REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINSTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université YAHIA FARES de MEDEA

Faculté de technologie

Département de génie mécanique



PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de Master En Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

Analyse par EF/VOF de l`atomisation d`un jet liquide injecté dans un cylindre

Réalisé par :

- BENKHAOUA BESMA
- BETTACHE ASMAA

Proposé et diriger par :

Pr. ZIRARI MOUNIR

2023- 2024

Remerciement

نؤمن بمقولة لكل بداية نهاية وها نحن نرى رحلتنا الجامعية قد شارفت على الانتهاء بالفعل، من بعد تعب ومشقة لوقت طويل، من بعد دراسة دامت 17سنة. ها نحن اليوم نحضر آخر محاضرة بكل ما لدينا من همة ونشاط وبداخلنا كل التقدير والامتنان لكل شخص كان له الفضل في مسيرتنا وقدم لنا المساعدة.

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا، ما كنا نفعل هذا لولا فضل الله فالحمد لله على البدء والختام.

نهدي هذا النجاح إلى كل من سعى معنا لإتمام هذه المسيرة دمتم لنا سندا لا عمر له. أولا نود أن نشكر مشرفنا زيراري منير وأعضاء لجنة التحكيم الذين سيقيمون هذا العمل ونشكر جميع الأساتذة في قسم الهندسة الميكانيكية.

ونهدي هذا النجاح إلى من تربينا على يديهم ومن علمونا القيم والمبادئ، إلى من كانوا مصدر الدعم والعطاء الذين لطالما عاهدناهم بهذا النجاح ها نحن نتمم وعدنا ونهديه لهم (والدينا حفظهما الله لنا). وإلى الشموع التي تنير طريقنا ونجاحنا (أخواتنا وإخواننا)، وإلى أولئك الذين يفرحهم نجاحنا ومن كانوا واقفين خلفنا مثل ظلنا مهما كثرت تخبطاتنا(أصدقائنا) الشكر كله لله ان وفقنا لهذه اللحظة فالحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا الكريم.

لم تكن الرحلة قصيرة ولم تكن الأمور ميسرة ولكن بعون الله فعلناها.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail *à* :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leurs amours, leurs tendresses, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes *é*tudes

A mes chères sœurs et frères (**Salim,Omar,Loubna** et **Batoul**) pour leurs appui et leurs encouragements et leur soutien moral

A ma grandes mére

A toutes mes familles

A tous mes profs qui nous a appris

Une dédicace très spéciale à mon binôme ***BETTACHE Asmaa***

Travailler avec elle a été un réel plaisir.

A tous mes amies et plus particulièrement ***Fatma***

A tous ceux que j`aime et qui m`aiment

BENKHAOUA BESMA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail *à* :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leurs amours, leurs tendresses, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes *é*tudes

A mes chères sœurs et frère (**Iman,Nour El Houda,Mohammed et Othman**) pour leurs appui et leurs encouragements et leur soutien moral

A mon grand père

A toutes mes familles (Bettache et Taghasaste)

A tous mes profs qui nous a appris

Une dédicace très spéciale à mon binôme ***BENKHAOUA BESMA***

Travailler avec elle a été un réel plaisir.

A tous mes amies et plus particulièrement ***Fatma***

A tous ceux que j`aime et qui m`aiment

BETTACHE ASMAA

Résumé :

Le processus de fusion joue un rôle décisif dans l'obtention de la taille optimale des gouttelettes de carburant formées. Grâce à l'interaction du carburant liquide avec l'air, il est converti en une pulvérisation de petites gouttelettes qui augmentent la surface disponible pour la fusion avec l'oxydant. Cet échange carburant-comburant efficace permet d'obtenir une combustion plus efficace à l'intérieur du moteur, ce qui se traduit par une augmentation des performances du moteur et une consommation de carburant améliorée.

Dans cette étude, nous avons proposé la technique CFD FLOTRAN pour analyser la dynamique des jets de liquide en interaction avec les paramètres d'ingénierie et leur effet sur l'amélioration de la dispersion du carburant pour obtenir une meilleure combustion.

Les résultats obtenus offrent des perspectives précieuses pour les ingénieurs et les chercheurs qui travaillent à améliorer les moteurs à combustion interne dans le contexte de la transition vers des modes de transport plus propres et plus efficaces

Mots clés : injection de liquide, paramètres géométriques, simulation numérique, écoulement, modélisation, dispersion.

ملخص:

عملية الذوبان تلعب دورًا حاسمًا في تحقيق أفضل حجم لقطرات الوقود المتشكلة. من خلال تفاعل الوقود السائل مع الهواء، يتم تحويله إلى رذاذ من القطرات الصغيرة التي تزيد من مساحة السطح المتاحة للاندماج مع المؤكسد. هذا التبادل الفعال بين الوقود والمؤكسد يساعد في تحقيق احتراق أكثر كفاءة داخل المحرك، مما يؤدي إلى زيادة أداء المحرك وتحسين استهلاك الوقود.

في هذه الدراسة، اقترحنا تقنية FLOTRAN CFDلتحليل ديناميكيات النفاثات السائلة في التفاعل مع المعلمات الهندسية وتأثيرها على تحسين تشتت الوقود لتحقيق احتراق أفضل.

تقدم النتائج التي تم الحصول عليها رؤى قيمة للمهندسين والباحثين الذين يعملون على تحسين محركات الاحتراق الداخلي في سياق التحول نحو وسائل نقل أنظف وأكثر كفاءة.

الكلمات المفتاحية: حقن سائل، معلمات هندسية، محاكاة عددية، تدفق، نمذجة، تشتت.

Abstract:

The melting process plays a decisive role in achieving the optimal size of the formed fuel droplets. Through the interaction of liquid fuel with air, it is converted into a spray of small droplets that increase the surface area available for Fusion with the oxidizer. This efficient fuel-oxidizer exchange helps achieve more efficient combustion inside the engine, resulting in increased engine performance and improved fuel consumption.

In this study, we proposed the FLOTRAN CFD technique to analyze the dynamics of liquid jets in interaction with engineering parameters and their effect on improving fuel dispersion to achieve better combustion.

The results obtained offer valuable insights for engineers and researchers working to improve internal combustion engines in the context of the transition to cleaner and more efficient modes of transportation.

Keywords: liquid injection, geometric parameters, numerical simulation, flow, modeling, dispersion.

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Sommaire

Liste Des Figures

Liste Des Tables

Nomenclature

Sommaire	
Introduction générale :	**1**
Chapitre I : Etude bibliographique	
I.1-Introduction :	**3**
I.2-Injection :	**3**
I.3-Les types d'injection :	**3**
I.3.1-Injection indirect :	**3**
I.3.1.1-Injection indirect sur moteur diesel	**4**
I.3.1.2-Injection indirect sur moteur essence	**5**
I.3.2-Injection direct :	**5**
I.4-Comparaison entre les systèmes d'injection :	**6**
I.5-Injecteurs :	**6**
I.6.Les types d`injecteur	**7**
I.6.1.Injecteur de type Common Rail	**7**
I.6.2.Injecteur à sec et injecteur VCO	**7**
I.6.3.Injecteur électrique a électrovanne	**8**
I.7-Les combustibles :	**9**
I.7.1-Combustibles liquides et gazeux :	**9**

a. Produit de distillation	**9**
I.8.La chambre de combustion	**9**
I.8.1-Rôle de la chambre de combustion :	**10**
Conclusion	**10**
Chapitre II : l'état de l'art	
II.2 État de l'art :	**12**
Chapitre III : Modélisation mathématique	
III.1 Introduction :	**15**
III.2 Modélisation de L'écoulement des Fluides :	**15**
III.2.1 Equation de Navier-Stokes :	15
III.2.2 Equation de continuité :	15
III.2.3 Equation de quantité de mouvement :	16
III.3. Equation de conservation d'énergie :	**16**
III.4.1bilan d'énergie :	**17**
III.5.les différents modes de transfert de chaleur :	**18**
III.5.1 transfert de chaleur par conduction :	**18**
III.5.2 Transfert de chaleur par convection :	19
III.5.3 Transfert de chaleur par rayonnement :	**20**
III.6.Le nombre de Reynolds	**20**
III.7.Le nombre de Prandtl	**21**
Conclusion :	**21**
Chapitre IV : Méthodes numérique	
IV.1. Introduction :	**24**
IV.2Les trois familles de méthodes	24

IV.2.1 Méthode des différences finies :	**24**
IV.2.2 Méthodes des éléments finis :	**24**
IV.2.3 méthode des volumes finis :	**25**
IV.3.Methode numérique de discrétisation	**26**
IV.4. Présentation de la méthode :	**26**
IV.5.Methode des volumes finis pour la réalisation numérique	**27**
IV.5.1.Presentation de la méthode des volumes finis	**27**
IV.5.2.Maillage de la méthode des volumes finis	**27**
IV.6. Mise en œuvre de la méthode des éléments finis :	**28**
IV.6.1 Formulation variation elle forte :	**28**
IV.6.2 Formulation variation elle faible :	**28**
IV .7.Forme générale des équations du système	**29**
IV.8. Discrétisation :	**30**
IV.8.1. Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini :	**30**
a. Bilan thermique	**30**
IV.8.2.Forme discrétisée :	**30**
IV.9 Présentation et description du logiciel ANSYS :	**31**
IV.9.1.Maillage	**32**
IV.10.La méthode VOF	**33**
IV.10.1.Principe de la méthode VOF	**33**
conclusion	33
CHAPITRE V : Résultats et discussions	
V.1 Introduction :	37
V.2 Identification :	**37**

