

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali Chlef

Faculté des Technologies

Département de génie mécanique



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE MECANIQUE

Spécialité : ENERGETIQUE

Par

BEDROUNI YOUSSEF

Thème :

Etude et conception d'un nouveau diffuseur d'air dans les voitures

Soutenue le 25/06/2024 devant le jury composé de :

Dekiche Ahmed

MCA

Président

Kamla Youcef

MCB

Examinateur

Khelil Ali

Professeur

Encadreur

Année Universitaire 2023-2024

Remerciements

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidé, soutenu, et encouragé pour la réalisation de ce modeste travail.

*Tout d'abord, j'aimerais exprimer ma plus profonde gratitude à mon superviseur, Monsieur le professeur **KHELIL Ali**, le directeur de ce mémoire, pour ses orientations, sa compréhension, son écoute constante et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Ma sincère gratitude va également à messieurs les docteurs **BEDROUNI MOHAMED, BEDROUNI SAMIR, FELLAGUE CHEBRA ABDELAHAK et SAID NECHADE** pour leur aide précieuse et le temps qu'ils ont bien voulu me consacrer pour diriger ce travail.*

Dédicace

*Je dédie ce travail aux esprits de mon Père et de mon
Frère*

*A ma mère pour son encouragement durant mes études,
mes frères, ma sœur et toute ma famille et mes amis*

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
Résumé	IX
NOMENCLATURE.....	XI

Introduction générale

Introduction générale	2
-----------------------------	---

Chapitre I: Généralités sur la climatisation automobile

I.1 Introduction.....	5
I.2 Définition et objectif de la climatisation automobile.....	6
I.3 Constituants d'une climatisation automobile	6
I.3.1 Compresseur.....	7
I.3.2 Condenseur.....	8
I.3.3 Détendeur	8
I.3.4 Évaporateur	9
I.3.5 Bouteille déshydratante	10
I.3.6 Fluide frigorigène	10
I.4 Principe de fonctionnement de la climatisation automobile	10
I.5 Le système de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC)	11
I.5.1 Le pulseur électrique	12
I.5.2 Le mixage d'air	13
I.5.3 Les conduits et les modes de distribution d'air	13
I.5.4 Les diffuseurs d'air dans l'habitacle	15

I.5.5 Les différents types du diffuseurs d'air dans les voitures	16
I.6 Présentation des diffuseurs conçus	20
I.7 Conclusion	20

Chapitre II: Conception et réalisation

II.1 Introduction :	22
II.2 Introduction à SolidWorks	22
II.3 Le nouveau diffuseur d'air en SolidWorks	22
II.4 Représentation schématique du deux pièces	22
II.4.1 La cage (la pièce fixe)	23
II.4.2 Le diffuseur d'air (la pièce mobile)	23
II.5 Représentation en 3D	25
II.6 La construction sur le SolidWorks	26
II.7 Notre construction des diffuseurs	27
II.7.1 Diffuseur de géométrie circulaire	27
II.7.2 Diffuseur de géométrie lobé	44
II.7.3 La géométrie tourbillonnaire	47
II.7.4 La cage	50
II.8 Assemblage du deux pièce	55
II.9 Impression des diffuseurs en 3D	58
II.10 Conclusion	58

Chapitre III: Technique de modélisation numérique

III.1. Introduction	60
III.2 Formulations mathématiques	60

III.2.1 La modélisation des écoulements turbulents :	60
III.2.2 La Simulation Numérique Directe (Direct Numerical Simulation D.N.S) :	61
III.2.3 La simulation des grandes échelles (Large Eddy Simulation, L.E.S) :	62
III.2.4 Equation de Navier Stokes Moyennées (Reynolds Averaged Navier Stokes, RANS) :	62
III.2.5 Equation générale de modèle aérodynamique :	63
III.2.6 Simplification des équations générales	64
III.2.7 Traitement statistique de la turbulence :	64
III.2.8 Choix d'un modèle de représentation de l'écoulement turbulent :	64
III.3 Simulation numérique	67
III.3.1 Notice d'utilisation d'ANSYS ICEM.CFD	67
III.3.2 Procédure de résolution sous Fluent :	67
III.3.3 Création de la géométrie	67
III.3.4 Domaine de calcul	68
III.3.5 Implémentation et dépendance du maillage :	69
III.3.6 Les conditions aux limites :	70
III.3.7 Entrée du fluide :	70
III.3.8 Sortie du fluide :	70
III.3.9 Conditions aux parois :	70
III.4 Conclusion	72

Chapitre IV: Présentation et discussion des résultats de simulation numérique

IV.1 Introduction :	74
IV.2 Configurations étudiées :	74
IV.3 Résultats et discussions	74

IV.4 Comparaison de la distribution de la vitesse moyenne des diffuseurs	75
IV.5 Contours de température axial.....	77
IV.6 Contours de température radial	78
IV.7 Profils de vitesse et de température axial	84
IV.8 Profils de vitesse et de température radial	85

Conclusion générale

Conclusion générale	93
---------------------------	----

Références bibliographiques

Références bibliographiques	96
-----------------------------------	----

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Schéma des éléments d'un system de climatisation automobile	7
Figure I.2 Compresseur	7
Figure I.3 Condenseur	8
Figure I.4 Détendeur thermostatique	9
Figure I.5 Évaporateur	9
Figure I.7 Principe de fonctionnement du cycle de climatisation automobile	11
Figure I.9 Un pulseur d'air habitacle Valeo	12
Figure I.10 Schématisation de l'association du circuit de refroidissement du moteur avec une boucle de climatisation automobile	13
Figure I.11 Les conduits de l'air habitacle	14
Figure I.12 Les différents modes de distribution de l'air dans l'habitacle	15
Figure I.13 Diffuseur d'air	15
Figure I.14 Diffuseurs multicônes circulaire	17
Figure I.15 Diffuseurs multicônes circulaire pour Mini Cooper	17
Figure I.16 Diffuseur à buse longue portée	18
Figure I.17 Diffuseur à buse longue portée pour Mercedes Benz Class C W205	18
Figure I.18 diffuseur d'air tourbillonnaire	19
Figure I.19 bouche d'aération tourbillonnaire Audi TT.....	19
Figure I.20 Autres forme du diffuseur d'air.....	19
Figure I.21 Diffuseurs conçus par SolidWorks	20
Figure II.1 Schéma de définition pour la cage	23
Figure II.2 Schéma de définition pour la géométrie circulaire	23
Figure II.3 Schéma de définition pour la géométrie lobée	24
Figure II.4 Schéma de définition pour la géométrie tourbillonnaire	24
Figure II.5 la cage en 3D	25
Figure II.6 Geometrie circulaire en 3D	25
Figure II.7 Geometrie tourbillonnaire en 3D	25
Figure II.8 Geometrie lobée en 3D	26
Figure II.9 Bossage avec révolution	27
Figure II.10 Enlèvement de matière avec révolution	28
Figure II.11 Enlève de matière par extrusion	28
Figure II.12 Résultat actuel	29
Figure II.13 Création du trois axes	30
Figure II.14 Répétition circulaire 1	31
Figure II.15 Résultat de la répétition circulaire 1	31
Figure II.16 Répétition circulaire 2	32
Figure II.17 Répétition circulaire 3	32
Figure II.18 Répétition circulaire 4	33
Figure II.19 Répétition circulaire facial 1	34
Figure II.20 Répétition circulaire facial 2	34
Figure II.21 Répétition circulaire facial 3	35
Figure II.22 Répétition circulaire facial 4	35
Figure II.23 Résultat finale de la répétition circulaire	36
Figure II.24 Enlèvement de matière avec révolution	36

Figure II.25 résultat actuel	37
Figure II.26 Création d'un nouveau plan	37
Figure II.27 Un cercle dans le nouveau plan	38
Figure II.28 Bossage lissé	38
Figure II.29 Résultat actuel	39
Figure II.30 Bossage avec révolution	39
Figure II.31 Résultat actuel	40
Figure II.32 Enlèvement de matière avec révolution	40
Figure II.33 Enlève de matière par extrusion	41
Figure II.34 Résultat actuel	41
Figure II.35 Le dessin dans le plan de dessus	42
Figure II.36 Bossage extrudé	42
Figure II.37 Résultat actuel	43
Figure II.38 Répétition circulaire	43
Figure II.39 Résultat final pour le diffuseur de géométrie circulaire	44
Figure II.40 Création du deux nouveau plan parallèle au plan de face	44
Figure II.41 Le dessin du cercle dans le plan intérieur	45
Figure II.42 Le dessin lobé dans le plan extérieur	45
Figure II.43 Enlèvement de matière par lissageEn résulte	46
Figure II.44 Résultat actuel	46
Figure II.45 Le résultat final du diffuseur pour la géométrie lobée	47
Figure II.46 Le but à faire	47
Figure II.47 Création d'un nouveau plan parallèle au plan de face	48
Figure II.48 Construction de l'hub du jet tourbillonnaire par bossage extrudé	48
Figure II.49 Le dessin de la forme d'ailette dans l'hub	49
Figure II.50 Bossage extrudé d'ailette	49
Figure II.51 ailette du jet tourbillonnaire	50
Figure II.52 Résultat final du jet tourbillonnaire central	50
Figure II.53 Résultat final du diffuseur pour la géométrie tourbillonnaire	51
Figure II.54 Bossage extrudé mince	51
Figure II.55 Création d'un nouveau plan parallèle au plan 1	52
Figure II.56 Boule dans le centre du nouveau plan	52
Figure II.57 Un cylindre fixer avec la boule	53
Figure II.58 Bossage extrudé du cercle	53
Figure II.59 Répétition circulaire d'opération de bossage du cercle	54
Figure II.60 Bossage extrudé mince du cercle	54
Figure II.61 Opération de congé	55
Figure II.62 La forme finale de la cage	55
Figure II.63 Assemblage des pièces	56
Figure II.64 Les faces sélectionner pour le contraint	56
Figure II.65 Contraint de type coaxiale	57
Figure II.66 Résultat final d'assemblage	57
Figure II.67 La justesse de mouvement et de rotation du diffuseur	58
Figure II.68 Enregistrements du fichier sous la format STL	58
Figure III.1: Un schéma illustrant le domaine de calcul avec les conditions aux limites	68
Figure III.2 Maillage de la configuration en 3D	70
Figure IV.1 L'emplacement des stations de calcul	75

Figure IV.2 Contours de vitesse dans le plan YZ et $X = 0$	76
Figure IV.3 Contours de température dans le plan YZ et $X = 0$	77
Figure IV.4 Contours de température dans le plan XY et $Z = 0.5 D$	78
Figure IV.5 Contours de température dans le plan XY et $Z = D$	79
Figure IV.6 Contours de température dans le plan XY et $Z = 1.5 D$	80
Figure IV.7 Contours de température dans le plan XY et $Z = 2 D$	81
Figure IV.8 Contours de température dans le plan XY et $Z = 3D$	82
Figure IV.9 Contours de température dans le plan xy et $z = 4 D$	83
Figure IV.10 Profils de température en fonction de Z avec $X = Y = 0$	84
Figure IV.11 Profils de vitesse en fonction de Z avec $X = Y = 0$	84
Figure IV.12 Profils de température en fonction de X avec $Z = 0.5 D$	85
Figure IV.13 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = 0.5 D$	85
Figure IV.14 Profils de température en fonction de X avec $Z = D$	86
Figure IV.15 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = D$	86
Figure IV.16 Profils de température en fonction de X avec $Z = 1.5 D$	87
Figure IV.17 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = 1.5 D$	87
Figure IV.18 Profils de température en fonction de X avec $Z = 2 D$	88
Figure IV.19 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = 2 D$	88
Figure IV.20 Profils de température en fonction de X avec $Z = 3 D$	89
Figure IV.21 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = 3 D$	89
Figure IV.22 Profils de température en fonction de X avec $Z = 4 D$	90
Figure IV.23 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = 4 D$	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Impact du système de climatisation.....	6
Tableau III.1 Implémentation du maillage.....	69
Tableau III.2 Paramètres et conditions utilisés pour simuler le phénomène concernant ses limites....	71

Résumé

Cette thèse se concentre sur l'étude des diffuseurs d'air intégrés aux tableaux de bord des véhicules. Des nouvelles formes géométriques ont été proposées et évaluées à travers des simulations numériques afin de déterminer leur efficacité pour une meilleure gestion du flux d'air, contribuant ainsi à un environnement intérieur plus confortable pour les passagers.

Dans la première partie de cette étude, l'objectif est de concevoir et de réaliser des diffuseurs d'air innovants pour les tableaux de bord des voitures, garantissant une distribution optimale de l'air et un confort thermique maximal. La conception est réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks et la fabrication grâce à une imprimante 3D. Trois géométries sont explorées : lobée, circulaire et tourbillonnaire.

La seconde partie de cette étude est dédiée au développement de simulations numériques de ces nouveaux diffuseurs. Ces simulations sont réalisées à l'aide des logiciels ANSYS -Fluent, en utilisant le modèle de turbulence $k-\omega$ SST. Il convient de souligner que la densité du maillage a été choisie de manière à ce que la valeur de la coordonnée normale à la paroi y^+ soit appropriée. Les profils de vitesses radiales et axiales ainsi que les contours de températures ont été évalués, révélant que les diffuseurs tourbillonnaire et lobé offrent une meilleure distribution de l'air et un confort thermique supérieur.

Abstract

This thesis focuses on the study of air diffusers integrated into vehicle dashboards. New geometric shapes have been proposed and evaluated through numerical simulations to determine their efficiency for better air flow management, thus contributing to a more comfortable interior environment for passengers.

In the first part of this study, the objective is to design and manufacture innovative air diffusers for car dashboards, ensuring optimal air distribution and maximum thermal comfort. The design is carried out using SolidWorks software, and the fabrication is done with a 3D printer. Three geometries are explored: lobed, circular, and swirling.

The second part of this study is dedicated to the development of numerical simulations of these new diffusers. These simulations are conducted using ANSYS and Fluent software, utilizing the $k-\omega$ SST

turbulence model. It should be stressed that the mesh density was chosen so that the wall-normal coordinate value (y^+) is suitable. The radial and axial velocity profiles as well as the temperature contours were evaluated, revealing that the swirling and lobed diffusers offer better air distribution and superior thermal comfort.

الملخص

تُرکز هذه الأطروحة على دراسة موزعات الهواء المدمجة في لوحات القيادة للمركبات. تم اقتراح أشكال هندسية جديدة وتقييمها من خلال محاكاة رقمية لتحديد كفاءتها في تحسين إدارة تدفق الهواء، مما يساهم في توفير بيئة داخلية أكثر راحة للركاب.

في الجزء الأول من هذه الدراسة، الهدف هو تصميم وتصنيع موزعات هواء مبتكرة للوحة القيادة في السيارات، مما يضمن توزيعًا مثاليًا للهواء وراحة حرارية قصوى. يتم تنفيذ التصميم باستخدام برنامج *SolidWorks*، والتصنيع باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد. تم استكشاف ثلاث هندسيات: مشعبة، دائرية، ودوامية.

الجزء الثاني من هذه الدراسة مخصص لتطوير المحاكاة الرقمية لهذه الموزعات الجديدة. يتم تنفيذ هذه المحاكاة باستخدام برامج *ANSYS* و *Fluent*، باستخدام نموذج اضطراب $K-\omega-SST$ ، يجب التأكيد على أن كثافة الشبكة تم اختيارها بحيث تكون قيمة الإحداثي العمودي على الجدار (y^+) مناسبة. تم تقييم ملفات سرعة التدفق الشعاعية والمحورية وكذلك خرائط درجات الحرارة، مما كشف أن الموزعات الدوامية والمشعبة توفر توزيعًا أفضل للهواء وراحة حرارية فائقة

NOMENCLATURE

C_p	La capacité thermique (J. k ⁻¹).
D	Diamètre du jet diffuseur (m).
F_1	Fonction de mélange.
F_2	Deuxième fonction de mélange.
G_x	Le flux axial de la quantité de mouvement axiale (kg.m .s ⁻²). .
G_φ	Le flux axial de la quantité de mouvement tangentielle (kg.m ² .s ⁻²).
k	Énergie cinétique de turbulence (m ² .s ⁻²).
P	pression (Pa).
P_k	Production d'énergie cinétique turbulente.
R	Le rayon (m).
Re	Nombre de Reynolds.
S_n	Le nombre de tourbillons.
S_φ	Terme source.
Tr	Température réduite.
T_i	Température du jet à différentes stations (K).
T_{in}	Température du jet à l'entrée (K).
T_a	Température ambiante (K).
U_0	Vitesse entrée (m.s ⁻¹).

U_r	Vitesse réduite.
U_i	Jet Vitesse à différentes stations (m.s^{-1}).
U	composante axiale de la vitesse (m.s^{-1}).
W	composante tangentielle de la vitesse (m.s^{-1}).
Y	Espacement entre diffuseur (m).
r / D	Direction radial.
Z / D	Direction axial.
r	Réduite.
T	Turbulent.
λ	Conductivité thermique ($\text{W.m}^{-1} .\text{K}^{-1}$).
u_i	Les trois composantes de la vitesse u_x, u_y, u_z .
$\rho C_p \overline{u_i T'}$	Le flux thermique turbulent.
$-\overline{u'_i u'_j}$	Les contraintes de Reynolds.
$-\overline{T' u'_j}$	Flux thermique turbulent W.m^{-2} .
Γ	Coefficient de diffusion.

Lettres grecques

δ_{ij}	Tenseur de Kronecker, (--).
ε	Taux de dissipation turbulente ($\text{m}^2.\text{s}^{-3}$).
θ_{ext}	Angle extérieur des lobes ($^\circ$).
θ_{int}	Angle intérieur des lobes ($^\circ$).
μ	Viscosité dynamique, ($\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$).

ν	Viscosité cinématique ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).
ν_t	Viscosité turbulente ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).
ω	Vitesse de dissipation turbulente spécifique (s^{-1}).
ρ	Densité ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Acronymes

DNS	Simulation Numérique Directe.
LES	Simulation aux grandes échelles.
RANS	Modélisation statistique de la turbulence.
SST	Transport des contraintes de cisaillement.

Introduction générale

Introduction générale

L'importance du confort thermique pour les êtres humains est indéniable avec des conditions idéales situées entre 20 à 27°C de température et une humidité relative entre 35 à 60%. Au-delà de ces paramètres, les individus peuvent ressentir un inconfort significatif affectant leur bien-être général. Dans les environnements où la température est élevée, l'utilisation de systèmes de climatisation devient essentielle pour assurer le confort des personnes.

Dans le domaine automobile, comme pour la plupart des innovations, de nombreuses technologies ont été développées pour améliorer le confort thermique. La climatisation automobile joue un rôle crucial en influençant directement le confort et la concentration du conducteur, contribuant ainsi à une conduite sans fatigue.

Aujourd'hui, la quasi-totalité des véhicules sont équipés de climatiseurs qui non seulement maintiennent une température agréable à l'intérieur de l'habitacle, mais également assurent la qualité de l'air, le contrôle de l'humidité relative, la vitesse du flux d'air et le niveau sonore. Ce système complexe se compose généralement d'un système de ventilation pour la circulation de l'air, d'un circuit frigorifique pour la production de froid et d'un circuit calorifique pour le chauffage.

Au cours des trois dernières décennies, la technique du jet impactant a attiré beaucoup d'attention parmi les chercheurs scientifiques, en raison de son utilisation efficace dans les systèmes de refroidissement, de chauffage et diverses applications industrielles telles que le séchage. Cette technique permet de concentrer de manière efficace un flux d'air ou de liquide sur une surface spécifique, offrant ainsi des solutions efficaces pour assurer des conditions intérieures optimales tout en minimisant la consommation d'énergie.

Objectifs de ce mémoire :

L'objectif de ce mémoire est de concevoir et de réaliser une nouvelle forme géométrique du diffuseur d'air superposé au niveau du tableau de bord des voitures pour assurer une bonne distribution de l'air et un confort thermique optimal. Après la conception par le logiciel SolidWorks et la réalisation en 3D de notre nouveau diffuseur, des tests de performances seront appliqués pour évaluer l'efficacité de ce produit. Pour cela, la simulation numérique est obligatoire à l'aide d'ANSYS et du code Fluent.

Les résultats numériques obtenus sont comparés avec les autres résultats de géométries différentes afin d'obtenir la configuration géométrique optimale.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons une généralité et une analyse bibliographique sur la climatisation automobile et les différents formes du diffuseur existant dans les voitures actuelles.

Le deuxième chapitre nous décrivons les étapes de la conception de notre nouveau diffuseur à l'aide du SolidWorks jusqu'à la réalisation en 3D avec une imprimante 3D.

Le troisième chapitre est pour la formulation mathématique et le domaine de calcul de la simulation numérique à l'aide de l'ANSYS et le code fluent.

Dans le quatrième chapitre nous présentons les résultats de la simulation numérique puis interprétons et comparons ces résultats.

Chapitre

GENERALITES SUR LA CLIMATISATION AUTOMOBILE

I.1 Introduction

Dans un véhicule automobile, nous disposons habituellement : du chauffage et de l'aération.

Le but de l'air conditionné est de maintenir une température constante programmée, soit par un apport d'air froid ou d'air chaud, soit par un mixage de ces éléments. Simultanément le degré d'humidité sera abaissé. La climatisation participe largement au confort, au comportement de conduite et à la sécurité des passagers par :

- Une meilleure visibilité suite à l'assèchement de l'air réduisant les formations de buées
- Une vigilance accrue du conducteur par une température contrôlée qui engendre une diminution de la fatigue ;
- Une sensation de bien-être des occupants du véhicule occasionné par une ambiance d'air agréable.

La mesure climatique cumulative comprend : la température, l'humidité et le mouvement de l'air, ainsi que les radiations thermiques. Une bonne connaissance théorique et pratique d'un système de climatisation est nécessaire pour pouvoir intervenir correctement, soit au cours de la première installation, soit à l'occasion de l'entretien périodique ou encore lors d'une intervention de maintenance suite à une anomalie constatée.

La climatisation est un système permettant de maintenir l'atmosphère d'un milieu à une pression, un degré d'humidité et une température choisie. L'air conditionné est un air auquel on a affecté une température et un degré d'humidité déterminés. L'hygrométrie détermine le degré d'humidité dans l'air atmosphérique.

La réfrigération est un abaissement programmé de la température du milieu (production de froid).

I.2 Définition et objectif de la climatisation automobile

La climatisation automobile est le processus par lequel l'air est refroidi, nettoyé et déshumidifié avant d'entrer, ou ré-entrer l'habitacle du véhicule. Principalement, un système de conditionnement d'air élimine la chaleur de l'habitacle en l'absorbant et le portant à l'extérieur [1].

La climatisation automobile est l'ensemble des moyens permettant de maintenir l'atmosphère de l'habitacle à une pression, à un degré d'humidité et à une température donnée. Alors, l'objectif principal étant d'assurer la visibilité, la vigilance et le confort thermique à bord du véhicule [2].




	Zone	Avec climatisation	Sans climatisation
Tête		23 °C	42 °C
Milieu		24 °C	40 °C
Pieds		28 °C	35 °C

Tableau I.1 Impact du système de climatisation [3]

I.3 Constituants d'une climatisation automobile

Le Système de climatisation automobile est basé sur le cycle à compression de vapeur, en particulier, les cycles à compression de gaz sont à la base de la presque-totalité des systèmes de climatisation automobile. Ce cycle dont la technologie est assez bien maîtrisée, est composé de quatre phases (compression, condensation, détente et évaporation) qui correspondent aux quatre composants principaux de ce système: un compresseur, un condenseur, un détendeur et un évaporateur. Un réfrigérant ou fluide frigorigène est utilisé pour mettre en contact ces quatre éléments et former ainsi un cycle continu.

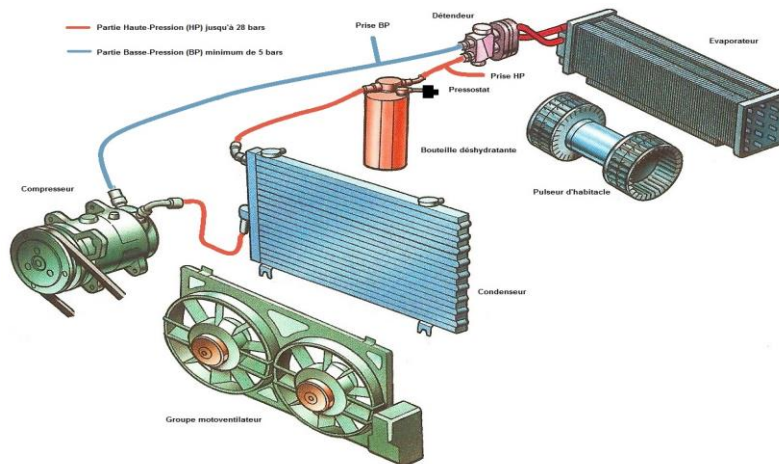


Figure I.1: Schéma des éléments d'un system de climatisation automobile [2]

I.3.1 Compresseur

Le rôle du compresseur est de comprimer le fluide pour augmenter la température et la pression. Les compresseurs sont entraînés directement par le moteur du véhicule, le plus souvent par l'intermédiaire d'une courroie ou d'un embrayage électromagnétique. [1]

Il existe différentes technologies de compresseurs, les plus couramment employés actuellement en automobile sont les compresseurs à plateau oscillant, qui commandent le déplacement alternatif de plusieurs pistons.

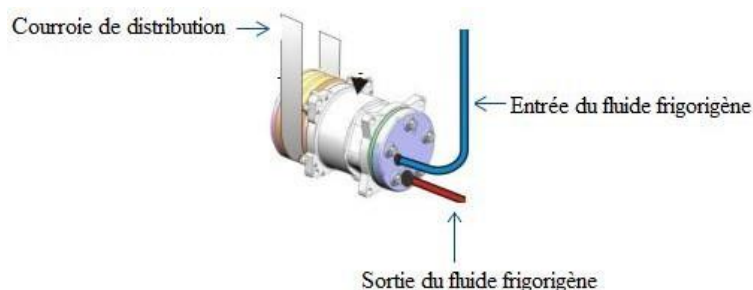


Figure I.2 Compresseur [4]

I.3.2 Condenseur

Il s'agit d'un échangeur thermique placé à l'avant du véhicule, entre le radiateur de refroidissement du moteur et le groupe moto ventilateur. Il permet la liquéfaction du fluide frigorigène gazeux provenant du compresseur : le fluide se liquéfie dans le condenseur par l'échange thermique causé par l'air frais qui le traverse. Le condenseur a pour fonction d'évacuer la chaleur de l'habitacle du véhicule ainsi que l'énergie consommée par le compresseur. [1]

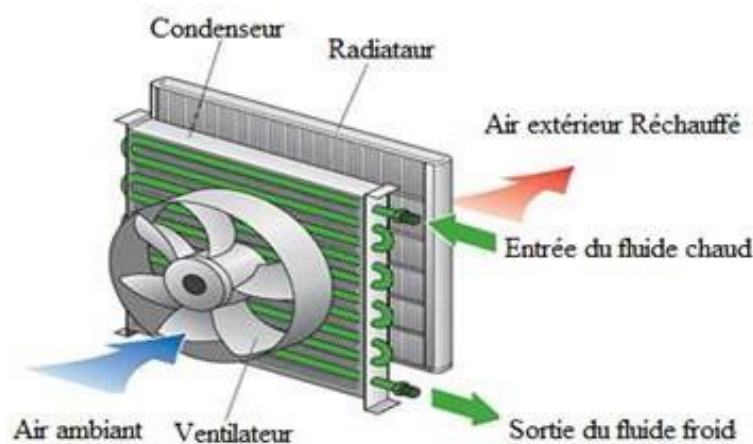


Figure I.3 Condenseur [4]

I.3.3 Détendeur

Son rôle est de détendre le liquide frigorigène arrivant à l'état de liquide à haute pression, pour le transformer en liquide à basse pression ; pour assurer la pression d'évaporation, le phénomène de détente provoque une chute de température jusqu'à la température critique, et une évaporation partielle. Le détendeur contient généralement un thermostat qui permet de réguler le débit par la variation de la température du gaz en sortie de l'évaporateur. [1]

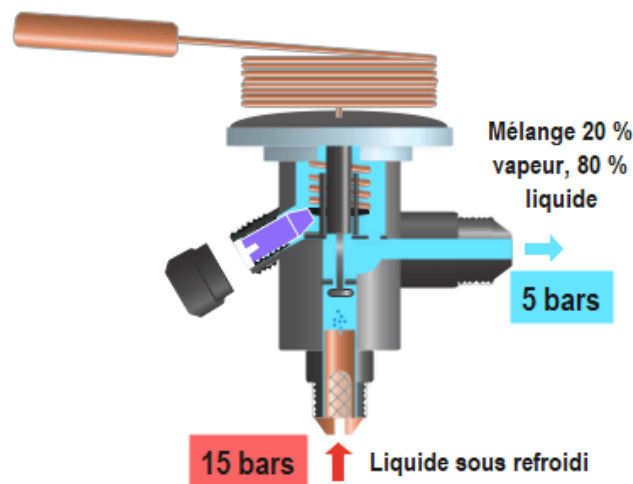


Figure I.4 Détendeur thermostatique [4]

I.3.4 Évaporateur

Il s'agit d'un échangeur thermique. Son rôle est d'assurer la transformation complète du liquide frigorigène en gaz après son passage dans le détendeur.

Au cours de l'évaporation ; le fluide absorbe l'énergie de l'air envoyé dans l'habitacle qui se refroidit en traversant le faisceau de l'évaporateur. [1]

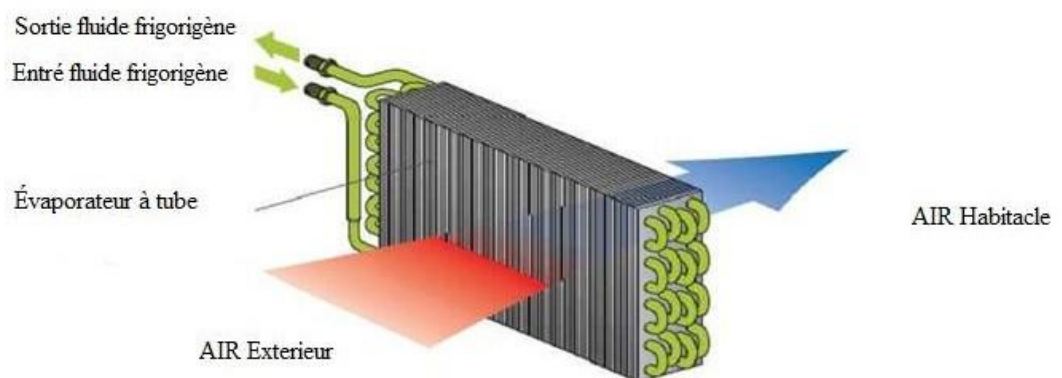


Figure I.5 Évaporateur [4]

I.3.5 Bouteille déshydratante

Elle est placée à la sortie du condenseur, elle sert comme un réservoir pour le liquide frigorigène, elle est composée d'un filtre qui sert à retenir les impuretés subsistant dans le circuit et de sels dessiccateurs qui absorbent l'humidité. [1]

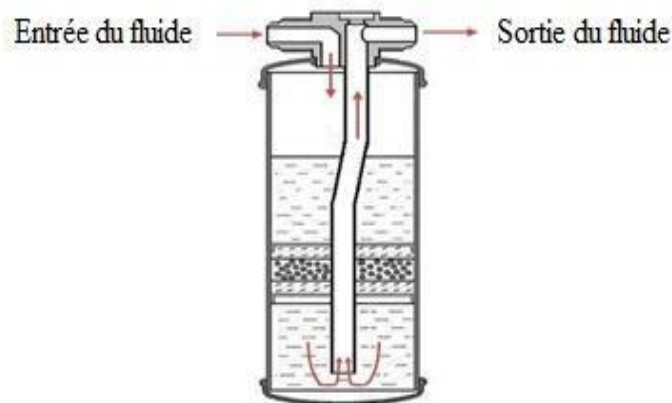


Figure I.6 Bouteille déshydratante [4]

I.3.6 Fluide frigorigène

Son rôle est de permettre les échanges de chaleur par ses changements d'états (évaporation et condensation). Jusqu'en 1995 le fluide frigorigène employé était le R12, il s'agit d'un chlore fluorocarbure (fréon) qui possédait deux graves inconvénients, il a été remplacé par le fluide R134a, il s'agit d'un hydro fluor carbone qui ne contient pas d'atome de chlore et qui participe douze fois moins au réchauffement climatique que le R12. Les fluides frigorigènes à base d'hydrofluorocarbures (HFC – R134a) sont bien plus nocifs pour l'environnement que le dioxyde de carbone, puisque, du point de vue de l'effet de serre, les hydrofluorocarbures ont un pouvoir de réchauffement global de 1300 à 1700 fois supérieur au dioxyde de carbone [1].

I.4 Principe de fonctionnement de la climatisation automobile

La compression d'un fluide à l'état gazeux par un compresseur entraîne une forte élévation de la température du fluide. Cette vapeur, qui a été portée à haute pression passe alors dans un condenseur qui est refroidi par l'air extérieur. Dans le condenseur, le fluide se transforme en liquide (toujours à haute pression). Puis, le liquide entre dans une bouteille déshydratante qui sert de réservoir et permet en outre de retenir les impuretés du liquide. Ensuite, le liquide arrive au détendeur qui a pour fonction de faire chuter la haute pression du fluide dans un

évaporateur. Cette détente fait passer le liquide sous forme de vapeur basse pression à basse température. Le fluide gazeux ainsi obtenu retourne ensuite au compresseur pour effectuer un nouveau cycle (voir la figure I.7). [1]

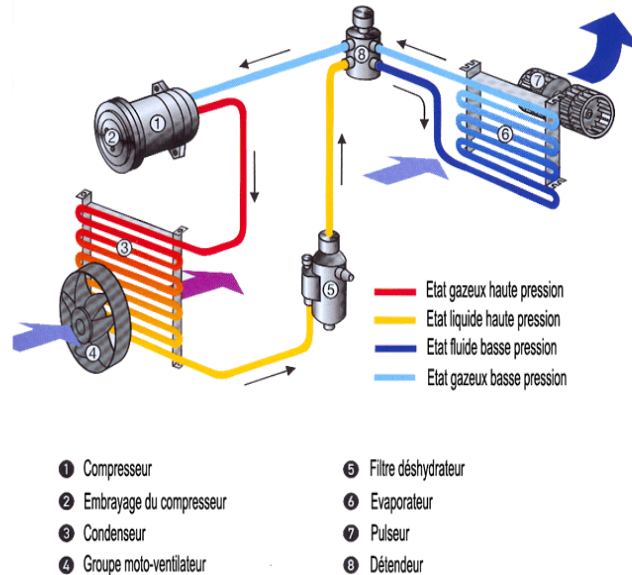


Figure I.7 Principe de fonctionnement du cycle de climatisation automobile [5]

I.5 Le système de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC)

La Figure I.8 présente, à gauche, une schématisation, et à droite une vue du système HVAC automobile. Comme son nom l'indique, le système HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) assure à la fois le chauffage, la climatisation et la distribution de l'air dans l'habitacle par l'intermédiaire des conduits. Ce système constitue l'interface entre la source d'énergie et l'habitacle.

Sur la schématisation à gauche de la Figure I.8, on voit que, dans un premier temps, l'air est admis à travers une grille située en dessous du pare-brise, appelée grille d'auvent. L'air suit ensuite un chemin qui diffère selon la position de trois types de volets dont le rôle est discuté dans les sections 2.1.3.2 à 2.1.3.4 : le volet de recirculation, le volet de mixage et les volets de distribution d'air dans l'habitacle. L'air est également purifié à travers un filtre habitacle à pollen qui va filtrer non seulement ces allergènes, mais également la plupart des particules telles que les gaz, la poussière, certains germes etc. Cette filtration se fait avant de traverser l'évaporateur (source froide). A la sortie de l'évaporateur, l'air peut éventuellement traverser un radiateur de chauffage (source chaude) en fonction de la position du volet de mixage.

