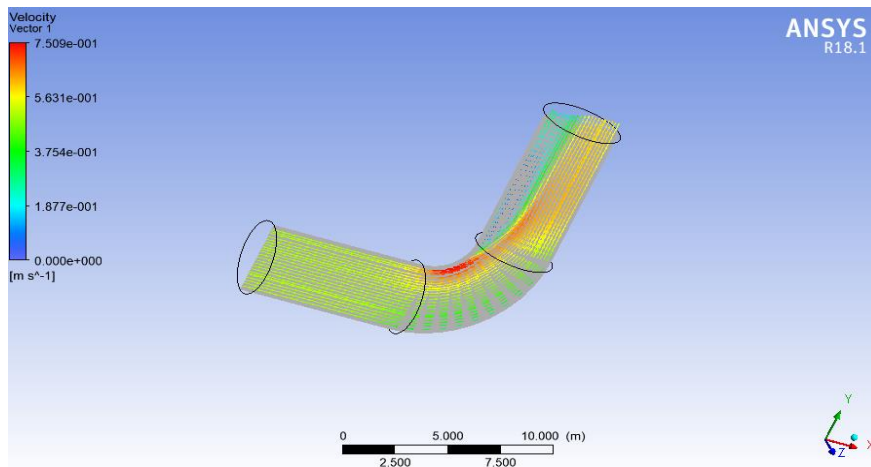


Figure 4.3 : Continuité et sens de l'écoulement fluide de tube coudé.

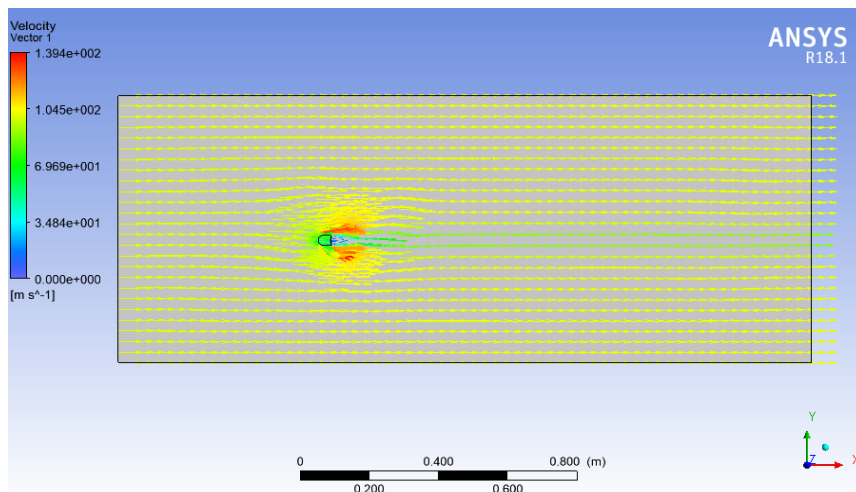


Figure 4.4 : Continuité et sens de l'écoulement fluide de rétroviseur.

Pour étudier l'influence de la vitesse du fluide sur l'optimisation topologique, nous avons fait les calculs pour 5 vitesses prises sous des différentes positions pour des deux cas étudiés qui sont les suivantes.

4.4.1.1 Pour le tube coudé

Le tableau 4.1 montre la vitesse et le nombre de REYNOLDS du fluide dans le tube coudé.

Vitesse (m/s)	Valeur	Re
U1	0.5	136917.4
U2	0.51	139655.7
U3	0.59	16156,253
U4	0.69	106450,53
U5	0.6	164300,88

Vitesse (m/s)	Valeur	Re
U1	2.08	569576,39
U2	1.98	542192.91
U3	1.90	520286.12
U4	1.8	492902.64
U5	1.02	279311.5

Tableau 4.1 : Les valeurs des vitesses d'entrée du fluide dans le tube coudé.

4.4.1.2 Pour le rétroviseur

Le tableau 4.2 montre la vitesse et le nombre de REYNOLDS.

Vitesse (m/s)	Valeur	Re
U1	69.97	143701,65
U2	66.66	137493,22
U3	46.41	95725,47
U4	8.97	18501,56
U5	64.71	133471,14

Vitesse (m/s)	Valeur	Re
U1	89.99	185613,78
U2	78.5	161914,45
U3	64.4	132831,73
U4	10.5	21657,34
U5	82.06	169257,33

Tableau 4.2 : Les valeurs des vitesses infiniment loin du rétroviseur.

4.5 Comparaison entre les géométries avant et après l'optimisation topologique

4.5.1 Tube coudé

4.5.1.1 Contour de la chute de pression

Les figures suivantes représentent la distribution de pression de tube coudé.

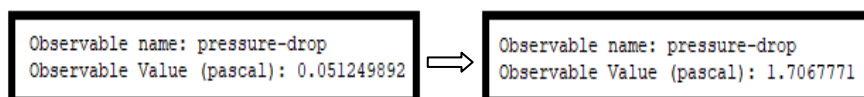


Figure 4.5 : La chute de pression de tube coudé.