V.3 Etude de l`influence de la pression d`entrainement	**40**
V.4.Representation des profils des vitesses	**42**
V.5.Analyse des résultats des simulations numériques pour le cas référence	**44**
V.5.1.P=1bar	**44**
V.5.2.P=2bar	**46**
V.5.3.P=6bar	**48**
V.6.Representation des profils des vitesses différentes périodes	50
Conclusion partielle 1	**51**
Partie II	**52**
V.7.Etude l`influence la pression d`entrainement	**53**
V.8.Representation des profils des vitesses	54
V.9.Presentation des différentes périodes du temps de chaque géométrie	**55**
V.9.1.Geometrie 1	**55**
V.9.2.Geometrie 2	**57**
V.10.Representation de profils de vitesse dans différentes périodes de temps de chaque géométrie	**58**
Conclusion partielle 2	**59**
Conclusion générale	
Conclusion générale	**61**
Référence et bibliographique	

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I. 1 :L'injection ***3***

Figure I. 2 : Injection indirecte sur moteur diesel 4

Figure I. 3 : Injection indirecte sur moteur essence 5

Figure I. 4 : Injection directe 6

Figure I. 5 : Injecteur 6

Figure I. 6 : Injecteur de type Common rail 7

Figure I. 7 : Injecteur à sec et injecteur VCO 8

Figure I. 8 : Injecteur électrique à électrovanne 8

Chapitre III :

Figure III.1 bilan énergétique 18

Figure III.2 Schéma du transfert de chaleur par conduction 20

Figure III.3 Schéma du transfert de chaleur par convection 20

Figure III. 4 : Schéma de transfert de chaleur par rayonnement 21

Chapitre IV :

Figure IV. 1 : Méthode de discrétisation **26**

Figure IV. 2 : Démarche éléments finis **27**

Figure IV. 3 : Volume de contrôle **28**

Figure IV. 4 : Bilan thermique 30

Figure IV. 5 : Domaine plan discrétisé en élément relies eux par nœuds **31**

Figure IV.6. Représentation spatiale de L'interface d'ANSYS. 32

Figure IV. 7 : Maillage structuré et non structuré 32

Figure V. 8 : Méthode VOF 33

Chapitre V :

Figure V. 1 : Représentation spatiale de la configuration géométrique **37**

Figure V.2 présentation de maillage de domaine de calcul et d'injection avec zoom **37**

Figure V. 3 : Représentation spatiale de la vitesse axiale 38

Figure V. 4 : Présentation graphique de variation du flux volumique liquide axial de l'injecteur **38**

Figure V. 5 : La variation de la pression transversale aux trois pressions différentes 39

Figure V. 6 : Présentation spatiale de la vitesse et la pression pour variation de la pression d'entraînement 40

Figure V.7 : Présentation des profils des vitesses dans chaque pression et ça comparaison 41

Figure V. 8 : Présenter différents périodes de temps pour P=1bar 43

Figure V. 9 : Présenter différents périodes de temps pour P=2bar 45

Figure V.10 : Présenter différents périodes de temps pour P=6bar 47

Figure V. 11 : Présentation des profils des vitesses différentes périodes de temps pour 3cas 49

Figure V. 12 :L'idée proposée-géométrie 1- 51

Figure V. 13 :L'idée proposée-géométrie 2- 51

Figure V. 14 : Présentation spatiale de la vitesse et la fraction volumique 52

Figure V. 15 : Présentation les profils de vitesse de deux géométries et ça comparaison 53

Figure V. 16 : Présenter différents périodes de temps de géométrie 1 54

Figure V. 17 : Présenter différents périodes de temps de géométrie 2 56

Figure V. 18 : Présentation des profils de vitesse dans différentes périodes de temps de chaque géométrie 57

Liste des tableaux

Chapitre I:

Tableau I. 1 : Les caractéristiques moyennes dans les produits de distillation 9

Chapitre IV :

Tableau IV. 1 : Les avantages et les inconvénients de méthodes des différences finies 24

Tableau IV. 2 : Les avantages et les inconvénients de méthodes des éléments finies 25

Tableau IV. 3 : Les avantages et les inconvénients de méthodes des volumes finis 25

Tableau IV. 4 : Expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables 29

Chapitre V :

Tableau V.1 propriétés thermique et dynamique utilisé pour le calcul 36

Tableau V.2 conditions d'injection utilisé pour le calcul numérique. 37

Nomenclature

Lettres latines

Notation	Signification	Unité
Cp	Capacité calorifique massique à pression constante	[J/Kg.K]
P	La pression.	[Pa]
P_r	Nombre de Prandtl	
R_e	Nombre de Reynolds	
T	Température	[K]
W_e	Nombre de Weber	
V	Vitesse	[m/s]
t	Temps	[s]
D	Diamètre	$[\mu m]$
S	La surface	[m²]
V	Volume	$[m^3]$

Lettres grecques

α	Fraction de volume.	
δ	Fonction Dirac ou symbole de Kronecker	
ϵ	Dissipation turbulente	
θ	Angle	
k	Courbure	
μ	Viscosité dynamique	[Pa.s]
ρ	Densité volumique	[Kg/m^3]
σ	Tension de surface	

Σ	Densité volumique d'interface (liquide/gaz)
φ	Richesse
ψ	Fonction indicatrice dense/dilué
Ω	Densité massique d'interface (liquide/gaz)
$\Gamma_{\emptyset}$	Coefficient de diffusion
$C_{\emptyset}$	Coefficient d'advection transitoire
λ	Conductivité thermique [W.m^{-1}.K^{-1}]
S_{ϕ}	Termes source

Introduction générale :

Introduction générale :

Les fabricants de moteurs sont constamment à la recherche de nouveaux concepts pour le développement et l'amélioration du processus d'injection, et ce dernier, ou ce que l'on appelle la pulvérisation, est le processus d'injection de carburant directement dans la chambre de combustion interne. Ce qui fait que cet arroseur provoque de l'aérodynamisme dans la chambre. Grâce à l'injection, le carburant est dirigé directement dans la chambre de combustion, ou légèrement vers le bas et sert d'alimentation au moteur à combustion interne.

La combustion était si mécanique que le processus d'injection était contrôlé par des systèmes électroniques qui utilisent des ordinateurs électroniques pour contrôler la quantité de carburant et le temps d'injection afin d'obtenir les meilleures performances du moteur. Pour améliorer la qualité de la combustion dépend de l'homogénéité de la pulvérisation et des mélanges, les moteurs doivent donc être équipés de systèmes d'injection capables de mélanger le carburant et l'air ensemble sous haute pression.

Le système d'injection est l'un des facteurs les plus importants utilisés dans les moteurs diesel et est souvent appelé le « cœur du moteur » et c'est lui qui contrôle l'alimentation en carburant selon les besoins du moteur.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser comment les paramètres de forme et de géométrie de l'injecteur influent sur la dispersion du liquide injecté à haute pression. Les résultats numériques ont été obtenus en utilisant deux techniques : EF/VOF pour les fluides miscibles et une méthode de traitement discrétisé des écoulements de fluides non miscibles, également basée sur les éléments finis.

Le premier chapitre décrit la constitution du moteur, les indicateurs de performance ainsi que la phénoménologie de la combustion et la définition des émissions polluantes des moteurs à combustion internes.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des équations régissant les écoulements pi phasiques turbulents et réactifs et la description des méthodes numériques utilisées par les codes CFD.

Le troisième chapitre est consacré à la résolution numérique et les méthodes de calcul.

Dans le quatrième chapitre une description qui mette le code de calcule ANSYS(APDL) en évidence est présenter. De même dans ce chapitre une description détaillée sur les démarches numériques, la comparaison des résultats, l'analyse, l'interprétation.

Chapitre I :
Etude bibliographique

I.1-Introduction :

L'injection est un système utilisé dans l'alimentation des moteurs à combustion interne, visant à fournir du carburant à la chambre de combustion directement ou légèrement plus tôt. Il est préférable d'utiliser des injecteurs au lieu de carburateurs pour améliorer l'efficacité du moteur. Au début, l'injection était mécanique, puis elle a été améliorée grâce à l'utilisation de la technologie électronique et à l'utilisation d'un ordinateur électronique pour contrôler avec précision la quantité de carburant injectée et le temps d'injection.

Les moteurs doivent être équipés de systèmes d'injection capables d'obtenir un mélange homogène d'air et de carburant sous des pressions élevées. Cela permet au carburant de s'enflammer rapidement et à un endroit spécifique à l'intérieur de la chambre, une répartition uniforme du carburant est assurée et une combustion efficace est obtenue pour obtenir les meilleures performances du moteur [01].

I.2 Injection :

C'est le processus d'injection de carburant dans un moteur à combustion interne. Pour qu'un moteur à combustion interne fonctionne de manière fluide et efficace, le carburant et l'air doivent être correctement mélangés. Les problèmes de mélange sont particulièrement rencontrés dans un gros moteur diesel, où l'air et le carburant sont introduits à différents moments du cycle et doivent être mélangés à l'intérieur des cylindres, un bon mélange assure une combustion efficace et des performances moteur fluides.