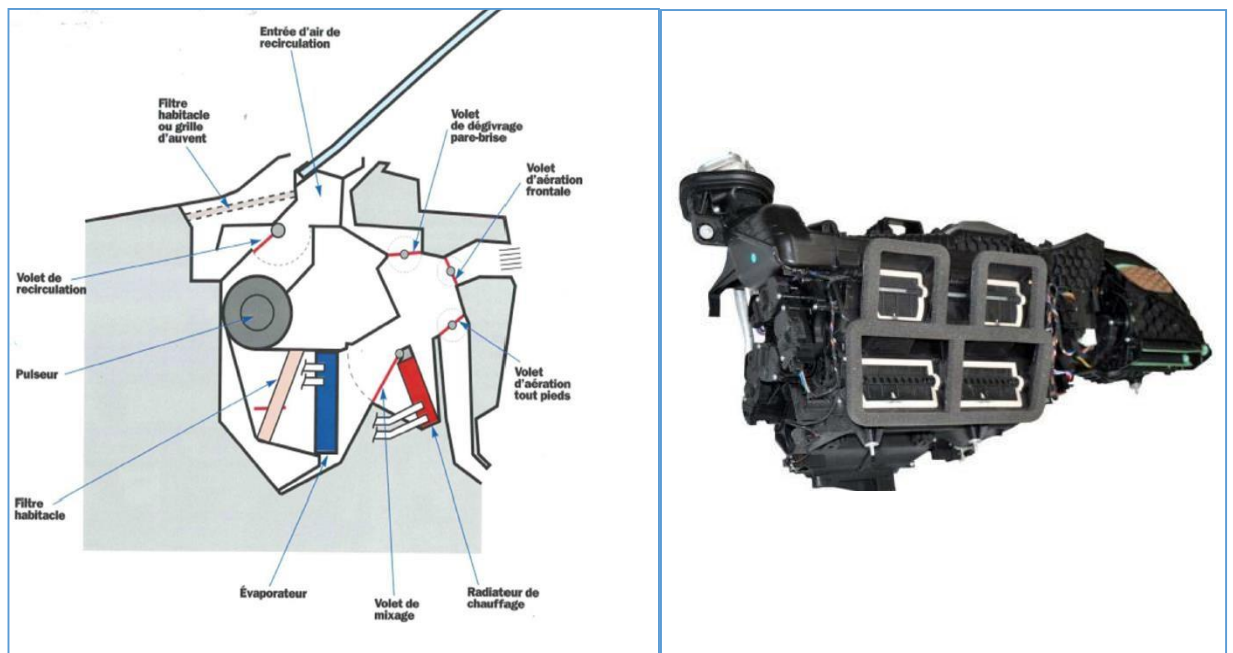


Figure I.8 (A gauche) : Schématisation du système HVAC automobile. (A droite) :
Vue d'un boîtier HVAC automobile [5]

I.5.1 Le pulseur électrique

Le pulseur électrique permet de faire circuler l'air à travers l'évaporateur, en balayant une plage donnée de variation de débit d'air soufflé. A titre d'exemple, les grands débits peuvent servir à atteindre rapidement le confort thermique. Tandis que les petits débits d'air peuvent servir à maintenir le confort thermique lorsque ce dernier est atteint, tout en minimisant la gêne acoustique. Le pulseur habitacle est alimenté électriquement par l'intermédiaire de l'alternateur. La Figure I.9 montre une vue d'un pulseur d'air habitacle.



Figure I.9 Un pulseur d'air habitacle [5]

I.5.2 Le mixage d'air

Après la traversée de l'évaporateur, l'air peut passer, en fonction de la position d'un volet de mixage, par un radiateur de chauffage, appelé également aérotherme. Ce radiateur assure le chauffage de l'habitacle, et fait partie du circuit de refroidissement du moteur, ou boucle chaude, schématisée en rouge sur la Figure I.10.

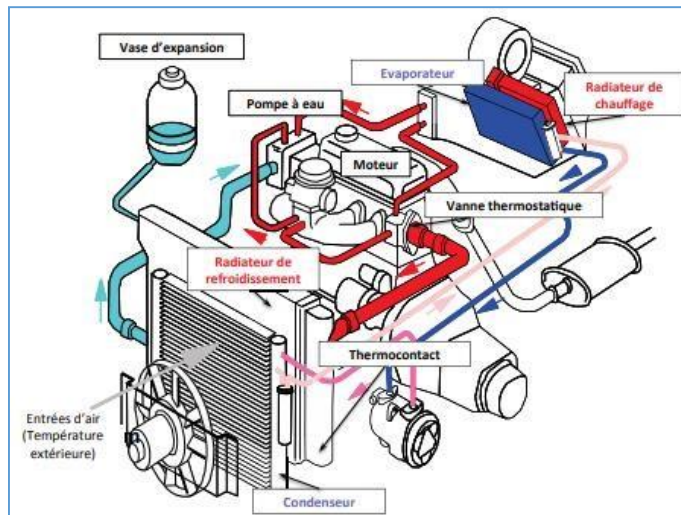


Figure I.10 Schématisation de l'association du circuit de refroidissement du moteur avec une boucle de climatisation automobile [5]

Le volet de mixage permet de contrôler le taux de mixage. Un taux de mixage de 0% correspond au passage de l'air par l'évaporateur uniquement (by-pass de l'aérotherme), tandis que la valeur 100% correspond au passage de tout l'air par l'évaporateur et ensuite par l'aérotherme. Dans le cas d'un mixage partiel, une fraction de l'air passe uniquement par l'évaporateur, alors que l'autre fraction passe à la fois par l'évaporateur et l'aérotherme. Les deux fractions sont ensuite mixées avant d'être soufflées dans l'habitacle.

I.5.3 Les conduits et les modes de distribution d'air

Après avoir traversé l'évaporateur, et éventuellement l'aérotherme, l'air est acheminé vers l'habitacle à travers des conduits qui distribuent l'air vers différentes régions de la cabine comme montré sur la Figure I.11. Vu de l'intérieur de la voiture, la cabine voit arriver l'air par différents aérateurs qui sont les extrémités des conduits d'air.



Figure I.11 Les conduits de l'air habitacle [5]

Généralement, il existe trois principaux modes de distribution d'air, dont l'activation est contrôlée à travers les trois volets de distribution montrés sur la Figure I.8: le volet de dégivrage, le volet d'aération frontale et le volet d'aération pieds. Il est à noter que la combinaison de ces trois modes de distribution est possible dans la quasi-totalité des véhicules commerciaux mis en vente sur le marché. [5]

La Figure I.12 montre les trois principaux modes de distribution de l'air dans l'habitacle.

On distingue :

I.5.3.1 Le mode ventilation :

L'air sort par les aérateurs centraux, et est dirigé vers les têtes des passagers avant. En ambiance chaude, ce mode permet de refroidir la tête qui est la zone la plus sensible au chaud. Les aérateurs sont orientables, ce qui permet un ajustement aux différentes postures des passagers.

I.5.3.2 Le mode pieds :

L'air sort par la cave à pieds de l'habitacle. En ambiance froide, ce mode permet de réchauffer les extrémités du corps humain du moment qu'elles sont les plus concernées par les déperditions énergétiques. Contrairement au mode ventilation, ce mode n'offre aucune possibilité de réglage de position.

I.5.3.3 Le mode dégivrage / désembuage :

L'air sort à travers les frises situées à proximité des vitres (parebrise et vitres latérales avant).

Ce mode de distribution permet d'assurer une meilleure visibilité au conducteur, soit en dégivrant les vitres en ambiance froide, soit en les désembuant en cas de présence de la buée.

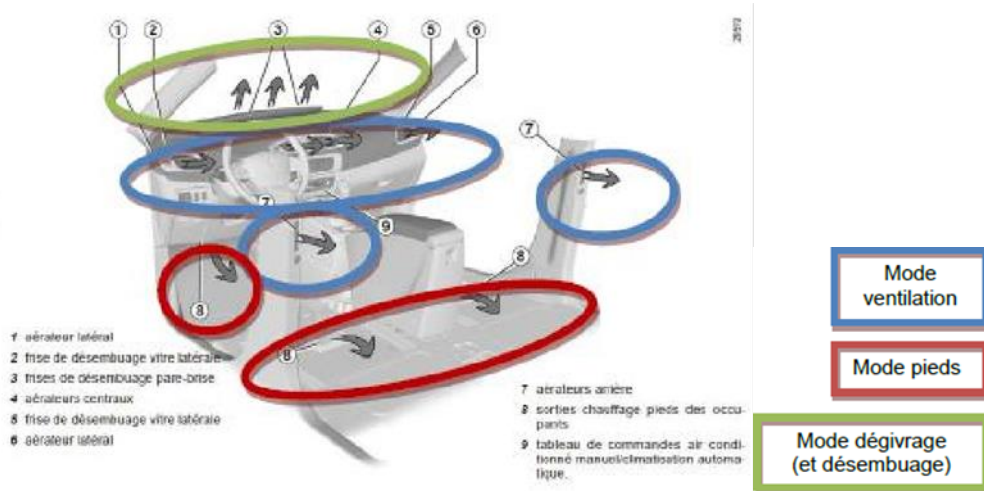


Figure I.12 Les différents modes de distribution de l'air dans l'habitacle [5]

En parcourant les conduits, l'air soufflé subit une stratification thermique (voir section 2.2.3). Les conduits d'air sont également sujets à des pertes thermiques, et sont généralement bien isolés en vue de les réduire.

I.5.4 Les diffuseurs d'air dans l'habitacle

Par défaut, l'air qui circule au sein de l'habitacle provient de l'extérieur. Cet air, après être passé dans le **système de ventilation**, qui va réchauffer l'habitacle (chauffage) ou le refroidir (climatisation) en fonction de la demande du conducteur, sera propulsé au sein de l'habitacle grâce à des buses, ces derniers sont reliés au niveau de tableau de bord par **des bouches d'aération** sont nommés aussi **diffuseurs d'air**.



[Figure I.13 Diffuseur d'air [6]

I.5.4.1 Introduction au diffuseurs d'air

Les diffuseurs d'air, bouches ou grilles de diffusion d'air permettent de répartir de façon homogène le débit soufflé et la température dans une ou plusieurs pièces, en mode chauffage comme en mode climatisation. Et sont aussi utilisées comme amenée d'air ou grille de reprise. Quand on parle de la diffusion d'air 3 critères sont importants :

- Le confort thermique
- Le confort acoustique
- La discrétion et l'esthétique des diffuseurs

I.5.4.2 L'influence du diffuseur sur l'habitacle automobile

La géométrie du diffuseur et les conditions d'émissions influencent son épanouissement. Lorsqu'il s'agit d'améliorer le mélange, entre le diffuseur et l'air environnant, on modifie le comportement du diffuseur pour générer des structures tourbillonnaires favorisant le mélange. Ces structures peuvent être générées de manière active, grâce à un dispositif mécanique dédié (excitation acoustique, mise en rotation du jet, etc.), ou de manière passive. Cette deuxième approche, vise à générer du mélange entre le diffuseur et l'habitacle par accroissement du cisaillement à l'interface jet/air ambiant en utilisant des géométries de diffuseurs particulières.

La ventilation s'inspire beaucoup des études réalisées dans ces domaines.

L'induction de l'air à traiter dans le diffuseur est donc un élément essentiel ; elle permet de réduire la concentration des polluants et de diminuer les gradients de température dans l'habitacle de la voiture. Néanmoins, il est nécessaire de maximiser la zone intérieure traitée ; cela signifie que le diffuseur doit être capable d'atteindre le long de sa trajectoire des régions éloignées de son point d'émission, tout en minimisant les inconforts locaux, notamment les courants d'air. La portée est donc un facteur au moins aussi important que l'induction.

I.5.5 Les différents types du diffuseurs d'air dans les voitures

I.5.5.1 Diffuseurs multicônes circulaires

Le diffuseur multicône est un diffuseur d'air de soufflage et d'extraction conçu pour être monté au plafond ou sur tableau de bord du véhicule. Il constitue une solution polyvalente et

convient aux bureaux, voitures..., Il assure une diffusion radiale et horizontale de l'air dans l'habitacle d'une longueur maximale de 4m. Il est destiné à l'alimentation en air avec une différence de température allant jusqu'à ± 10 K par rapport à la température ambiante. [7]



Figure I.14 Diffuseurs multicônes circulaire [8]



Figure I.15 Diffuseurs multicônes circulaire pour Mini Cooper [9]

I.5.5.2 Diffuseur à buse longue portée

Les buses à jet de longue portée sont surtout utilisées dans les véhicules. On installe des buses à jet de longue portée dans les parties latérales. Conçue pour le montage mural ou sur des plafonds. Utilisable pour le refroidissement jusqu'à $Dt = -14$ K et pour le chauffage jusqu'à $Dt = +25$ K, avec des débits importants.

Ce système de diffusion permet des vitesses d'air élevées, de grandes portées de jet avec une faible résurgence sonore grâce à la forme conique très étudiée des buses.

La direction du jet d'air peut être réglé manuellement ou électriquement. [7]



Figure I.16 Diffuseur à buse longue portée [8]



Figure I.17 Diffuseur à buse longue portée pour Mercedes Benz Class C W205 [9]

I.5.5.3 Diffuseur tourbillonnaires

La distribution de l'air dans un habitacle se fait ici par des jets hélicoïdaux, créant des tourbillons sans grandes turbulences, ce qui permet un meilleur mélange de l'air en réduisant l'écart de température entre l'ambiance et le soufflage. Le flux d'air arrive à basse vitesse au diffuseur de 1 à 3 m/s puis se divise en plusieurs jets. [7]



Figure I.18 diffuseur d'air tourbillonnaire [8]



Figure I.19 bouche d'aération tourbillonnaire Audi TT [10]

I.5.5.4 Autre forme du diffuseur dans les voitures actuelles



Figure I.20 Autres forme du diffuseur d'air

I.6 Présentation des diffuseurs conçus

Notre nouvelle proposition sera présentée ci-dessous :

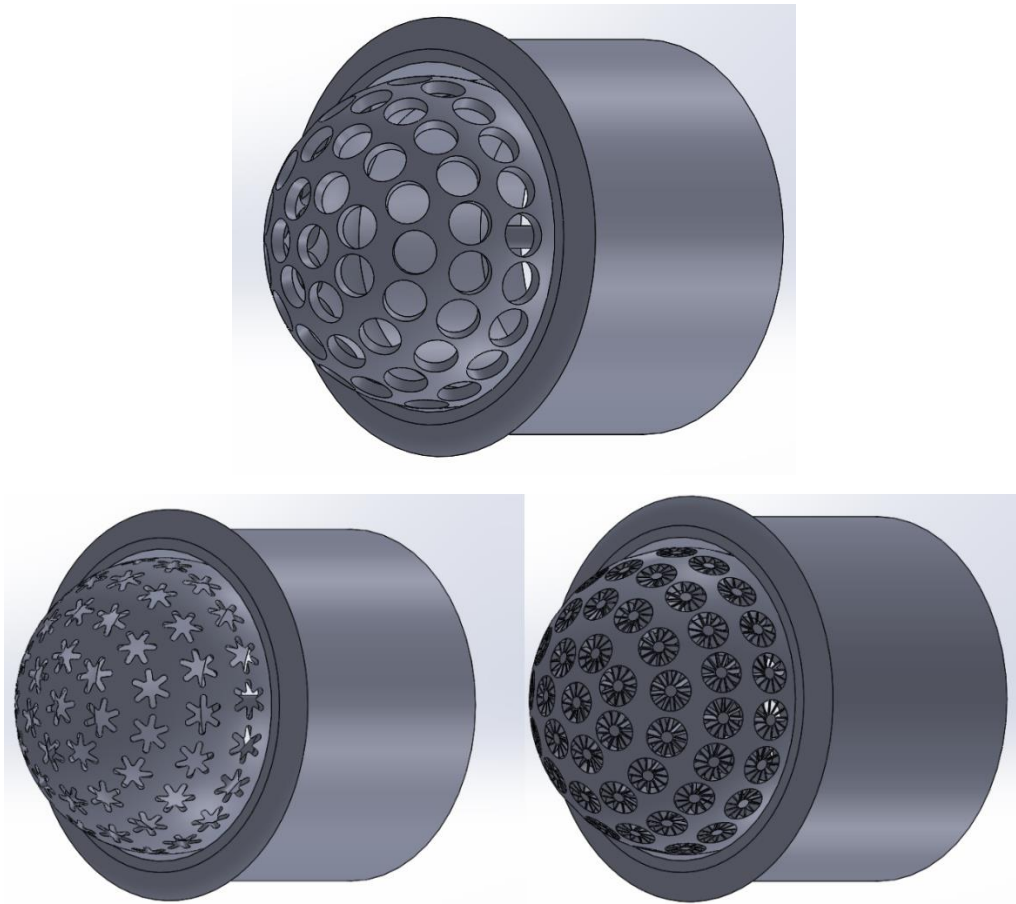


Figure I.21 Diffuseurs conçus par SolidWorks

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés une généralité et une analyse bibliographique sur la climatisation automobile, les différents formes du diffuseur existant dans les voitures actuelles et notre nouvelle proposition a été présentée aussi.

Chapitre II

Conception et réalisation

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter le logiciel de la conception qui est le SolidWorks puis on détaille les étapes de la conception jusqu'à l'impression en 3D de notre nouveaux diffuseurs d'air.

II.2 Introduction à SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O.) qui appartient à la famille des modeleurs volumiques, c'est-à-dire qu'il permet la création de pièce, ou d'assemblage de pièce, directement en 3D. Les pièces ne sont ni représentées par leurs arrêtes ni par leur face mais par leur volume (il y a de la matière à l'intérieur des différentes pièces).

II.3 Le nouveau diffuseur d'air en SolidWorks

Notre nouveau diffuseur d'air est devisé en deux pièces, la cage extérieure système de fixation dans le tableau de bord et le système de diffusion d'air à l'intérieur ce qui est le plus important à notre étude énergétique.

Donc on va construire deux pièces à l'aide du deux fichiers pièces puis on ouvre ces derniers dans un nouveau fichier d'assemblage pour tester la justice de notre cotation du diffuseur.

II.4 Représentation schématique du deux pièces

Des schémas de définition seront présentés ci-dessus pour savoir la forme et les démentions de notre diffuseur :

II.4.1 La cage (la pièce fixe)

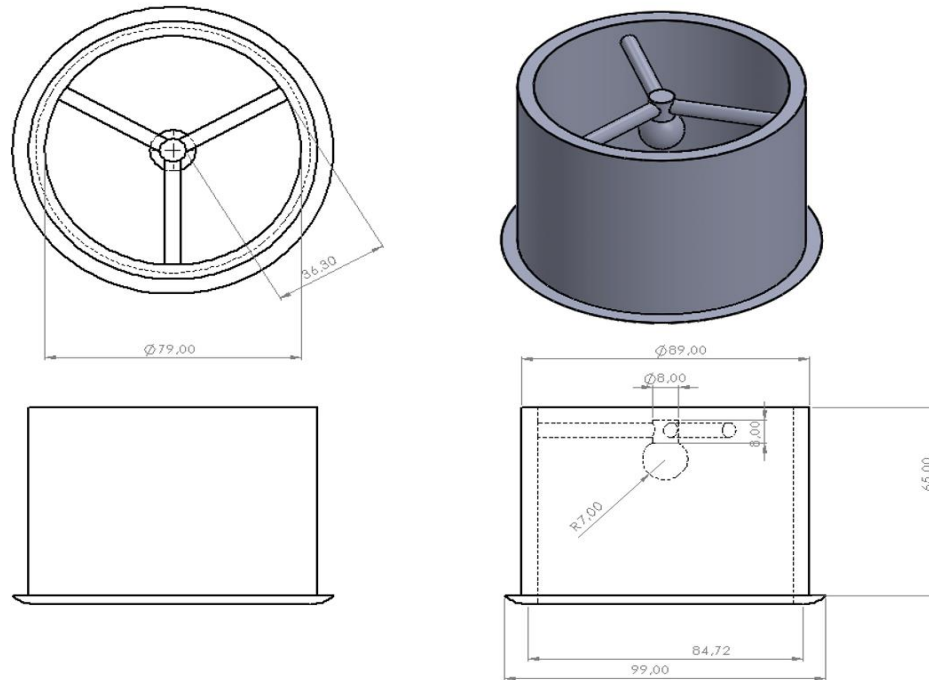


Figure II.1 Schéma de définition pour la cage

II.4.2 Le diffuseur d'air (la pièce mobile)

3 géométries sont étudiés dans ce dernier, circulaire, lobé et tourbillonnaire

1. La géométrie circulaire

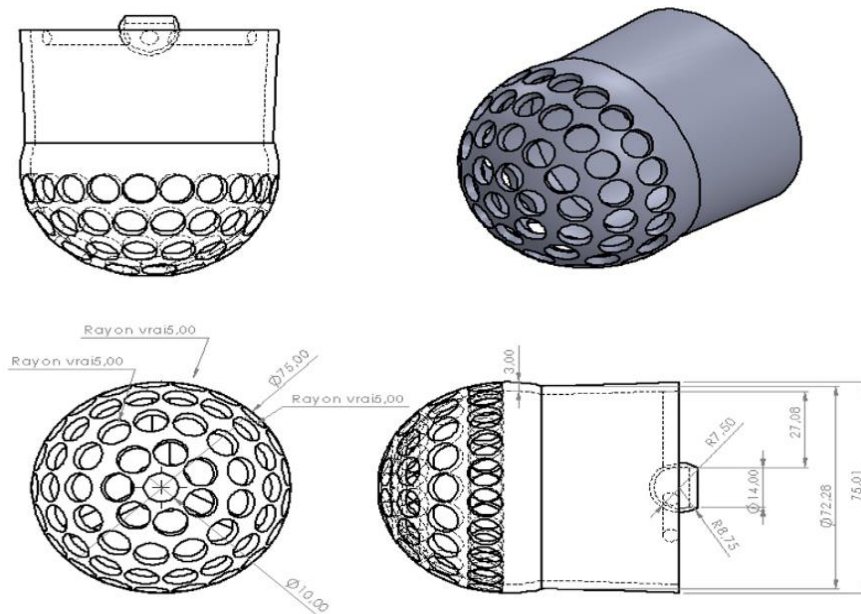


Figure II.2 Schéma de définition pour la géométrie circulaire

2. la géométrie lobé

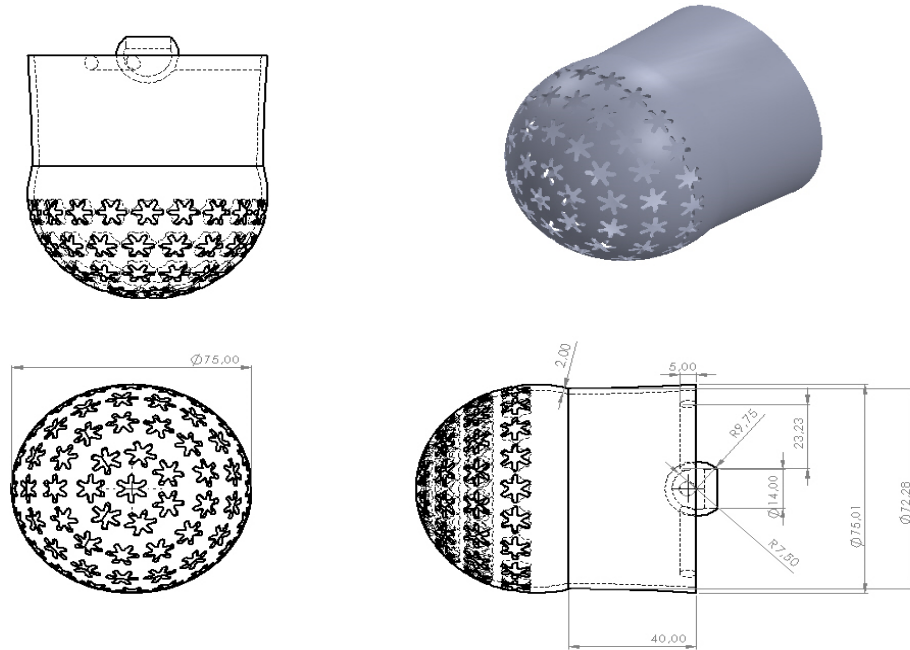


Figure II.3 Schéma de définition pour la géométrie lobée

3. La géométrie tourbillonnaire

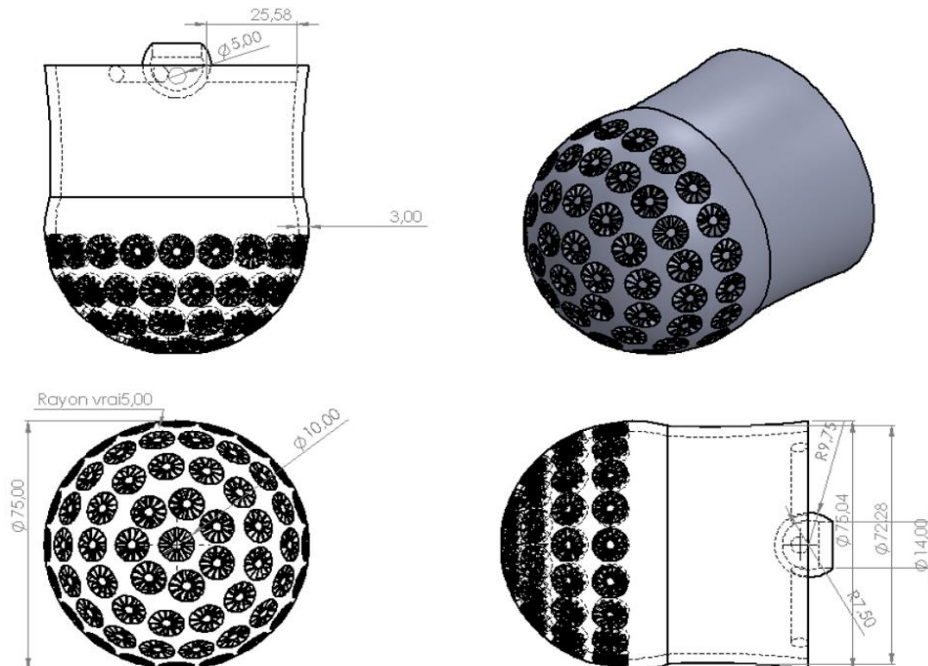


Figure II.4 Schéma de définition pour la géométrie tourbillonnaire

II.5 Représentation en 3D

1. La cage

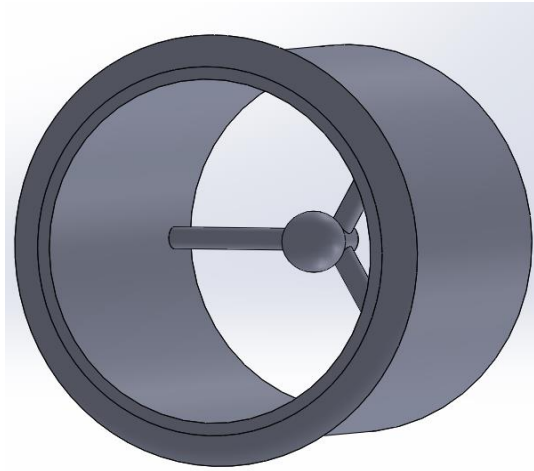


Figure II.5 la cage en 3D

2. Geometrie circulaire

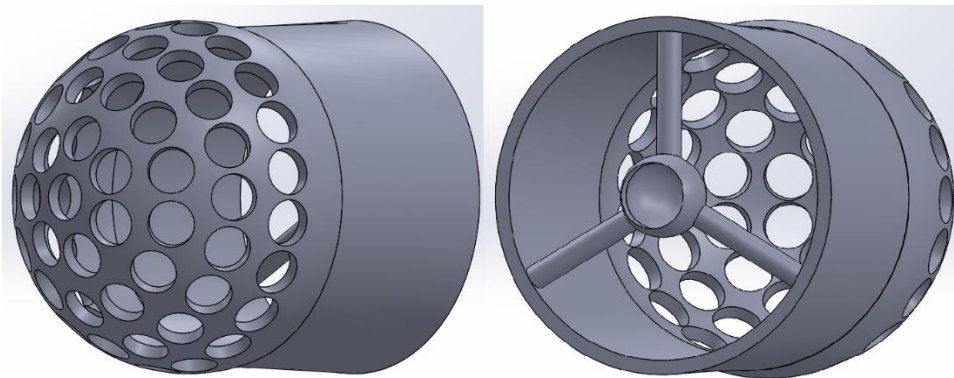


Figure II.6 Geometrie circulaire en 3D

3. Geometrie tourbillonnaire

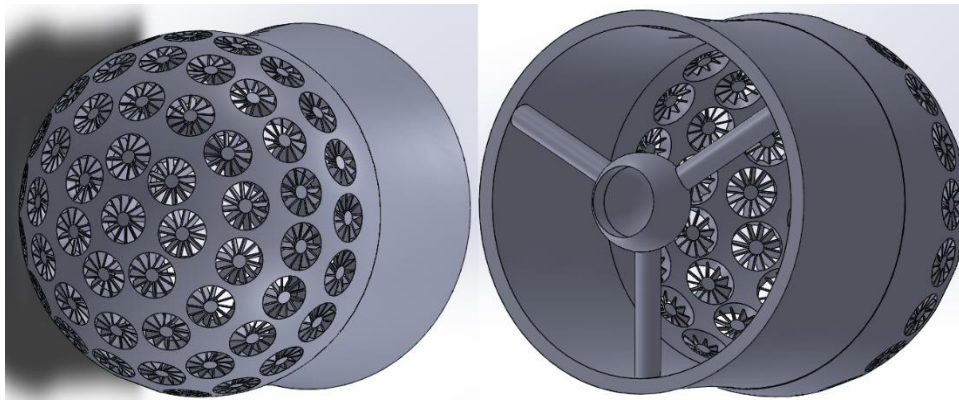


Figure II.7 Geometrie tourbillonnaire en 3D

4. Geometrie lobé

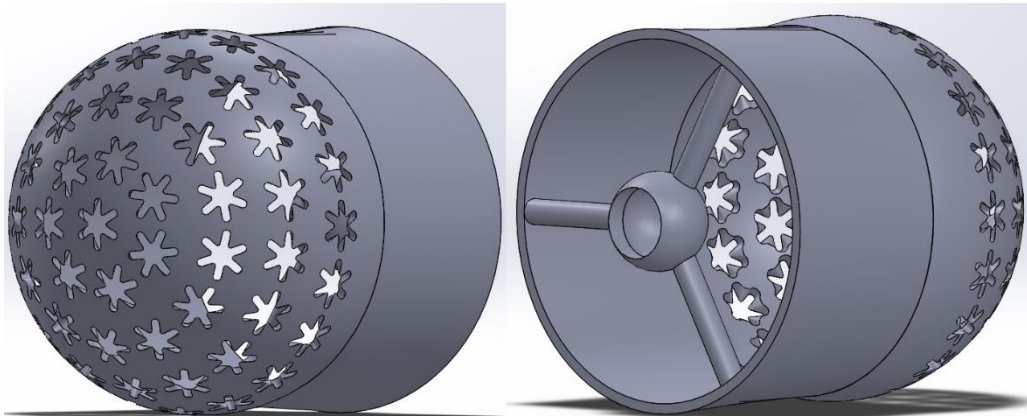
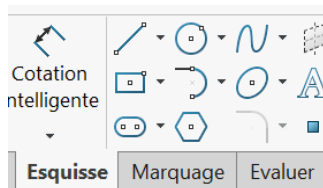
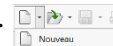


Figure II.8 Geometrie lobée en 3D

II.6 La construction sur le SolidWorks

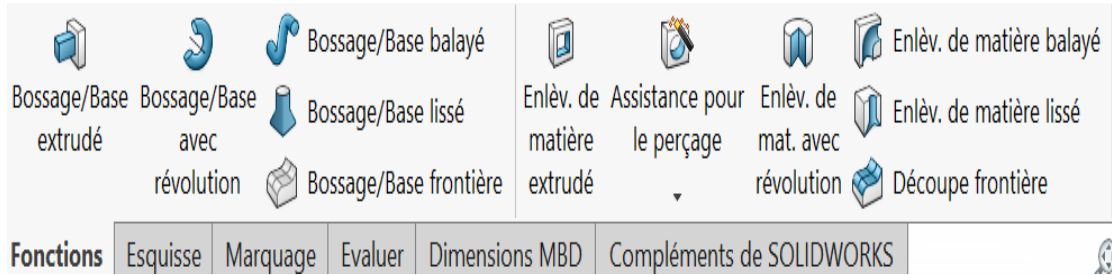
1. Pour débiter, cliquer sur l'icône SolidWorks qui se trouve sur le bureau de votre ordinateur.
2. Ensuite, lorsque la fenêtre est ouverte, cliquez sur nouveau document.
3. Sélectionnez l'icône pièce, et cliquer sur ok
4. Pour pouvoir dessiner nous devons sélectionner un plan puis passons en mode esquisse (2D)
5. Pour cela il suffit de cliquer sur l'icône esquisse
6. Dessiner l'esquisse en utilisant les icônes apparaissent (ligne, rectangle, cercle spin...)



7. Ensuite pour dimensionner l'esquisse, il faut cliquer en premier sur l'icône cotation et après cliquer sur l'arrête



8. Lorsque ces différentes opérations sont réalisées, vous allez pouvoir passer du mode 2D (esquisse) au mode 3D pour cela on doit utiliser les fonctions (bossage, extrudage, lissage, balayage ...).