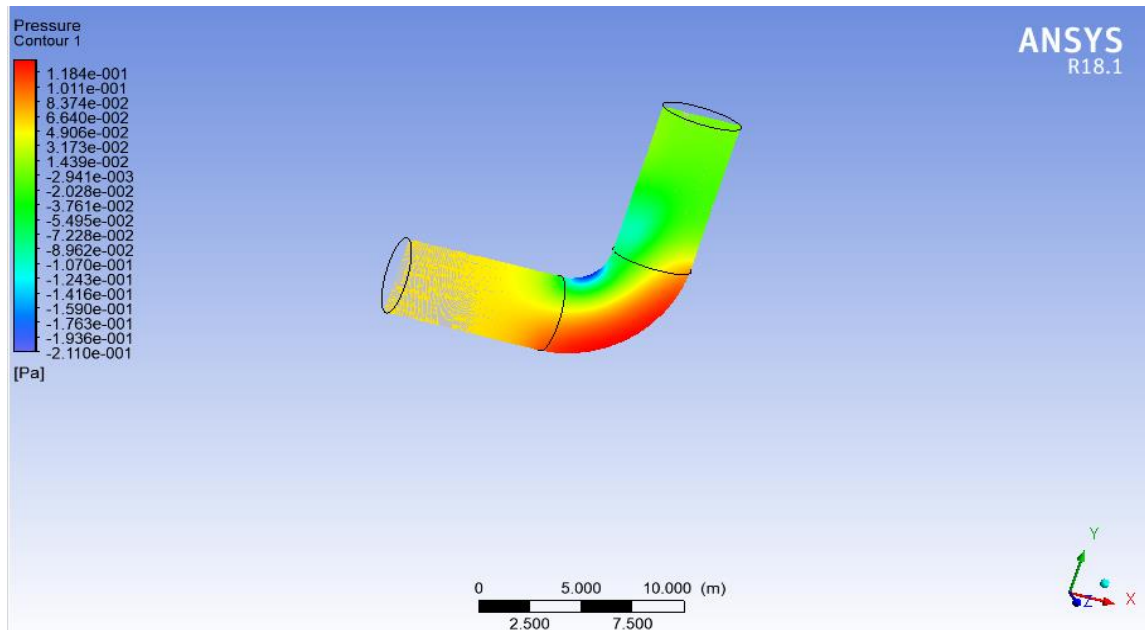


Figure 4.6 : Champ de pression dans la configuration initiale.

Nous remarquons d'après les figures :

Dans la configuration initiale, le champ de La pression est réparti de manière hétérogène. Ceci est prévisible et connu dans la littérature. L'hétérogénéité dans le champ de pression induit celle dans le champ de vitesse, qui risque à son tour de provoquer le phénomène d'érosion.

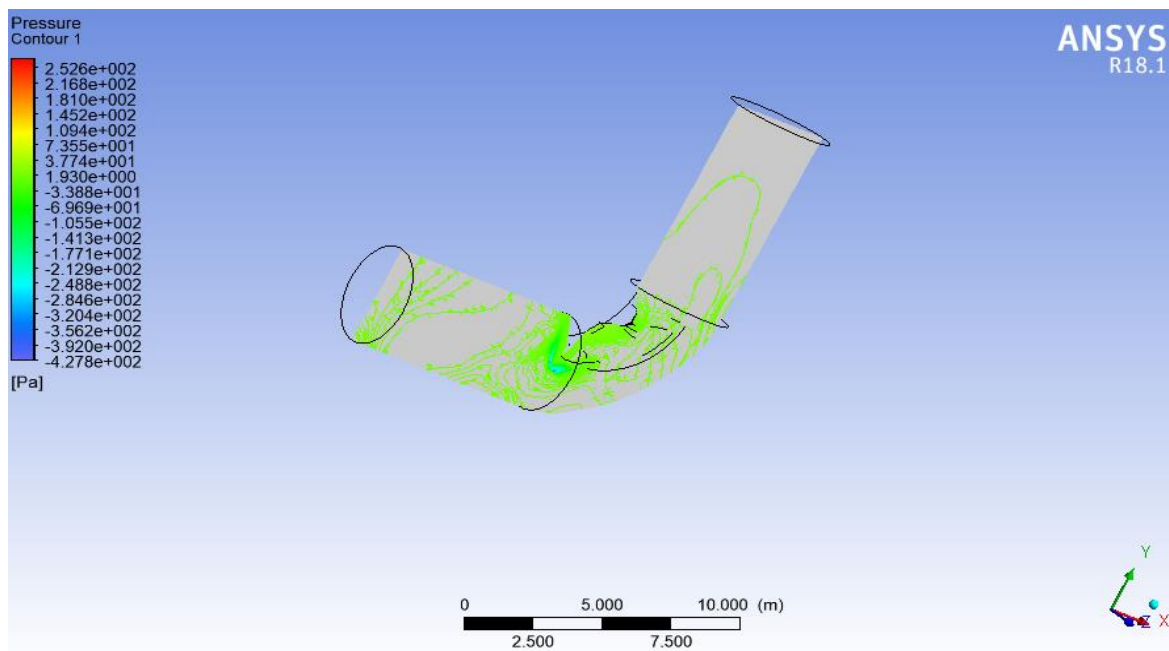


Figure 4.7 : Champ de pression dans la configuration optimisée.

Dans la configuration optimisée, le champ de pression est plus uniforme. En effet une amélioration de 95% d'homogénéité a été réalisée.

Nous remarquons d'après les figures :

On constate que la déformation de la surface du coude dépend de l'augmentation de la pression du fluide.

Avec la contrainte Séguré, nous avons eu un changement de géométrie, la pression devient encore plus uniforme dans toute la section du tube en conséquent, lorsque la pression augmente la vitesse diminue ce qui diminue les problèmes d'érosion.

4.5.1.2 Contour de la vitesse

Les figures qui suivent représentent la distribution de vitesse dans le tube coudé. Il est facile d'identifier sur les figures les résultats obtenus en fonction de vitesse.

Lorsque l'effet de l'optimisation topologique est considéré, il est clair d'observer que la vitesse s'homogénéise de plus en plus on progresse dans les itérations.

L'homogénéisation du champ de vitesse diminue les risques de l'érosion et améliore considérablement le comportement vibratoire.