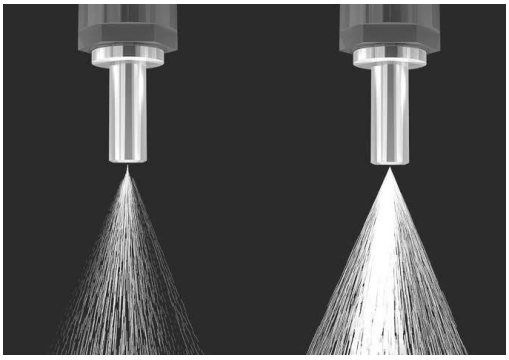


Figure I.1.L`injection

I.3.Les types d'injection :

Dans les moteurs à combustion interne. Il existe deux grands types d'injection. On distingue :

I.3.1. Injection indirecte :

L'injection indirecte est la méthode d'injection de carburant dans certains moteurs à combustion interne. Moteur à injection indirecte, le carburant est brûlé dans la chambre de précombustion, située à l'extérieur de la chambre de combustion principale. Le carburant est mélangé à de l'air dans la préchambre et chauffé avant d'être introduit dans

la chambre de combustion principale du moteur. Les moteurs à injection indirecte sont devenus moins courants, ils ont été remplacés par des moteurs à injection directe car ils sont plus efficaces. Cependant, certains moteurs diesel et à essence utilisent l'injection indirecte. Étant donné que les moteurs à essence et diesel ne fonctionnent pas de la même manière, il est nécessaire de distinguer les deux.

I.3.1.1.Injection indirecte sur moteur diesel :

Dans le cas d'une injection indirecte dans un moteur diesel, le carburant est injecté dans une petite chambre séparée appelée chambre de combustion, qui débouche directement dans le cylindre et non dans le passage d'admission. Cette méthode permet d'améliorer la combustion du diesel malgré l'utilisation d'une faible pression d'injection. Une fois comprimé, l'air aspiré sous pression est envoyé dans cette chambre, où il se mélange au carburant évaporé et commence à s'enflammer. Le mouvement de rotation généré par la conception pneumatique de la chambre contribue à l'optimisation du processus de combustion. Dans ce cas, l'utilisation de bougies chauffantes est beaucoup plus avantageuse que leur utilisation pour l'injection directe.

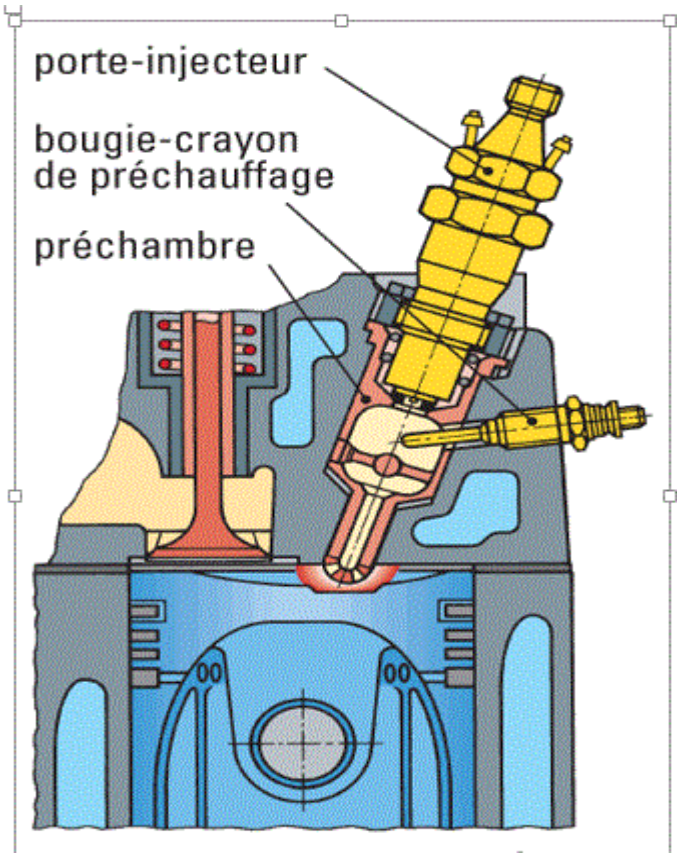


Figure I.2. Injection indirecte sur moteur diesel

I.3.1.2.Injection indirecte sur moteur essence :

Dans le cas d'une injection indirecte dans un moteur à essence, le pulvérisateur est placé à un endroit avant la soupape, c'est-à-dire dans le tuyau d'admission. Le carburant est évaporé avant d'entrer dans le cylindre. Le carburant est injecté dans le collecteur d'admission, ce qui permet au carburant de bien se mélanger à l'air avant la combustion. Cette méthode est couramment utilisée dans les moteurs à essence pour assurer une bonne atomisation du carburant.

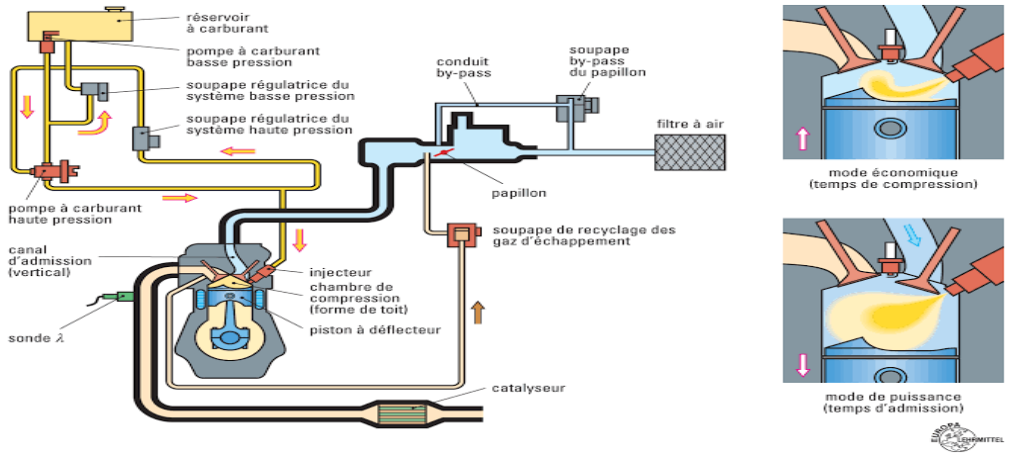


Figure I.3. Injection indirecte sur moteur essence

I.3.2.Injection directe :

Dans le cas d'une injection directe, le carburant est injecté directement dans le cylindre au lieu d'être dispersé dans l'air ou de former un film sur les parois du cylindre. Ce type d'injection affecte directement les émissions d'échappement et la consommation de carburant. Lorsque le carburant est dispersé dans l'air, il présente des avantages en termes de consommation de carburant, d'émissions de carbone des véhicules et de fumée. Inversement, lorsque le carburant est retiré des parois des cylindres sous l'influence des courants d'air, il présente des avantages en termes d'émissions d'azote et de réduction du bruit de combustion. Dans un moteur à essence, le carburant est injecté directement dans la chambre de combustion, ce qui permet un mélange plus précis du carburant et de l'air.

Cela améliore l'efficacité de la combustion et réduit les émissions d'échappement. Inversement, dans un moteur diesel, le carburant est injecté directement dans la chambre de combustion à des pressions beaucoup plus élevées, ce qui provoque une inflammation spontanée du carburant. Cela permet une combustion plus complète et une augmentation de la puissance. Dans un moteur à essence ou diesel à injection directe, le carburant est envoyé directement dans la chambre de combustion sous haute pression. Cela permet de mieux atomiser le carburant pour une combustion plus efficace. De plus, le temps d'injection de carburant est contrôlé avec précision pour améliorer les performances et réduire la consommation de carburant. Dans les deux cas, l'injection directe offre des avantages en termes de performances et d'économie de carburant par rapport à l'injection indirecte. [02].

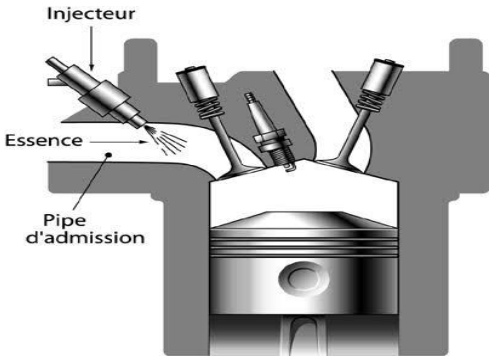


Figure I.4. Injection directe

I.4.Comparaison entre les systèmes d'injection :

Le système d'injection est l'un des principaux facteurs du processus de fonctionnement du moteur. On l'appelle souvent le "cœur du moteur" contrôle l'alimentation en carburant en fonction des besoins du moteur et assure une pression d'injection élevée pour atomiser le carburant dans la chambre de combustion. Il a donc un impact direct sur la consommation de carburant et les émissions d'échappement. La différence entre les moteurs à injection directe et les injecteurs non stériles réside dans l'efficacité. Dans les moteurs à injection directe, le rapport surface / volume dans la chambre de combustion est beaucoup plus faible par rapport aux moteurs à injection indirecte, de plus, le temps de combustion est plus court dans les moteurs à injection directe, ce qui contribue à une augmentation de l'efficacité globale du moteur. Les moteurs à injection directe souffrent de problèmes tels que le bruit lors de la combustion et l'émission d'oxyde d'azote gazeux. Ceci est en partie dû au manque d'échange de chaleur entre la chambre de combustion et le système de refroidissement. D'autre part, les moteurs à injection indirecte présentent des avantages tels que des émissions d'oxyde d'azote plus faibles, en raison de la présence d'une petite quantité d'air au début du processus de combustion.

I.5.Injecteur :

Le procédé d'injection est un procédé qui permet d'alimenter le moteur à combustion interne en carburant en l'introduisant dans la chambre de combustion sous haute pression et avec une consistance optimale. Le carburant est délivré sous pression au moteur et est libéré à l'intérieur du moteur. Soit directement, soit indirectement, sous la forme d'un très petit spray. Cela garantit une distribution précise du carburant pour assurer une combustion efficace.