II.7 Notre construction des diffuseurs

En passe maintenant sur notre construction des diffuseurs :

II.7.1 Diffuseur de géométrie circulaire

1. Construisons une boule avec la fonction

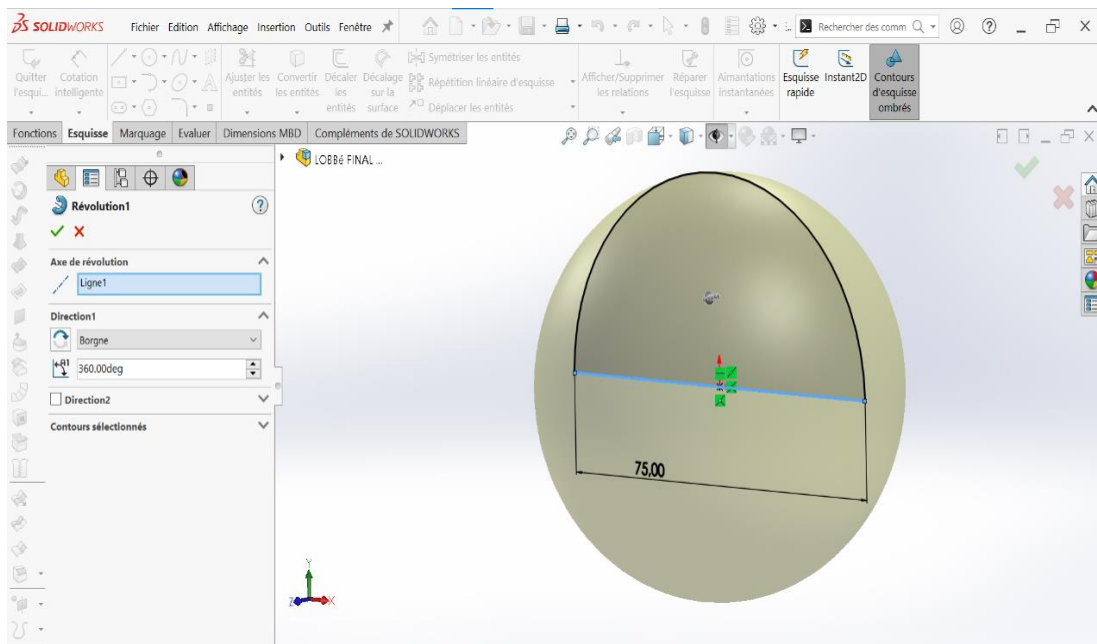
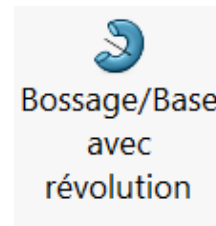



Figure II.9 Bossage avec révolution

2. Enlevons la matière intérieur par  pour faire avoir une sphere d'épaisseur de 3 mm

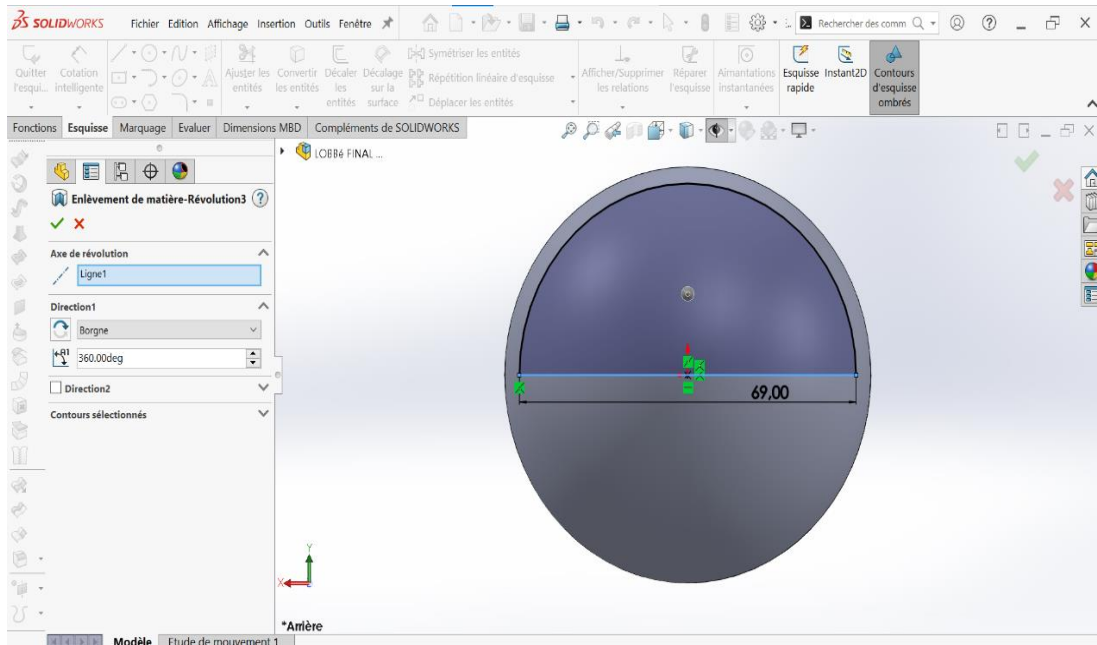
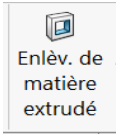


Figure II.10 Enlèvement de matière avec révolution

3. Dessinons un cercle dans le plan de face puis cliquons sur  pour résulter comme présenter sur la figure II.11

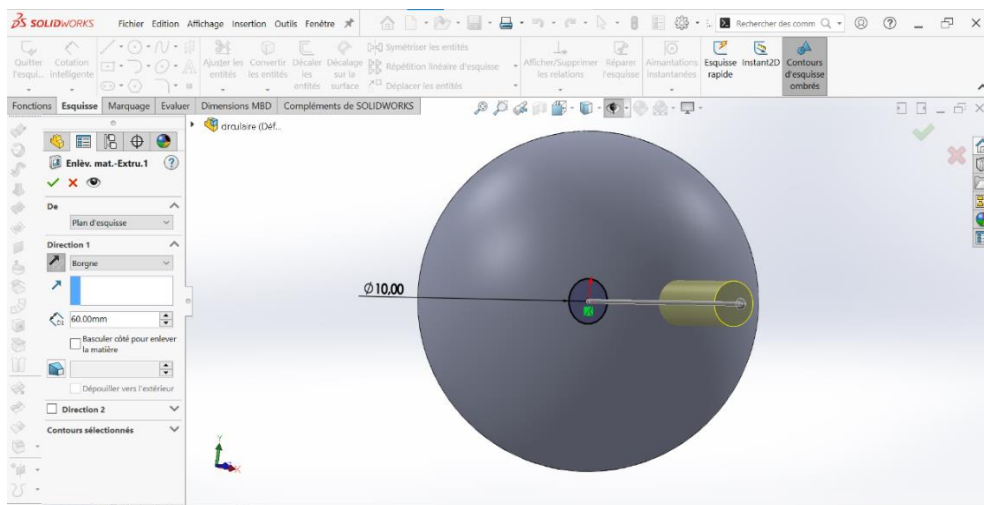


Figure II.11 Enlève de matière par extrusion

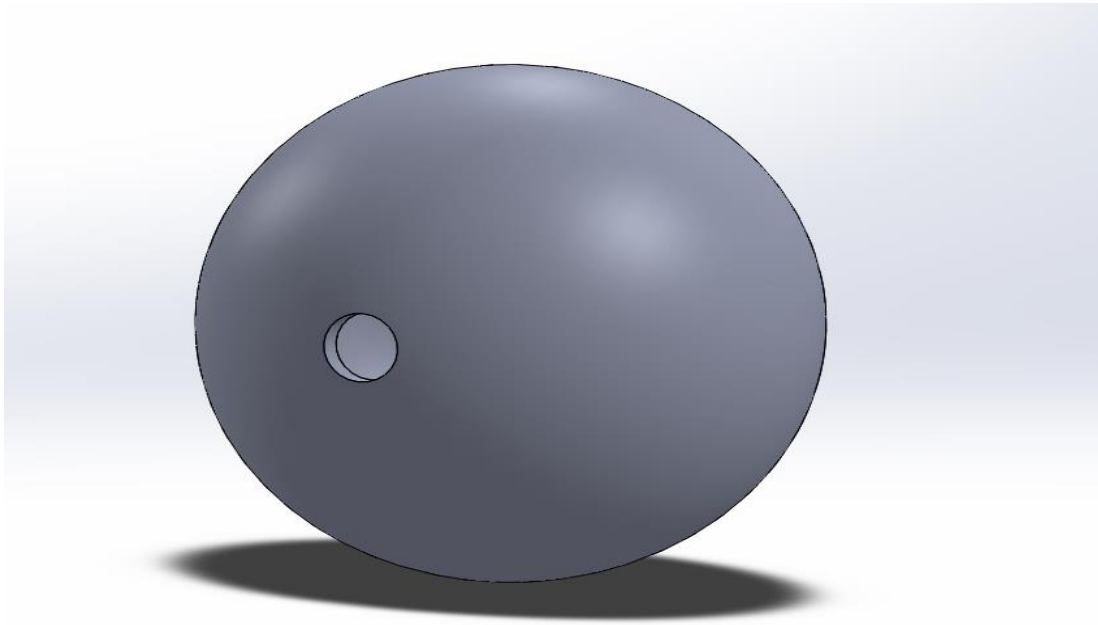


Figure II.12 Résultat actuel

4. Création du trois axes pour faire la répétions circulaire de l'opération précédant par cliquer sur géométrie de référence puis axe comme présentera ci-dessous

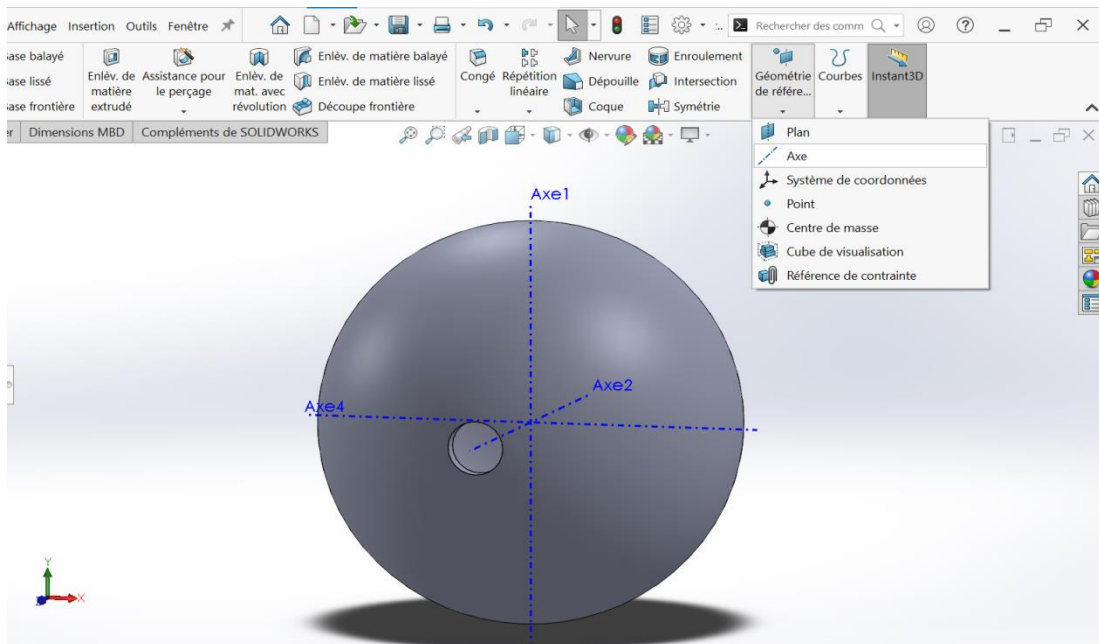
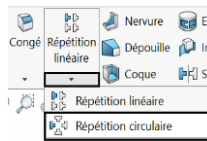


Figure II.13 Création du trois axes

5. Sélectionnons l'opération précédente



5.1 Cliquons sur la répétition circulaire



5.2 Choisis l'axe de rotation (axe 1) et l'angle 20 degrés

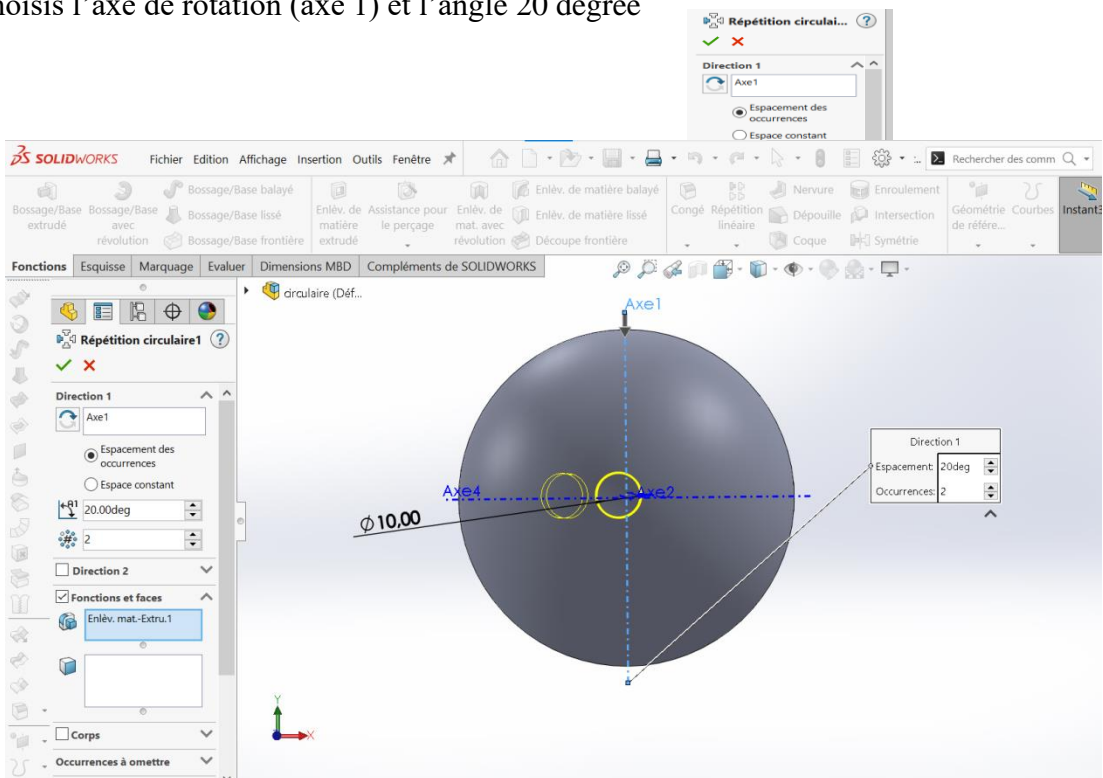


Figure II.14 Répétition circulaire 1

En résulte

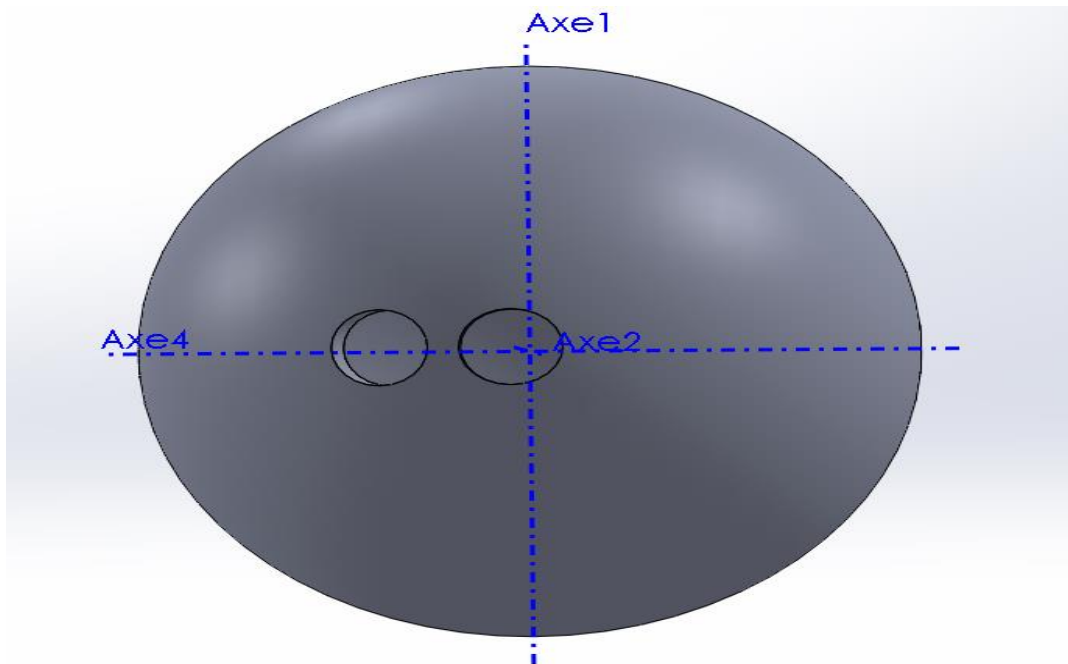


Figure II.15 Résultat de la répétition circulaire 1

6. Deuxième répétition

même chose que la premier reptition mais en élevons la valeur d'angle a 40 degré

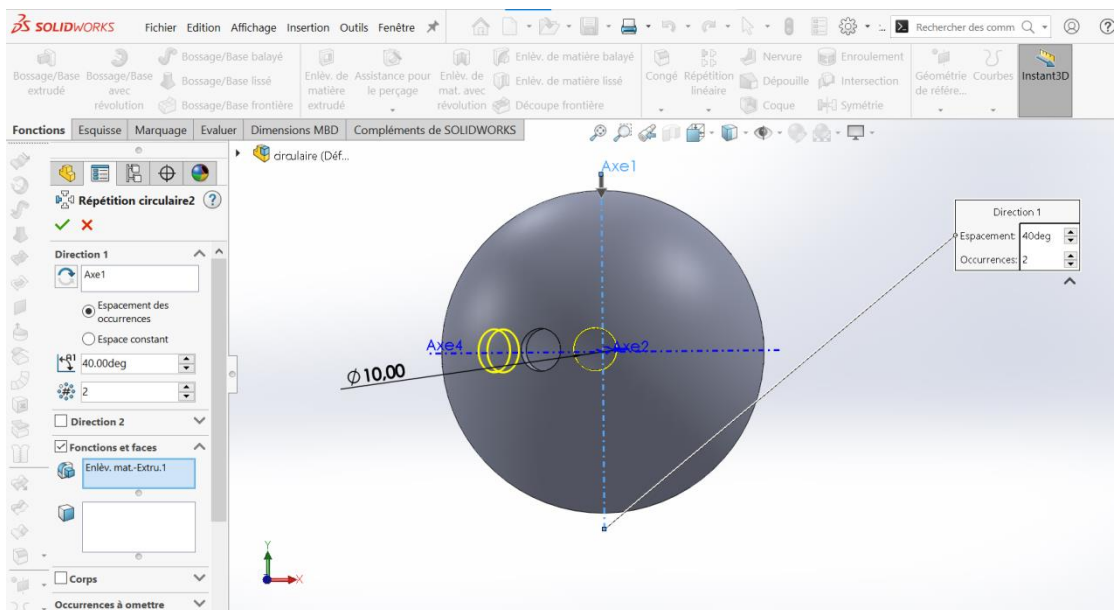


Figure II.16 Répétition circulaire 2

7. Troisième répétition

Même chose aussi mais pour la valeur d'angle on met 60 degrés

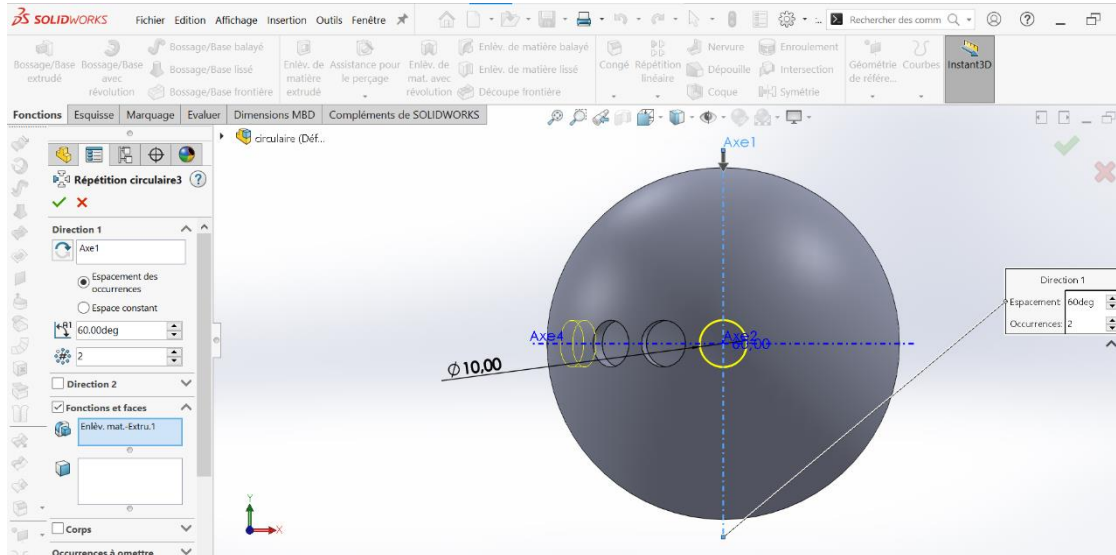


Figure II.17 Répétition circulaire 3

8. Quatrième répétition

l'angle est 80 degrés

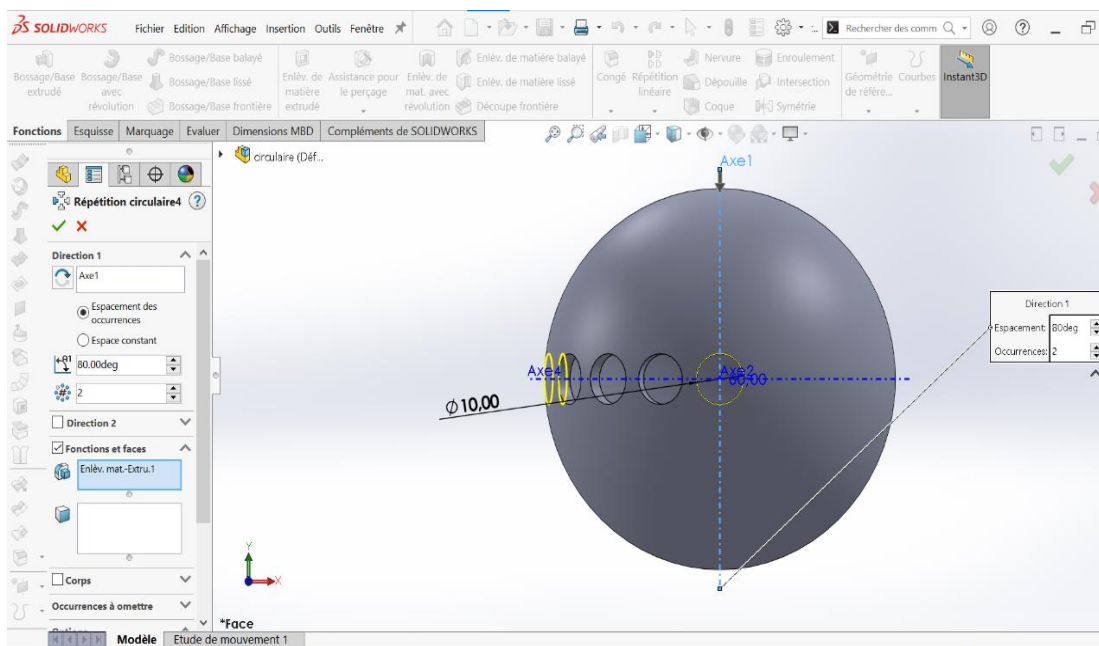
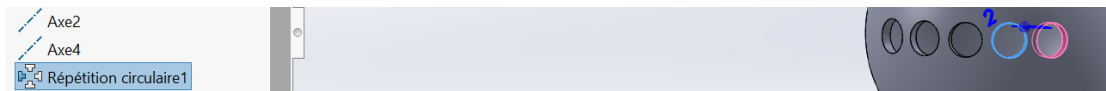
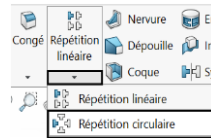


Figure II.18 Répétition circulaire 4

9. Maintenant en sélectionnons la première répétition



9.1 En cliquons sur



Dans les paramètres de la répétition circulaire en met l'axe axial pour la rotation faciale puis en met espace constant et maximum nombre possible des cercles comme présenter dans la figure II.19

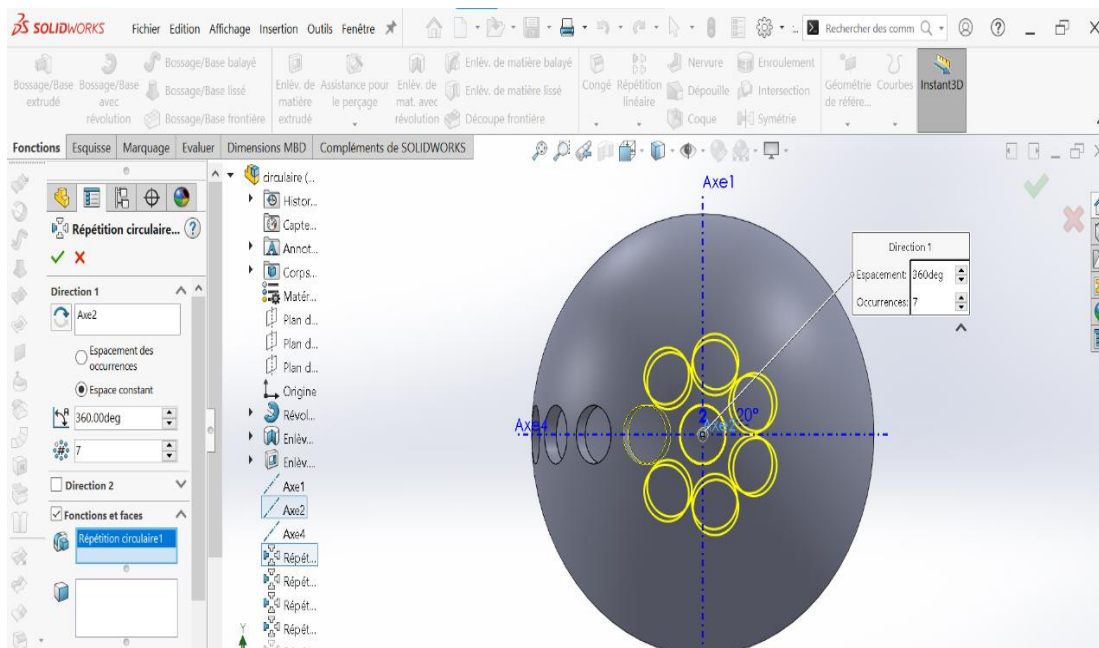


Figure II.19 Répétition circulaire facial 1

10. Sélectionnons la deuxième répétition puis les mêmes étapes que la précédente répétition

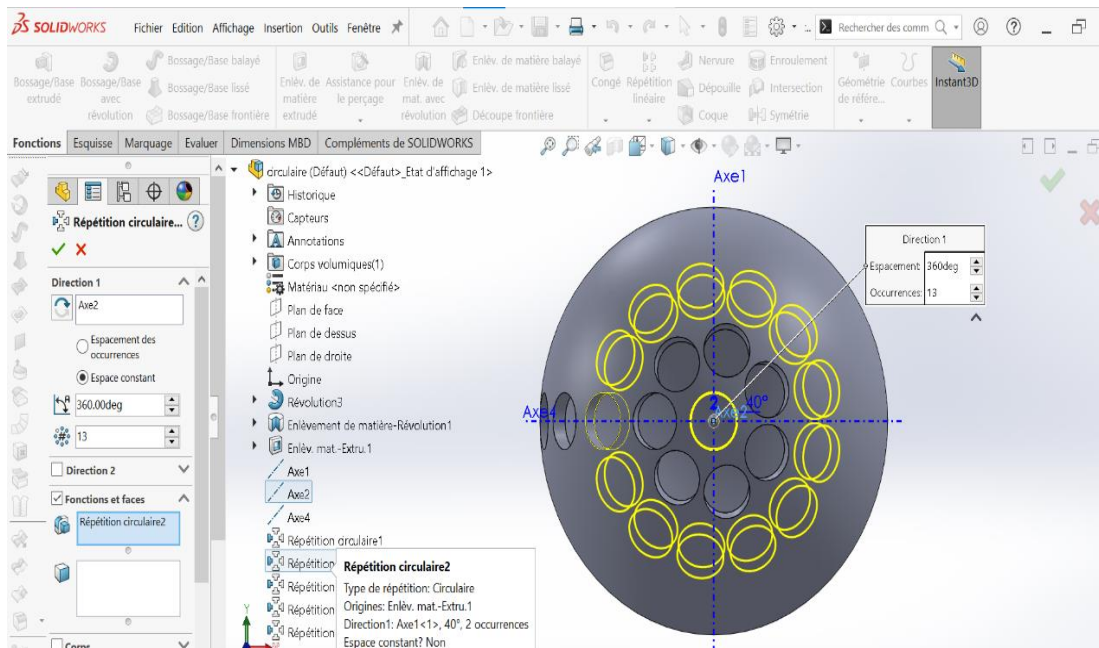


Figure II.20 Répétition circulaire facial 2

11. Sélectionnons la troisième répétition puis les mêmes étapes que la première répétition selon l'axe axial

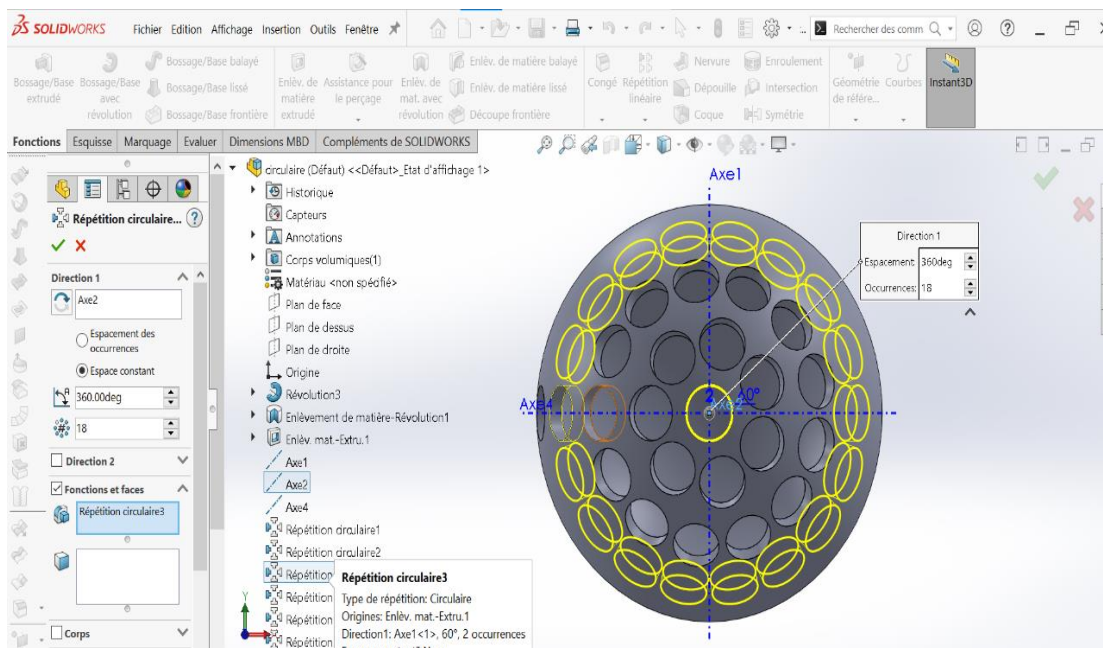


Figure II.21 Répétition circulaire facial 3

12. La dernier répétions facial

En sélectionnons la quatrième répétition puis les mêmes étapes que les précédentes répétitions

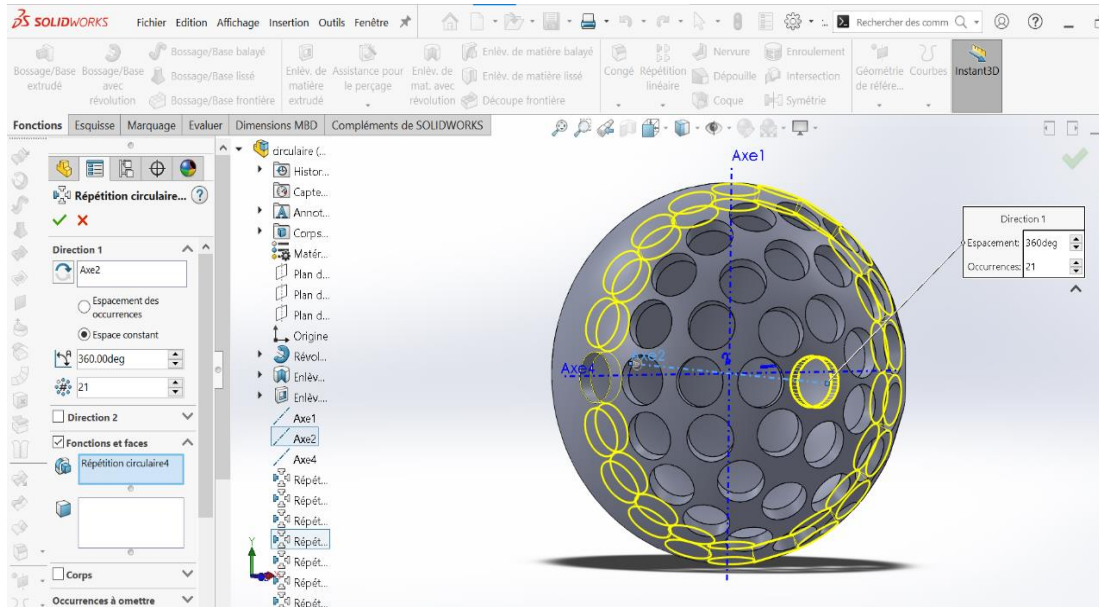


Figure II.22 Répétition circulaire facial 4

En résulte enfin

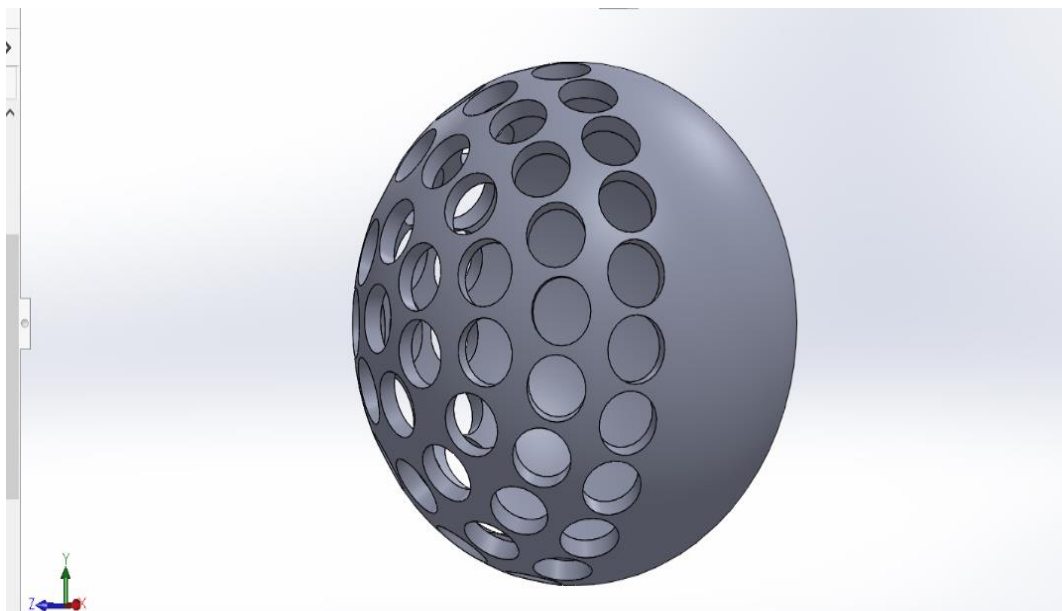


Figure II.23 Résultat finale de la répétition circulaire

13. En coupant notre sphère come présenter dans la figure ci-dessous

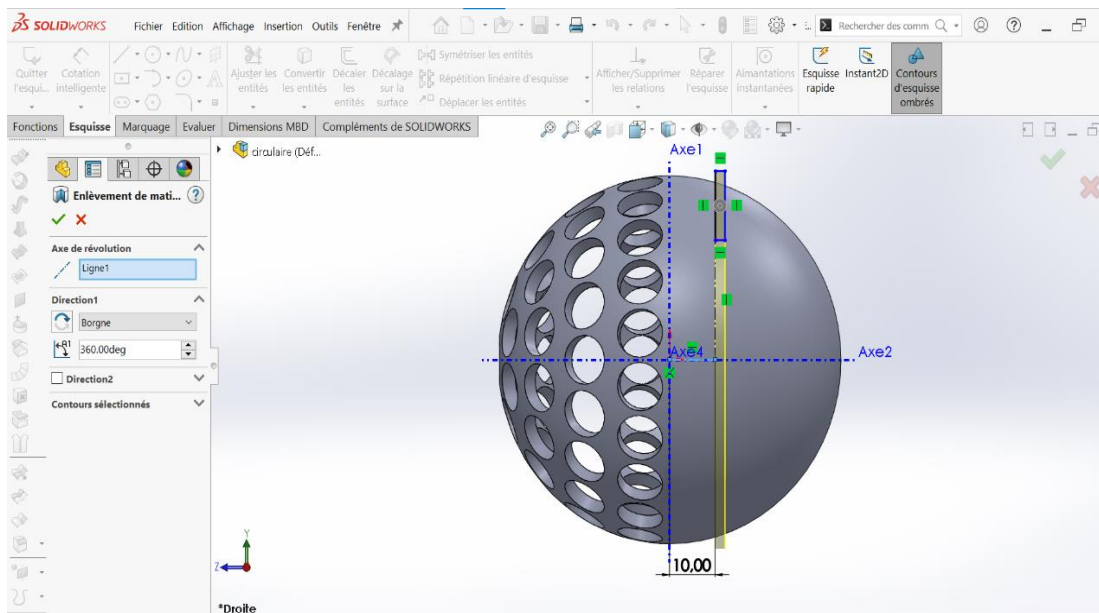


Figure II.24 Enlèvement de matière avec révolution

En résulte

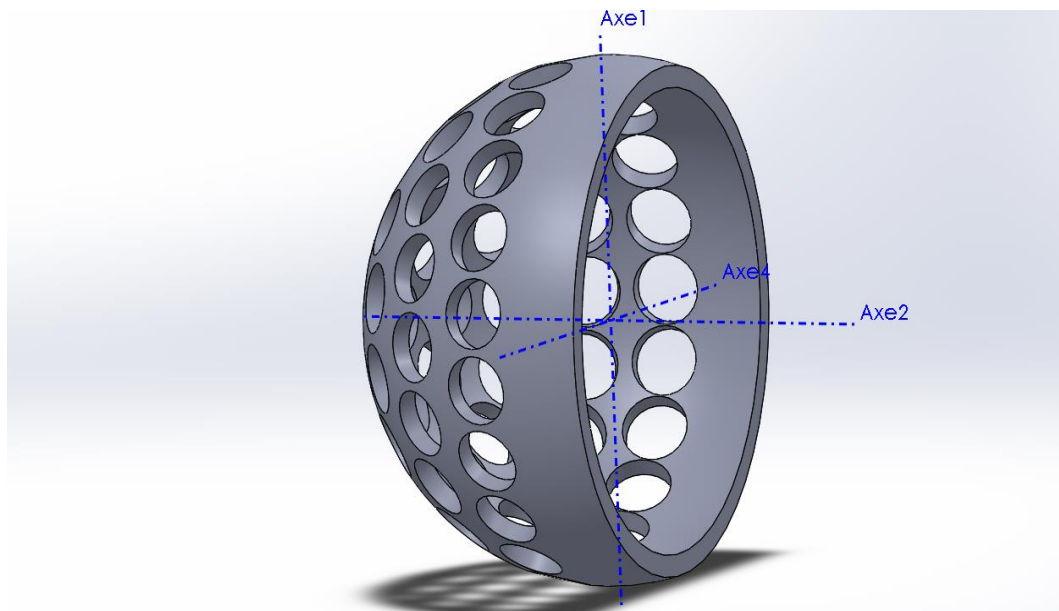


Figure II.25 résultat actuel

14. pour passer à l'étape suivante il faut créer un plan parrèle au plan de face come il est présentée ci-dessous :