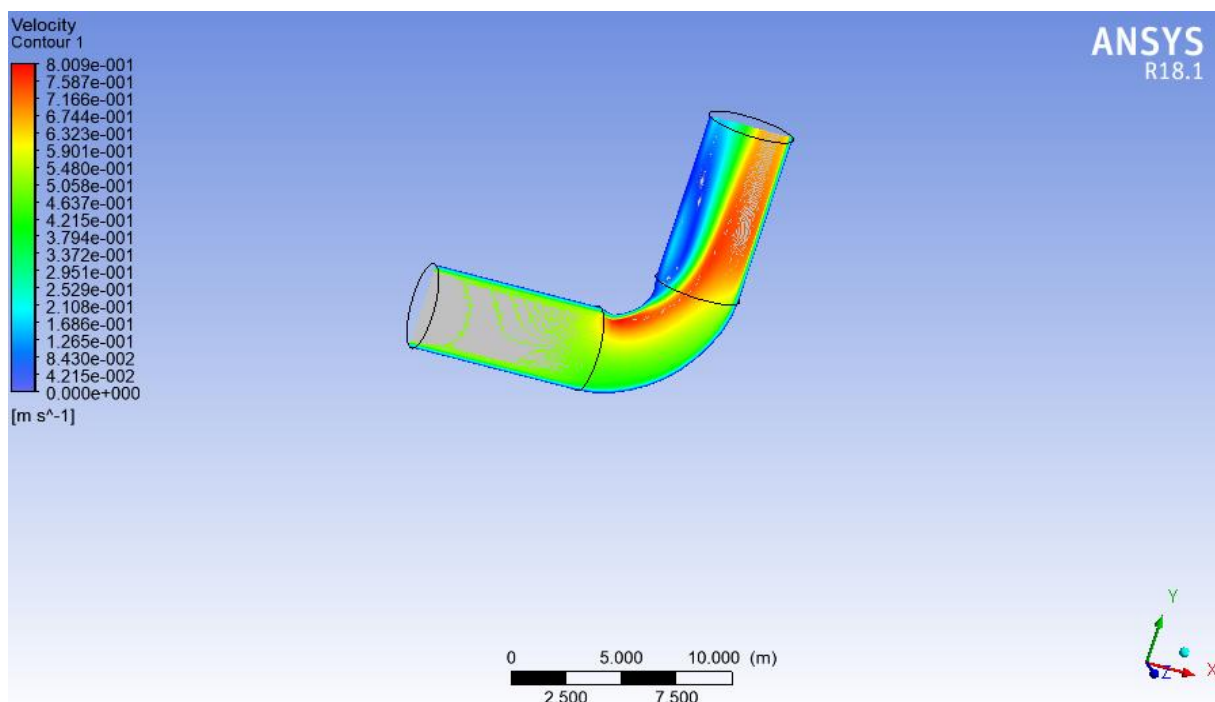


Figure 4.8 : Champ de vitesse dans la configuration initial.

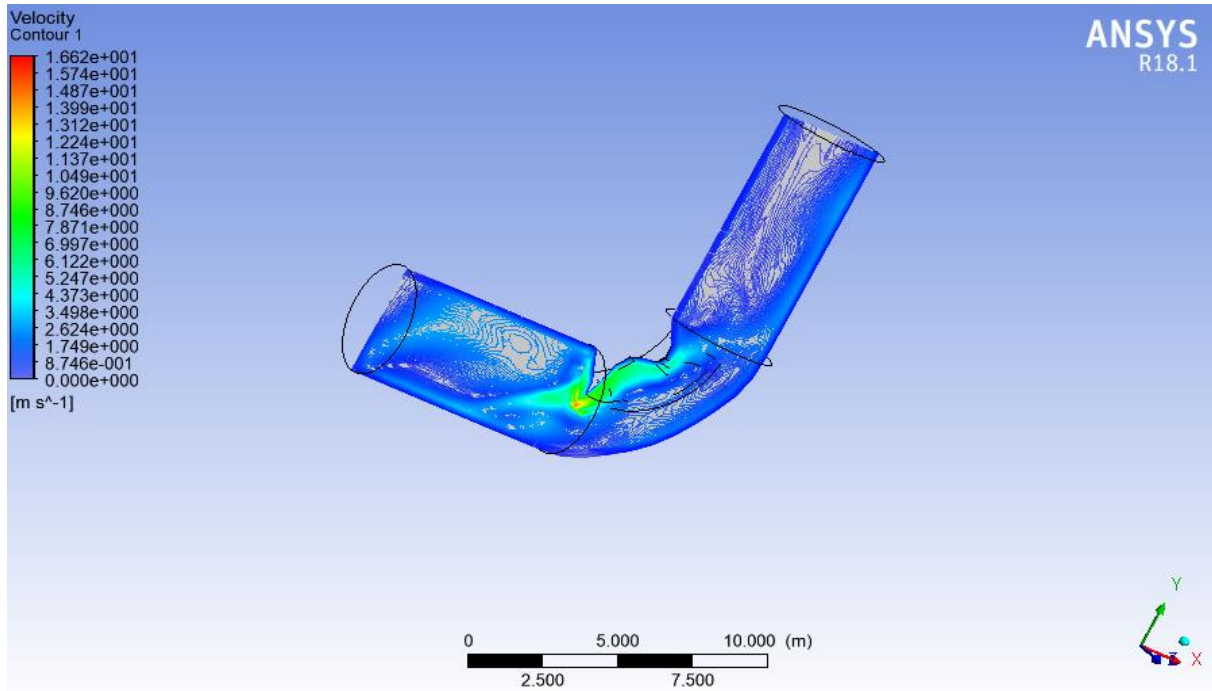


Figure 4.9: Champ de pression dans la configuration optimisée.

4.5.2 Rétrovisueur

4.5.2.1 En termes de force

La figure suivante représente la valeur de la force observée par l’ADJOINT SOLVER, elle montre que l’optimisation topologique a permis la diminution de l’effet de traînée de $F = 121.58\text{N}$ à $F = 109.90\text{N}$.

Bien que la modification dans la géométrie soit subtile, la réduction dans la force de traînée par la conception optimisée est d’environ 10%.

La nouvelle conception montre une amélioration des performances spécifiquement la diminution de la force de traînée sert à une diminution de la force de frottement qui facilite l’avancement du fluide.

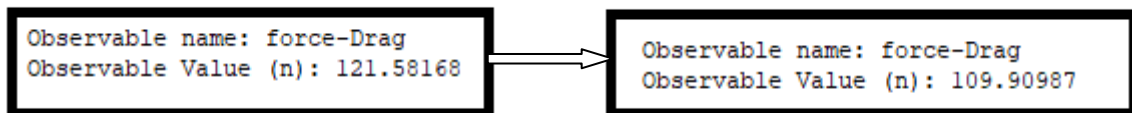


Figure 4.10 : La force de traînée observée avant et après l’optimisation.