Figure I.5. Injecteur

I.6. Les types de d'injecteur :

I.6.1.Injecteur de type Common Rail :

Common rail est un type d'injection également appelé injection directe à rampe commune qui peut être utilisé pour injecter du carburant dans la chambre de compression, cette technologie permet une pulvérisation précise de carburant à l'intérieur de la chambre de combustion, ce qui améliore l'efficacité du moteur. L'injecteur se compose de deux parties : la partie supérieure est un appareil électrique utilisé pour contrôler l'aiguille de l'injecteur. Et la partie inférieure est un injecteur multi-trous similaire aux injecteurs conventionnels utilisés dans les moteurs à injection directe.

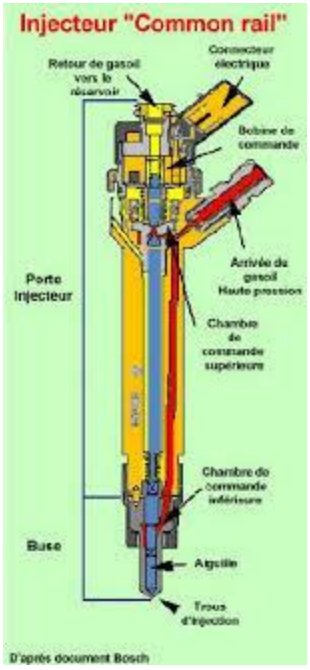


Figure I.6. Injecteur de type Common Rail

I.6.2. Injecteur à sac et injecteur VCO :

Les injecteurs à sac ont une cavité appelée « sac » à la base de l'aiguille lorsqu'elle est en position fermée. L'augmentation de la capacité de ce sac entraîne une détérioration des émissions d'hydrocarbures non brûlés. En effet, à la fin de l'injection, lorsque l'aiguille redescend, le carburant contenu dans cette cavité se déverse dans la chambre de combustion. Ce carburant brûle alors très lentement et de manière incomplète, ce qui crée des problèmes de pollution.

Pour remédier à ce défaut, les fabricants proposent des injecteurs VCO (Valve Covered Orifice) qui n'ont pas de sac. Dans ce cas, pour les charges faibles et moyennes, l'aiguille n'est relevée que partiellement, ce qui entraîne une répartition asymétrique du spray et une augmentation significative de la formation de particules à l'échappement. En effet, le changement de répartition du carburant dans la chambre crée des zones très riches en carburant, favorisant ainsi la formation de particules de suie.

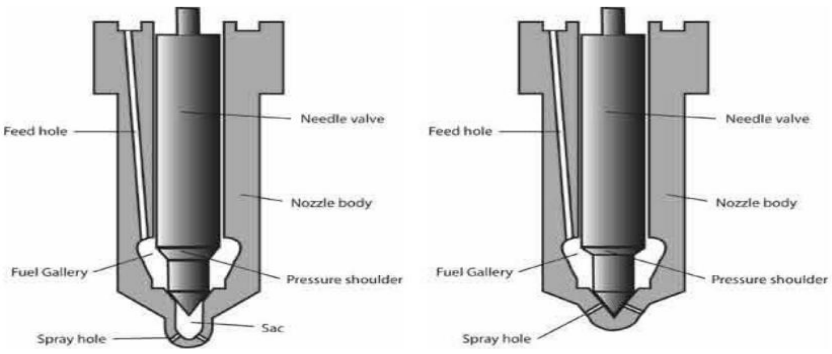


Figure I.7. Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite) [**3]**

I.6.3.Injecteur électrique a électrovanne :

Un injecteur électrique à électrovanne est un dispositif utilisé dans les systèmes d'injection de carburant pour contrôler la quantité de carburant qui est injectée dans le moteur. Il est composé d'une électrovanne qui ouvre et ferme l'injecteur, permettant ainsi le passage du carburant. L'injecteur électrique est alimenté par un courant électrique, ce qui lui permet de fonctionner de manière précise et efficace. Grâce à l'utilisation d'un injecteur électrique à électrovanne, il est possible de réguler la quantité de carburant injectée, ce qui permet d'optimiser les performances du moteur en termes de puissance, de consommation de carburant et d'émissions. Cela contribue également à une combustion plus propre et plus efficace.

Les injecteurs électriques à électrovanne sont utilisés dans diverses applications, notamment dans l'industrie automobile, l'aéronautique et même dans certaines applications industrielles. Leur utilisation permet de répondre aux exigences de performance et d'efficacité des moteurs modernes.

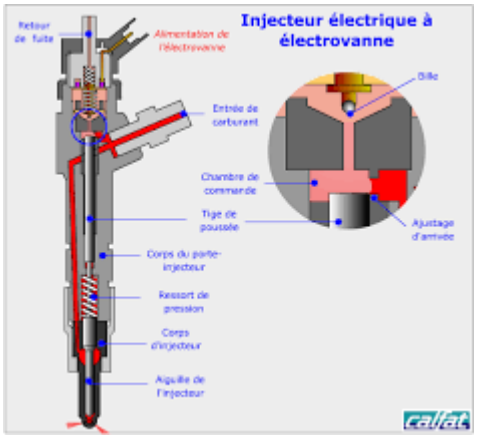


Figure I.8. Injecteur électrique a électrovanne

I.7.Les combustibles :

Le carburant peut être de sources et de nature très diverses. Il contient des quantités variables d'éléments utiles tels que le carbone et l'hydrogène, en plus d'autres éléments tels que l'oxygène, l'azote, le soufre et les métaux. Pour calculer la composition de la

fumée à partir d'eux, il est nécessaire de connaître leur composition chimique. Ils sont classés selon leur nature.

I.7.1.Combustibles liquides et gazeux :

Aujourd'hui, les combustibles gazeux proviennent principalement de la source de pétrole et ne peuvent être séparés du pétrole. L'origine du pétrole remonte à une source inconnue. Il est beaucoup plus ancien que le charbon et est certainement le résultat de la décomposition des micro-organismes dans les anciens océans. L'huile naturelle a une teneur élevée en soufre (gaz ou liquide) et doit être désulfurée.

a. Produit de distillation :

Produits de distillation les hydrocarbures pétroliers distillés sont plus ou moins volatils selon la hauteur du niveau de distillation dans la colonne de distillation, c'est-à-dire la température de distillation. Ces produits vont du gaz de pétrole liquéfié (butane 65%, propane 35%) aux carburants lourds et autres produits plus lourds.

	GPL	Essence	Kérosène	Gasoil	Fuel lourd
C%	82,5	85,5	85,7	86	87
H%	17,5	14,5	14,3	13,3	11,35
S%	0	0	<0,3	0,3	1
N%	0	0	0	0,2	0,25
O%	0	0	0	0,2	0,4
Ma	15,4	15	15	14,3	14
D	0,55	0,75	0,8	0,844	0,99
Ip	46 MJ /kg	44MJ/kg	43,5MJ/kg	42MJ/kg	42MJ/kg

Tableau I.1. Les caractéristiques moyennes dans les Produits de distillation [4].

I.8.La chambre de combustion :

La chambre de combustion est le composant le plus important des moteurs à combustion interne à combustible liquide, qui sont largement utilisés dans l'industrie aérospatiale. En eux, le carburant (comme l'essence ou le diesel) est combiné à l'air et de l'énergie de propulsion est également produite. Ceci est réalisé en introduisant du carburant dans la chambre et en l'injectant dans celle-ci, puis le processus de combustion complet se produit et le rapport entre les produits brûlés et l'énergie de poussée est déterminé [5].

I.8.1.Le rôle de la chambre de combustion :

-Augmentez l'énergie totale de l'air en le brûlant avec du carburant.

- Il permet la conversion de l'énergie chimique en énergie thermique utilisée pour entraîner le moteur.

-La chambre de combustion refroidit les gaz brûlants avant qu'ils n'atteignent la turbine.

Conclusion :

L'étude des injecteurs de carburant dans les moteurs de voiture est importante pour améliorer les performances du moteur et la consommation de carburant, l'utilisation de technologies d'injection avancées peut conduire à une efficacité accrue du moteur et réduire les émissions nocives. En optimisant le processus d'injection de carburant, de meilleures performances et une économie de carburant plus efficace peuvent être obtenues, ce qui signifie une meilleure expérience de conduite et un impact réduit sur l'environnement.