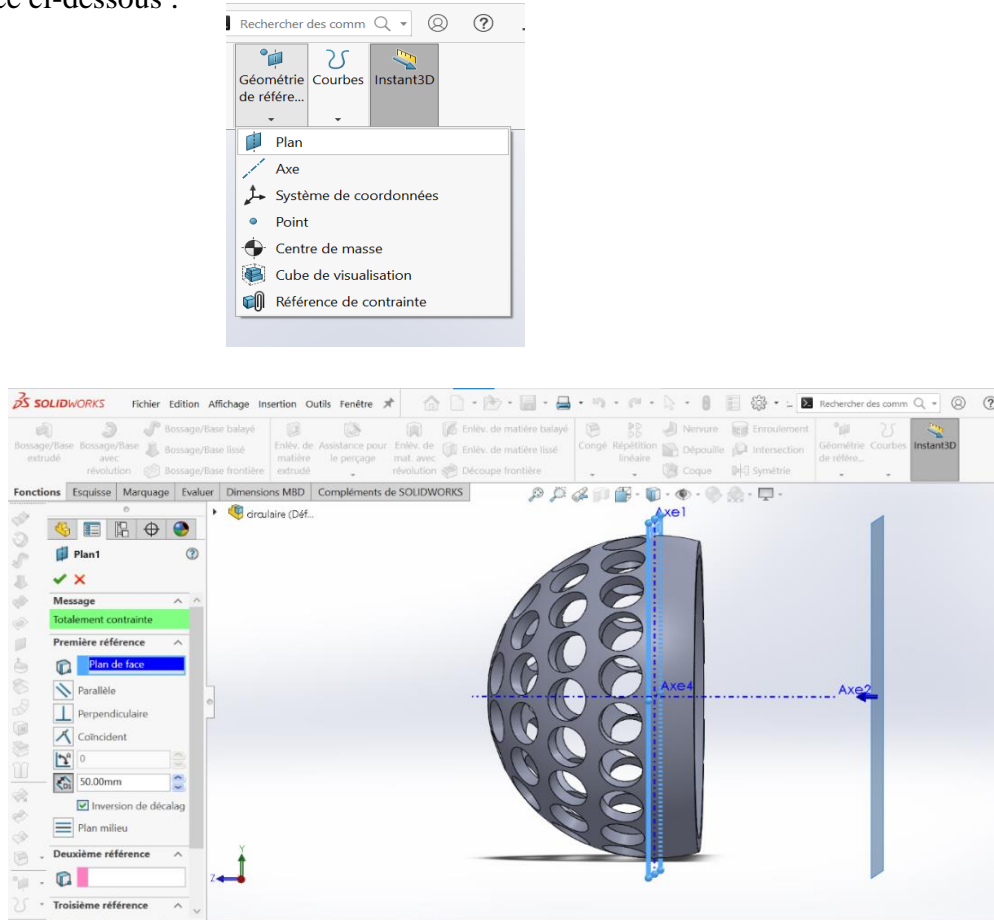


Figure II.26 Création d'un nouveau plan

15. En dessinons un cercle dans notre nouveau plan (voir la figure II.27)

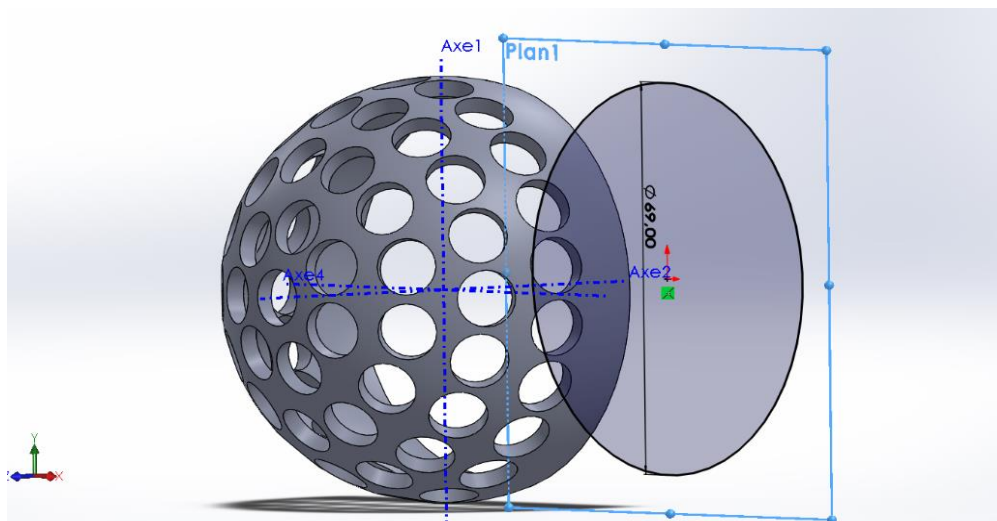
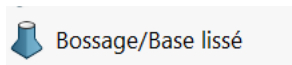


Figure II.27 Un cercle dans le nouveau plan

16. Choisissons la fonction



17. Sélectionnons-les profils et la fonction mince avec 3 mm comme présenter dans la figure ci-dessous

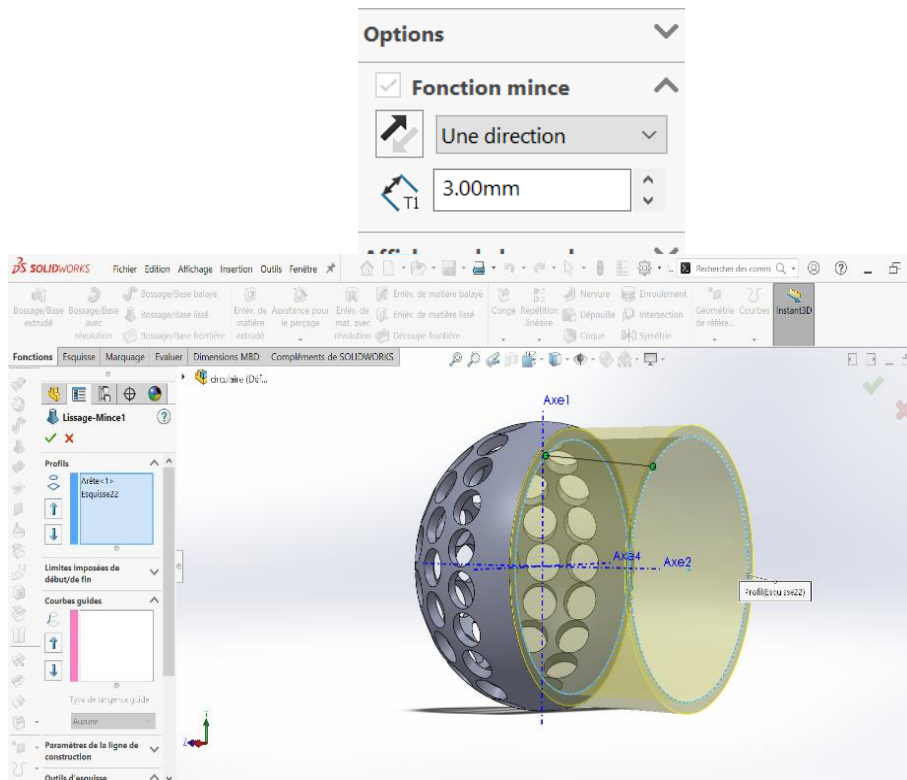


Figure II.28 Bossage lissé

En résultat

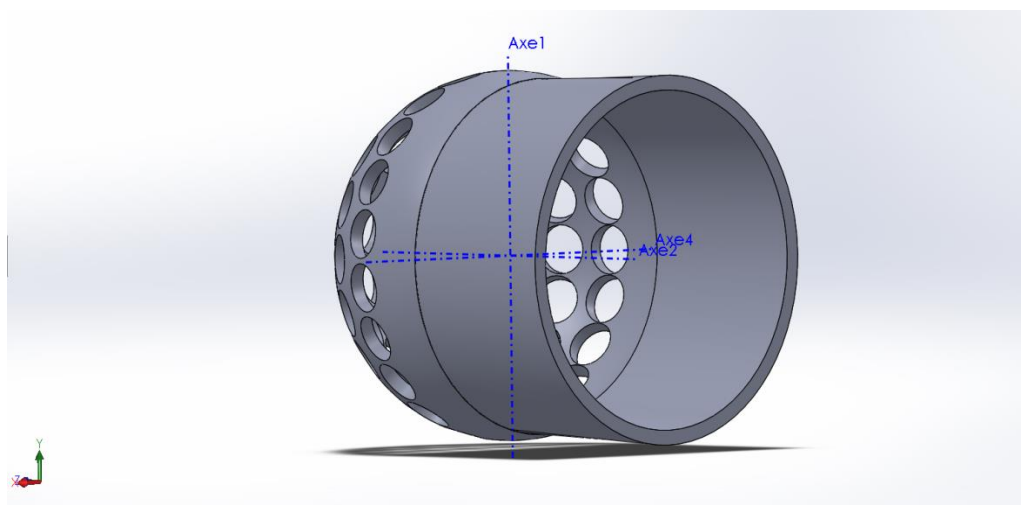


Figure II.29 Résultat actuel

18. Maintenant en passe au système de control de notre diffuseur

Dans le nouveau plan :

18.1 Construirons une boule de 19.5 mm

Les figures II.30 II.31 presentent l'opérations précédente

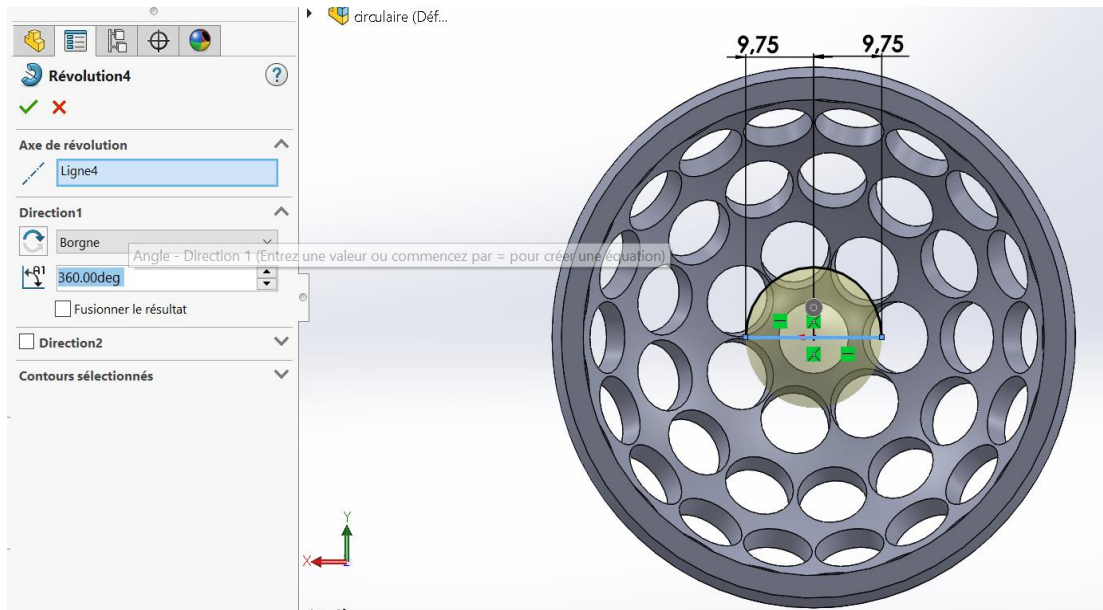


Figure II.30 Bossage avec revolution

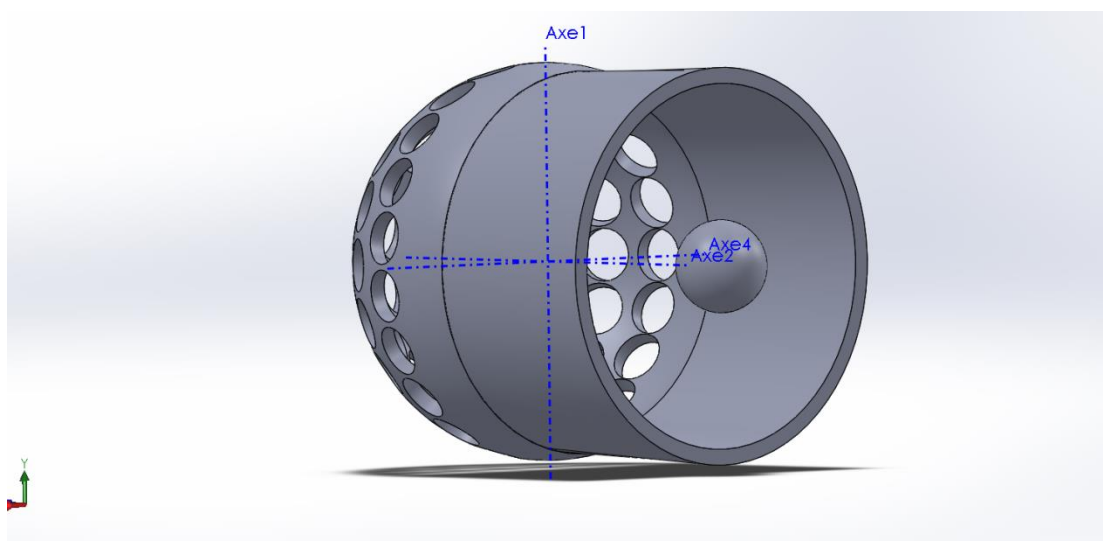


Figure II.31 Résultat actuel

18.2 Enlevons de la matière interieur pour faire avoir une sphere d'epaisseur 2.25 mm

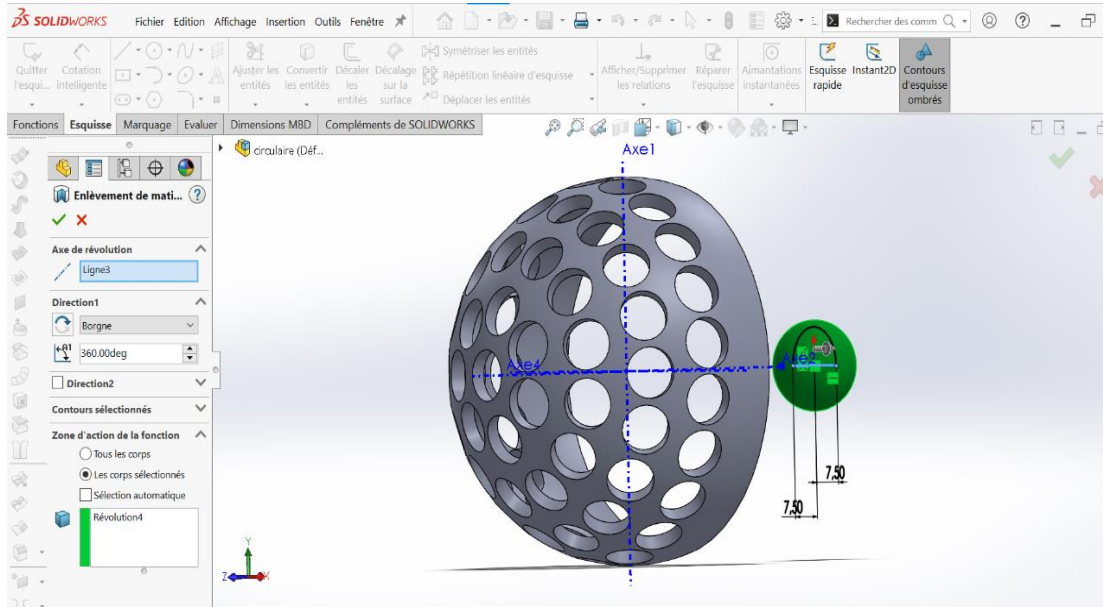


Figure II.32 Enlèvement de matière avec révolution

18.3 Enlevons de matière par extrusion à partir un cercle du diamètre 14 mm

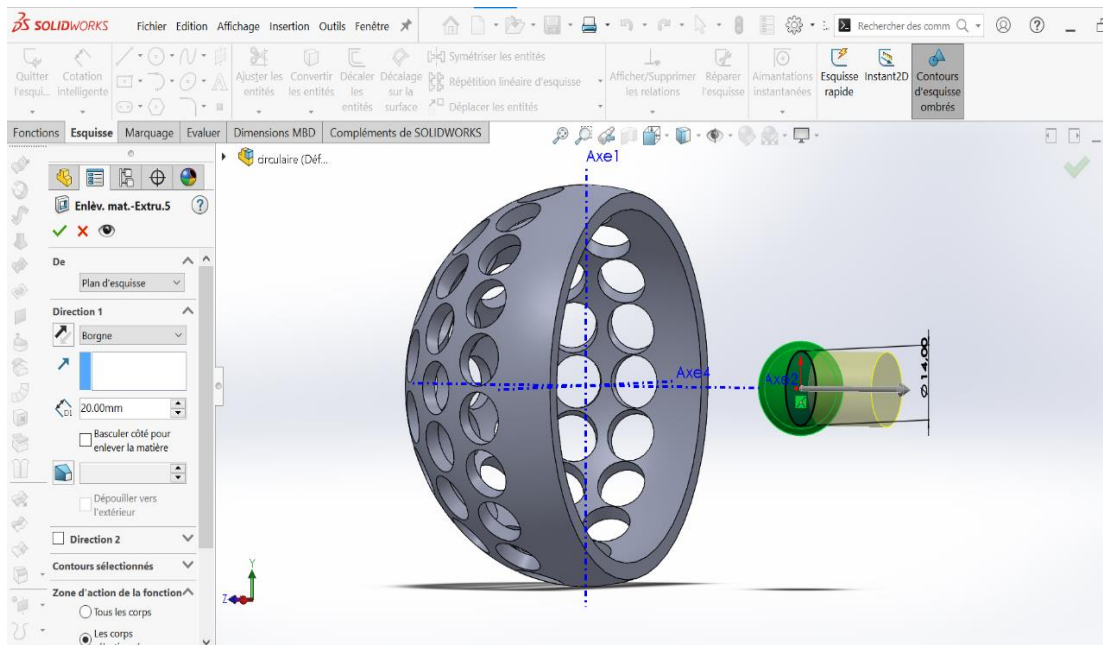


Figure II.33 Enlève de matière par extrusion

En résulte

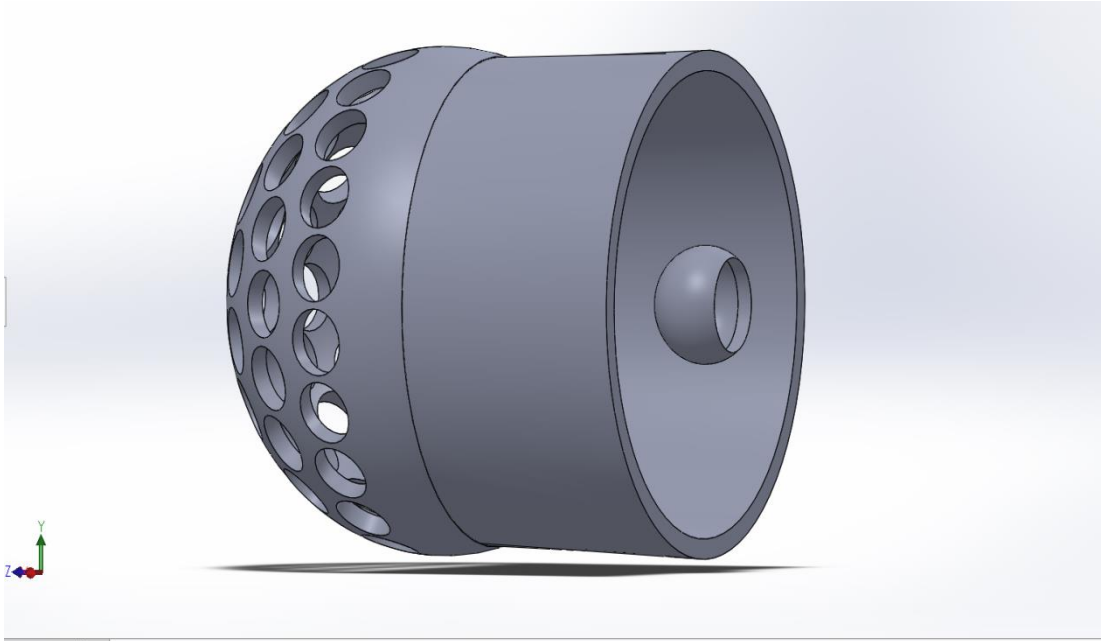


Figure II.34 Résultat actuel

18.4 A ce stade en passons à la fixation de cette sphère de control par :

18.4.1 Choisissons le plan de dessus puis en dessinons un cercle du diamètre 5 mm

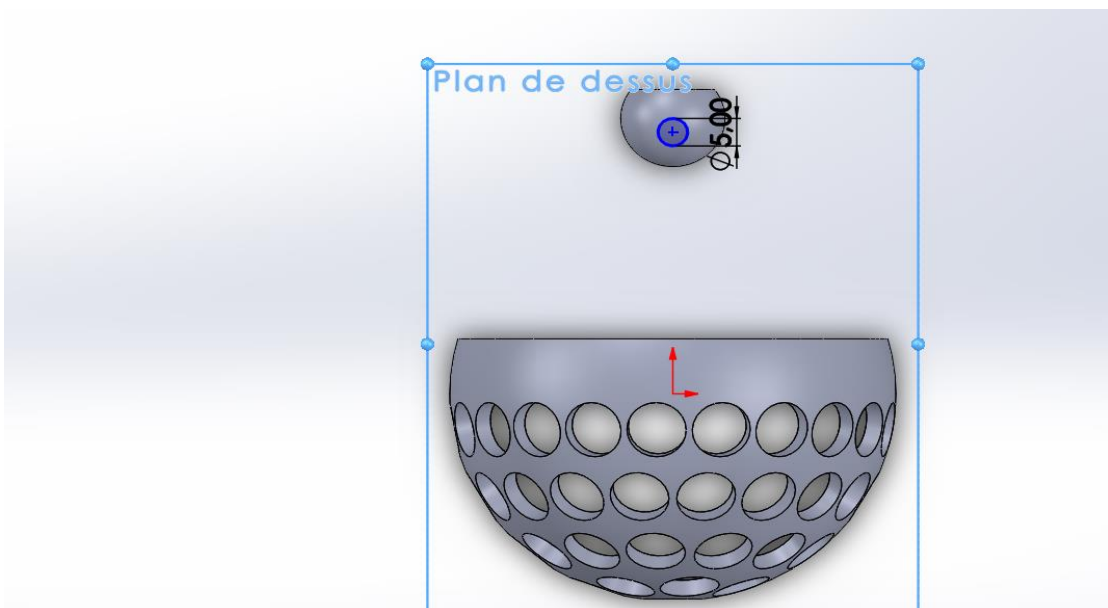


Figure II.35 Le dessin dans le plan de dessus

18.4.2 Maintenant en fait un bossage pour cette cercle de la face extérieur du mini sphère a la face prochaine de notre diffuseur comme présenter ci-dessous

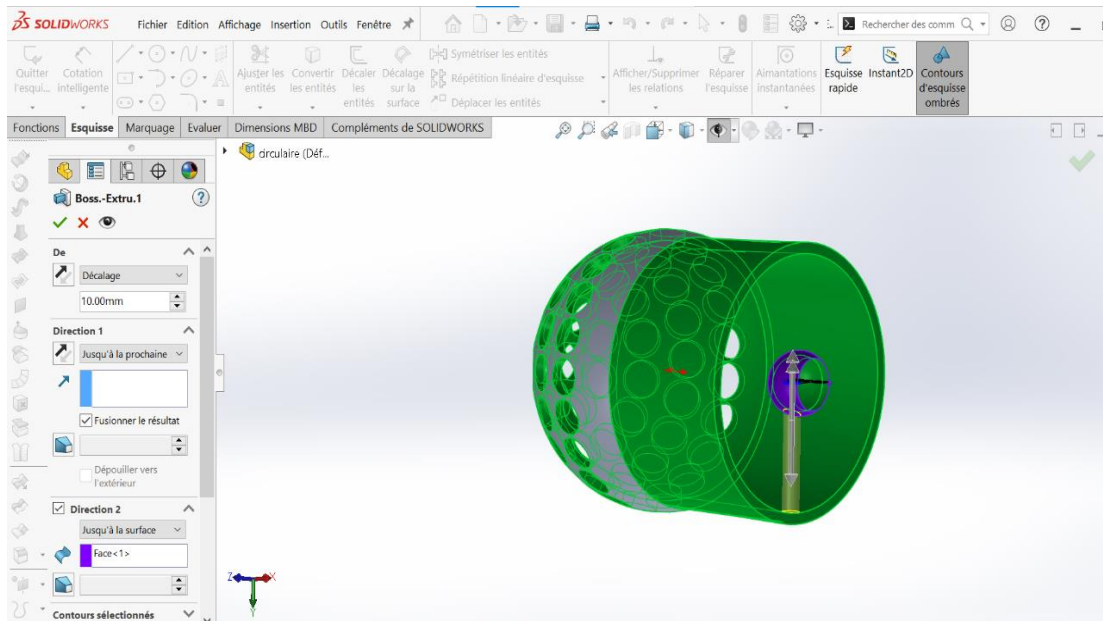


Figure II.36 Bossage extrudé

En résulte

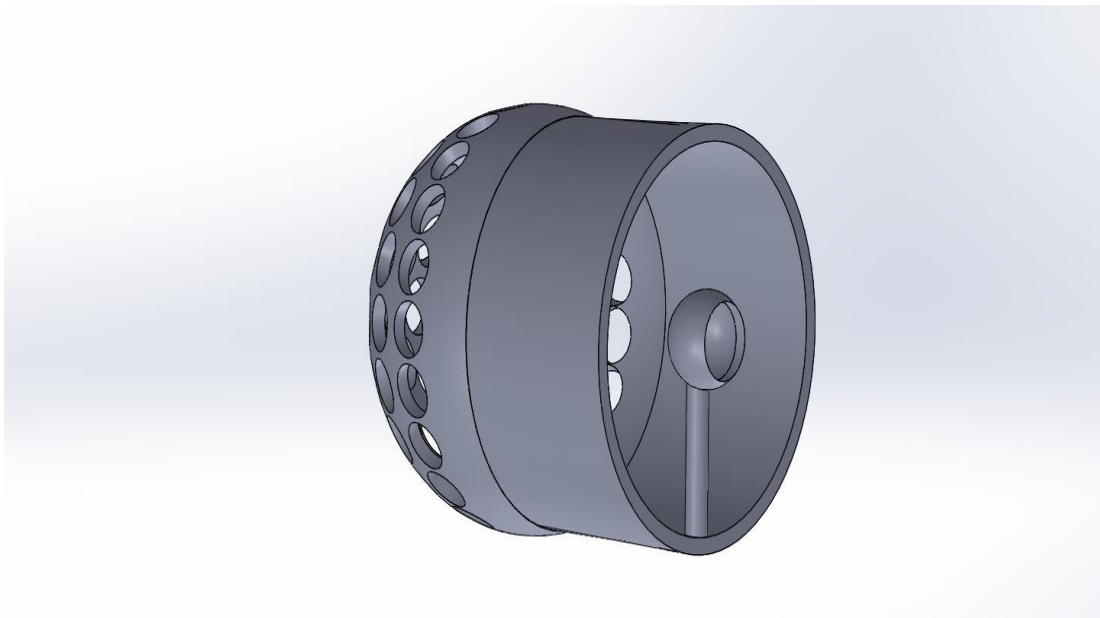


Figure II.37 Résultat actuel

18.4.3 Finalement en sélectionnons l'opération précédente pour la répété de façon circulaire comme ci-dessous

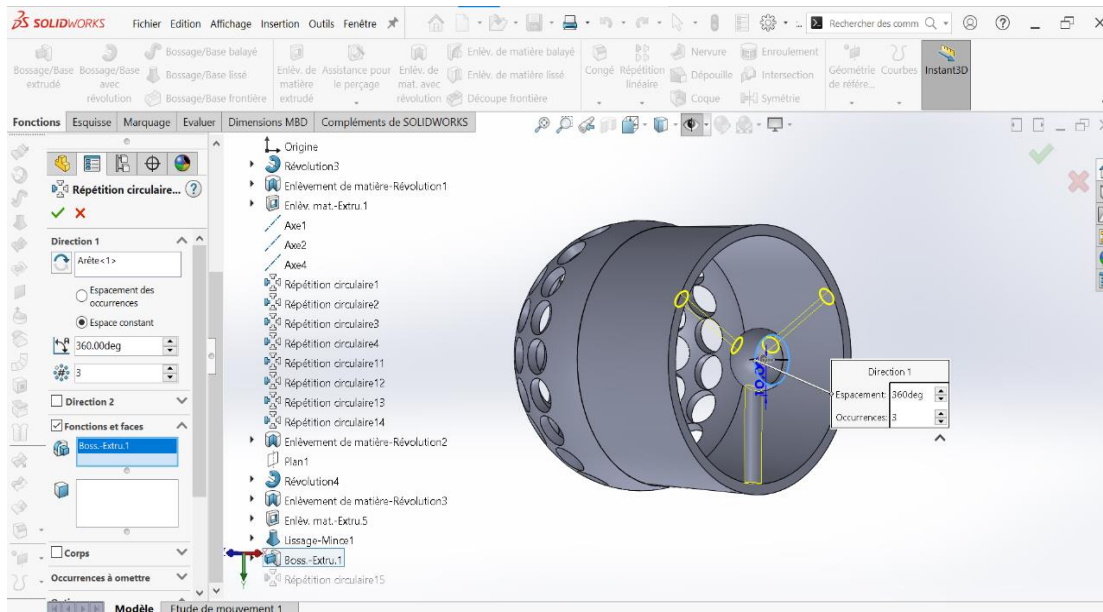


Figure II.38 Répétition circulaire

19. Donc ça c'est le résultat final pour notre diffuseur de géométrie circulaire

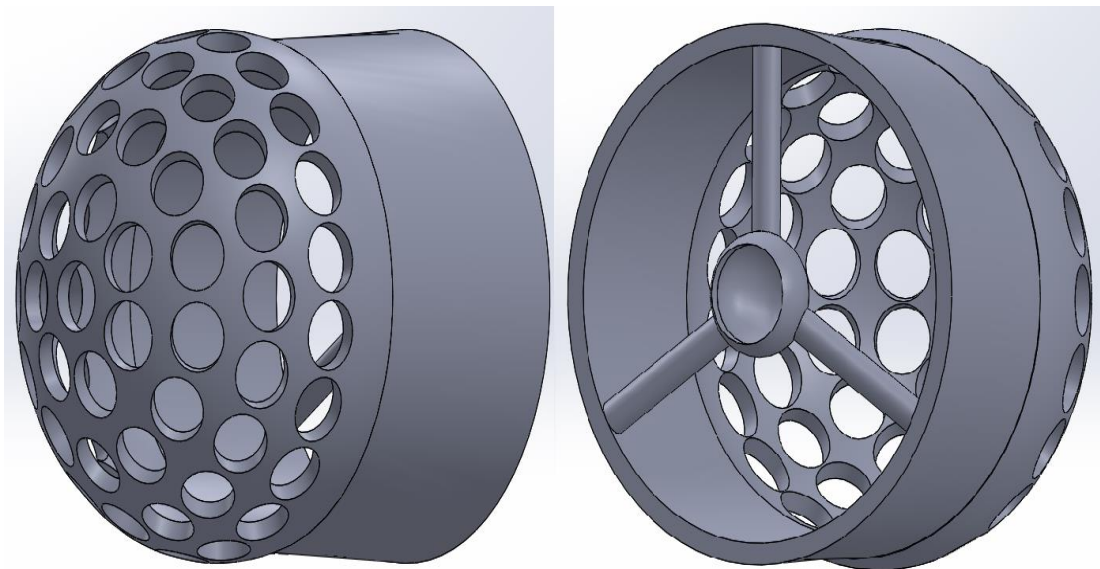


Figure II.39 Résultat final pour le diffuseur de géométrie circulaire

II.7.2 Diffuseur de géométrie lobé

De même façon pour la géométrie lobé mais en changeons juste la partie ou l'enlèvement de matière sous forme des cercles par un enlèvement. Cette action est un peu compliquée.