4.5.2.2 Champ de pression

Les figures suivantes représentent les champs de pression obtenus par l'optimisation topologique pour le rétroviseur :

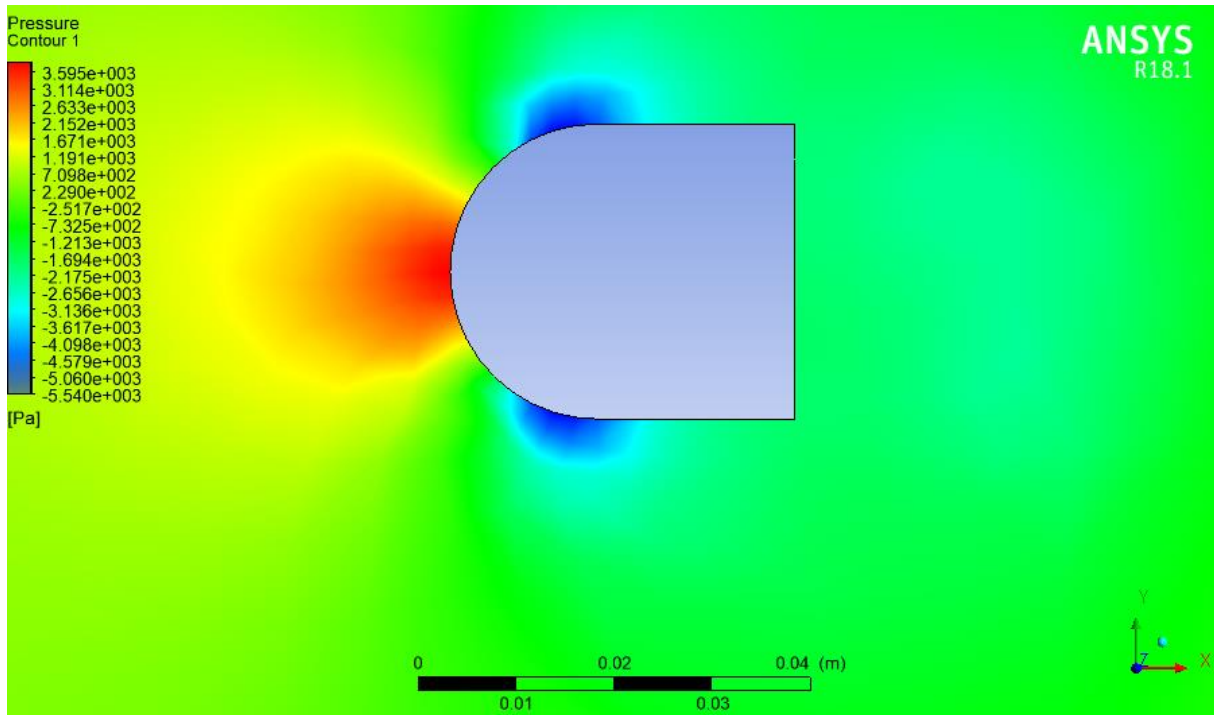


Figure 4.11 : Champs de pression du rétroviseur avant l'optimisation.

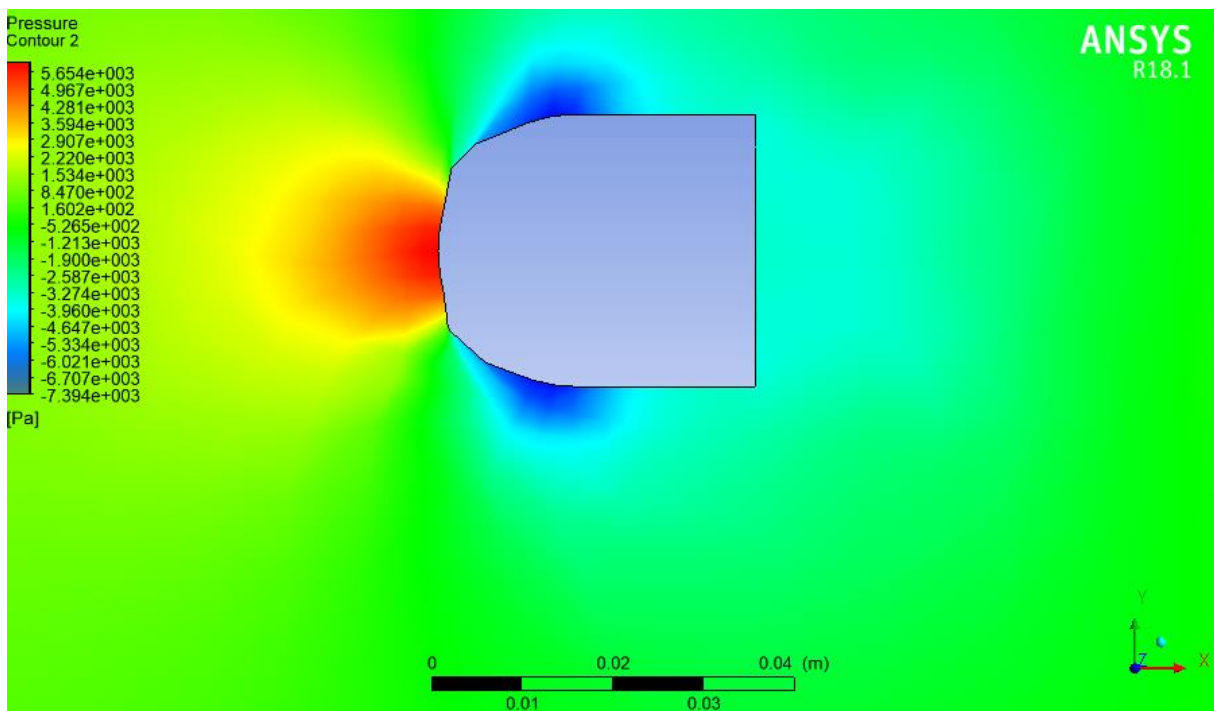


Figure 4.12 : Champ de pression à l'état final du rétroviseur.

4.5.2.3 Contour de vitesse

Les figures ci-dessus illustrent le champ de vitesse du rétroviseur avant et après l'optimisation topologique.