Chapitre II : l'état de l'art

II.1.l'état de l'art :

- **P. Wang et al [6]** ont étudié l'effet de la pression d'alimentation en air sur les propriétés d'atomisation par pulvérisation et l'efficacité de suppression de la poussière d'une buse de pulvérisation assistée par air et d'un mélange interne. Ils ont utilisé le logiciel FLUENT pour simuler le champ d'écoulement à l'intérieur et à proximité de la sortie de la buse sous les pressions d'alimentation en air. Les résultats ont montré que la pression d'alimentation en air augmentait, la vitesse de l'air augmentait et la vitesse du débit d'eau diminuait ; L'échelle de fractionnement du ruban liquide a également diminué continuellement, rendant le processus de fractionnement liquide initial plus efficace.
- **S. Mondak, A. Sadeghianjahroni et C-C. Wang [7].** ont comparé différentes techniques de fragmentation des métaux liquides pour produire des poudres métalliques. Ces techniques comprennent le fractionnement des gaz, le fractionnement centrifuge et le fractionnement eau/huile, puis les avantages et les inconvénients de chaque technique sont discutés en détail. La fragmentation hybride, qui est une combinaison de différentes techniques de fragmentation, est également représentée. Enfin, des modèles spéciaux de fragments ont été introduits pour améliorer la taille et la qualité des poudres.
- **R. Lui et al [8].**ont étudié la pulvérisation de biodiesel à l'aide de la technologie d'injection assistée par gaz (GAAI) par simulation numérique. L'accent a été mis sur l'effet de la pression ambiante, de la durée d'injection du carburant et de la température ambiante sur les propriétés de pulvérisation. Les résultats ont montré qu'une augmentation de la pression ambiante entraîne une diminution de la profondeur de pénétration du spray et de la taille des gouttelettes, et qu'une durée d'injection plus longue entraîne une accumulation accrue de gouttelettes à la sortie de la buse. Les gouttelettes plus grosses sont moins affectées par la température ambiante.
- Un processus d'évaporation soudaine du brouillard a été effectué et l'énergie interne a été utilisée comme force motrice pour améliorer l'évaporation du brouillard par **X. Li et al [9].** Des études récentes se concentrent sur les images et les caractéristiques du spray par évaporation flash, ainsi que sur les effets de la phase bi phasique dans la séparation initiale du spray. De plus, les caractéristiques des objets de brouillard externes de l'évaporation flash, telles qu'une vapeur dense et quelques gouttelettes, ont été étudiées. Les problèmes pratiques liés à l'adoption d'une vaporisation soudaine ont également été abordés, tels que le fait de mouiller la pointe de l'injecteur et les effets du jet frappant les parois.
- **T. Wang et al [10]** ont utilisé la technique combinant la stimulation double photon ite, la coloration de surface stimulée par laser et le contact optique pour capturer la géométrie instantanée d'une section transversale perpendiculaire à la direction principale de la nucléation du liquide dans le spray lorsqu'elle est exposée à un flux d'air latéral pendant la dispersion.
- **R. Kumar Yadav et V. Kumar Patel [11]** ont utilisé ANSYS FLUENT pour explorer numériquement les performances d'un injecteur air-eau afin de quantifier

l'effet du rapport air/liquide sur le diamètre moyen des particules dispersées. La simulation est effectuée à différentes vitesses de l'air et les valeurs du rapport des vitesses de l'air sont également différentes, gardant le débit d'eau constant. Les résultats ont montré que le degré de fragmentation le plus élevé et la valeur la plus faible du diamètre moyen des particules ont été observés à une vitesse de l'air de 190 m/s. Le diamètre moyen des particules est également affecté par le nombre de Reynolds (Re) et le nombre de Weber (We), où le nombre de Reynolds est lié à la vitesse et le nombre de Weber à la tension superficielle.

- Le débit et la pulvérisation du biodiesel dans une buse de dispersion vortex ont été analysés par **X. Ma, S. Wang, F, Li et al [12].** L'effet du débit d'air primaire et de la température sur les propriétés dispersives dans les champs d'écoulement interne et externe du biodiesel est discuté à travers des simulations et des expériences. La vitesse du biodiesel dans la buse et dans la chambre de mélange était répartie symétriquement. À mesure que le débit d'air primaire augmentait, la zone de vitesse maximale augmentait et la forme de l'énergie cinétique turbulente du biodiesel passait de verticale à conique. Lorsque le débit d'air de base augmentait de 10 à 30 L/min, le diamètre moyen des particules diminuait de 95 à 28 μm, et lorsqu'il augmentait à 50 L/min, le diamètre changeait peu. À mesure que la température du carburant augmentait, la vitesse de pulvérisation augmentait et la taille des particules diminuait progressivement, tandis que la taille des particules restait presque constante à chaque période à plus de 45 ℃.
- Une augmentation de l'énergie cinétique spécifique du liquide a été découverte avec l'augmentation de la pression par **F. Zhang et al [13].** Ce qui est plus évident dans la gamme des hautes fréquences, et une estimation de premier ordre a été proposé qui pourrait être utilisée pour évaluer l'énergie cinétique du liquide. Les résultats ont été vérifiés par des simulations à double résolution et ont montré un comportement indépendant du réseau par rapport aux propriétés de base du processus de fragmentation initial. Cependant, une meilleure similarité a été obtenue dans les processus ultérieurs d'atomisation secondaire et de dispersion par pulvérisation utilisant un maillage plus fin.
- **X. Ma. Wang et al [14]** ont examiné l'effet du débit d'air et de la température sur les caractéristiques d'atomisation dans la buse d'atomisation vortex, puis ils ont effectué des simulations et des expériences pour étudier les champs d'écoulement du biodiesel. Ils ont découvert que le débit d'air et la température ont un effet significatif sur la vitesse d'atomisation et la formation de vortex. Ces résultats pourraient contribuer à améliorer l'efficacité de l'utilisation du biodiesel.
- La technologie d'évaporation par pulvérisation rotative et ses avantages dans le traitement des eaux usées à haute salinité et sans rejet de fluide ont été étudiés par **F. Xu et al [15].** Les résultats numériques montrent que la vitesse d'atomisation affecte les gouttelettes pulvérisées sur la paroi de la tour et contribue à augmenter le taux d'évaporation.
- Un dispositif façonné a été conçu pour appliquer la technologie plasma à l'atomisation du carburant par **L. Chen et al [16].** Ils ont effectué des tests pour

déterminer les effets du débit et de la tension électrique sur les propriétés d'atomisation. Ils ont constaté que l'introduction du plasma peut améliorer considérablement les propriétés d'atomisation, car la pulvérisation peut être réduite. Et sa capacité à pénétrer dans le carburant peut être augmentée.

- **H. Yu, Y-C. Jin, W. Cheng et al [17]**ont utilisé une méthode multi-échelle pour explorer les propriétés de fragmentation atomique d'une buse de pulvérisation à pression isotrope pour la réduction des poussières. Ils ont utilisé des modèles tels que des simulations de consolidation à grande échelle et le modèle de volume de liquide (VOF) pour prédire la fragmentation du noyau liquide, ils ont également analysé la distribution de la vitesse, du diamètre moyen et de la concentration des gouttelettes sous différentes pressions de pulvérisation. Les résultats ont montré une bonne correspondance avec les données expérimentales.
- **H. Han et al [18]** ont étudié la buse de pulvérisation et l'effet de la pression de l'eau sur la réduction des poussières. Cela a été réalisé grâce à des simulations et des expériences qui ont montré que l'augmentation de la pression de l'eau entraînait une amélioration de l'atomisation des particules et une réduction de la poussière.
- Une stratégie numérique a été étudiée pour simuler l'interaction des ondes sonores avec l'atomisation par pulvérisation dans les moteurs fusées liquides, et une étude de l'efficacité de cette stratégie pour représenter le processus d'interaction est évaluée par **V. Rutard, et al [19].** Une simulation numérique d'un jet de liquide avec modulation acoustique incidente a été réalisée et les résultats ont montré qu'elle est efficace pour représenter l'atomisation du spray et l'effet des ondes sonores sur celui-ci.

Chapitre III :
Modélisation mathématique

III.1 Introduction :

Ce chapitre traite de la modélisation mathématique du transfert de chaleur et de l'écoulement de fluide incompressible. Au fil des décennies, les scientifiques Brandt, Navier, Stokes et Reynolds ont apporté d'importantes contributions à l'exploration des Lois fondamentales de la mécanique des fluides. Désormais, les ingénieurs peuvent appliquer ces connaissances pour améliorer la vie de la société dans divers domaines. La mécanique des fluides se compose de trois équations principales : l'équation de continuité, l'équation de quantité de mouvement et l'équation d'énergie. Dans ce chapitre, ces équations et les lois fondamentales régissant le problème simultané de la dynamique sont présentées.

III. 2 Modélisation de l'écoulement des fluides :

Tous les problèmes de Dynamique des Fluides Numérique (CFD) sont construits sur les Lois fondamentales de la mécanique des fluides. D'entre eux :

III. 2.1 Equation de Navier stockes :

Nous considérons l'écoulement de deux liquides incompressibles, newtoniens et non miscibles, les équations de Navier-Stokes peuvent être utilisées pour déterminer la dynamique de l'écoulement. Les équations de Navier-Stokes sont un ensemble d'équations aux dérivées partielles décrivant le mouvement des liquides visqueux basées sur les lois du mouvement de Newton et sur l'hypothèse d'immiscibilité.

$$\frac{\partial \rho_k V_k}{\partial t} + (\rho_k V_k V_k) = \rho_k g - \nabla \rho_k \nabla (2\mu_k s_k) \qquad \textbf{(III.1)}$$

III. 2.2 Equation de continuité :

Cette équation concerne le principe de conservation de la masse dans un élément.