- ✓ L'enlèvement lobé besoin de deux plans parrèle et à la position comme il est présentée dans la figure II.40

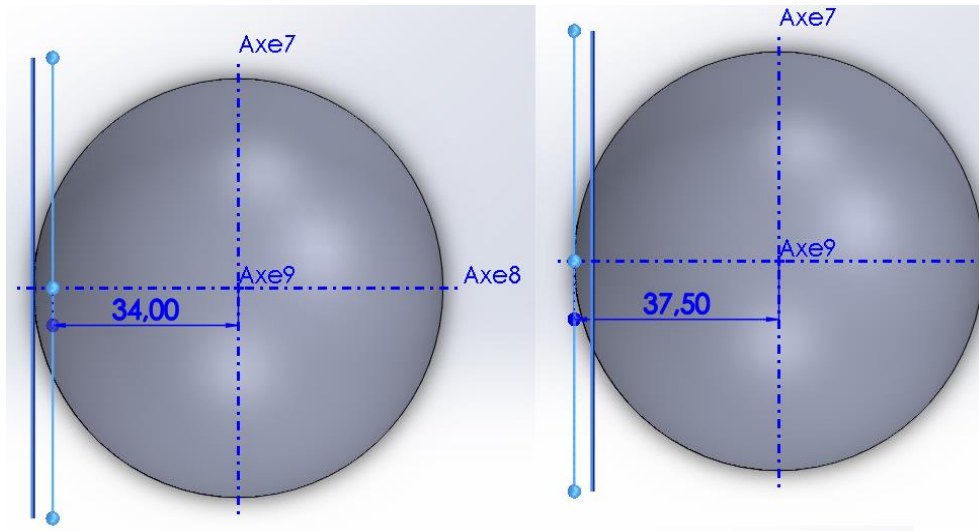


Figure II.40 Création du deux nouveau plan parrèle au plan de face

- ✓ En dessinons dans le plan qui est à la face intérieur un cercle et a l'autre qui est à l'extérieur la forme lobée

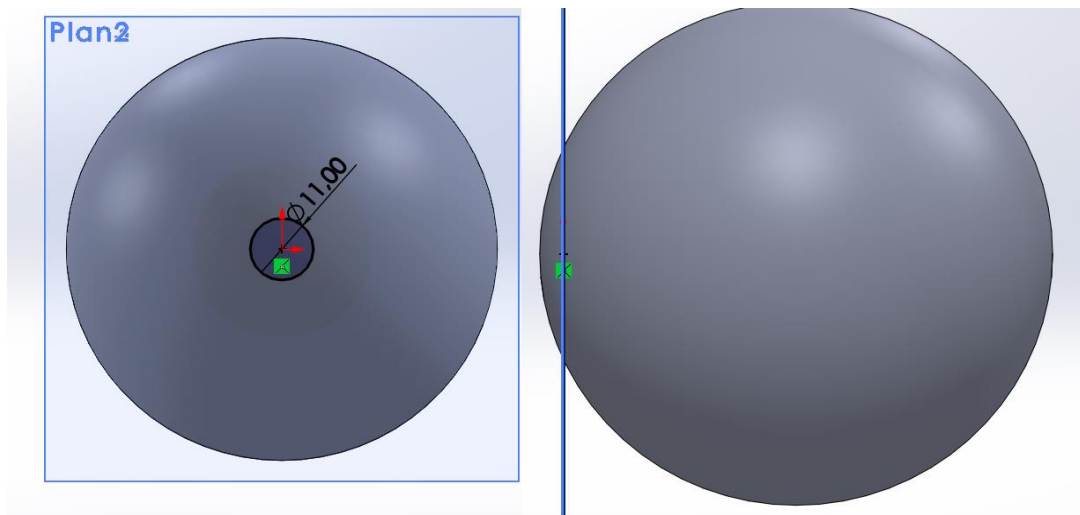


Figure II.41 Le dessin du cercle dans le plan intérieur

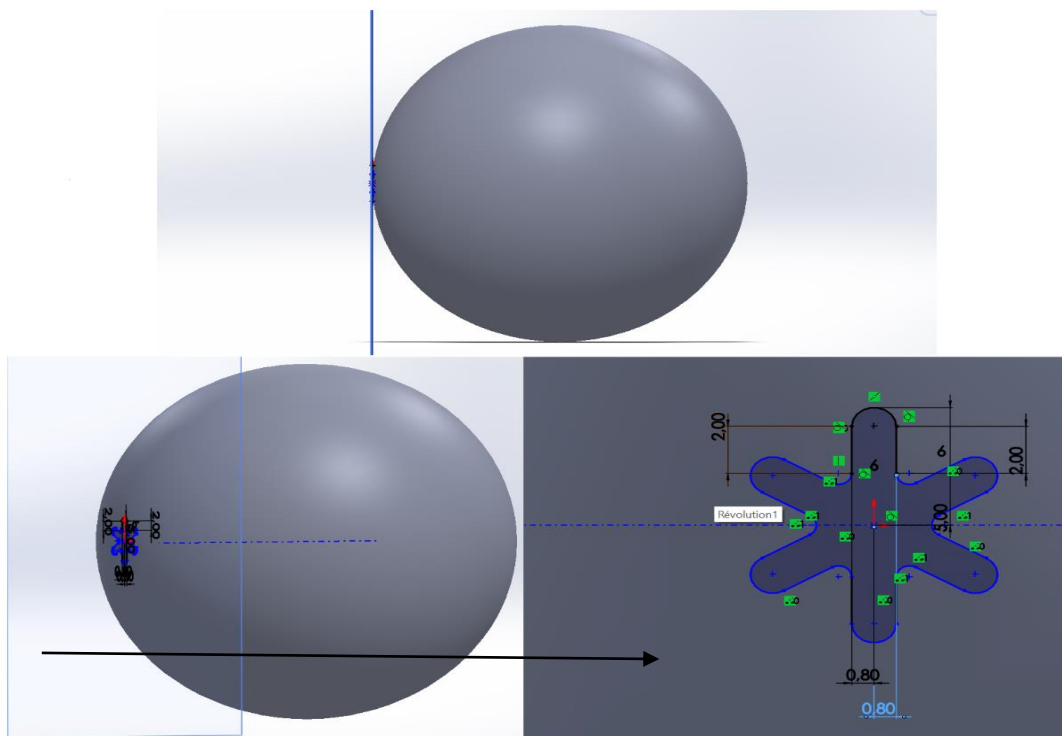


Figure II.42 Le dessin lobé dans le plan extérieur

- ✓ Puis en choisissons la fonction d'enlève de matière par lissage pour avoir le résultat présenter dans la figure II.43

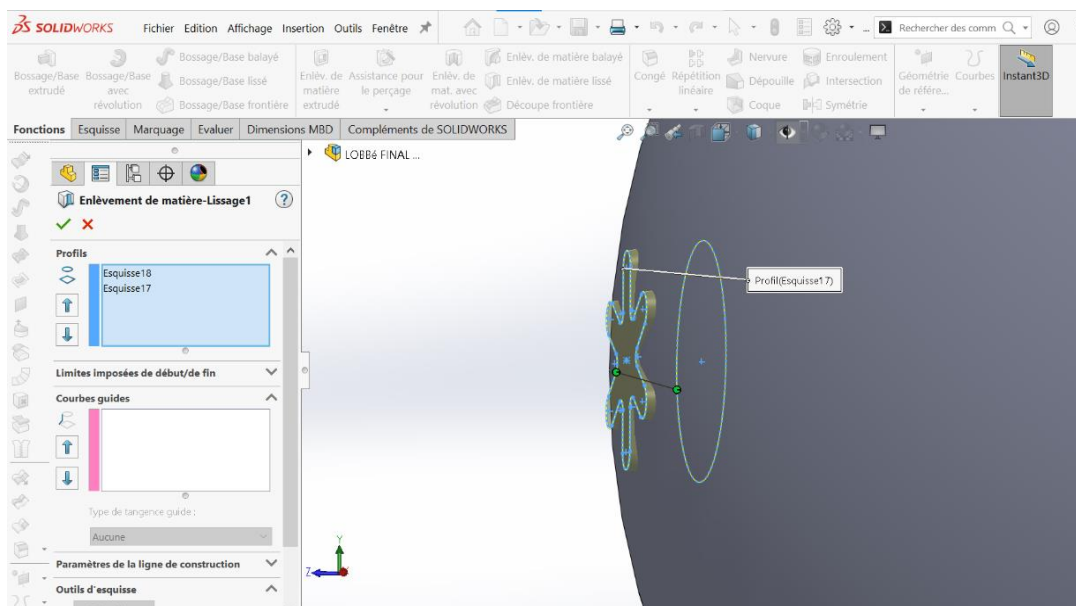


Figure II.43 Enlèvement de matière par lissage En résulte

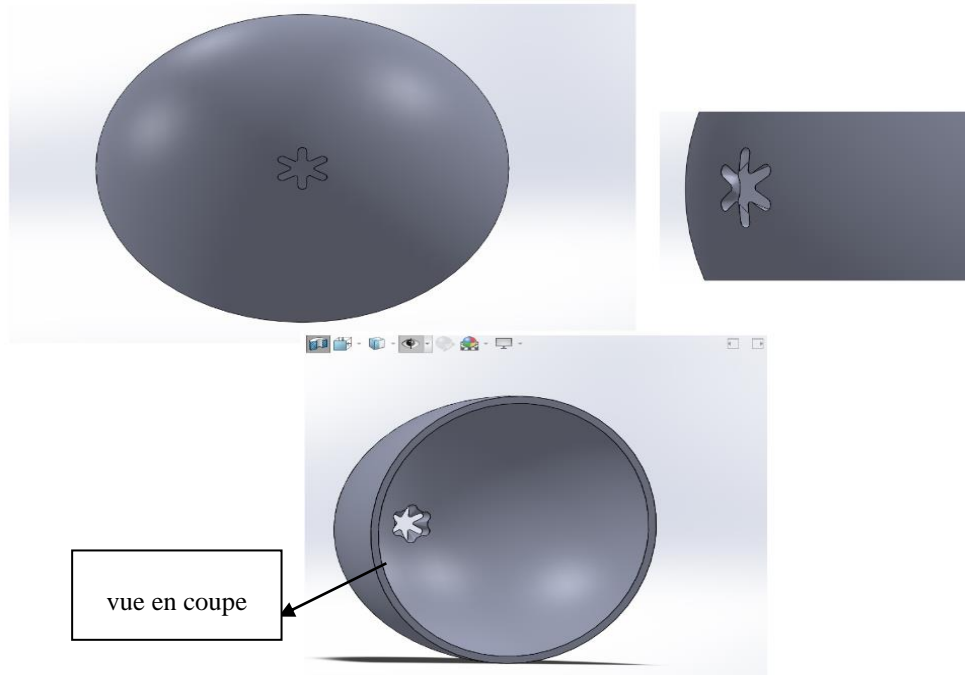


Figure II.44 Résultat actuel

- ✓ Donc en complétons avec la répétition circulaire et les autres étapes come la première fois

Le résultat final

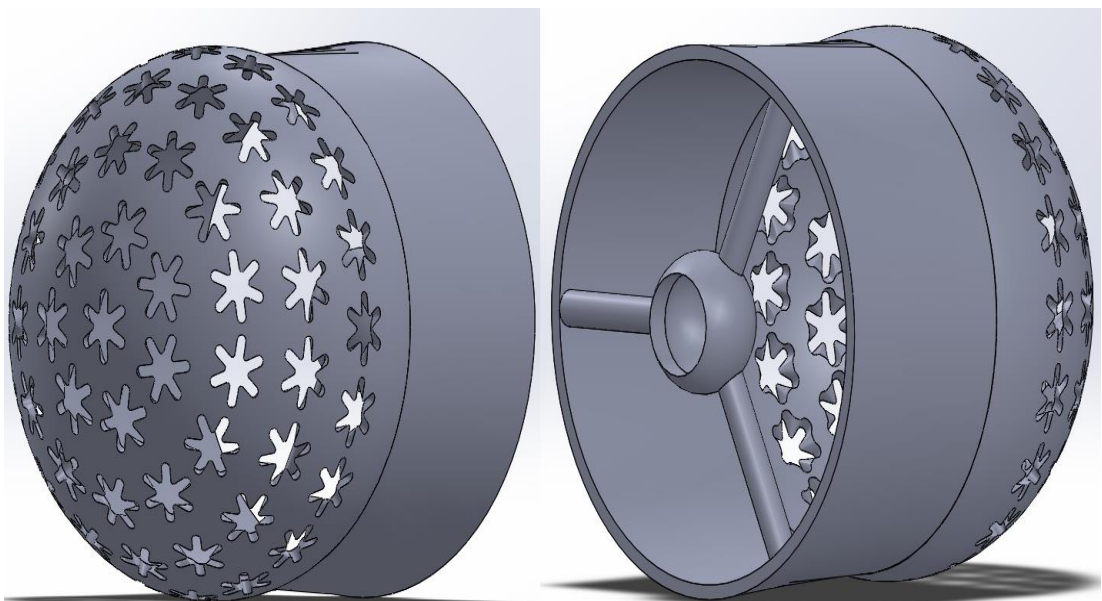


Figure II.45 Le résultat final du diffuseur pour la géométrie lobée

II.7.3 La géométrie tourbillonnaire

Pour la géométrie tourbillonnaire en devons construire un diffuseur comme le premier diffuseur de géométrie circulaire puis l'en construiroms dans le cercle central un jet de géométrie tourbillonnaire en raison de le répété circulairement dans tous les trous circulaires voir la figure ci-dessous :

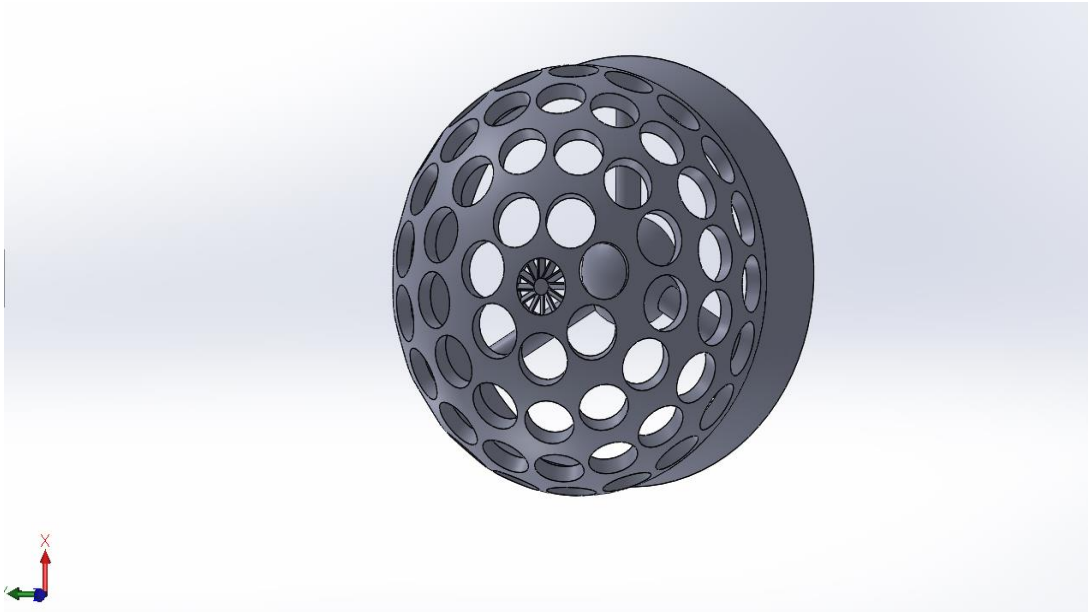


Figure II.46 Le but à faire

II.5.3.1 La construction de cette géométrie tourbillonnaire :

- ✓ Création d'un plan parallèle au plan de face et tangentiel au cercle central de la sphère

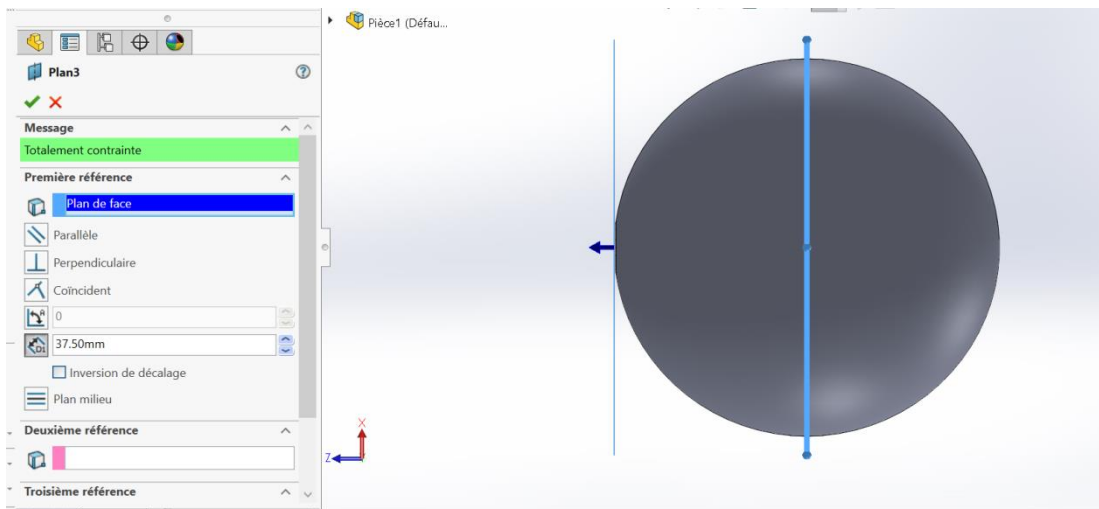


Figure II.47 Création d'un nouveau plan parallèle au plan de face

- ✓ Dans ce plan en construisons le cylindre ou l'hub du jet tourbillonnaire

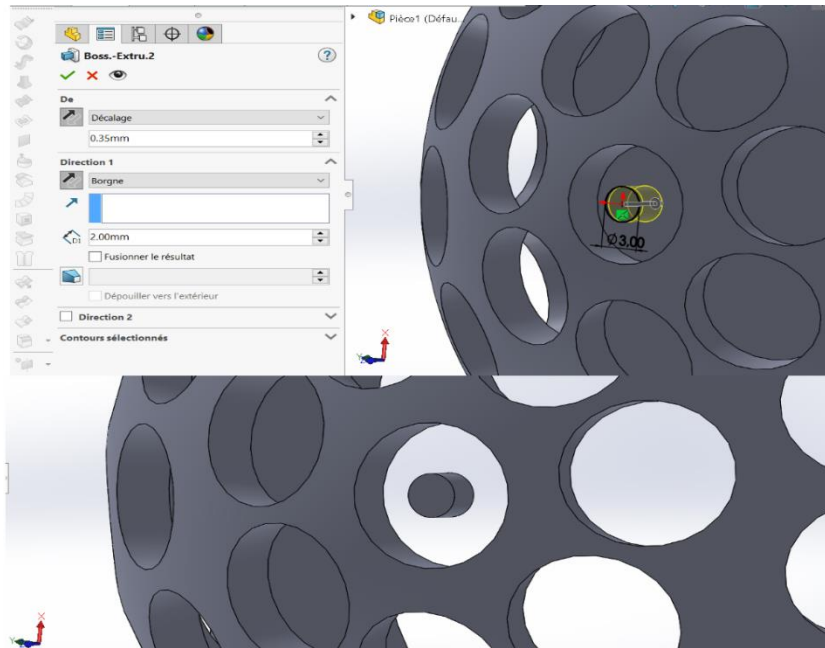


Figure II.48 Construction de l'hub du jet tourbillonnaire par bossage extrudé

- ✓ Construisons une ailette puis la répéte circulairement pour obtenir un jet tourbillonnaire de deuze ailettes

En passe au plan de droite pour dessiner de cette façon

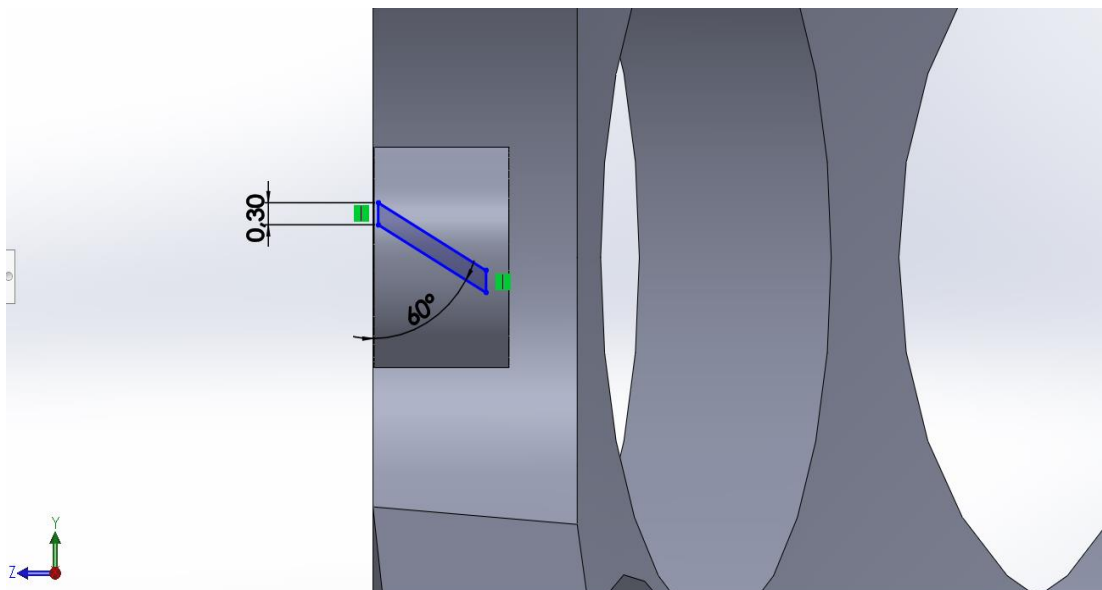


Figure II.49 Le dessin de la forme d'ailette dans l'hub

- ✓ Puis en faisons le bossage de ce dessin avec les paramètres du bossage qui sont présenter dans la figure ci-dessous

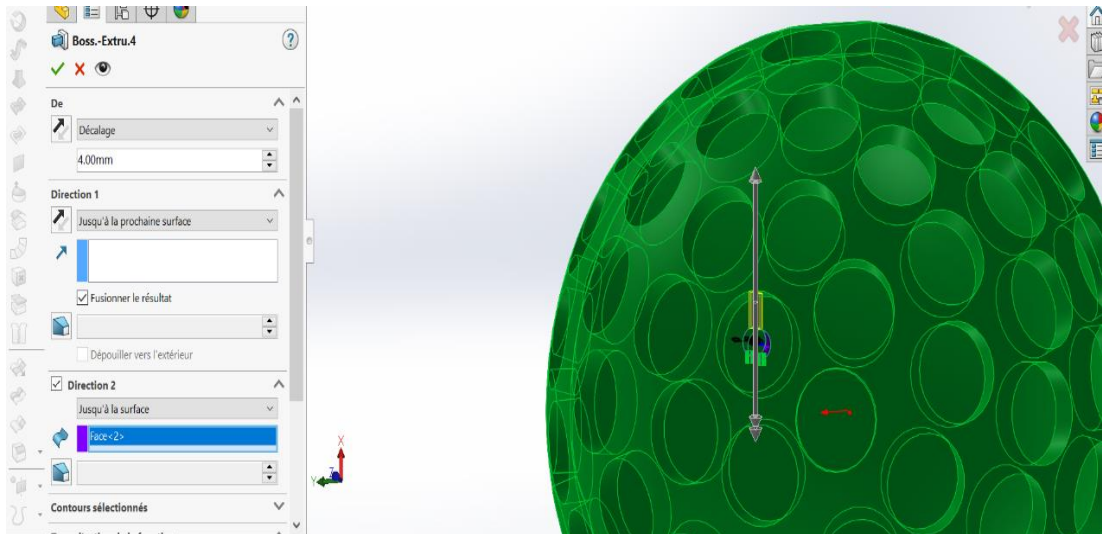


Figure II.50 Bossage extrudé d'ailette

En résulte pour cela

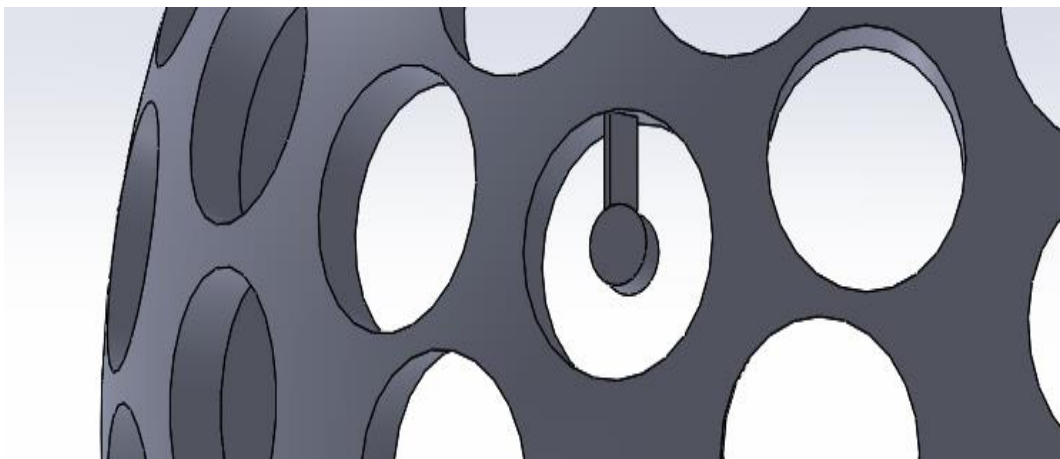


Figure II.51 ailette du jet tourbillonnaire

- ✓ A ce stade en sélectionnons cette dernière opération pour la faire une répétition circulaire de deuze pour faire obtenir un jet tourbillonnaire de deuze ailettes

La figure II.52 présente la forme finale du jet tourbillonnaire

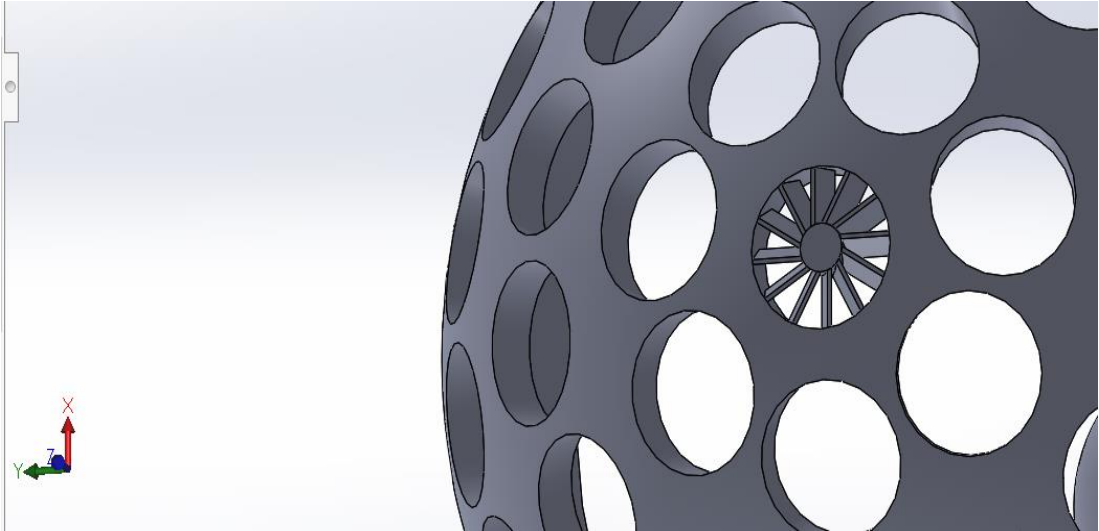


Figure II.52 Résultat final du jet tourbillonnaire central

- ✓ Donc en faire du répétitions circulaires comme il est détaillé dans la géométrie circulaire pour faire avoir le résultat final pour le diffuseur de géométrie tourbillonnaire

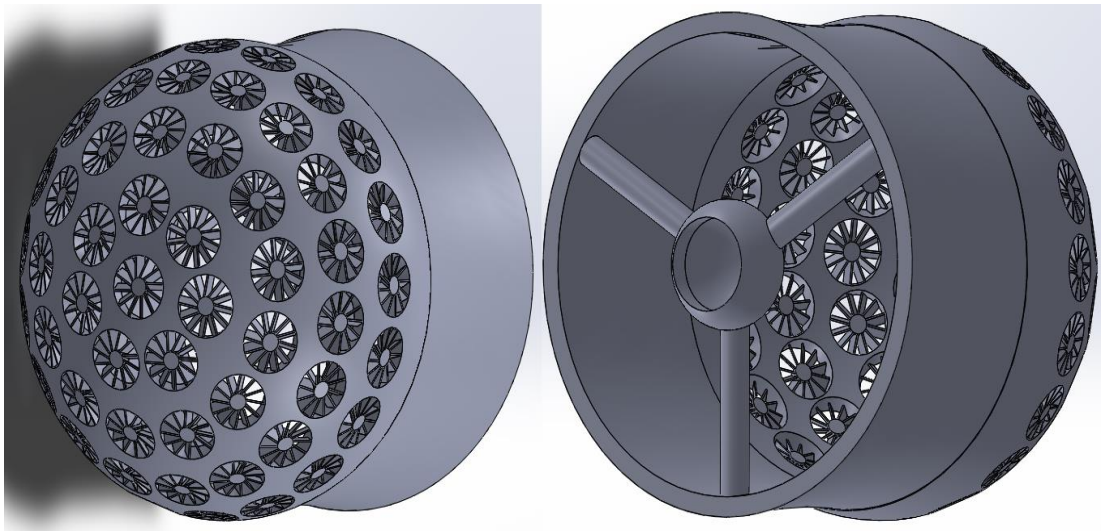



Figure II.53 Résultat final du diffuseur pour la géométrie tourbillonnaire

II.7.4 La cage

1. Construirons un cylindre à partir l'opération  d'un cercle de diamètre 79 mm avec fonction mince comme présenté dans la figure II.54

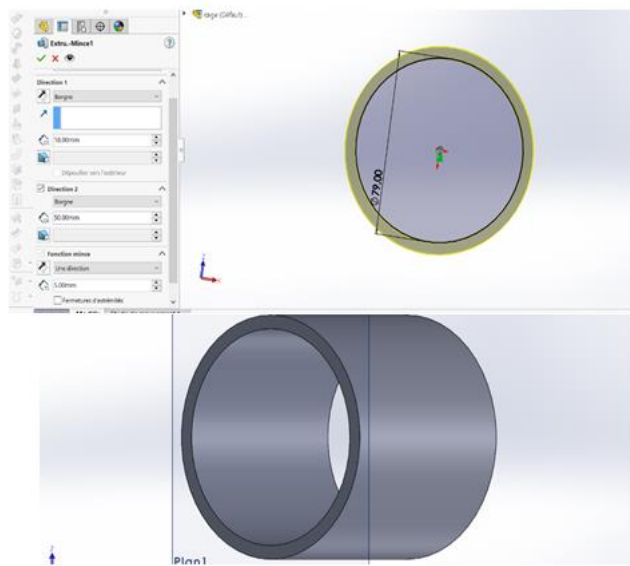


Figure II.54 Bossage extrudé mince

2. Créons un nouveau plan parallèle au plan 1

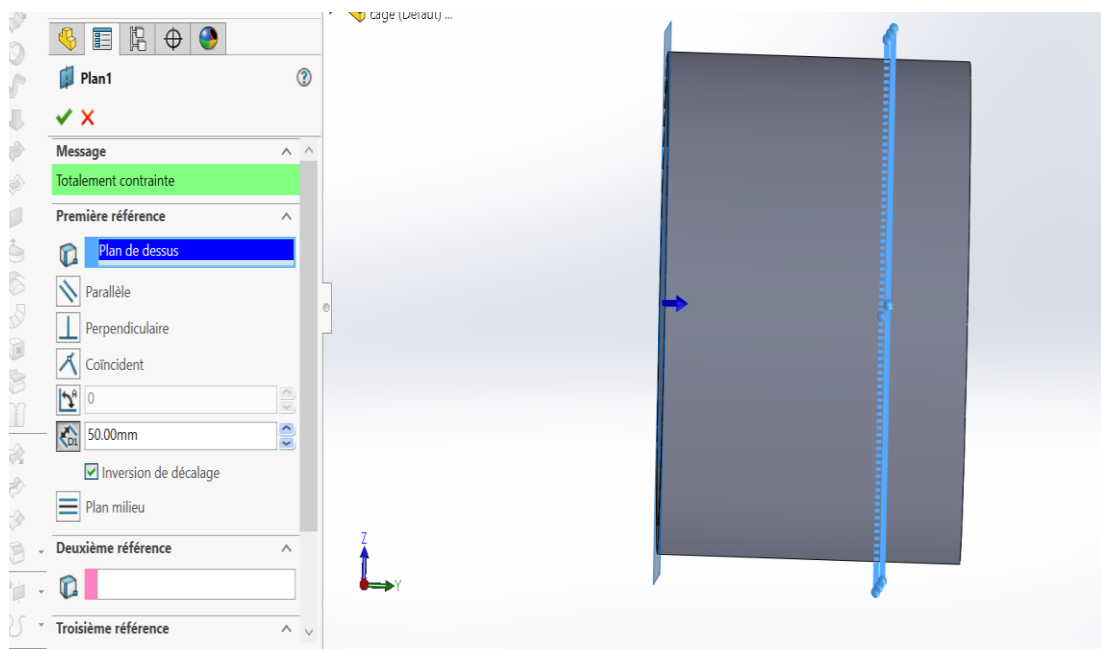


Figure II.55 Création d'un nouveau plan parallèle au plan 1

3. Dans ce plan en construisons une boule de diamètre 14 mm

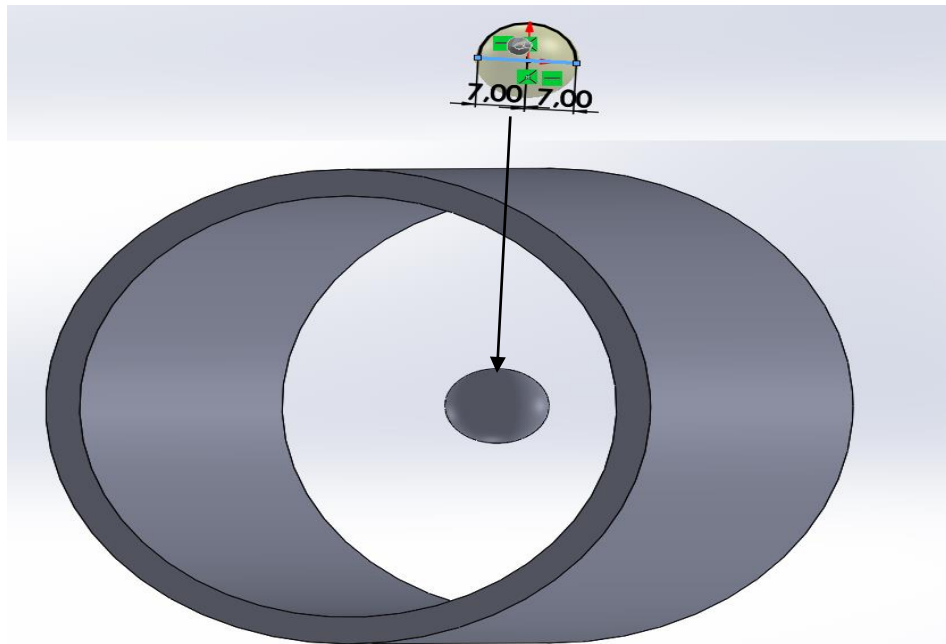


Figure II.56 Boule dans le centre du nouveau plan

4. Maintenant pour la fixation de cette boule avec le cylindre en construisons un petit cylindre (voire figure II.57)

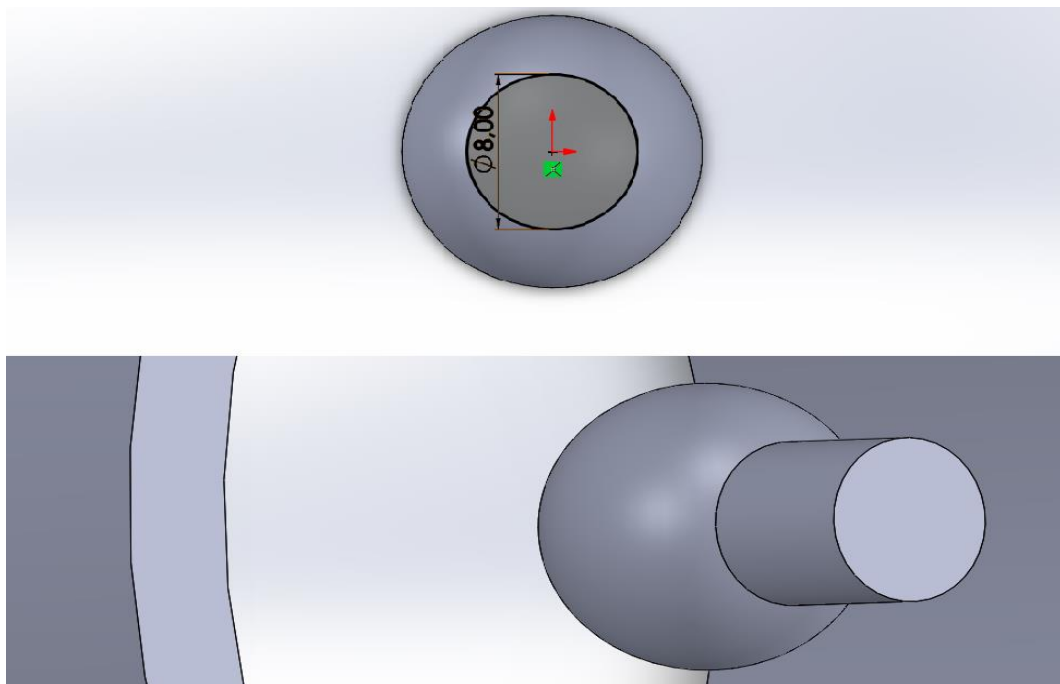


Figure II.57 Un cylindre fixer avec la boule

5. En changeons le plan pour dessiner un cercle dans le dernier bossage puis la fait un bossage comme présente la figure ci-dessous

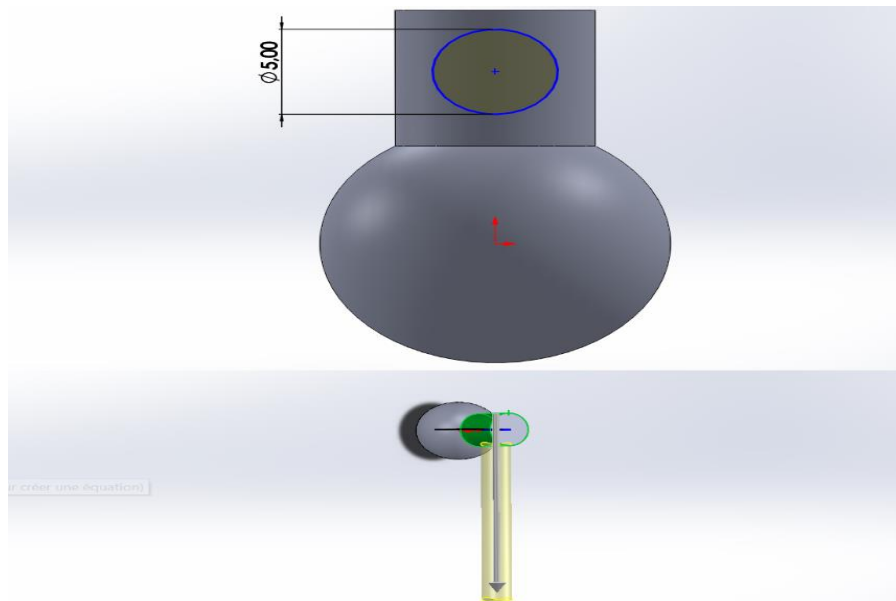


Figure II.58 Bossage extrudé du cercle

6. À partir de la répétition circulaire de la fonction passée en résultat

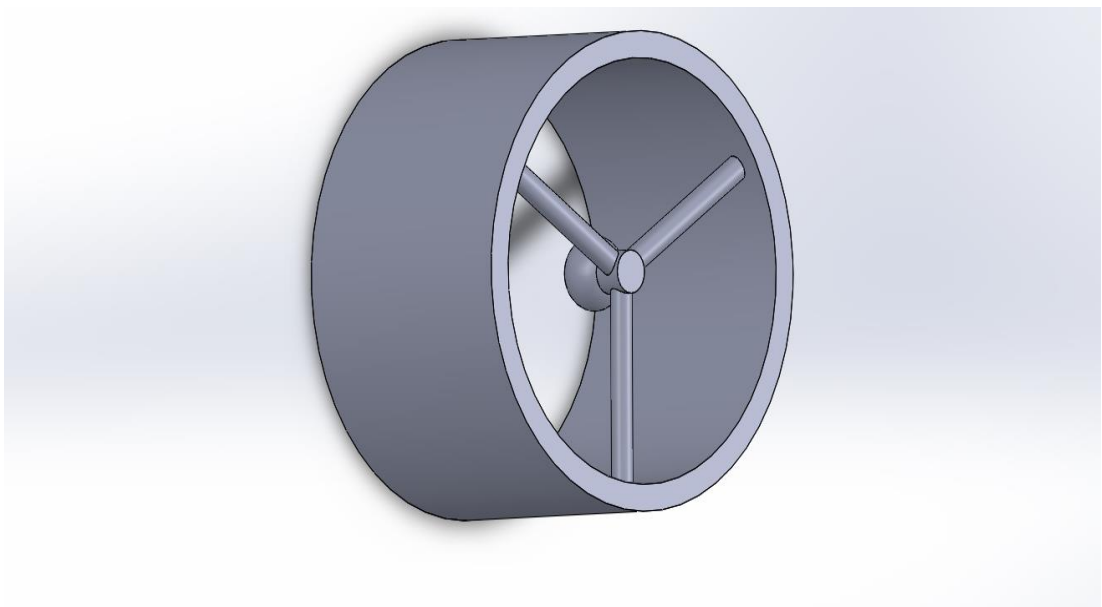


Figure II.59 Répétition circulaire d'opération de bossage du cercle

7. Finalement en met un tendeur en raison de crocher dans le tableau de bord par la méthode présenté dans la figure II.60