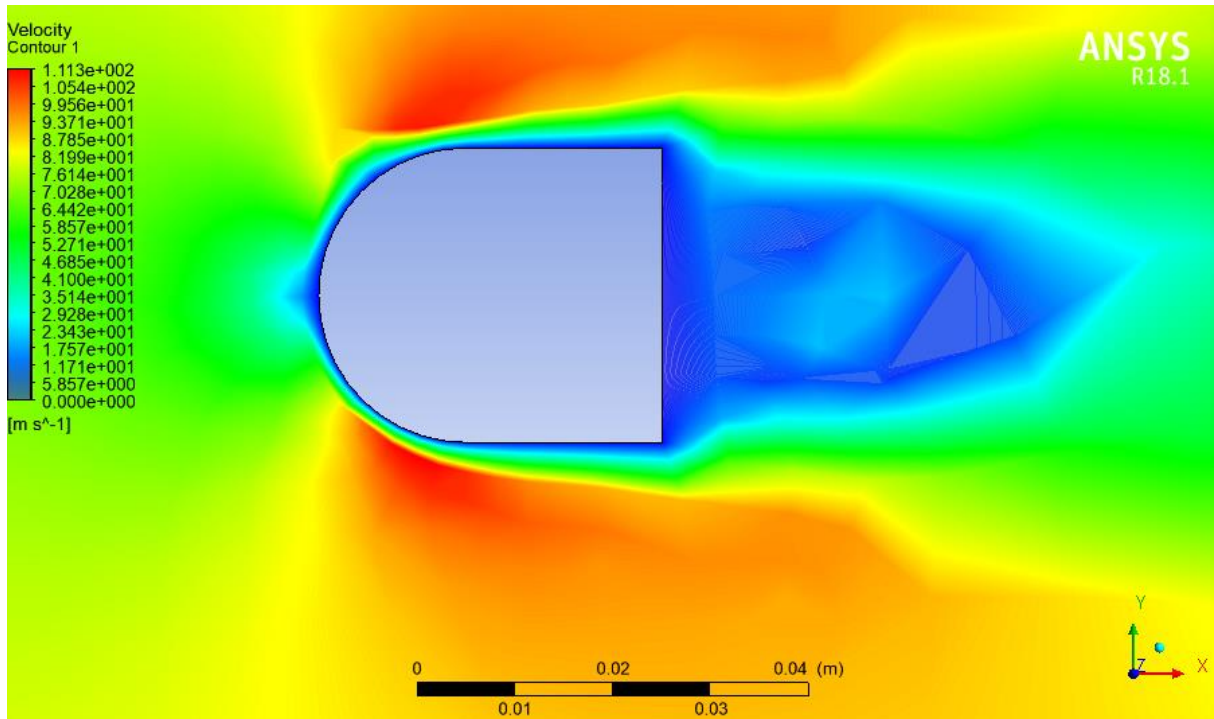


Figure 4.13 : Champ de vitesse autour de rétroviseur avant l'optimisation.

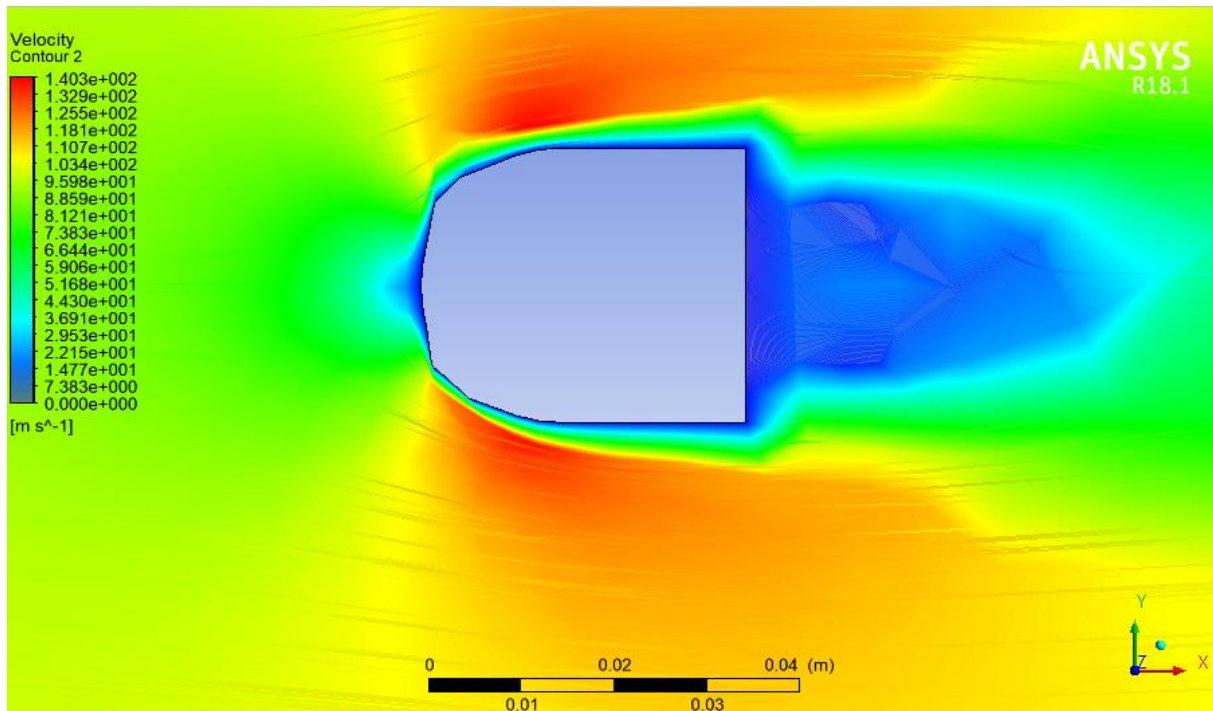


Figure 4.14 : Champ de vitesse autour du rétroviseur optimisé.

4.5.3 Résultats de l'optimisation topologique

Souvent, le résultat géométrique obtenu avec l'optimisation topologique nécessite d'être réédité pour devenir usinable. Une fois on est satisfait des résultats de l'optimisation, le solveur offre la possibilité d'exporter le maillage généré en une géométrie (format *.stl) exploitable par d'autre logiciel CAD tel que ANSYS-SPACECLAIM OU SOLIDWORKS.