Elle exprime l'égalité de la variation de la masse d'élément et de la déférence entre la quantité de fluide qui entre la quantité de fluide pendant le même temps.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0 \qquad \textbf{(III.2)}$$

Ou dans une notation plus compacte

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{div}\,(\rho \mathbf{u}) = 0 \qquad \textbf{(III.3)}$$

Ainsi, l'incompressibilité d'un fluide $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ se traduit par la relation suivante :

$$\mathbf{div}\, u = 0 \textbf{(III.4)}$$

III. 2.3 Equation de quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. Il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Les équations de la quantité de mouvement (ou équations de Navier-Stokes) pour des fluides newtoniens incompressibles en régime laminaire sont données par les expressions suivantes :

Suivant OX :

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{2x}}{\partial z}\right)+[\rho-\rho_0]g_x \quad \text{(III.5)}$$

Suivant OY:

$$\rho\left(\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{t}}+\mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}}+\mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}+\mathrm{w}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{z}}\right)=-\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial \mathrm{y}}+\left(\frac{\partial \tau_{x\gamma}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial \tau_{\mathrm{yy}}}{\partial \mathrm{y}}+\frac{\partial \tau_{\mathrm{zy}}}{\partial \mathrm{z}}\right)+[\rho-\rho_0]g_y \quad \text{(III.6)}$$

Suivant OZ :

$$\rho\left(\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{t}}+\mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{x}}+\mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{y}}+\mathrm{w}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{z}}\right)=-\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial \mathrm{z}}+\left(\frac{\partial \tau_{\mathrm{xz}}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial \tau_{\mathrm{yz}}}{\partial \mathrm{y}}+\frac{\partial \tau_{\mathrm{zz}}}{\partial \mathrm{z}}\right)+[\rho-\rho_0]g_{\mathrm{z}} \quad \text{(III.7)}$$

Où les composants du tenseur des contraintes visqueuses sont donnés par :

$$\tau_{yx}=\tau_{xy}=\mu\left[\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right];\qquad \tau_{yz}=\tau_{zy}=\mu\left[\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right];\qquad \tau_{xz}=\tau_{zx}=\mu\left[\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right];$$

$$\tau_{xx}=\mu\left[2\frac{\partial u}{\partial x}\right];\tau_{yy}=\mu\left[2\frac{\partial v}{\partial y}\right];\tau_{zz}=\mu\left[2\frac{\partial w}{\partial z}\right].$$

III.3. Equation de conservation d'énergie :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie par :

$$\rho C_p\frac{DT}{Dt}+\rho C_p U.\nabla T=\mathrm{div}(\lambda grad)+\emptyset \quad \text{(III.8)}$$

Ou :

$$\emptyset=\tau_{xx}\frac{\partial u}{\partial x}+\tau_{yx}\frac{\partial u}{\partial y}+\tau_{zx}\frac{\partial u}{\partial z}+\tau_{yy}\frac{\partial v}{\partial y}+\tau_{zy}\frac{\partial v}{\partial z}+\tau_{xz}\frac{\partial w}{\partial x}+\tau_{yz}\frac{\partial w}{\partial y}+\tau_{zz}\frac{\partial w}{\partial z} \quad \text{(II.9)}$$

Avec :

$\boldsymbol{\rho c_P\frac{DT}{Dt}}$ **:** La variation totale d'énergie.

$\boldsymbol{\rho c_P U \cdot \nabla T}$ **:** La variation d'énergie par convection.

$\mathbf{div}(\boldsymbol{\lambda grad})$ **:** La variation d'énergie par conduction.

$\boldsymbol{\emptyset}$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux [20].

III.4.Bilan d'énergie :

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

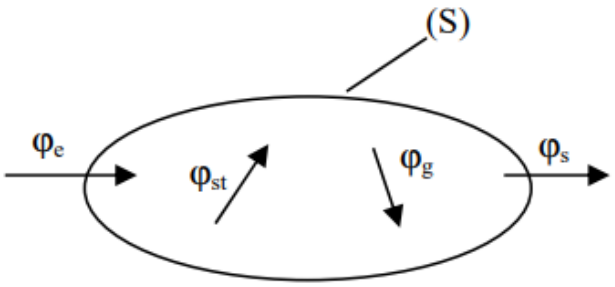


Figure III.1. Bilan énergétique

$\boldsymbol{\varphi_{st}}$ **:** Flux de chaleur stocké

$\boldsymbol{\varphi_g}$ **:** Flux de chaleur généré dans le système (S)

$\boldsymbol{\varphi_e}$ **:** Flux de chaleur entrant

$\boldsymbol{\varphi_s}$ **:** Flux de chaleur sortant

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) : $\varphi_e + \varphi_s = \varphi_g + \varphi_{st}$(III.10)

III.5.Les différents modes de transfert de chaleur :

Dans le processus d'échange de chaleur, il existe deux systèmes avec des températures différentes, le transfert de chaleur se produit du système le plus chaud au système le plus froid, et cela se produit dans de nombreux cas tels que les moteurs thermiques et électriques et les centrales électriques fonctionnant aux combustibles fossiles ou au gaz [21].

La conversion de l'énergie en un flux de chaleur se produit, ce qui transfère l'énergie de la zone chaude à la zone froide. Il existe trois principaux modes de transfert de chaleur : la conduction, convection et le rayonnement.

III.5.1.Transfert de chaleur par conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.
La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier [22] : La densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T)$$

Ou sous forme algébrique :

$$\varphi = -\lambda \, S \frac{\partial T}{\partial x}$$

Avec :

$\boldsymbol{\varphi}$ Flux de chaleur transmis par conduction (W)

$\boldsymbol{\lambda}$ Conductivité thermique du milieu $(W\ m^{-1}\ °C^{-1})$

$\boldsymbol{x}$ Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S Air de la section de passage du flux de chaleur (m^2)

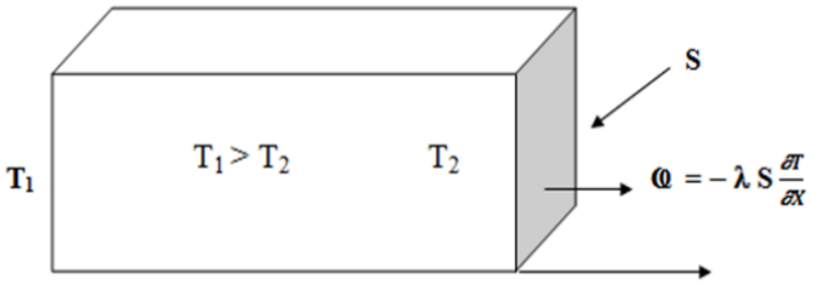


Figure III.2.schéma de transfert de chaleur par conduction

III.5.2.Transfert de chaleur par convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.
Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton [22] :

$$\varphi = hS(T_P - T_\infty)$$

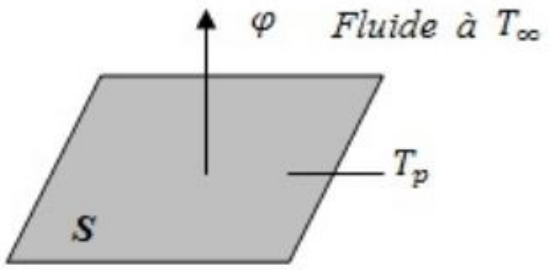


Figure III.3. Schéma du transfert de chaleur par convection

Avec :

$\boldsymbol{\varphi}$ Flux de chaleur transmis par convection (W)

$\boldsymbol{h}$ Coefficient de transfert de chaleur par convection ($Wm^{-2\circ}C^{-1}$)

$\boldsymbol{T_p}$ Température de la surface ($°C$)

$\boldsymbol{T_\infty}$ Températeur du milieu environnant la surface($°C$)

S Aire de la surface de contact solide / fluide (m^2)

III.5.3.Transfert de chaleur par rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation [22] :

$$\varphi = \sigma\varepsilon_p S\left(T_p^4 - T_\infty^4\right)$$

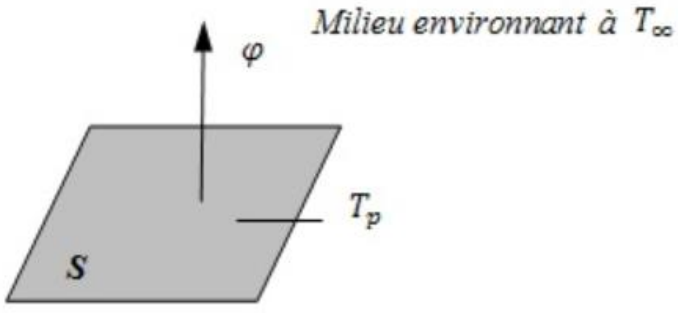


Figure III.4. Schéma de transfert de chaleur par rayonnement.

Avec :

φFlux de chaleur transmis pa rayonnement (W)

σ Constant de Stephan ($5.67 \times 10^{-8} \mathrm{W} m^{-2} K^{-4}$)

$\boldsymbol{\varepsilon_p}$Fracteur d'émission de la surface

$\boldsymbol{T_p}$Température de la surface(K)

$\boldsymbol{T_\infty}$Températeur de milieu environnant la surface(K)

S Air de la surface (m^2)

III.6.Le nombre de Reynolds :

C'est un concept important pour caractériser les écoulements. Il est défini par cette formule [23] :

$$\mathrm{Re} = \frac{u_m\, d}{v} \qquad \text{(III.15)}$$

Avec v est la viscosité cinématique du fluide.

- Si Re < 2400 on est en régime laminaire.
- Pour des vitesses plus élevées, Re >> 2400, le régime turbulent apparaît

III.7.Le nombre de Prandtl :

C'est un autre nombre important pour caractériser les fluides. Comme tu l'as mentionné, il est entièrement caractéristique du fluide considéré [23]. En fait, l'inverse du nombre de Prandtl est appelé le nombre de Stanton par les thermiciens français. Dans le cas des gaz, $\mathbf{p_r}$il est généralement constant avec la pression et la température, mais il varie en fonction des changements thermiques $\mathbf{C_p}$ (T).

$$\mathrm{p_r} = \frac{\mu \mathrm{C_p}}{\mathrm{k}} \text{(III.16)}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit les principales équations mathématiques qui régissent les écoulements des fluides, ainsi que les différents modes de transfert de chaleur tels que la conduction, la convection et le rayonnement thermique.

Au prochain chapitre, nous aborderons les méthodes numériques utilisées pour résoudre ces équations, notamment la méthode des différences finies, la méthode des éléments finis et la méthode des volumes finis. Ces méthodes permettent de discrétiser les équations et de les résoudre numériquement pour obtenir des solutions approchées.