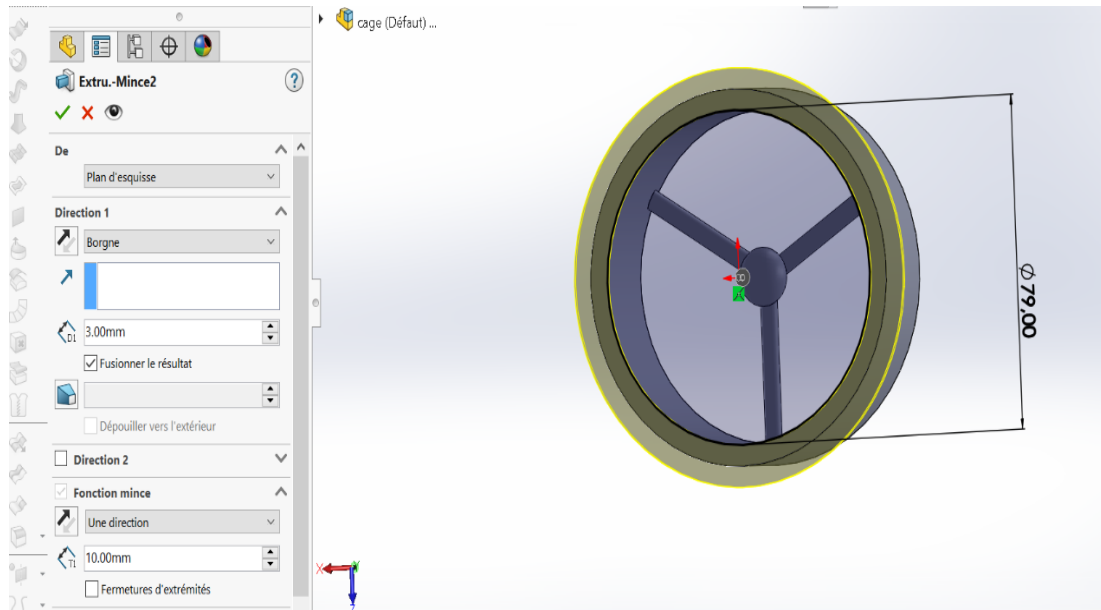


Figure II.60 Bossage extrudé mince du cercle

8. Pour un bon esthétique en faisons un congé a l'extrémité du tendeur pour faire obtenir la forme présenté dans la figure II.61

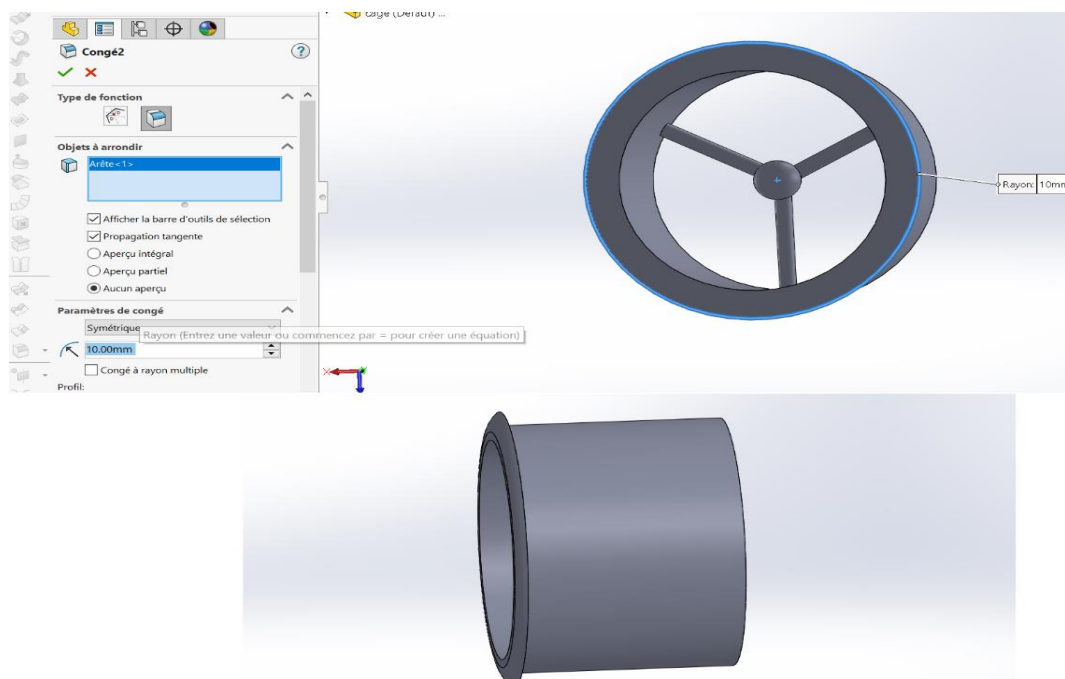


Figure II.61 Opération de congé

Donc la forme finale de notre cage est terminée

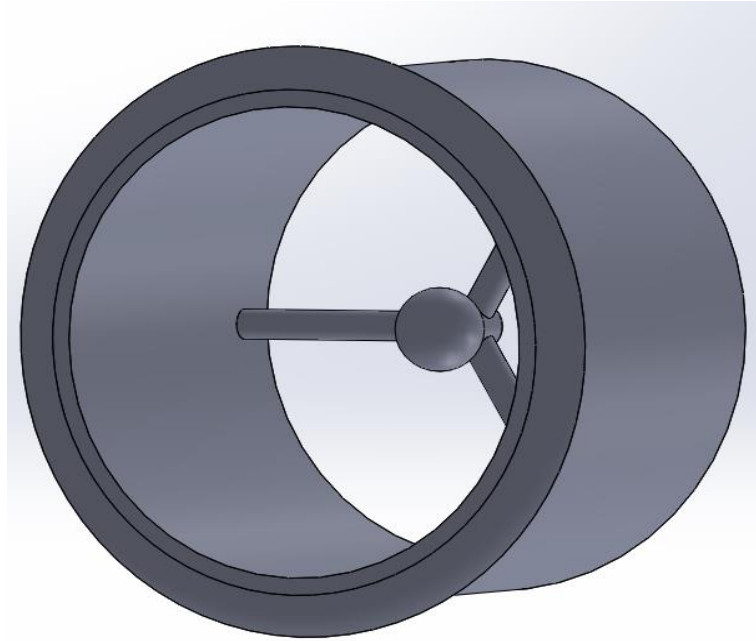


Figure II.62 La forme finale de la cage

II.8 Assemblage du deux pièce

Après le sauvegarde du deux document en ouvrons un nouveau document SolidWorks en choisissons assemblage puis en rappelons les deux fichier (cage, diffuseur) pour tester s’il y’a des défauts, si l’assemblage est juste ou pas, les erreurs de cotation...

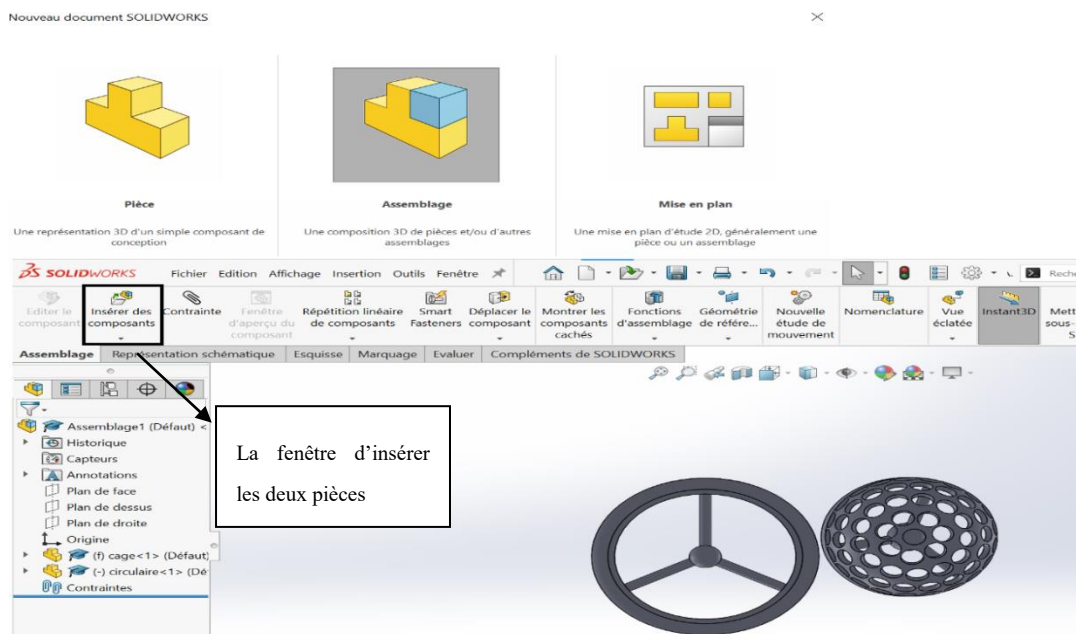


Figure II.63 Assemblage des pièces

- ✓ Pour assembler les deux pièces en cliquons sur contrainte puis en saisons les faces de contrainte qui sont la boule de la cage et la face intérieur de la petite sphère du diffuseur comme il est présenté dans la figure II.64

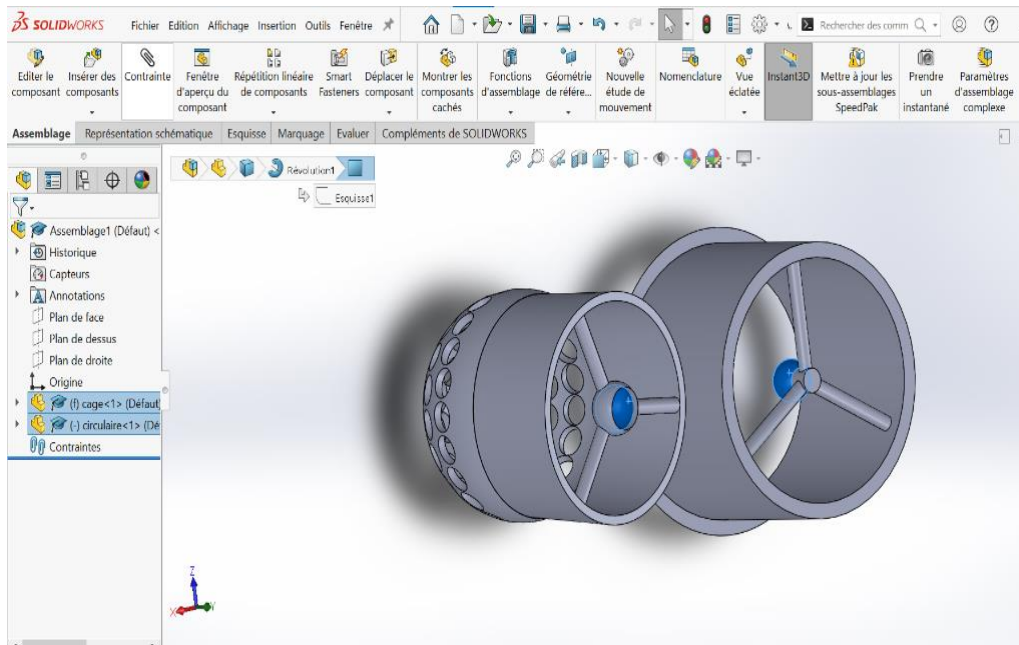


Figure II.64 Les faces sélectionner pour le contraint

- ✓ Si l'on clique sur contrainte et mettons le type de contrainte coaxiale

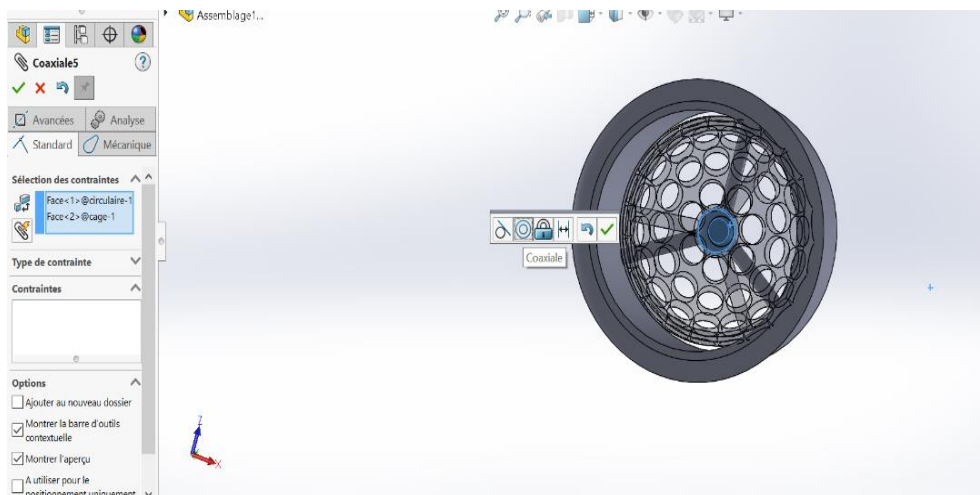


Figure II.65 Contraint de type coaxiale

En résulte

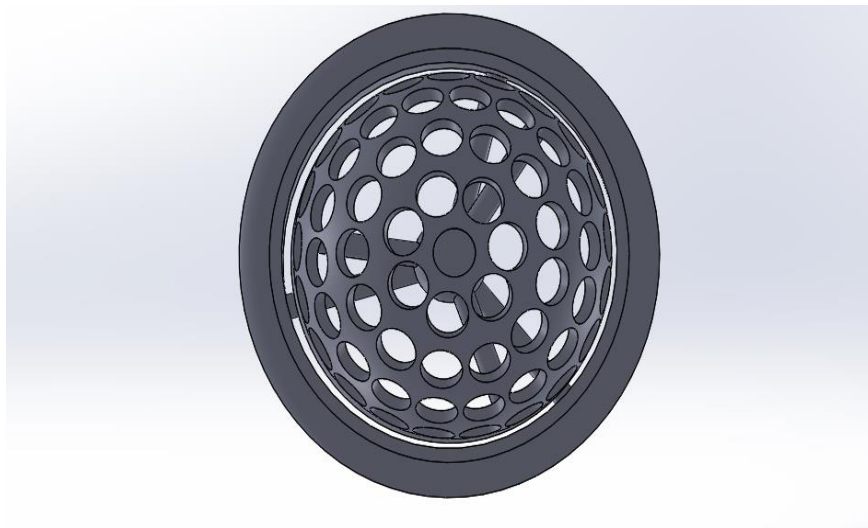


Figure II.66 Résultat final d'assemblage

- ✓ En peut aussi tester si le mouvement du diffuseur et la rotation est réalisé, est ce que les conditions physiques sont aussi marche

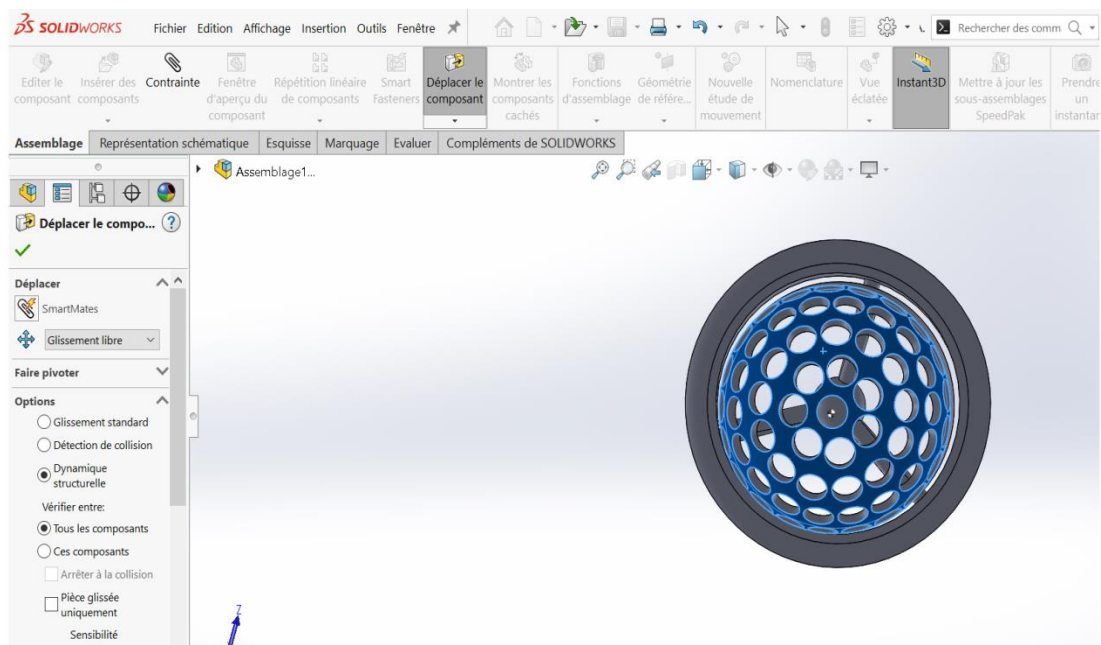


Figure II.67 La justesse de mouvement et de rotation du diffuseur

Donc notre diffuseur est juste et prêt pour l'impression en 3D

II.9 Impression des diffuseurs en 3D

Pour passer à l'impression en 3D il faut enregistrer notre document assemblage sous la format STL voir figure II.68

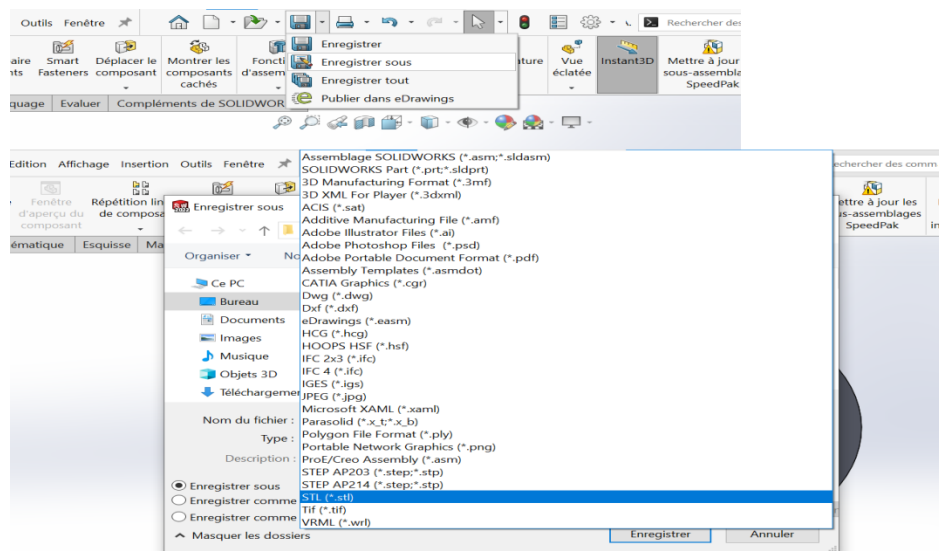


Figure II.68 Enregistrements du fichier sous la format STL



Figure II.69 Nos nouveaux diffuseurs

II.10 Conclusion

La conception de nos nouveaux diffuseurs concerne en premier lieu la construction sous le SolidWorks. En deuxième lieu, la technique du passage de l'étape de construction à l'étape de l'impression en 3D.

Chapitre III

THECNIQUE DE MODELISATION NUMERIQUE

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on va exposer d'une façon sommaire les équations différentielles qui régissent les problèmes physiques ainsi que les méthodes d'approche pour la turbulence. Le modèle mathématique, à travers les équations gouvernantes, sera ensuite étudié d'une façon détaillée.

III.2 Formulations mathématiques

III.2.1 La modélisation des écoulements turbulents :

Au sein d'un écoulement turbulent, coexistent plusieurs structures de tailles et de fréquences différentes. Les grandes structures peuvent être assimilées à de gros tourbillons et sont porteuses d'énergie cinétique. Cette dernière est produite des gradients de vitesse de l'écoulement moyen.

L'énergie cinétique turbulente, transférée des grandes structures vers les petites est dissipée sous forme de chaleur. Ce processus de transfert est appelée cascade d'énergie cinétique de **Kolmogorov**.

Diverses approches numériques ont été proposées pour la solution exacte ou approchée des problèmes de la turbulence. Toutes ces approches ne répondent pas aux mêmes attentes, par contre l'utilisation des modèles de turbulence répond à des attentes plus pratiques que théoriques de calcul des écoulements.

Les scientifiques ont alors deux points de vue possibles : [11]

- Soit chercher à moyenniser directement la turbulence, à lisser le phénomène : c'est le point de vue statistique. On cherche uniquement les grandeurs moyennes et l'énergie cinétique turbulente moyenne. C'est une vision « figée » ou « rationnelle » de la turbulence, souvent celle des numériciens.
- Soit chercher à extraire la cohérence dans la turbulence : C'est le point de vue des « Structures cohérentes ». On cherche alors l'évolution des structures qui persistent au milieu du chaos, celles qui vont déterminer la physique de l'écoulement. C'est une vision instationnaire, fluctuante et plus expérimentaliste de la turbulence.

Nous présentons dans cette section différents outils numériques pour modéliser les écoulements turbulents avant de décrire plus en détails l'approche que nous avons choisie. Les principales approches pour étudier numériquement la turbulence sont :

D.N.S : La simulation Numérique Directe (Direct Numerical Simulation)

L.E.S : Simulation des grandes échelles (ou structures) (Large Eddy Simulation)

R.A.N.S : Equations de Navier Stokes Moyennées (Reynolds Averaged Navier Stokes)

III.2.2 La Simulation Numérique Directe (Direct Numerical Simulation D.N.S) :

Cette méthode est certainement la plus proche d'une résolution exacte. Elle consiste à résoudre les équations de Navier-Stokes dans leur forme la plus générale, en considérant toutes les échelles de turbulence. D'après la théorie de **Kolmogorov en 1941**, le rapport des échelles de longueur entre les plus grands et les plus petits tourbillons, est proportionnelle à $Re^{3/4}$ étant le nombre de Reynolds de l'écoulement. On comprend alors les limites d'une telle approche. Lorsque l'on veut modéliser des phénomènes de grandes échelles : à titre indicatif, pour résoudre des phénomènes à l'échelle d'une centaine de mètres, pour des vitesses d'environ 1 m/s, le nombre de Reynolds est de l'ordre 10^6 . Le rapport entre les plus grandes et les plus petites échelles est alors compris entre 10^{-4} et 10^{-5} , ce qui signifie que pour capturer toutes les échelles, il faut que les plus petites mailles aient une résolution de 1 à 10mm.

Une modélisation tridimensionnelle nécessiterait alors un nombre de mailles de 10^{12} à 10^{15} . Le calcul par ordinateur des solutions approchées de ces équations permet d'observer en détail la turbulence et de simuler les écoulements, le transfert de masse et d'énergie, très intéressante pour les configurations académiques. [12]

En effet, en DNS, les équations de Navier Stocks sont résolues avec un maillage suffisamment fin pour que les mouvements au sein des écoulements turbulents soient résolus quelle que soit leur échelle spatiale ou temporelle. La DNS est l'approche la plus fiable (pas de modélisation de la turbulence), et ses résultats sont souvent utilisés de la même manière que les résultats expérimentaux.

Cependant le cout de calcul de cette méthode, le rend impossible à utiliser dans le cadre du

travail de l'ingénieur, et ses applications sont limitées à de très simples géométries et à des écoulements à faible nombre de Reynolds. [12]

III.2.3 La simulation des grandes échelles (Large Eddy Simulation, L.E.S) :

Cette méthode utilise une approche de simulation tridimensionnelle, offrant une description détaillée des écoulements turbulents instationnaires par la résolution numérique des équations de Navier-Stokes filtrées. La méthode LES (Large Eddy Simulation) se concentre sur la simulation des échelles turbulentes les plus importantes dans l'écoulement, en intégrant une paramétrisation statistique de l'impact des petites structures. La résolution spatiale du maillage agit comme un filtre, permettant la modélisation des tourbillons dont le diamètre dépasse la taille du maillage. Pour prendre en compte la contribution des petites structures non résolues, un modèle sous maille est utilisé, en se basant sur le modèle proposé par Smagorinsky (1963) selon une hypothèse de longueur de mélange.

Malgré le temps de calcul substantiel, cette technique s'avère plus rentable que la DNS. La méthode LES nécessite l'application de techniques numériques hautement précises, évitant la viscosité numérique et la dissipation. [13]

III.2.4 Equation de Navier Stokes Moyennées (Reynolds Averaged Navier Stokes, RANS) :

Une troisième approche pour modéliser les écoulements turbulents est l'approche statistique de Reynolds appliquée aux équations de Navier Stokes (Reynolds Average Navier Stokes). Elle est basée sur l'utilisation de la moyenne de Reynolds. Cette opération de moyenne permet de décomposer toute quantité en une valeur moyenne et une fluctuation. Si cette opération de moyenne est appliquée aux équations du mouvement d'un fluide on obtient les équations de Navier-Stokes moyennées caractéristiques de l'approche RANS. Le problème étant non-linéaire, des termes de corrélation des fluctuations de vitesse apparaissent dans ces équations. [13]

Vu la complexité de la turbulence, il est probable qu'un modèle RANS serait capable de capter toutes les échelles de la turbulence. Ainsi les modèles RANS ne doivent être considérés que comme des approximations. Devant la complexité de la turbulence, on a souvent recours au traitement de ces problèmes par les méthodes statistiques. [12]

Les deux types de moyenne possible sont les suivants :

- **Moyenne d'ensemble** : on effectue N fois la même expérience (c'est-à-dire le même écoulement dans la même soufflerie) et on moyenne les données obtenues.
- **Moyenne temporelle** : on effectue une expérience pendant un temps très long et on moyenne les données obtenues.

Lorsque les moyennes temporelles et d'ensemble ne coïncident pas, on dit que le système ne pas ergodique : lorsque le système évolue lentement par exemple.

Lorsque les moyennes d'ensemble et les moyennes temporelles sont indépendantes du temps et égales, on dit que le processus est « statiquement stationnaire ».

Il est alors nécessaire de paramétrer les termes de corrélation des fluctuations qui apparaissent dans les équations par un modèle de turbulence pour pouvoir résoudre le système RANS. Il existe une gamme très importante des modèles de turbulence qui sont certainement les plus répandus dans la littérature.

III.2.5 Equation générale de modèle aérodynamique :

- **L'équation de la continuité** : [1]

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial X_i} = 0 \quad ; \quad \rho \neq 0 \quad ; \quad \frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (\text{II.1})$$

- **Equation de quantité de mouvement** : [1]

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial(\rho U_i)}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (\text{II.2})$$

- **L'équation de l'énergie : [1]**

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{DT}{\partial x_j} - \rho C_p \overline{u'_j \theta'} \right) \quad (II.3)$$

III.2.6 Simplification des équations générales

En général un écoulement turbulent peut être caractérisé par les propriétés suivantes.

BOUTABA.M [14]

1. L'écoulement est stationnaire et tridimensionnel.
2. La vitesse en un point varie d'une façon aléatoire en direction et en module.
3. L'écoulement contient un grand nombre de tourbillon de taille très variées.
4. Le champ de vitesse est rotationnel.
5. Les équations régissant l'écoulement comportent des termes non linéaires.
6. La turbulence est un phénomène dissipatif en effet la dissipation de l'énergie cinématique en chaleur est importante.

III.2.7 Traitement statistique de la turbulence :

Le recours à un traitement statistique de la turbulence est prescrit lorsqu'on se trouve confronté à des phénomènes complexes fluctuant, en apparence insaisissables. Il permet au moins de dégager quelques lois simples ou à défaut quelques tendances. De surcroit, c'est un fait d'expérience que les écoulements turbulents manifestent certaines propriétés statistiques simples. [14]

En outre, la résolution des équations de Navier Stocks est pratiquement inaccessible vue quelle nécessite des volumes de stockage nécessaire très importants, largement supérieurs aux capacités des ordinateurs disponibles.

III.2.8 Choix d'un modèle de représentation de l'écoulement turbulent :

III.2.8.1 Le Modèle k- ω :

Cette section, présente le modèle standard k- ω , et les équations de transport des contraintes de cisaillement (SST). Les deux modèles ont des formes semblables.

III.2.8.2 Le modèle standard de turbulence k- ω : [13]

Le modèle k- ω , est un modèle empirique, basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k, et le taux spécifique de dissipation ω , qui peut également être considéré comme un rapport de ε à k.

Au cours de la modification du modèle $k-\omega$, des termes de production, ont été ajoutées aux équations de k et de ω , qui ont amélioré l'exactitude du modèle, pour prévoir des écoulements cisailés libres.

Les équations de transport sont : [15]

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_i}(pkU_i) = -\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G_k + Y_k + S_k \quad (\text{II.4})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(p\omega U_i) = -\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right) + G_\omega + Y_\omega + S_\omega \quad (\text{II.5})$$

Où ;

k est l'énergie cinétique du turbulente, et ω le taux spécifique de dissipation

G_k représente la génération de l'énergie cinétique turbulente, due aux gradients moyens de vitesse.

G_ω représente la génération de ω .

Γ_k et Γ_ω représentent la diffusivité efficace de k et ω , respectivement.

Y_k et Y_ω représentent la dissipation k et ω due à la turbulence. S_k et S_ω sont des termes sources.

III.2.8.3 Le Modèle $k-\omega$ SST (Shear-Stress Transport) :

Le modèle de turbulence $K-\omega$ SST, formulé par Menter (1994) [16], combine les avantages du modèle $k-\varepsilon$ original et du modèle $k-\omega$ standard. Son utilisation généralisée est attribuée à sa description précise de la physique de l'écoulement et à sa stabilité numérique. Le modèle peut être exprimé comme suit [17–20] :

$$\frac{\partial \overline{\rho u_j k}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - B^* \rho \omega k \quad (\text{II.6})$$

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_j \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + P_\omega - \beta \rho \omega^2 + 2(1 - f_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (\text{II.7})$$

Où : P_k et P_ω représentent les termes de production pour les termes k et ω , respectivement, et μ_t est la viscosité turbulente.

Avec : $P_k = \mu_t \Omega^2$ and $P_\omega = C_\omega \rho \Omega^2$ et Ω représente la magnitude de la vorticité.

La viscosité turbulente μ_t est définie comme suit :

$$\mu_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, f_2 \|\Omega\|)} \quad (\text{II.8})$$

Où : a_1 représente la constante expérimentale avec une valeur de 0,31, k est l'énergie cinétique turbulente, ω représente le taux de dissipation spécifique et f_2 est la fonction de mélange, caractérisée par l'équation suivant :

$$f_2 = \tanh(\Gamma_2^4) \quad (\text{II.9})$$

Le calcul de l'équation de mélange (f_1) est effectué à l'aide de l'expression suivante :

$$f_1 = \tanh(\Gamma_1^4) \quad (\text{II.10})$$

L'efficacité de la diffusivité, Γ_2 et Γ_1 , peut être exprimée par les équations suivantes :

$$\Gamma_2 = \max\left(\frac{2\sqrt{k}}{0.09\omega d}, \frac{500\mu}{\omega d^2}\right) \quad (\text{II.11})$$

$$\Gamma_1 = \min\left[\max\left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega d}, \frac{500\mu}{\omega d^2}\right), \frac{4\rho\sigma_{\omega 2}k}{CD_{k\omega}d^2}\right] \quad (\text{II.12})$$

Où : d est la distance par rapport au mur le plus proche et $CD_{k\omega}$ représente la partie positive du terme de cross-diffusion, qui est dérivée de l'équation donnée par l'équation (II.40) :

$$CD_{k\omega} = \max\left(2\rho\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-20}\right) \quad (\text{II.13})$$

Les constantes ϕ dans le nouveau modèle sont déterminées par le calcul suivant basé sur les constantes ϕ_1 et ϕ_2 :

$$\phi = f_1 \phi_1 + (1 - f_1) \phi_2$$

Les constantes sont les suivantes [12]:

$$\kappa = 0.41, a_1 = 0.31, \sigma_{k1} = 0.85, \sigma_{k2} = 1.0, \sigma_{\omega1} = 0.5$$

$$\sigma_{\omega2} = 0.856, \beta_1 = 0.075, \beta^* = 0.09, C_{\omega1} = 0.533, C_{\omega2} = 0.44$$

III.3 Simulation numérique

III.3.1 Notice d'utilisation d'ANSYS ICEM.CFD

Ce module permet de préparer la configuration géométrique du problème étudié et de générer le maillage de manière assez conviviale. Un des avantages de ce logiciel réside dans sa simplicité et sa robustesse dans la réalisation des géométries les plus complexes. Pour le maillage, ICEM CFD 10 utilise des structures mono ou multi-bloc en fonction de la géométrie, il permet de générer deux types de maillage, le maillage tétraédral et hexahedral.[12]

III.3.2 Procédure de résolution sous Fluent :

Un fichier de données (extension.cas) est créé suite à la lecture du fichier contenant les détails de la géométrie (extension.msh). Après vérification du maillage, on passe au type de solveur. Dans notre cas, c'est un solveur découplé avec une formulation implicite pour un cas tridimensionnel et un écoulement stationnaire prenant en considération des vitesses absolues.

Les autres étapes du menu "définie" sont les choix du fluide, des conditions d'opération (l'introduction de l'effet de gravité et de la pression de référence) et l'introduction des conditions aux limites. Le dernier menu utilisé pour entamer le calcul est le menu "solve". On doit choisir les équations à résoudre, les schémas de discrétisation, les facteurs de sous relaxation, les critères de convergence et le calcul doit initialiser à travers les conditions aux limites pour démarrer la méthode itérative [21].

Le code « *Fluent* » utilise une procédure des volumes finis pour résoudre les équations moyennes de Navier-Stokes (RANS) d'un écoulement non réactif turbulent tourbillonnaire.

III.3.3 Création de la géométrie

Tout d'abord, le logiciel vous demande de choisir l'unité caractéristique du système, dans

notre cas il s'agit du mètre.

Pour créer une géométrie, il faut :

1. Commencer par la tracer grossièrement (juste les formes),
2. Préciser les côtes,
3. Transformer le dessin en edge (bord de la géométrie pour le maillage),
4. Préciser les zones et leur nature (fluide ou solide).

III.3.4 Domaine de calcul

Le modèle physique considéré est un modèle semi-confiné pièce aux dimensions 1.2, 0.8 et 0.6 m (voir Fig.III.1). L'air pénètre dans la pièce par des diffuseurs de géométries déferents mais de même débit.

La géométrie et la dimension du diffuseur de soufflage en sortie sont également présentées dans la figure III.1.