Les figures ce dessus illustres les pièces avant l'optimisation et prés l'optimisation :

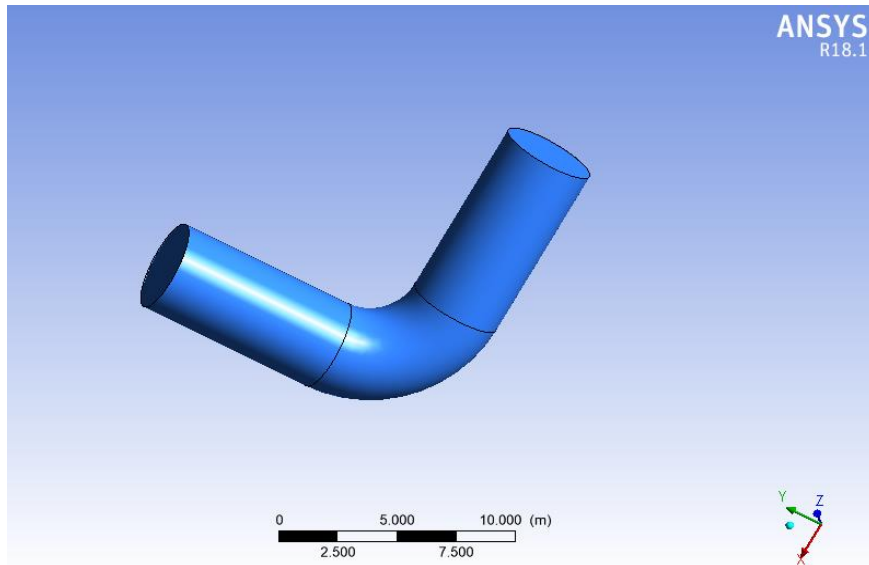


Figure 4.15 : La géométrie à optimiser (tube coudé).

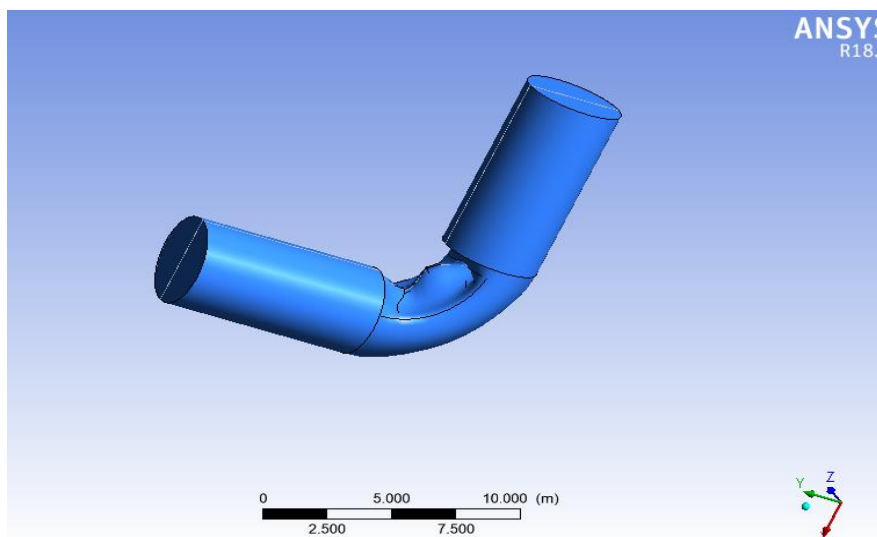


Figure 4.16: La géométrie optimisé (tube coudé).

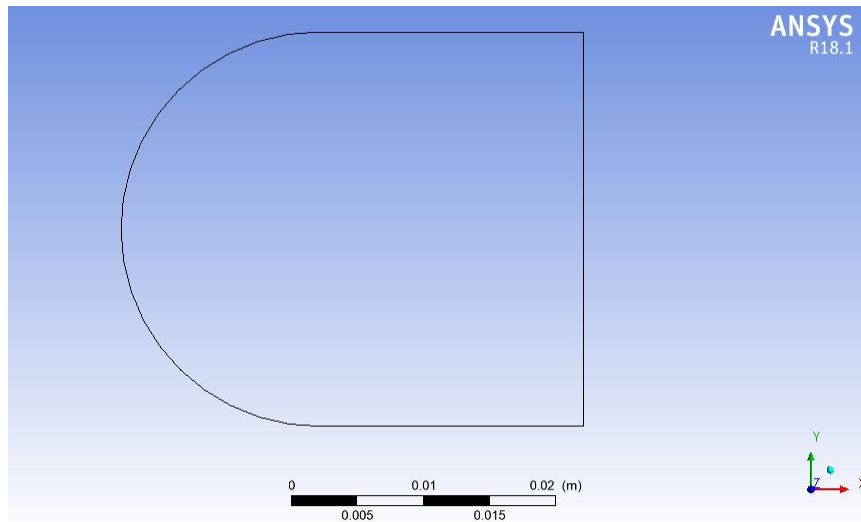


Figure 4.17: La géométrie à optimiser (rétroviseur).

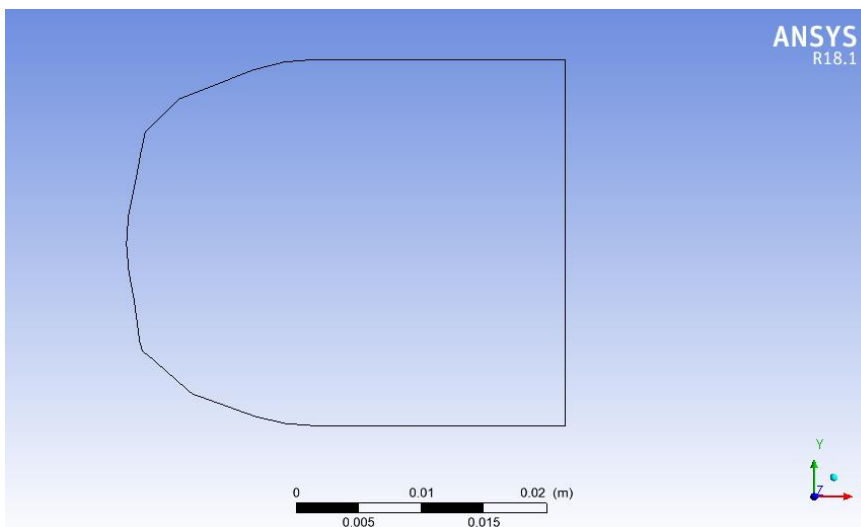


Figure 4.18: La géométrie optimisée (rétroviseur).