Chapitre IV :

Méthodes numérique

IV.1 Introduction

Pour résoudre un problème de physique, il est important de distinguer un modèle physique d'un modèle mathématique. Diverses méthodes numériques sont utilisées pour la solution analytique des équations aux dérivées partielles (EDP) régissant ce type d'écoulement. Parmi ces méthodes, on mentionne la méthode des variances spécifiques, la méthode des éléments spécifiques et la méthode des tailles spécifiques.

Le principe de ces méthodes est de transformer des équations différentielles en un système d'équations algébriques.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur la méthode des éléments spécifiques. Cette méthode sera appliquée pour résoudre notre problème thermique en utilisant le programme de simulation CFD ANSYS.

IV.2.Les trois grandes familles de méthodes :

Il y'a trois méthodes numériques qui sont utilisées généralement pour la résolution des systèmes d'équations aux drivées partielles régissant les écoulements. Ces méthodes sont :

•La méthode des différences finies.

• La méthode des éléments finis.

•La méthode des volumes finis.

IV.2.1.méthode des différences finies :

La méthode des différences finies est une autre méthode utilisée pour résoudre des équations en dynamique des fluides. Cette méthode consiste à remplacer les dérivées par des différences de partition ou des ensembles de valeurs ponctuelles dans une grille spécifiée. Le domaine est divisé en points ou nœuds discrets, et les dérivées sont approximées à l'aide de différences finies. Les différences finies transforment les équations différentielles en un système d'équations algébriques pouvant être résolues numériquement. La méthode des différences finies se caractérise par sa simplicité d'écriture et son faible coût de calcul. Cependant, cela nécessite des considérations géométriques pour définir le réseau et des difficultés dans la gestion des conditions aux limites liées à des dérivées ou des gradients inconnus.

Avantages	Inconvénients
✓ grande simplicité d'écriture. ✓ faible coût de calcul.	✓ Limitation de la géométrie des domaines de calculs. ✓ difficultés de prise en compte des conditions aux limites portant sur les dérivées.

Tableau IV.1. Les avantages et Inconvénients de méthode des différences finies

IV.2.2.méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis repose sur la collecte des équations différentielles régissant un système particulier et sur leur conversion en équations algébriques. Ces méthodes

peuvent être facilement programmées, c'est pourquoi elles sont populaires et populaires. Initialement, il a été développé pour résoudre des problèmes structurels, mais il est désormais étendu à de nombreux problèmes dans différents domaines. Le matériau est divisé en éléments géométriques simples et les nœuds sont les points de rencontre de ces éléments. Des forces internes et externes sont appliquées à ces nœuds, et le système est analysé par le maillage d'éléments.

Avantages	Inconvénients
✓ Mise en œuvre relativement facile ✓ Applicable aux géométries complexes	✓ Moins précis que les méthodes spectrales.

TableauIV.2. Les avantages et Inconvénients de méthode des éléments finis

IV.2.3.méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis est une méthode numérique utilisée pour résoudre des équations aux dérivées partielles. Elle diffère des autres méthodes telles que la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis en ce sens qu'elle se rapproche des intégrales plutôt que des dérivées.

Dans cette méthode, les lois de conservation (telles que la masse, la quantité de mouvement et l'énergie) sont exprimées localement sous forme d'intégrales. La clé de cette méthode réside dans l'utilisation du théorème de divergence d'Ostrogradski, dans lequel l'intégrale volumétrique est convertie en intégrale de surface.

L'un des principaux avantages de la méthode des volumes finis est d'assurer une conservation intégrale précise des quantités quelle que soit la taille des mailles utilisée. Cela en fait une méthode couramment utilisée pour résoudre des phénomènes régis par des équations aux dérivées partielles.

Avantages	Inconvénients
✓ Traitement possible de géométries complexes. ✓ détermination plus naturelle des conditions aux limites. ✓ possibilité de démonstrations mathématiques de convergence et de majoration d'erreurs.	✓ Complexité de mise en œuvre ✓ coût en temps de calcul et en mémoire.

Tableau IV.3. Les avantages et Inconvénients de méthode des volumes finis

IV.3. Méthodes numériques de discrétisation :

Les méthodes de différenciation sont l'ensemble des étapes utilisées pour résoudre numériquement des équations différentielles. Lorsque des méthodes numériques sont appliquées pour calculer des champs, des programmes associés à ces méthodes sont créés.

Ces programmes peuvent être écrits pour résoudre un problème donné, en tenant compte de sa géométrie, de ses propriétés physiques et de ses conditions aux limites. Il existe des programmes polyvalents appelés technologie CAO, conçus pour traiter un large éventail de problèmes du même type. Quelques exemples de ces programmes sont PDETOOL dans MATLAB et ANSYS. Vous pouvez décrire votre problème d'ingénierie, ses propriétés physiques, votre réseau et les limites de la région que vous étudiez. Vous pouvez ensuite mettre en œuvre une méthode de simulation numérique appropriée telle que les différences finies, les éléments finis ou les volumes finis.

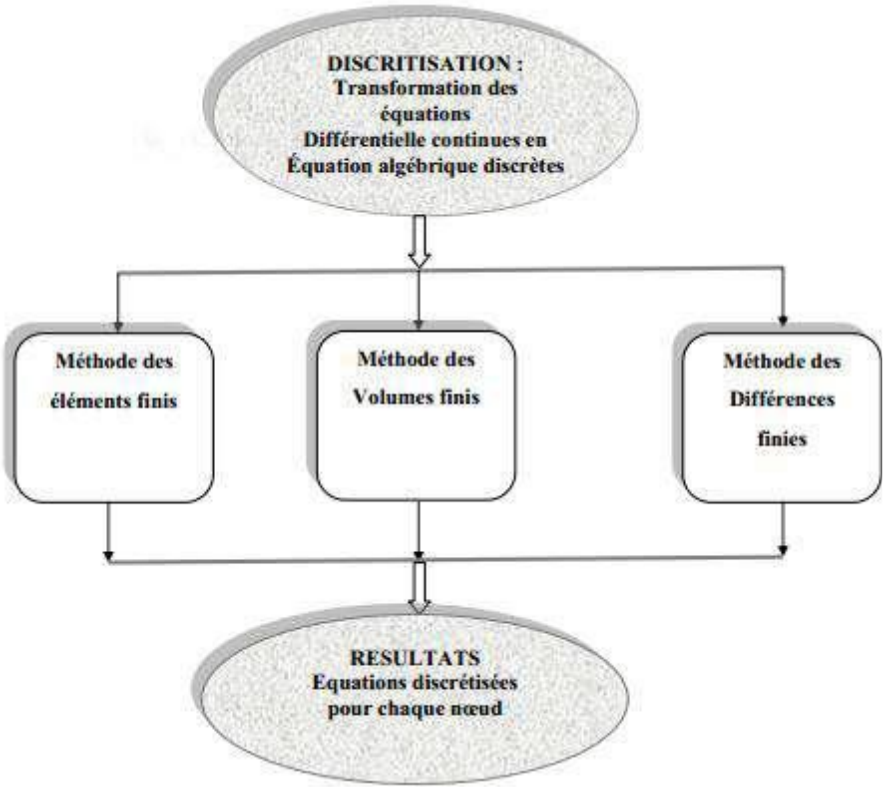


Figure IV.1. Méthode de discrétisations

Dans ce qui suit on se limite a examiné uniquement la méthode des éléments finis, nous Venons de décrire succinctement l'approche globale de cette méthode. Par la suite, nous Exposerons les principales étapes mathématiques de discrétisation de l'équation de chaleur par cette dernière.

IV.4.Présentation de la méthode :

Comme nous l'avons précédemment évoquée, La méthode des éléments finis a pour but de remplacer un problème mathématique défini dans un milieu continu et sous la forme d'équations différentielles ou d'intégrales, par un problème discret sous forme matricielle

qu'il est possible de résoudre numériquement. En résumé, cette méthode nécessite la discrétisation d'un continuum en un modèle composé d'un assemblage d'éléments finis qui possèdent des formes et des tailles variées. De plus, le calcul de la solution nécessite la priseen compte d'un certain nombre de paramètres, tels que :

- La géométrie discrétisée en éléments finis.
- Les contraintes imposées sur le dispositif.
- Les excitations présentes dans le dispositif.
- Les propriétés des matériaux composant le dispositif.

Les principales étapes de construction d'un modèle éléments finis sont illustrées dans la figure suivante :

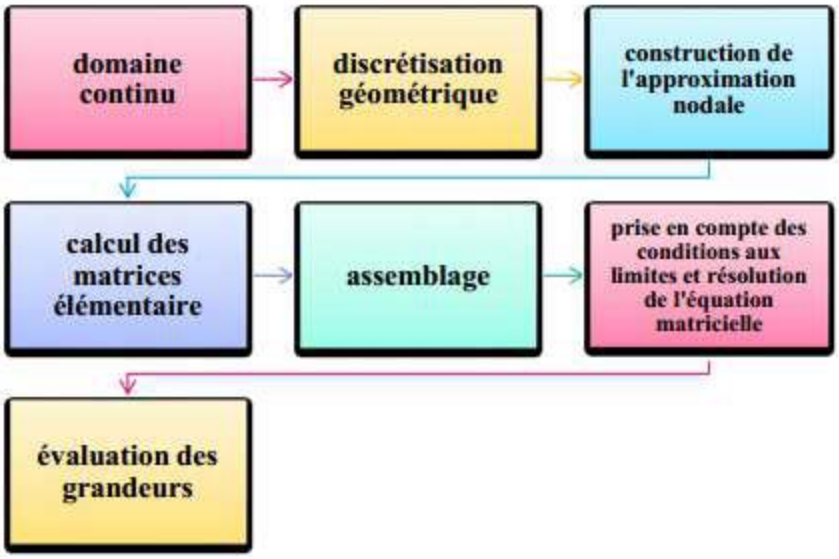


Figure IV.2. Démarche éléments finis.