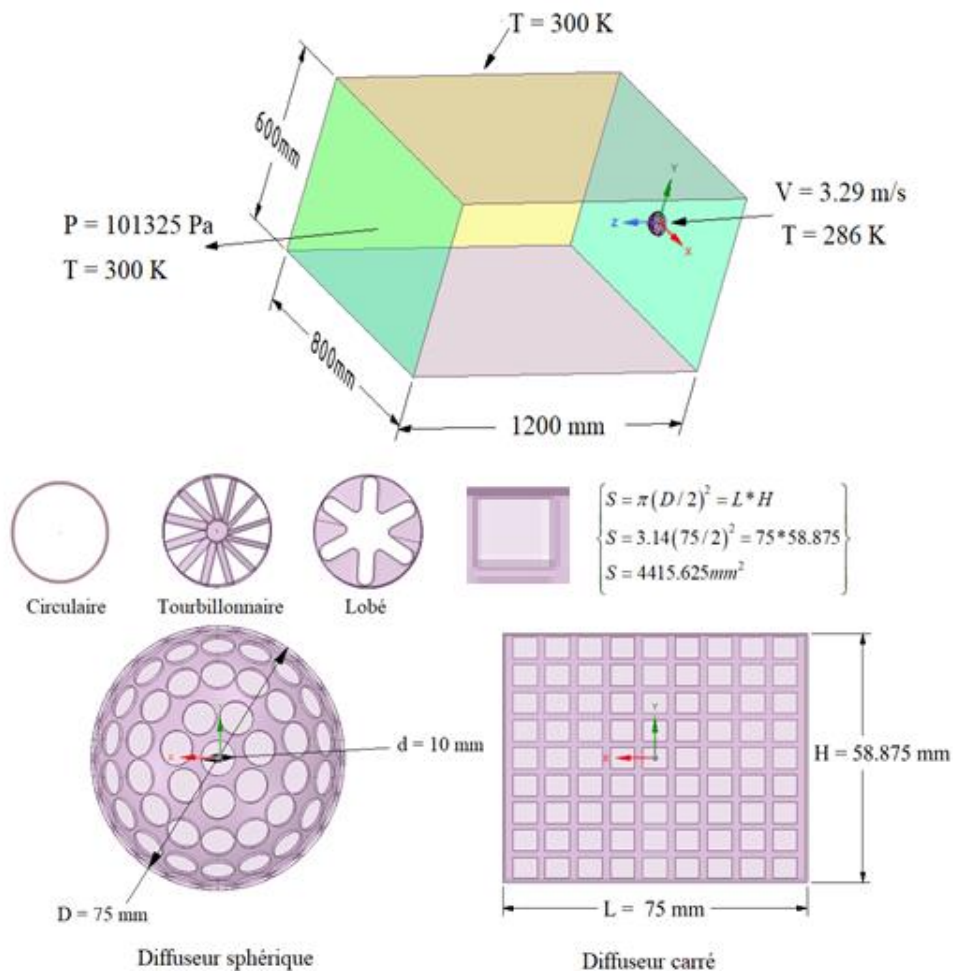


Figure III.1: Un schéma illustrant le domaine de calcul avec les conditions aux limites

III.3.5 Implémentation et dépendance du maillage :

La convergence des simulations est significativement affectée par la mise en place du maillage. Afin d'atteindre une convergence de simulation rapide et précise, une attention considérable devrait être accordée au processus de génération du maillage. Les simulations réalisées ont utilisé un maillage tétraédrique.

Implémentation du maillage

Maillages	Taille cellulaire	Y^+ moyenne
Maillage 1	527006	2.708
Maillage 2	1229446	0.500
Maillage 3	2629436	0.299
Maillage 4	3410021	0.292

Tableau III.1 Implémentation du maillage

Dans cette étude, quatre maillages distincts caractérisés par différentes tailles de maillage sont analysés afin de déterminer le degré d'indépendance de la solution par rapport à la qualité du maillage et à la taille des cellules. La présente étude utilise le maillage 4 dans le but de capturer efficacement les couches limites laminaires et transitoires

Ici, $y^+ = u_t y / \nu$ est l'espace entre la cellule adimensionnelle et la paroi ; u_t est la vitesse de frottement ; y est la distance jusqu'à la paroi la plus proche mesurée dans la direction normale ; ν est la viscosité cinématique du fluide.

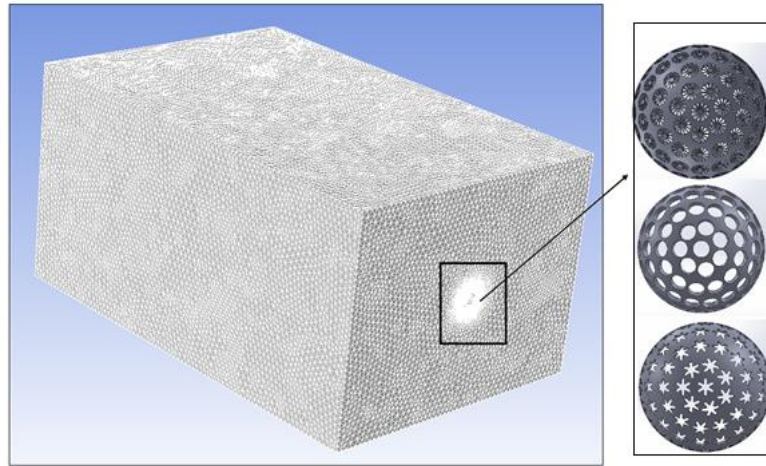


Figure III.2 Maillage de la configuration en 3D

III.3.6 Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites du domaine sont imposées selon la nature de la limite considérée (tableau III.2) entrée ou sortie de fluide, paroi solide. En outre, pour chaque type de conditions aux limites, il existe plusieurs variantes. Celles qui nous intéressent, sont décrites dans les paragraphes qui suivent

III.3.7 Entrée du fluide :

L'entrée du fluide est modélisée par une demi sphère de type « velocity inlet ». On a imposé une vitesse absolue du fluide constant, sa composition, ainsi que les caractéristiques de la turbulence en fixant l'intensité de turbulence I_{tur} et une dimension caractéristique L_{tur} , Pour le calcul du nombre de Reynolds (Re) de l'air.

III.3.8 Sortie du fluide :

La sortie du fluide est modélisée par une condition de type « pressure outlet » où son avantage est la prise en compte des propriétés d'une entrée de fluide par le plan de sortie du domaine, dans laquelle on impose simplement la pression statique dans le plan de sortie. On y fixe également les valeurs des propriétés scalaires (température, composition et grandeurs de turbulence) du fluide potentiellement entrant dans le domaine par cette limite. (Tableau III.1).

III.3.9 Conditions aux parois :

Les parois sont supposées adiabatiques et la vitesse du fluide est supposée constante.

Type de simulation de l'écoulement	Stationnaire tridimensionnel
Modèle de turbulence	<i>SST $k-\omega$</i>
Critère de convergence	10^{-5}
Code CFD	Ansys Fluent
Nombre de Reynolds	$Re = 16450$
Diamètre du sphère	$D = 75 \text{ mm}$
Vitesse et température d'entrée	$U = 3.29 \text{ m/s}$ et $T = 286 \text{ K}$
Sortie	$P = 101325 \text{ Pa}$, $T = 300 \text{ K}$
Température des parois du canal	$T = 300 \text{ K}$
Viscosité dynamique	$\mu = 1.8375 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m s}$
Densité du fluide	$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
Conductivité thermique	$\lambda = 0.0242 \text{ W/m K}$
Capacité thermique spécifique	$C_p = 1006.43 \text{ J/kg K}$

Tableau III.2 Paramètres et conditions utilisés pour simuler le phénomène concernant ses limites

La simulation numérique est conduite via la suite du code Fluent, résolvant les équations moyennées de Navier Stokes et l'équation de l'énergie. Combinant un maillage non structuré et la méthode des volumes finis, la solution est obtenue via un algorithme de couplage pression-vitesse. Après quelques essais, une grille optimisée d'environ **3410021** d'éléments est retenue pour le calcul ralliant précision et économie de calcul.

III.4 Conclusion

A travers de ce chapitre, différentes méthodes d'approche de la turbulence ont été exposées. La méthode d'approche RANS, est adoptée pour cette étude, avec plus détaillé. Le modèle de fermeture k-w sst est exposé dans cette étude dans le but de l'utiliser dans la simulation numérique avec le code fluent.

Chapitre IV

Présentation et Discussion des Résultats de la Simulation Numérique

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, il sera question des différents résultats obtenus par notre simulation numérique relative aux configurations ciblées. Ces configurations sont présentées dans la section III.1.

IV.2 Configurations étudiées :

La réalisation des géométries des configurations ciblées est basée sur l'utilisation du préprocesseur « SolidWorks et ANSYS ». La génération de leurs maillages avec l'ANSYS, passe impérativement par les étapes de conception suivantes :

- Dessin de la chambre en trois dimensions (3D).
- Génération du maillage du volume.
- Définition des conditions aux limites sur le volume.
- Exportation de la géométrie pour le traitement par le code « Fluent ».

IV.3 Résultats et discussions

La simulation numérique est réalisée en utilisant le code Fluent pour résoudre les équations moyennées de Navier Stokes combinant un maillage non structuré. La solution est obtenue avec un algorithme de couplage pression-vitesse simplec.

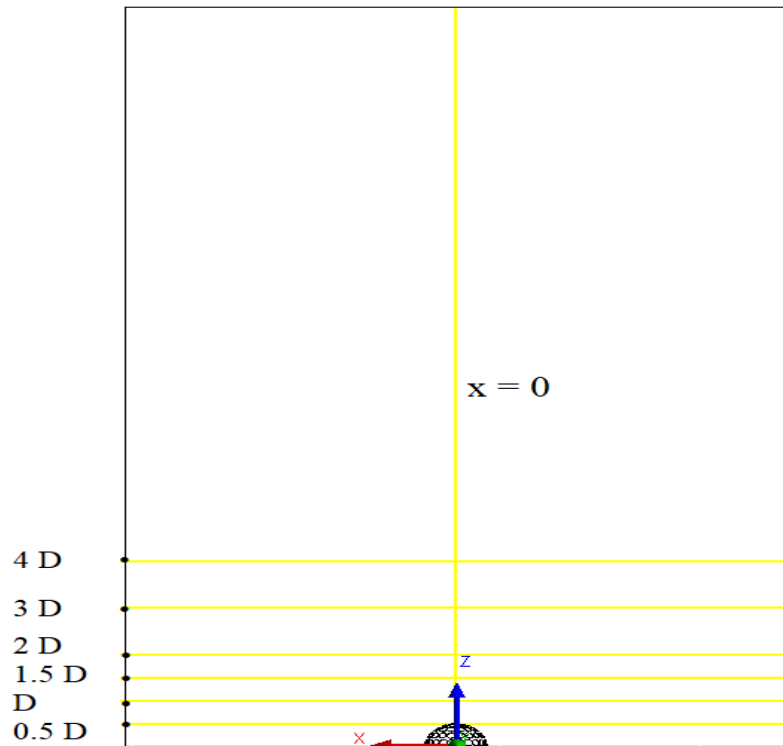


Figure IV.1 L'emplacement des stations de calcul

IV.4 Comparaison de la distribution de la vitesse moyenne des diffuseurs

La figure IV.2 illustre les contours de vitesse dans le plan YZ à la station $X = 0$. On observe que les vitesses axiales maximales sont détectées près du diffuseur carré, tandis que des valeurs minimales sont prédites aux autres diffuseurs. Cette différence explique le développement des vitesses radiales dans ces derniers diffuseurs, ce qui est bénéfique pour la ventilation et la climatisation. Il est également remarquable qu'il y a une symétrie d'écoulement dans le diffuseur circulaire, tandis que les autres diffuseurs (carré, lobé et tourbillonnaire) présentent une antisymétrie.

Des zones de recirculation importantes sont observées au niveau des diffuseurs lobé et tourbillonnaire. Ces zones de recirculation améliorent la qualité du mélange en retardant l'avancement de l'écoulement, grâce à l'effet du mouvement de retour des vitesses influencées par la dépression au centre de la zone de recirculation. La configuration avec le diffuseur lobé et le tourbillonnaire offre une amélioration notable dans ce contexte.

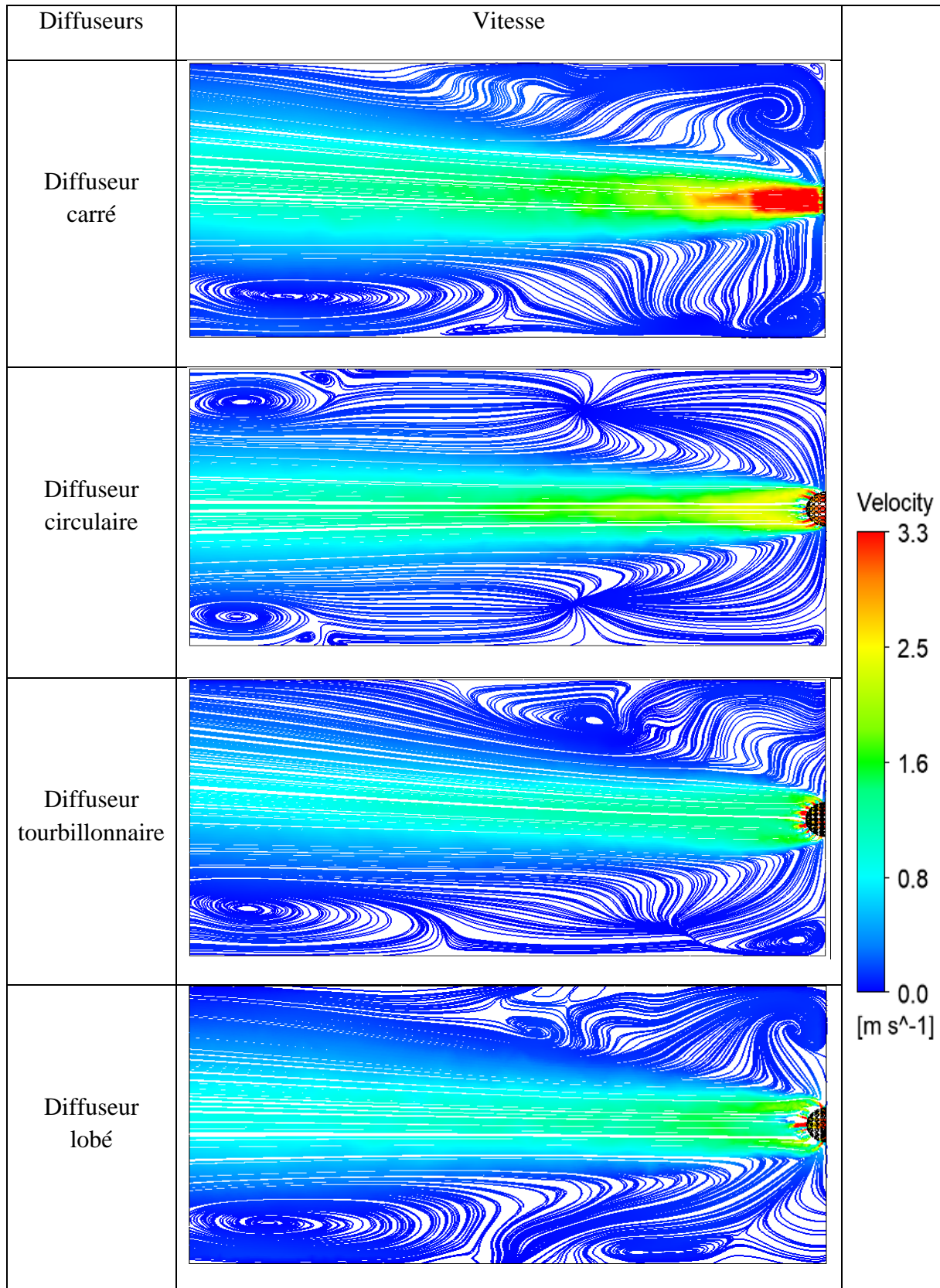


Figure IV.2 contour de vitesse dans le plan YZ et X = 0

IV.5 Contours de température axial

L'étude de l'évolution des profils de température axiale et radiale permet de comprendre l'importance et le rôle du type de jet. Le contour de température dans le plan XZ, pour $X=0$, est illustré dans la figure IV.3. On observe que les températures du jet diminuent le long de l'écoulement, en particulier dans la région du noyau potentiel. Il est remarquable que l'écoulement est mieux développé pour les diffuseurs lobé et tourbillonnaire par rapport aux autres types, ce qui se traduit par une surface d'échange thermique plus importante et d'un développement plus homogène de l'écoulement. De plus, l'épaisseur du noyau potentiel est plus grande pour ces diffuseurs.