Le problème posé est de trouver la solution optimale des deux cas étudiés qui permette d'accrocher un ensemble des divers instruments avec le minimum de poids et une résistance suffisante, compte tenu des efforts mécaniques endurés par des contraintes.

C'est typiquement une question à laquelle l'optimisation topologique apporte une très bonne réponse.

Les figures précédentes représentent le domaine optimal de tube coudé et rétroviseur obtenues avec ADJOINT SOLVER.

4.5.4 En termes de volume de tube coudé

Le tableau montre la différence de volume entre le tube à l'état initial et après l'optimisation.

On remarque que le volume est réduit à 5.44 % de réduction de volume du tube coudé et 97 % de la contrainte minimale qui est la chute de pression.

Volume initial (m ³)	Volume final (m ³)
278.8	263.63

Tableau 4. 3 : La différence de volume de tube entre l'état initial et final.

4.5.5 En termes de surface de rétroviseur

Le Tableau 4.4 montre la différence de surface entre un rétroviseur simple et un rétroviseur optimisé. On remarque que la surface de rétroviseur diminue vers une forme optimale qui satisfait les conditions technologiques fonctionnelles.

La surface est réduite à 0.008% de surface et 10 % de la contrainte maximale qui est la force.

Les conditions	Surface (m ²)		Les conditions	Surface (m ²)
Inlet	0.79999998	➔	Inlet	0.79999998
Surfacique	104.5033		Surfacique	104.49636
Outlet	0.79999998		Outlet	0.79999998
Rétroviseur	0.11883788		Rétroviseur	0.11701795
Symétrie	4		Symétrie	4
Total	110.22215		Total	110.21338

(a) (b)

Tableau 4.4 : La différence de surface entre un rétroviseur simple (a) et un rétroviseur optimisé (b).

4.6 Discussion

Toute étude de simulation nécessite des soins spéciaux en ce qui concerne le maillage et les conditions aux limites. Cependant, un choix inadéquat de ces paramètres dans une étude d'optimisation topologique peut donner des résultats absurdes.

Les paramètres qui influent sur l'optimisation sont en générale :

- l'observable (force, pression, ...) ;
- le maillage ;
- la précision de la simulation initiale ;
- la géométrie initiale ;
- l'algorithme d'optimisation.

Nous avons vu que l'optimisation a amélioré la répartition de la pression dans le tube coudé, et diminué de 10% la force de traînée pour le rétroviseur.

4.7 Conclusion

Nous avons présenté et interprété dans ce chapitre les résultats obtenus concernant l'influence de plusieurs paramètres sur l'application de l'optimisation topologique sur les deux cas étudié simple et réel.

La comparaison entre les géométries initiales et les géométries suggérer par ADJOINT SOLVER ont été aussi présentées.

Concernant le résultat du tube coudé, l'étude a abouti à une configuration géométrique inattendue remarquable améliorant la répartition de la pression de façon considérable.

Pour le rétroviseur, nous avons eu une diminution de la force de traînée de 10%.

Les résultats obtenus par le solveur confirment bien l'utilité de la technique d'optimisation topologique pour les problèmes de la dynamique des fluides.

**CONCLUSION
GENERALE ET
PERSPECTIVES**

Conclusion générale

Le but de ce travail étant l'introduction de l'optimisation topologique aux problèmes de dynamique des fluides.

Nous avons vu dans les premières parties de ce mémoire le principe de la conception par optimisation topologique et que cette technologie se fait de la place parmi les moyens numériques les plus puissants.

On a aussi vu l'importance de la simulation initiale dans la convergence du processus de l'optimisation vers des géométries logiques et intéressantes.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

- On a vu que l'optimisation a amélioré la répartition de la pression dans le tube coudé, et diminué de 10% la force de traînée pour le rétroviseur ;
- L'étude nous a permis de montrer qu'avec l'optimisation topologique on peut atteindre des nouvelles formes non-classiques d'une pièce qui répond au mieux aux différentes contraintes appliquées ;
- L'approche de l'optimisation topologique permet de contrôler la géométrie et la topologie d'une substance afin de trouver une matière idéale plus légère et économique ;
- La modélisation doit être suffisamment fine et précise. Si on néglige trop d'éléments, ou si l'on simplifie à l'excès, la simulation sera sans intérêt pratique ;
- Les paramètres qui influent sur l'optimisation topologique sont :
 - ✓ L'observable (force, chute de pression, surface, volume, ratio etc.) ;
 - ✓ La qualité de maillage ;
 - ✓ La convergence ;
 - ✓ La géométrie initiale ;
 - ✓ La précision de la simulation initiale.

Comme perspectives, nous proposons :

- L'application de la technique d'optimisation topologique sur le palier hydrostatique et exactement à l'alvéole du patin pour améliorer la force de portance, l'amortissement et la raideur de palier.