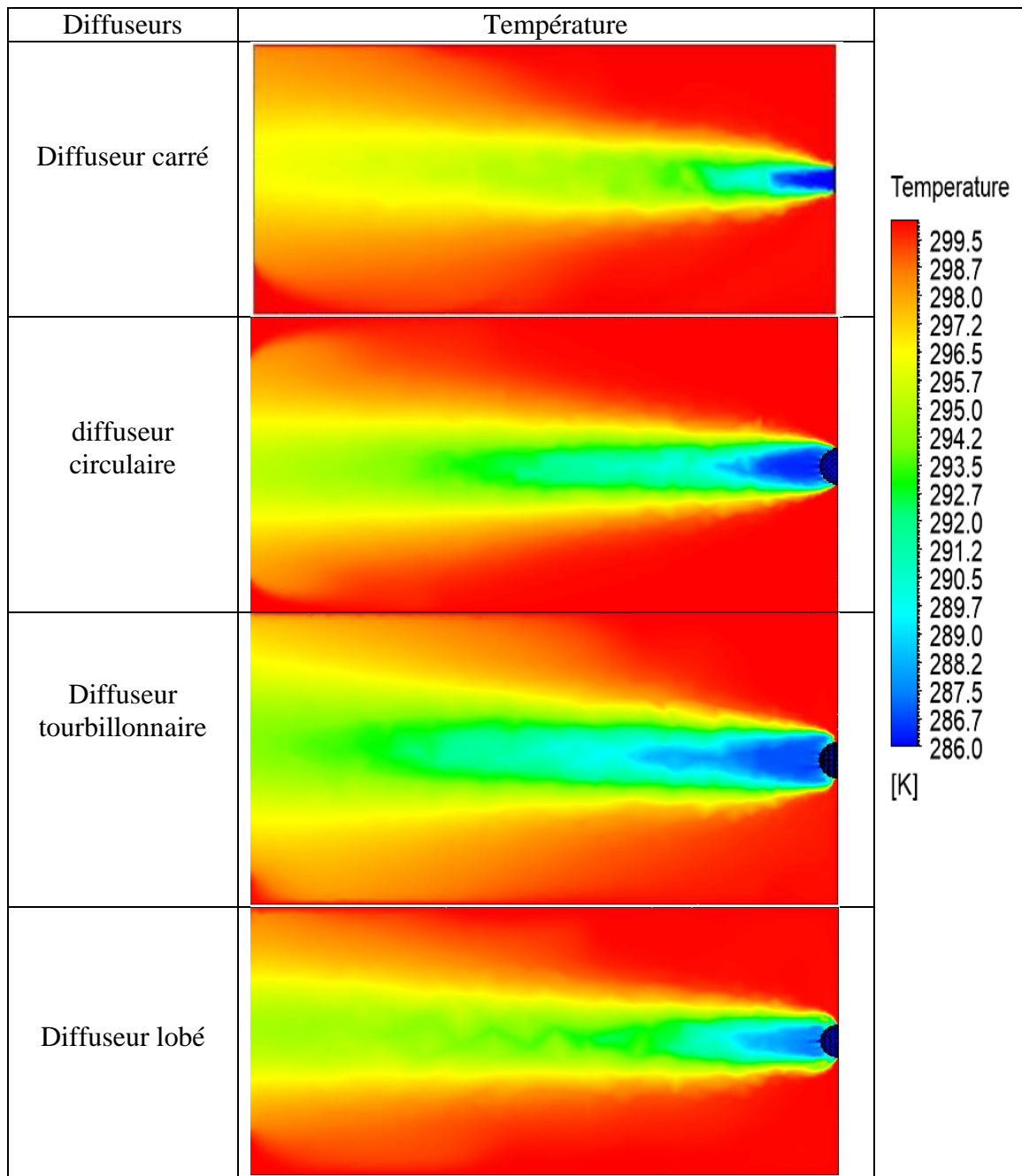


Figure IV.3 Contours de température dans le plan YZ et $X = 0$

IV.6 Contours de température radial

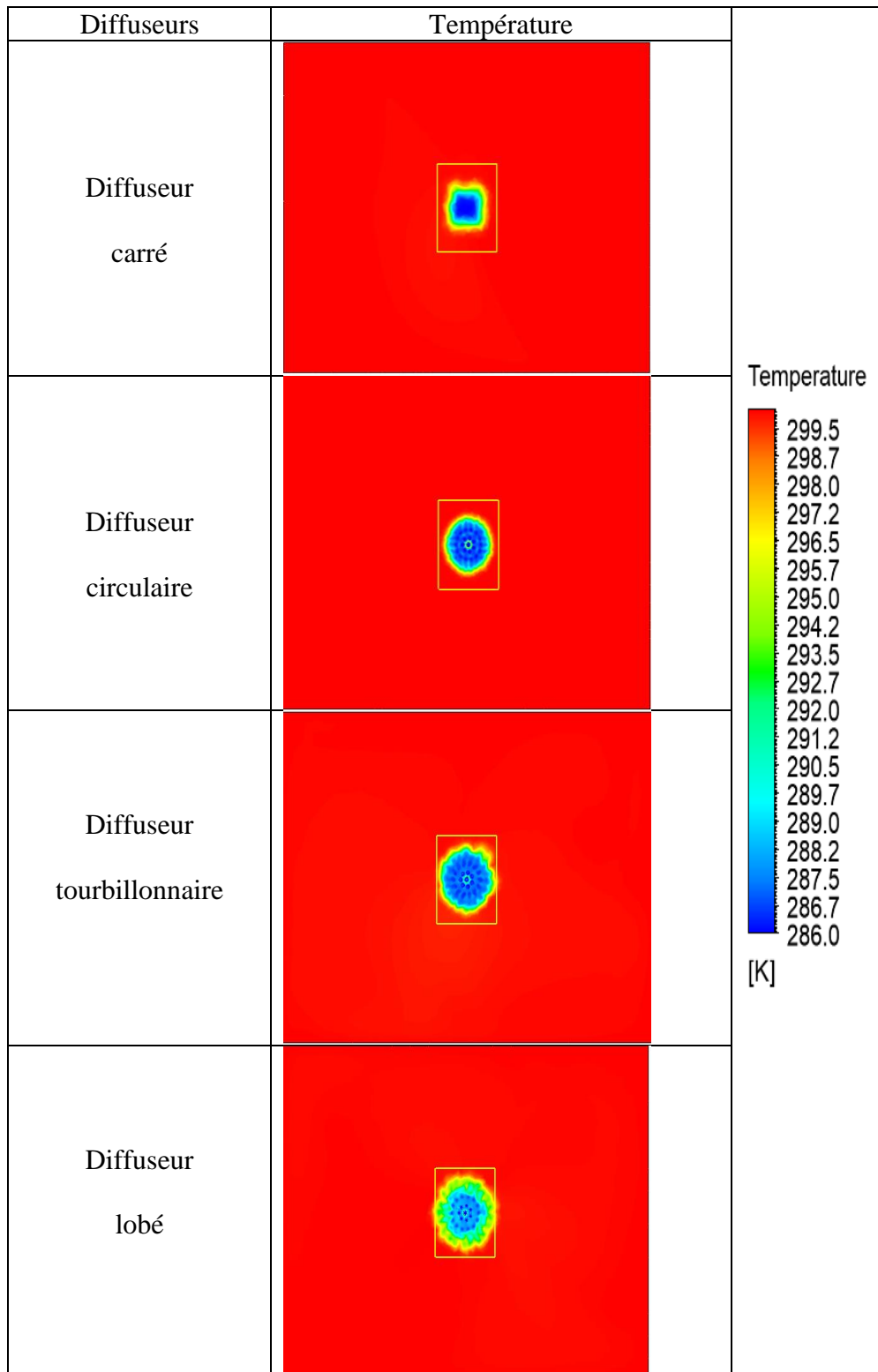


Figure IV.4 Contours de température dans le plan XY et $Z = 0.5 D$

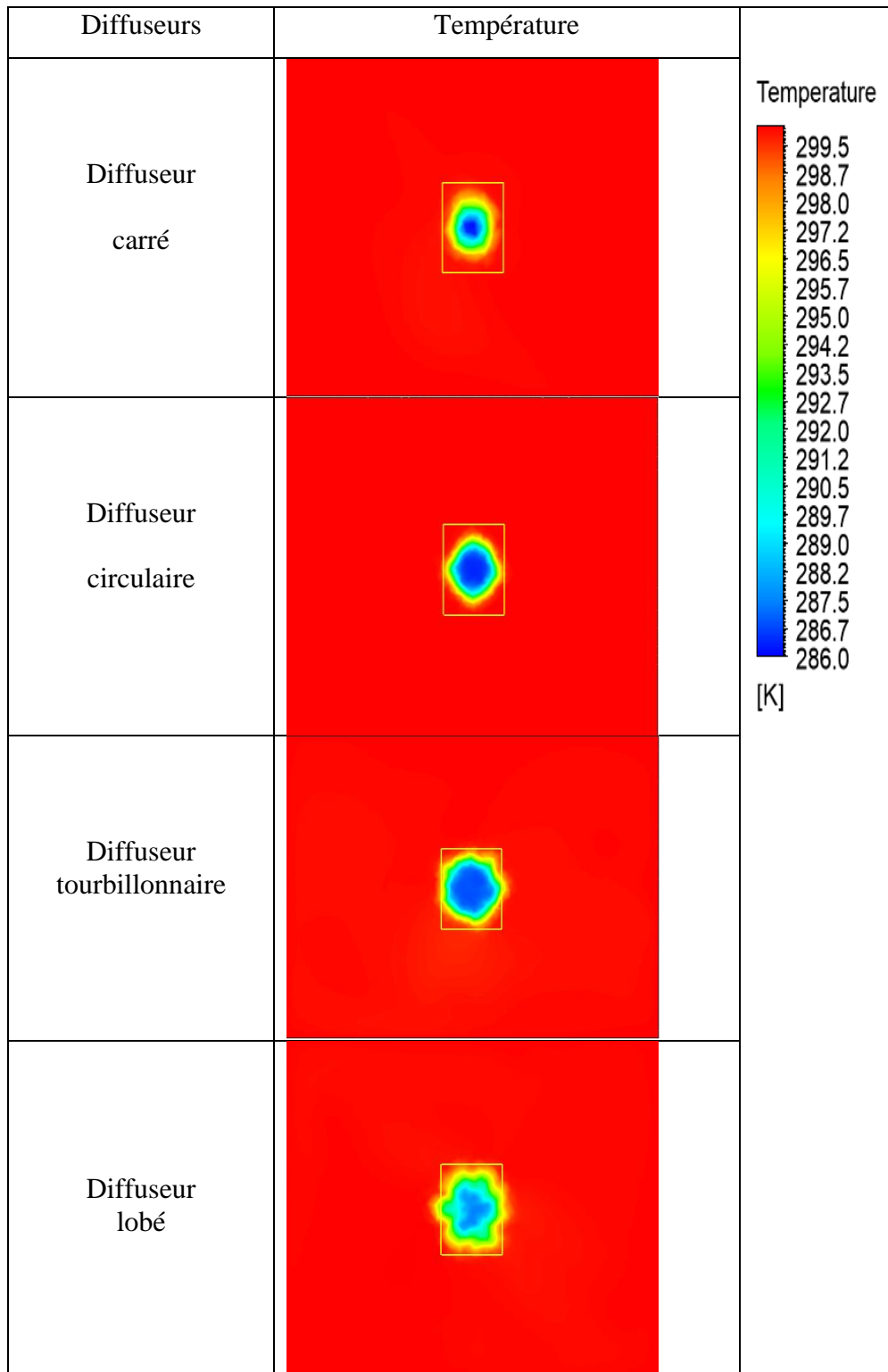


Figure IV.5 Contours de température dans le plan XY et Z = D

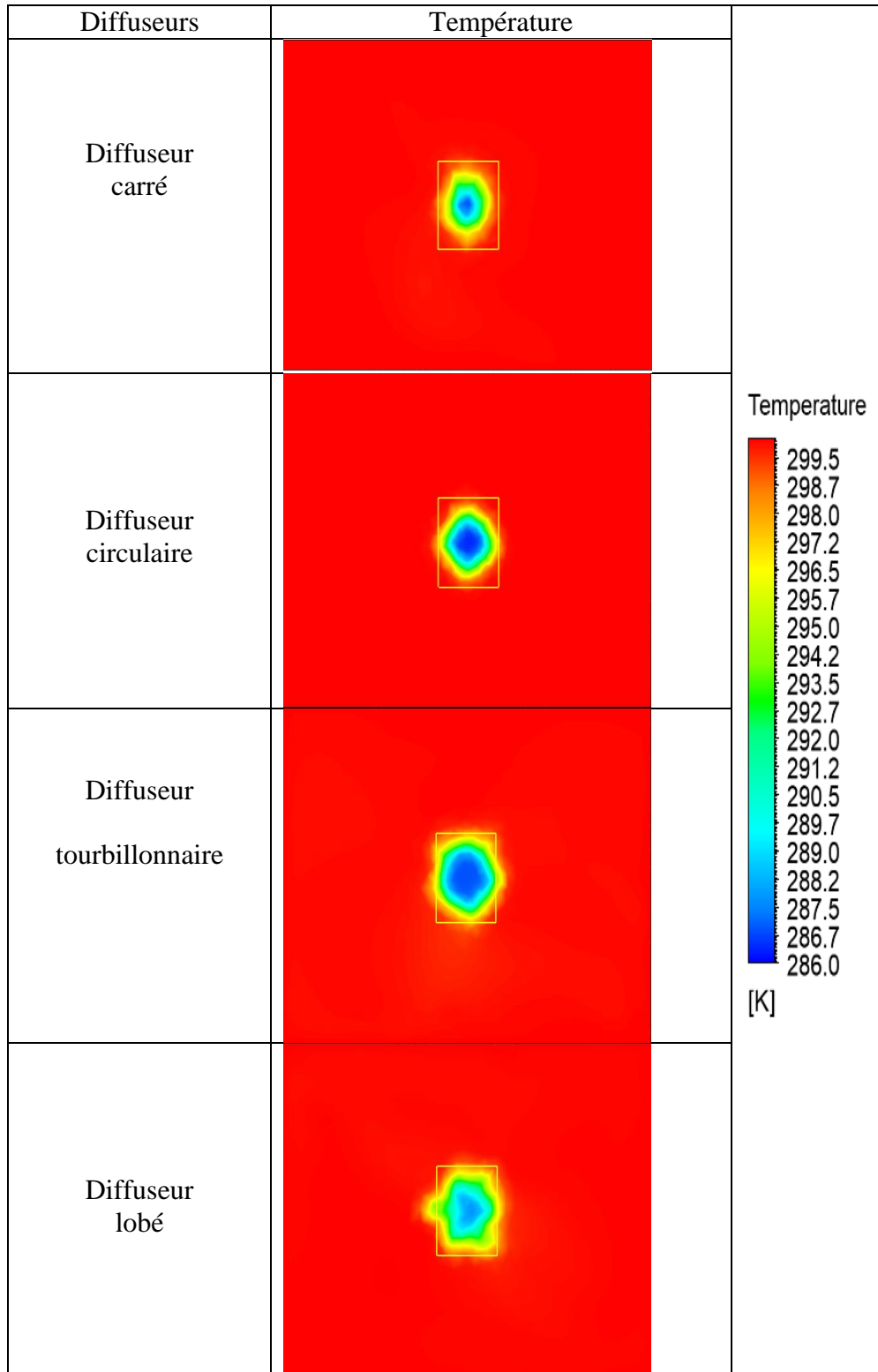


Figure IV.6 Contours de température dans le plan XY et $Z = 1.5 D$

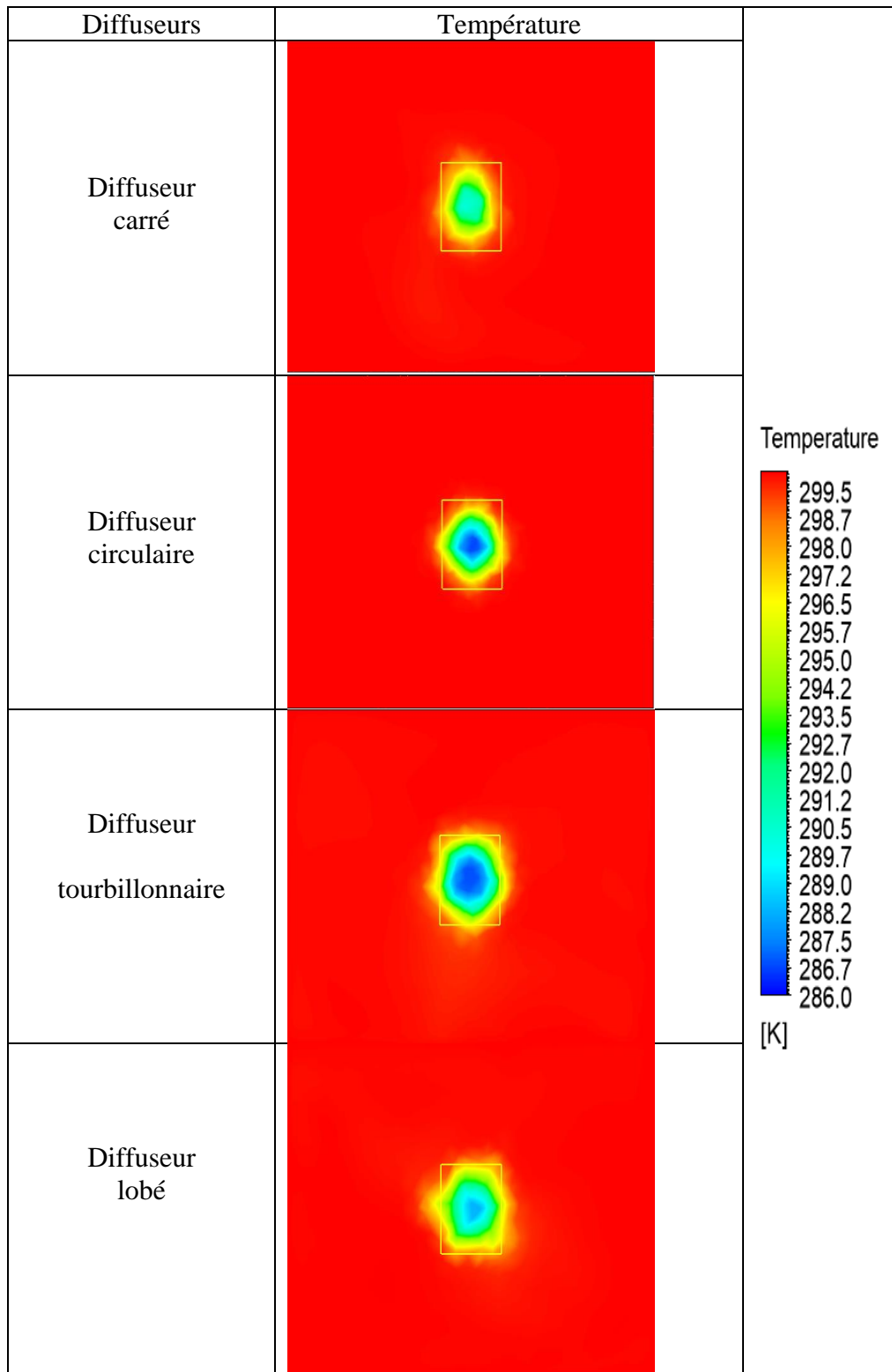


Figure IV.7 Contours de température dans le plan XY et $Z = 2\text{ D}$

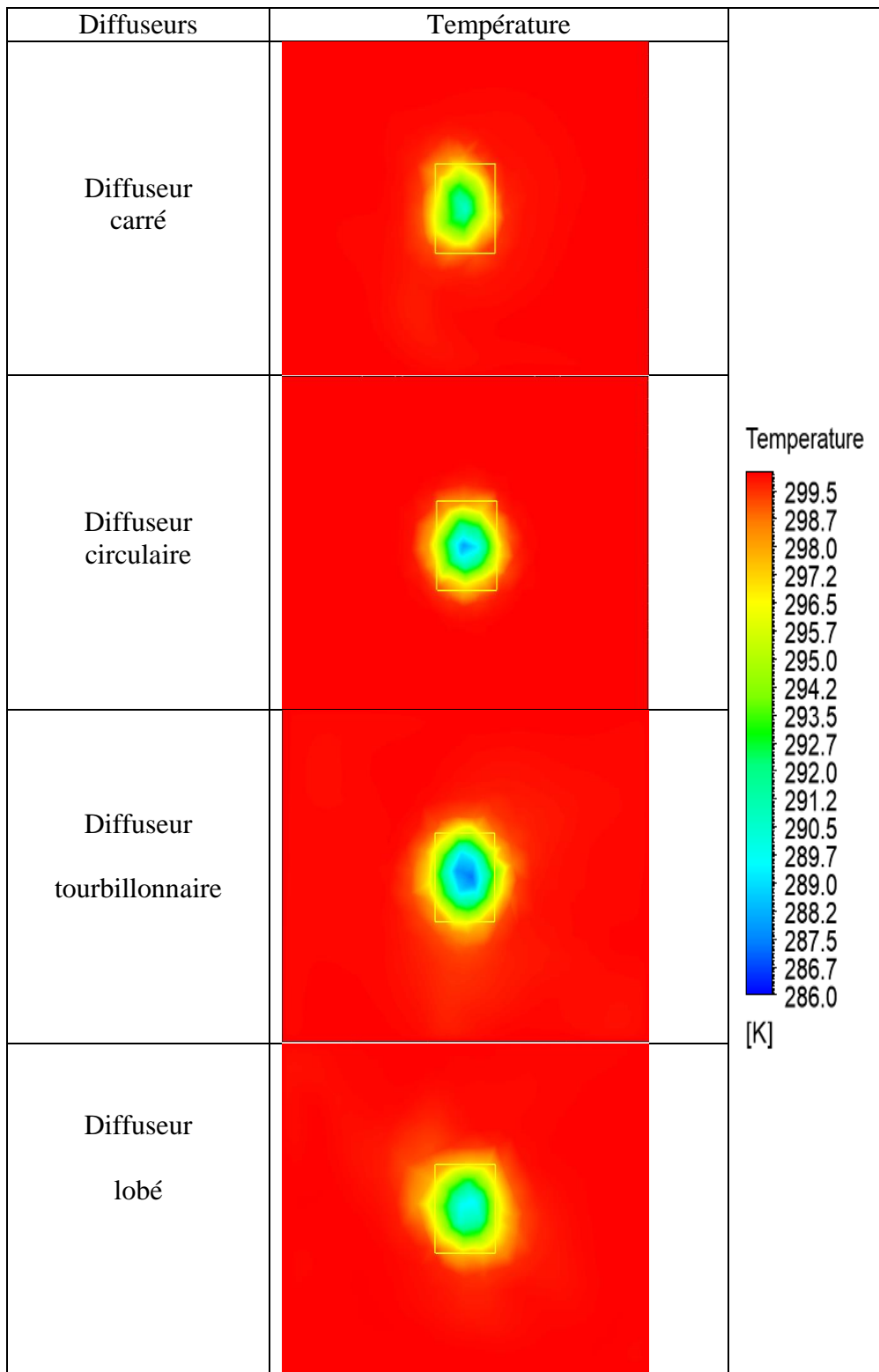


Figure IV.8 Contours de température dans le plan XY et Z = 3D

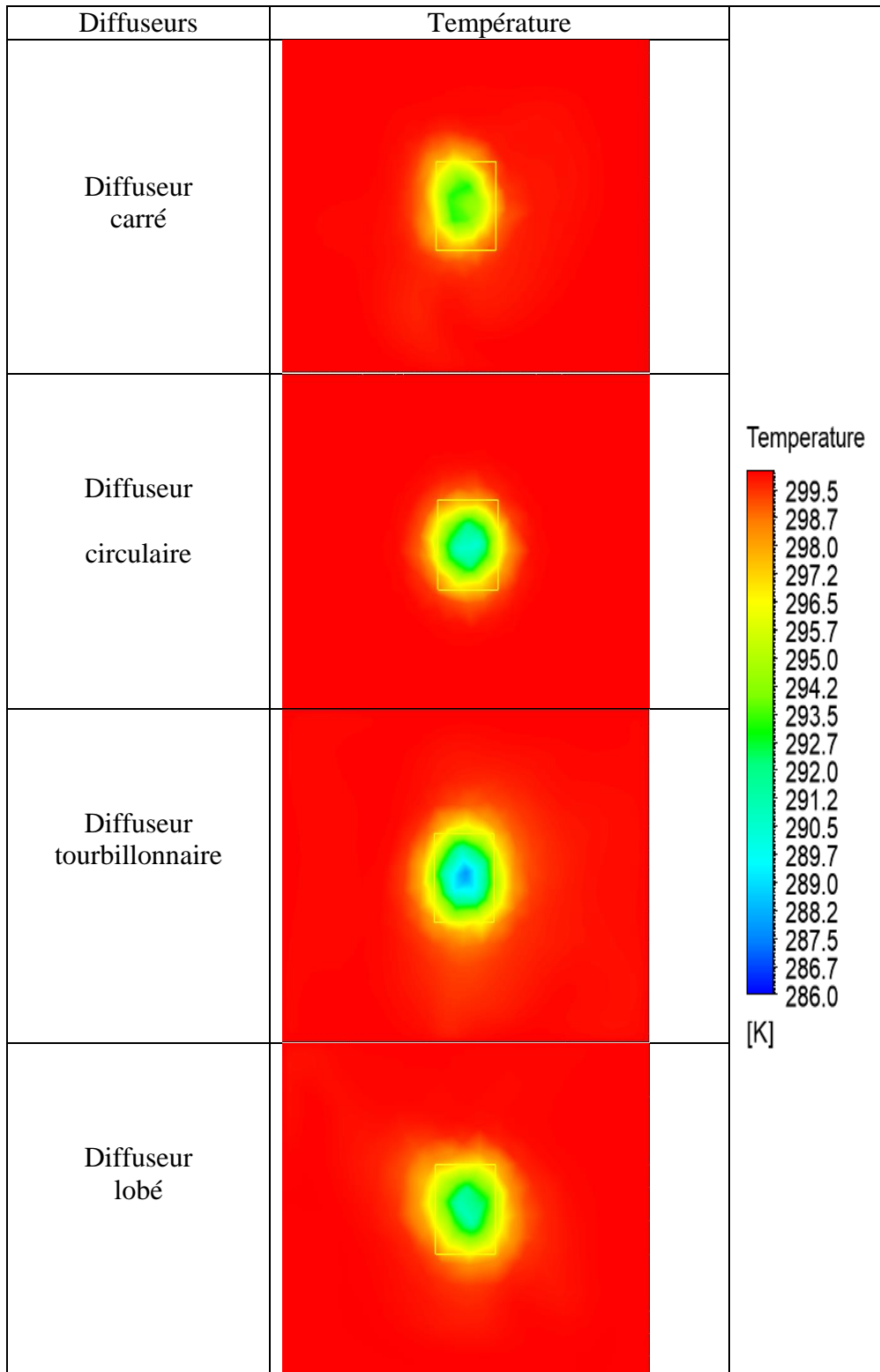


Figure IV.9 Contours de température dans le plan xy et $z = 4 D$

Les figures IV.4 à IV.9 présentent le profil de température radial dans le plan XY à différentes stations axiales : $Z=0.5D$, $1D$, $1.5D$, $2D$, $3D$ et $4D$. À partir de ces figures, on peut voir que la signature des jets lobé et tourbillonnaire est très marquée à $Z/D=0.5$ et tend à disparaître à $Z/D=3$. Au-delà de $Z/D=4$, les jets lobé et tourbillonnaire ne sont plus influencés par les lobes ou les creux et se comportent comme des jets circulaires. Il a également été constaté que les jets tourbillonnaire et lobé offrent une meilleure expansion radiale des températures par rapport aux jets circulaire et carré.

IV.7 Profils de vitesse et de température axial

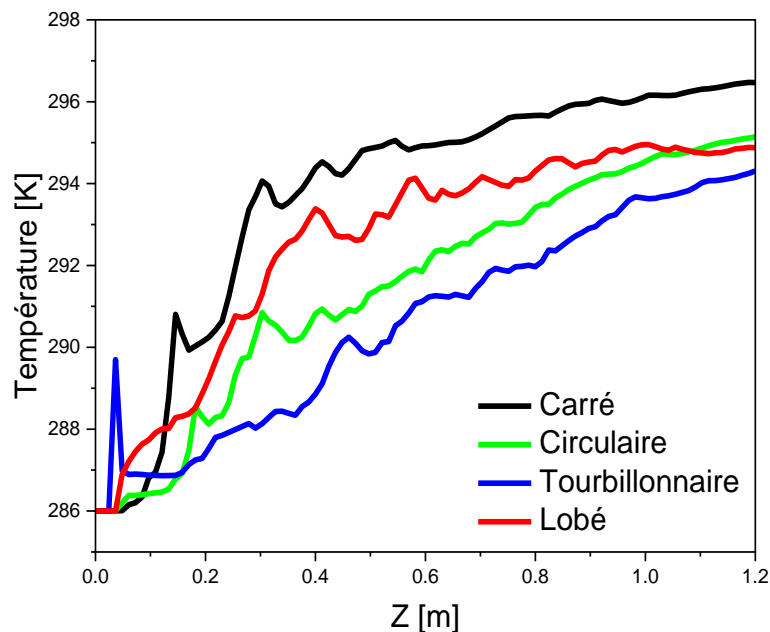


Figure IV.10 Profils de température en fonction de Z avec $X = Y = 0$

La figure IV.10 montre la distribution axiale de la température pour les 4 types de jets. L'induction générée par chaque jet provoque une diminution rapide de la température dans la zone proche de l'orifice du jet dans la direction axiale, puis se stabilise loin de l'orifice du jet. Le flux thermique pour le jet tourbillonnaire est plus important que pour les autres jets, où le gradient de température est plus faible, indiquant un meilleur transfert thermique.

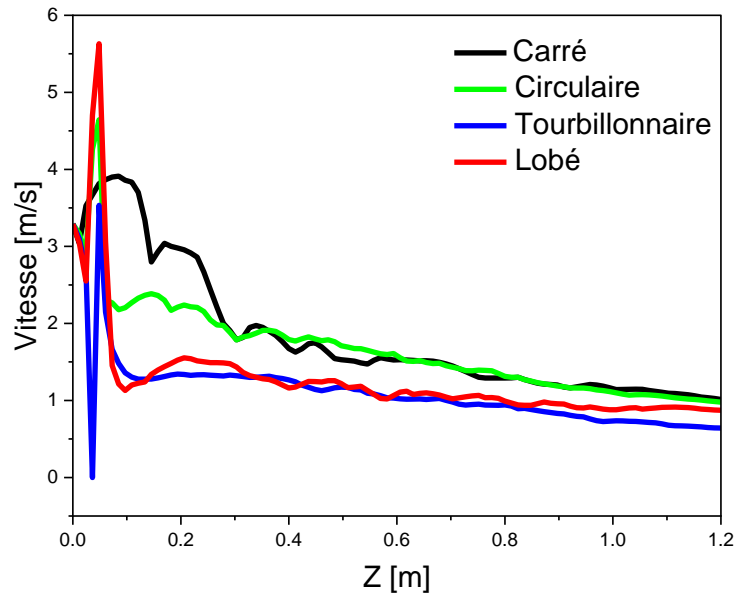


Figure IV.11 Profils de vitesse en fonction de Z avec $X = Y = 0$

Le profil de vitesse axiale est illustré dans la figure IV.11. On observe clairement que les jets circulaire et carré présentent une accélération significative par rapport aux autres types de jets, ce qui entraîne un faible échange thermique. Cette accélération rapide peut limiter le temps disponible pour que la chaleur soit échangée efficacement avec l'environnement. En contraste, les jets tourbillonnant et lobé exhibent des vitesses de propagation plus modérées, ce qui prolonge le temps de contact entre le jet et l'air ambiant. Ce phénomène favorise un meilleur transfert thermique, car il permet à la chaleur de se disperser plus efficacement dans le fluide environnant.

IV.8 Profils de vitesse et de température radial

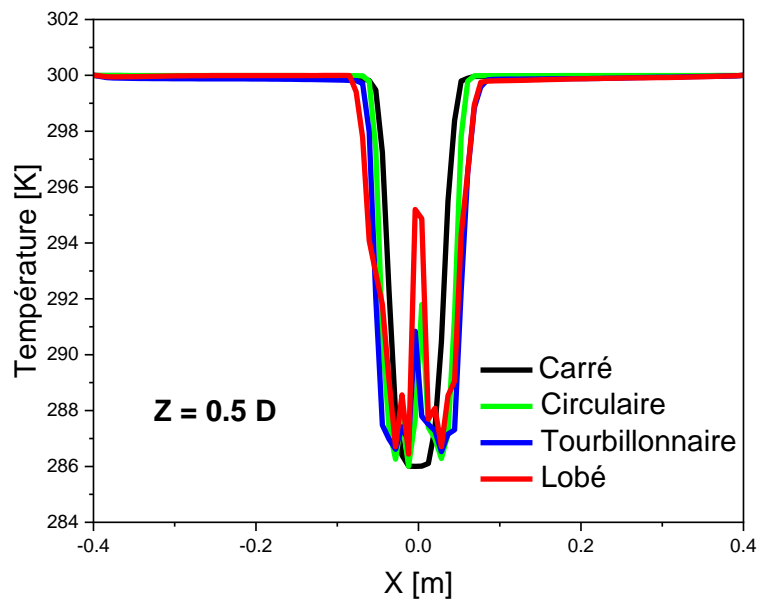


Figure IV.12 Profils de température en fonction de X avec $Z = 0.5 D$

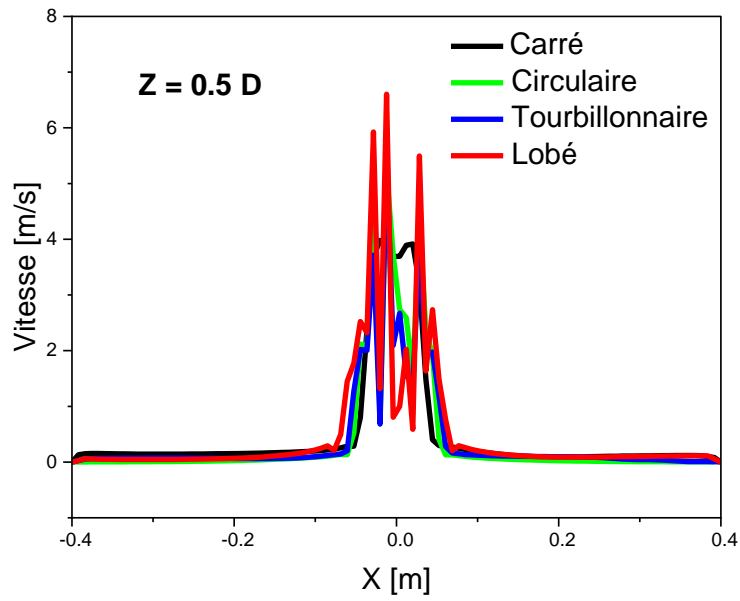


Figure IV.13 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = 0.5 D$

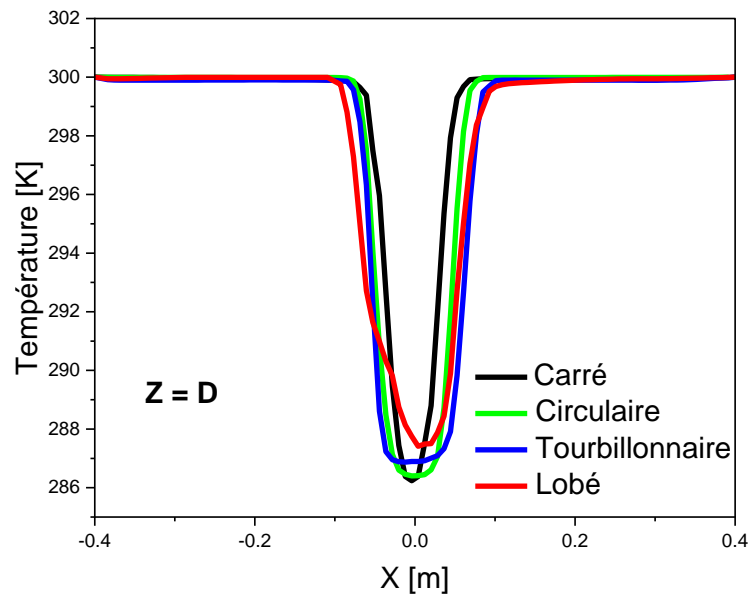


Figure IV.14 Profils de température en fonction de X avec $Z = D$

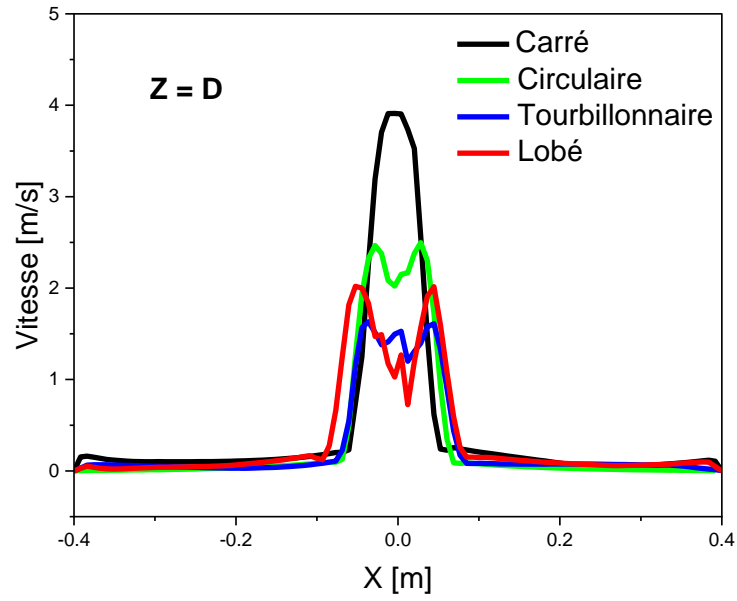


Figure IV.15 Profils de vitesse en fonction de X avec $Z = D$

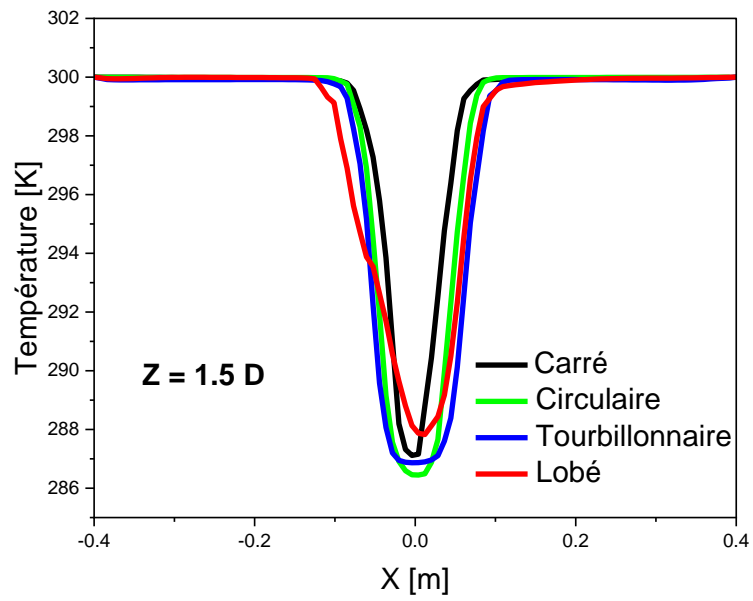
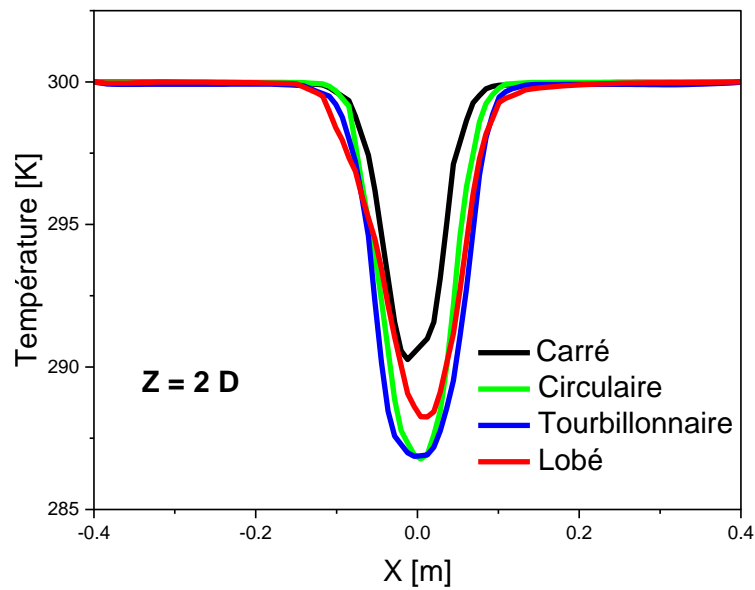
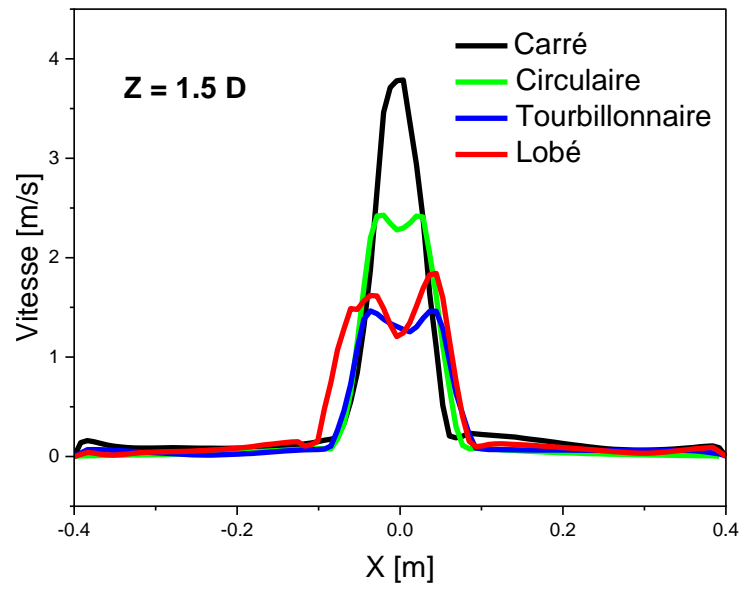


Figure IV.16 Profils de température en fonction de X avec $Z = 1.5 D$



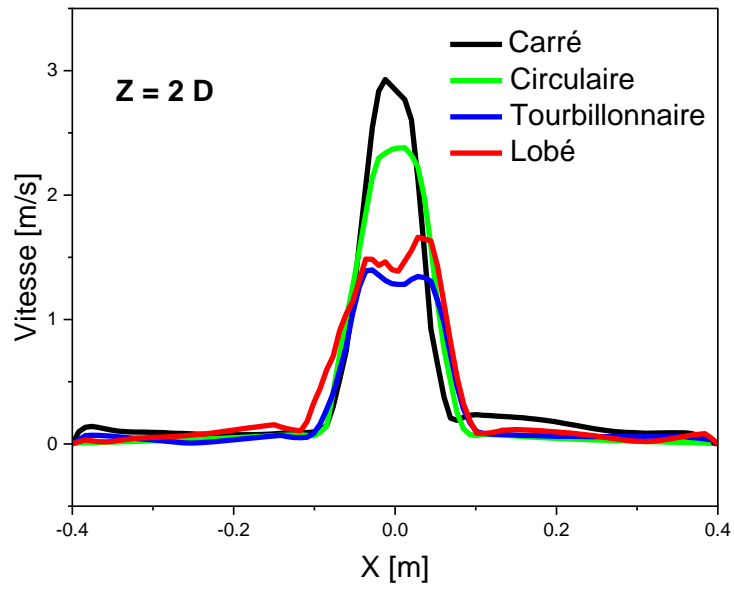


Figure IV.19 Profils de vitesse en fonction de X avec Z = 2 D

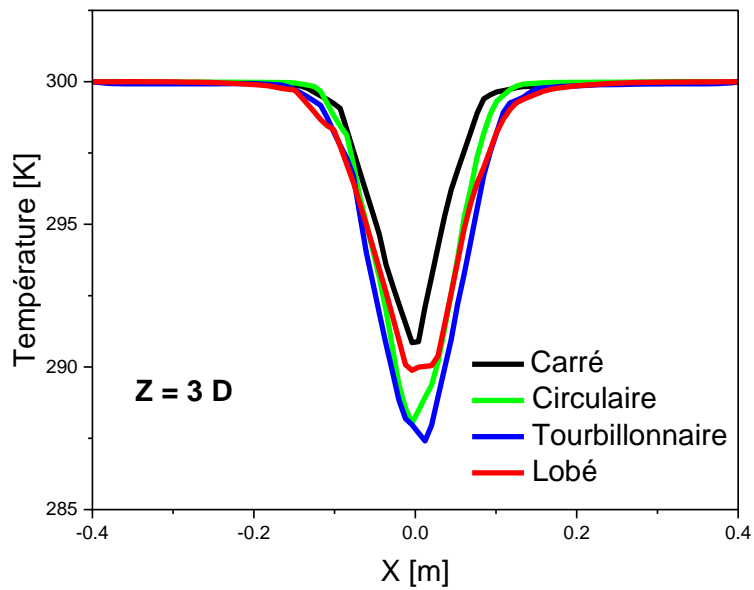


Figure IV.20 Profils de température en fonction de X avec Z = 3 D

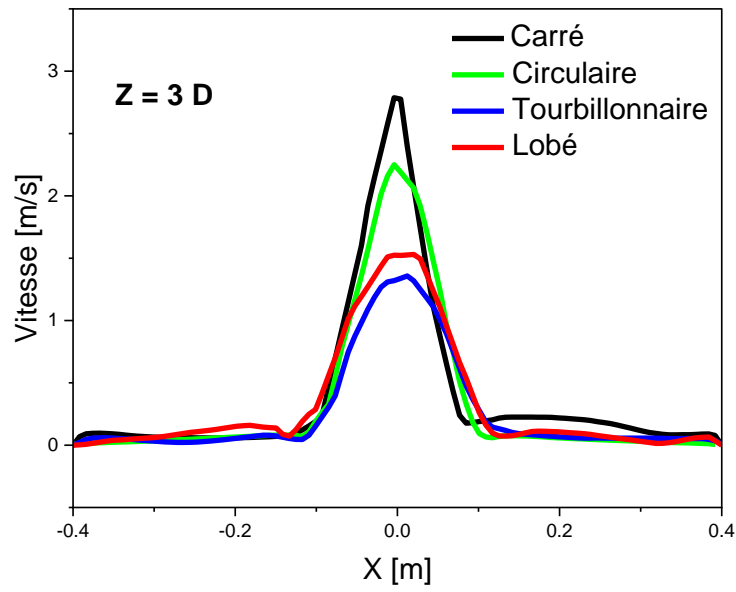


Figure IV.21 Profils de vitesse en fonction de X avec Z = 3 D

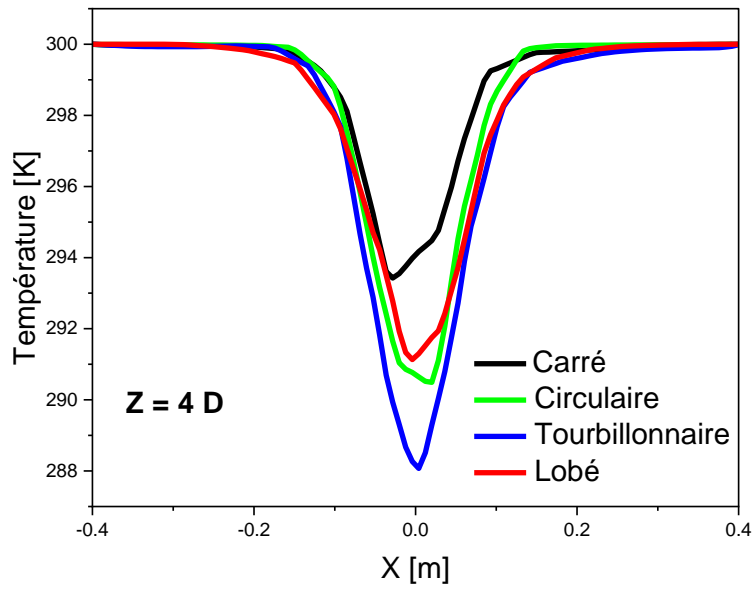


Figure IV.22 Profils de température en fonction de X avec Z = 4 D

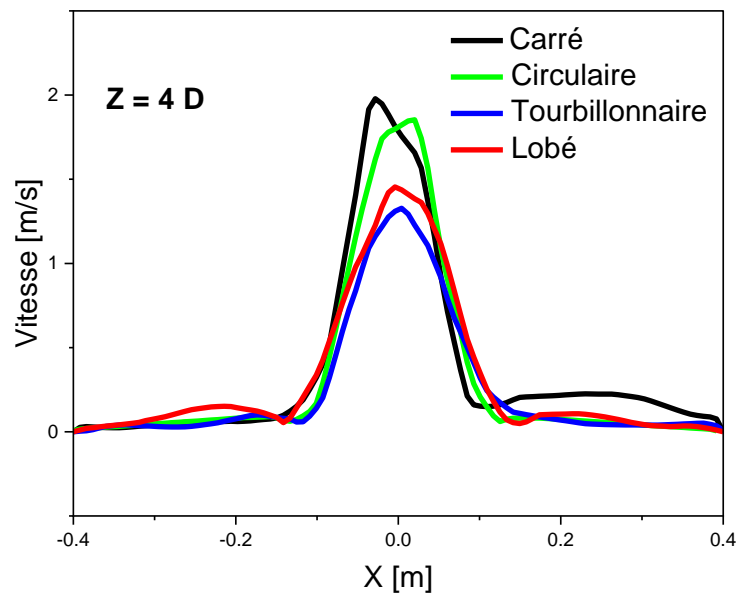


Figure IV.23 Profils de vitesse en fonction de X avec Z = 4 D

Les figures IV.12 à IV.23 illustrent les profils de température et de vitesse radiale pour différentes stations axiales : $Z=0.5D$, $1D$, $1.5D$, $2D$, $3D$ et $4D$. On observe que l'expansion radiale de la température est plus grande dans les diffuseurs tourbillonnaires et lobés, tandis que le circulaire et le carré montrent une expansion plus limitée. De plus, la vitesse d'écoulement dans la direction radiale est plus élevée pour les diffuseurs circulaire et lobé, ce qui conduit à un faible échange thermique dans cette direction. En revanche, le diffuseur tourbillonnaire offre un meilleur échange thermique, bénéficiant d'une expansion radiale plus marquée et de vitesses d'écoulement moins élevées, favorisant ainsi une dissipation thermique plus efficace dans toutes les directions.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a exploré diverses configurations de diffuseurs d'air pour véhicules à travers des simulations numériques détaillées. Les résultats ont démontré que les diffuseurs de forme complexe, tels que les designs lobés et tourbillonnaires, offrent une amélioration significative de la distribution de l'air et du confort thermique à l'intérieur des véhicules.

Dans la première phase de cette thèse, l'accent a été mis sur la conception et la fabrication de diffuseurs d'air novateurs destinés aux tableaux de bord des véhicules. L'objectif était de créer des dispositifs assurant une distribution optimale de l'air et un confort thermique maximal pour les passagers. Ces diffuseurs ont été conçus avec précision à l'aide du logiciel SolidWorks, puis fabriqués grâce à une technologie d'impression 3D avancée. Trois configurations géométriques distinctes ont été explorées : lobée, circulaire et tourbillonnaire.

Les profils de vitesse ont montré que les diffuseurs carré et circulaire génèrent des vitesses axiales élevées près du diffuseur, limitant potentiellement l'efficacité de l'échange thermique. En plus, des zones de recirculation ont été bien développées pour le cas des diffuseurs lobés et tourbillonnaires, favorisant un meilleur mélange et une dispersion thermique optimisée. Les profils de température axiale et radiale ont confirmé que les diffuseurs lobés et tourbillonnaires montrent une expansion radiale de la température plus prononcée, indiquant un potentiel plus élevé pour le transfert thermique par rapport aux diffuseurs circulaire et carré.

En conclusion, cette étude met en évidence l'importance cruciale de la conception du diffuseur dans l'optimisation des performances des systèmes de climatisation des véhicules. Les diffuseurs lobés et tourbillonnaires se distinguent par leur capacité à améliorer significativement la distribution de l'air et le confort thermique, essentiels pour répondre aux exigences croissantes de confort et d'efficacité énergétique dans les environnements intérieurs des véhicules modernes. Ces résultats soulignent la nécessité d'intégrer des designs innovants dans les systèmes de ventilation automobile pour assurer des conditions intérieures optimales tout en minimisant la consommation d'énergie.

Dans le futur, cette thèse pourrait être développée en comparant les nouvelles formes

de diffuseurs proposées avec des travaux antérieurs. L'approfondissement de ces comparaisons permettrait de mieux comprendre les avantages spécifiques de ces nouveaux diffuseurs lobés et tourbillonnaires par rapport aux conceptions plus traditionnelles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. **CHRISTOPHE KIEER**, “ Conception optimale d'un système de refroidissement magnéto-calorique a actionneur intègre : Application à la climatisation automobile.”, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2012.
- [2]. **FARID ALLAB**, “ Étude et conception d'un dispositif de réfrigération magnétique base sur l'effet magnéto-calorique géant. ”, Thèse de doctorat de l'institut National Polytechnique de Grenoble, 2008.
- [3]. **DJAAD Fethi**, "Étude et dimensionnement d'un cycle de climatisation automobile." , Mémoire de master en génie-mécanique, Université El-wancharissi, Tissemsilt, page (16 -27), (2020).
- [4]. **H.BACHIR, A. BOUTALEB**, “Etude-d-un-systeme-de-climatisation-automobile-sur-un-banc-d-essai-ET450.”, pompes à chaleur, Mémoire de master en génie-mécanique, Université Abou Bekr –Tlemcen, page (19 -36), 2013.
- [5]. **Youssef Hammadi**, "Réduction d'un modèle 0D instationnaire et non-linéaire de thermique habitacle pour l'optimisation énergétique des véhicules automobiles. Thermique", Thèse de doctorat Université Paris sciences et lettres, 2020.
- [6]. **ORNIKAR**, " Le système de ventilation des automobiles.", [En ligne], 21 juin 2004, [<https://www.ornikar.com/code/cours/mecanique-vehicule/differents-circuits/ventilation>], 13 MAI 2024.
- [7]. **ABC CLIM**, " Diffuseurs, bouches, grilles en climatisation.", [En ligne], 03 Août 2023, [<https://www.abcclim.net/diffuseurs-bouches-grilles-climatisation.html>], 13 MAI 2024.
- [8]. **Systemair**, "Grilles et Diffuseurs (Ventilation et Traitement d'air).", [En ligne], a jour, [<https://www.systemair.com/fr-be/produits/grilles-et-diffuseurs-ventilation-et-traitement-d-air>], 13 MAI 2024.
- [9]. **Ebay**, "06-13 Mini Cooper R56 Bouche D'Aération Sortie Buse Unité 925401200 9254012.", [En ligne], 2 février 2024, [<https://www.ebay.fr/>], 13 MAI 2024.
- [10]. **CARDISIAC**, " Audi TT : son intérieur dévoilé au CES.", [En ligne], 08 janvier 2014, [<https://www.ebay.fr/>], 13 MAI 2024.
- [11]. **Laetitia DORIS**, "Introduction à la simulation numérique des écoulements turbulents", Thèse de Doctorat en Sciences, PSA Peugeot Citroën, Direction de la Recherche et de l'Innovation Automobile, 2005.
- [12]. **M. SLIMANI**, " Modélisation numérique d'un multi-jet turbulent libre", Thèse de magister, Option : Energétique, Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur Département de mécanique, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, Algérie, 2009.

-
- [13]. **BOUHAMIDI Youcef**, “Simulation numérique en vue de l’amélioration du transfert de chaleur par l’interaction des jets tourbillonnaires multiples impactant,” Thèse de doctorat, Université Hassiba Benbouali de Chlef, 2021.
- [14]. **M. BOUTABA**, "Simulation numérique de l’effet thermique sur les caractéristiques d’un jet turbulent à masse volumique variable", Thèse de magister en mécanique, Département Mécanique. Faculté science et science de l’ingénieur. Université HASSIBA BENBOUALI. Chlef – Algérie, 2001.
- [15]. **H. YAPICI, N. KAYATAS, B. ALBAYRAK, G. BASTURK**, "Numerical calculation of local entropy generation in a methane-air burner", *Energy Conversion and Management*, 46:1885-1919, 2005.
- [16] **F. R. Menter**, “Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications,” *AIAA J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, 1994.
- [17] **H. Togun et al**, “Numerical simulation of laminar to turbulent nanofluid flow and heat transfer over a backward-facing step,” *Appl. Math. Comput.*, vol. 239, pp. 153–170, 2014.
- [18] **H. Togun et al**, “Numerical simulation of laminar to turbulent nanofluid flow and heat transfer over a backward-facing step,” *Appl. Math. Comput.*, vol. 239, pp. 153–170, 2014, doi: 10.1016/j.amc.2014.04.051.
- [19] **H. Huang, T. Sun, G. Zhang, D. Li, and H. Wei**, “Evaluation of a developed SST $k-\omega$ turbulence model for the prediction of turbulent slot jet impingement heat transfer,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 139, pp. 700–712, 2019.
- [20] **H. Huang, T. Sun, G. Zhang, L. Sun, and Z. Zong**, “Modeling and computation of turbulent slot jet impingement heat transfer using RANS method with special emphasis on the developed SST turbulence model,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 126, pp. 589–602, 2018.
- [21]. **D. FEDALA**, "Manuel de maillage sous GAMBIT et simulation sous fluent application ", note de cours, laboratoire d’Energétique Mécanique des fluides interne, ENSAM, CFR de Paris, 2007.