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES
ET WABOGRAPHIES**

Références bibliographiques

- [1] FLEXIN et LEVEL set HouariMECHKOUR, François JOUVE, Christine ROTINAT-LIBERSA, Catherine BIDARD&YANN.Comparaison de deux méthodes d'optimisation topologique, 2011.
- [2] Catherine VAYSSADE. Optimisation mécanique et optimisation topologique, 2004.
- [3] KHALFI Mehdi.Optimisation des structures mécaniques forme optimale d'un composant. Université Mentouri Constantine,Juillet 2009.
- [4] F. HALILA, V. FAUVINA, A. POLMARDA. Algorithmes d'optimisation topologique pour l'allégement des poutres en PMH de la caisse-en-blanc en utilisant un couplage entre MATLAB et ANSYS, 2015.
- [5] BelkacemSID, François PEYRAUT, Matthieu DOMASZEWSKI. Une représentation graphique pour l'optimisation topologique de structures par algorithmes génétiques. Giens, France, May 2007.
- [6] MESSAOUI Mosbah. Matériaux Métalliques "Phénomènes de Corrosion. 4ième partie " Les différentes formes de corrosion aqueuse", 2016.
- [7] Jonathan DENIES. Méta heuristiques pour l'optimisation topologique : application à la conception de dispositifs électromagnétiques.ENS Cachan, 2013.
- [8] AthanasiostZANAKIS.Duct optimization using CFD software `ANSYS FLUENT ADJOINT SOLVER'. GOTEBORG, SWEDEN, autres. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2014.
- [9] Dr.ANSELM Hopf Ford Motor Company, AachenCFD Topology and Shape Optimization of Ford Applications using Tosca Fluid, Germany
- [10] Introduction à la turbulence, cour de ENSTA-ParisTech, France. 2013, pp.83.
- [11] M.Bayou, A. Boudraa, Action des groupes **topologiques** sur les hyper-espaces, 2014, Université de Jijel. Imane Dekkar, 11 oct 2016.
- [12] Mécanique des guides Christophe ANCEY, 2013.
- [13] GILLES Marck. Optimisation topologique des transferts de chaleur et de masse : application aux échangeurs de chaleur. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2012. Français.
- [14] SatheESHKUMAR, 2 mr.anilkumarpentakotaassistant professor, department of mech, Computational fluid dynamics simulations of pipe elbow flow.

WEBOGRAPHIES

- [1] <http://www.sokaris-ingenierie.com/optimisation-et-allegement/> consulté le 01/01/2019.
- [2] <https://cfm2017.sciencesconf.org/129966/document> consulté le 12/02/2019.
- [3] <https://youtu.be/qBJ3qmmMoKE> consulté le 28/02/2019.
- [4] Expérimentation sur l'optimisation topologique en STS consulté le 01/03/2019.
- [5] <https://blog.cadmes.com/fr/optimisation-%C3%A9tude-topologique> consulté le 04/03/2019.
- [6] <https://blog.cadmes.com/fr/optimisation-%C3%A9tude-topologique> consulté le 09/04/2019.
- [7] <https://blog.cadmes.com/fr/optimisation-%C3%A9tude-topologique> consulté le 09/04/2019
- [8] <http://www.cetim.fr/Logiciels/INSPIRE> consulté le 15/04/2019
- [9] www.usine-digitale.fr/article/l-optimisation-topologique-et-l-impression-3d-en-route-pour-lespace.N322244/ consulté le 01/05/2019.
- [10] www.jeromeelie.com/drifttrike-fr consulté le 09/05/2019.
- [11] <http://www.sokaris-ingenierie.com/optimisation-et-allegement/> consulté le 14/05/2019.
- [12] <https://www.sural-garde-corps.fr/coude-90-pour-tube-de-remplissage-alu-c16mm-c2x23580271> consulté le 16/05/2019.
- [13] <https://www.andre-chevalley.ch/news-et-events/bugatti-chiron/> consulté le 21/06/2019.
- [14] <https://www.macommune.info/le-doubs-sexpose-au-salon-du-2-roues-a-lyon-avec-son-label-motards-bienvenue/>. consulté le 21/06/2019.

ملخص

تركز الأطروحة على التحسين الطوبولوجي لأنبوب و مرآة الرؤية الخلفية لسيارة. تعتمد وحدة التحسين على وحدة المحاكاة التي تستخدم تصميمات بديلة فعالة تقترحها القرارات الإستراتيجية والتكتيكية لإيجاد الحل الشامل الأمثل باستخدام الحل للقرارات التشغيلية.

الهدف من هذا العمل هو البحث عن شكل مُحسَّن للحالتين المدروستين وفقاً للقيود من أجل الوصول إلى غاياتنا. كان هدفنا تطوير أداة لتحليل كفاءة التنظيم الهيكلي والحاسم. أظهرت النتائج أنه يمكن تحقيق انخفاض يصل إلى 5.44 % في حجم أنبوب الكوع ولمرآة الرؤية الخلفية، يمكن تحقيق تخفيض يصل إلى 0.008% في السطح.

الكلمات المفتاحية: التحسين الطوبولوجي ، المحاكاة ، حساب الاختلافات ، القرارات التشغيلية ، أنبوب الكوع ، مرآة الرؤية الخلفية.

Résumé

Le mémoire porte sur l'optimisation topologique d'un tube coudé et un rétroviseur d'une voiture. Le module d'optimisation est basé sur le module de simulation qui utilise des conceptions alternatives efficaces proposées par les décisions stratégiques et tactiques pour trouver la solution optimale globale en utilisant la solution pour les décisions opérationnelles.

L'objectif de ce travail est de chercher une forme optimisée des deux cas étudiés selon des contraintes afin d'arriver à notre intérêt. Notre objectif était d'élaborer un outil pour l'analyse de l'efficacité de l'organisation structurelle et décisionnelle.

Les résultats montrent qu'on peut aller jusqu'à 5.44% de réduction de volume du tube coudé et pour le rétroviseur on peut aller jusqu'à 0.008 % de réduction de surface.

Mots clés : Optimisation topologique, simulation, calcul des variations, décisions opérationnelles, tube coudé, rétroviseur.

Abstract

The thesis focuses on the topological optimization of elbow tube and a rear-view mirror of a car. The optimization module is based on the simulation module that uses effective alternative designs proposed by strategic and tactical decisions to find the optimal overall solution using the solution for operational decisions.

The objective of this work is to look for an optimized form of the two studied cases according to constraints in order to reach our interest. Our objective was to develop a tool for analyzing the efficiency of the structural and decisional organization.

The results show that we can go up until 5.44% reduction in elbow tube volume area and for the rear-view mirror, we can also go up to 0.008% reduction in surface.

Key words: Topological optimization, simulation, calculation of variations, operational decisions, elbow tube, rear-view mirror.