IV.5.Méthode des volumes finis pour la résolution numérique :

IV.5.1. Présentation de la méthode des volumes finis :

Cette méthode permet de diviser le domaine en petits éléments appelés volumes de contrôle, puis l'équation d'évolution est intégrée dans chaque volume. Ensuite, les équations partielles sont combinées dans le volume pour obtenir des équations discrètes reliant les valeurs centrales aux valeurs voisines. Cette méthode s'appuie sur l'étape de discrimination spatiale pour garantir la précision des calculs. Cette étape doit être soigneusement déterminée pour assurer la stabilité des comptes.

IV.5.2. Maillage dans la méthode des volumes finis :

Dans la méthode des volumes finis, le domaine de calcul est divisé en un ensemble de contrôleurs. Ces tailles incluent l'ensemble du domaine de calcul, et la somme de leurs tailles est égale à la taille du domaine de calcul. Chaque contrôleur possède un centre appelé centre de contrôle du volume, noté P. Il existe des contrôleurs adjacents appelés N, S, W, E, T, B selon leurs emplacements (nord, sud, ouest, est, haut, bas).

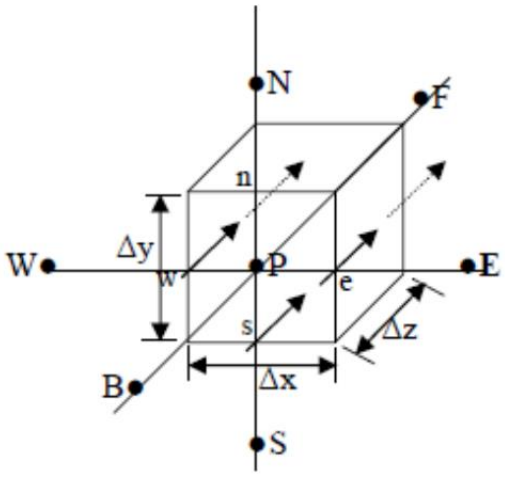


Figure IV.3. Volume de contrôle

IV.6.Mise en œuvre de la méthode des éléments finis :

IV.6.1.Formulation variationelle forte :

La formulation forte d`un problème aux conditions aux limites s`écrit alors comme suit Trouver $U(x)U(x)\epsilon$ espace des solutions US tel que [24]

$\mathcal{L}(u) - F = 0 \; \forall$ x $\epsilon \Omega B(u) = u_0 \forall$ x $\epsilon \Gamma u 0$ **(IV.1)**

On note que l'espace Us dans lequel nous recherchons la fonction u, doit être défini judicieusement.

IV.6.2.Formulation variationelle faible :

La formation vibrationnelle faible peut être obtenue par l'étable suivante :

1- Approcher la solution u. partout dans le domaineΩ, par u tel que

$\bar{u}= \sum_{i=1}^{n} Ni\, \overline{Ui}$ (IV-2)

On Ni =Ni (x, y) désignent les fonctions $\bar{U}$ et des valeurs nodales interminées

2- introduire (III-2) dans (III-1) il en résulte une erreur ou un résidu ε tel que

$\varepsilon= \zeta(\bar{U})$ - F$\neq$0 (IV -3)

3- obstiner une valeur nulle de ε en introduisant une fonction de point arbitraire w tel que

$\int w\, (\zeta(\bar{U}) - F)\, d\Omega=0$, k= 1, 2, 3……..N (IV-4)

On N nombre d'inconnues indépendants du système (IV-1)

En formulation de Galerkine les fonctions tests sont assimilées aux fonctions de forme.

On pose

$W_k = N_k \Rightarrow \int Nk\, \zeta(\sum_{i=1}^{n} Ni\bar{ui})\, d\Omega= 0$ (IV-5)

On dit que u $\varepsilon H^1{}_0$ (Ω) est une solution faible de (IV-4)

Si:

$\forall$ v ϵH $_0^1$ (Ω) a ($\overline{U}$, V) (IV-6)

A($\overline{U}$, V) est la forme bilinéaire associée à (ζ) soit Ωun ouvert borné R^d et dΩ est réqulier.on considére alors le probléme :

Lu = f sur Ω et u= 0 sur dΩ= 0

IV.7. Forme générale des équations du système[25]

Les équations du système sont écrites sous la forme généralisée suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho c_\phi \phi\right)+\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho V_X C_\phi \phi\right)+\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho V_Y C_\phi \phi\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right)+S_\phi \quad \text{(IV-7)}$$

Ou :

Φ : Variable généralisée

C_ϕ: Coefficient d'advection transitoire.

ΦΓ : Coefficient de diffusion.

S_ϕ: Termes source

Variable∅	Coefficient d'advection $c_\emptyset$	Diffusivité$\Gamma_\emptyset$	Termes source $S_\emptyset$
V_x	1	μ_t	$-\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left(\mu\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}}\right)+\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left(\mu\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{y}}\right)-\sigma\nabla\left\lvert\frac{\nabla_c}{\lVert\nabla_c\rVert}\right\rvert\frac{\nabla_c}{\lVert\nabla_c\rVert}$
v_y	1	μ_t	$-\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial \mathrm{y}}+\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left(\mu\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{y}}\right)+\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left(\mu\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}}\right)-\sigma\nabla\left\lvert\frac{\nabla_c}{\lVert\nabla_c\rVert}\right\rvert\frac{\nabla_c}{\lVert\nabla_c\rVert}$
T	1	$\frac{k}{\rho c^{\mathrm{e}}}$	$\frac{\varphi}{\rho \mathrm{C}^{\mathrm{e}}}$
ρ	1	0	0

Tableau IV.4. Expression des coefficients d`échange et des termes sources pour les différentes variables.

IV.8-Discrétisation *:*

La discrétisation de ces équations permet de convertir les équations aux dérivées partielles en équations algébriques qui sont alors résolues par les méthodes numériques traditionnelles. Le procédé de discrétisation par EF consiste à écrire, après intégration, l'équation généralisée, sous forme matricielle élémentaire [26].

$([A_B^{transient}] + [A_e^{Advection}] + [A_e^{transien}])(\phi e) = (S_e^{\phi})$ (IV-8)

IV.8.1-Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini*:*

a. Bilan Thermique : **Equation De Chaleur**

Soit v une partie quelconque de **V** limitée par la surface

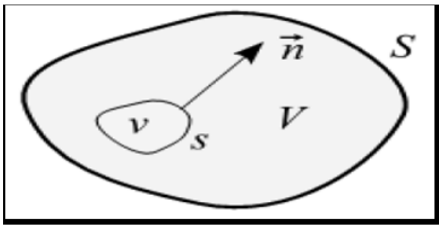


Figure IV.4. Bilan thermique

La puissance thermique stockée dans **v** est égale à la somme de la puissance thermique q générée par les sources volumiques contenues dans **V** et de la puissance thermique reçue sous forme de flux a travers la surface **S [26] :**

$\int \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} dv = \int q dv + \int -n(-\overline{\lambda grad} T)\, ds$ (IV-9)

Le domaine V étant arbitraire, on en déduit : en tout point du solide :

$\rho C_p \dot{T} - div(\overline{\lambda grad} T)\, q = 0$ (IV-10)

Pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (III-21) s'écrit dans le repère orthonormé (x,y)[24] :

$\rho C_p \dot{T} = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q$ (IV-11)

IV.8.2- Forme discrétisée : éléments finis

Le domaine V est décomposé en sous-domaines Ve de forme géométrique simple (les éléments) relies entre eux en des points appelés nœuds. Cette opération s'appelle maillage [28].

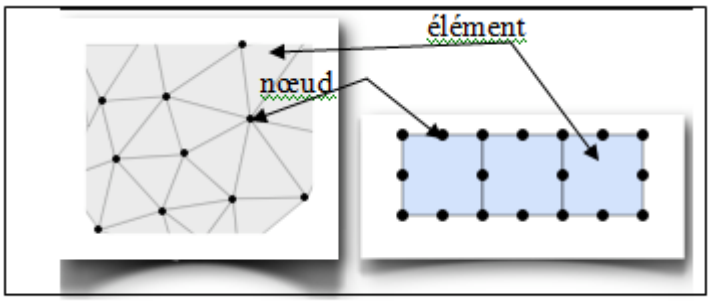


Figure IV.5. Domaine plan discrétisé en élément relies eux par nœuds.

IV.9.Présentation et description du logiciel ANSYS :

Le logiciel «ANSYS », a été développé par Dr. John Swan son, fondateur de la société «ANSYS », qui a son siège à Houston, PA, USA. Il s'agit d'un outil de développement en analyse d'ingénierie. La méthode utilisée est celle des éléments finis. Il est utilisé dans des domaines allant de l'automobile et l'électronique à l'aérospatiale et la chimie. Le logiciel ANSYS permet la modélisation de structures, produits, composantes ou systèmes et d'étudier leurs réponses physiques telles que les niveaux de contraintes, les distributions de température ou l'effet de champs électromagnétiques **[27].**

ANSYS permet également d'optimiser les paramètres de modélisation d'un système, de calculer des régressions linéaires et non linéaires et de générer des courbes de grande qualité. De plus, de nombreuses fonctions mathématiques et thermodynamiques utilisées dans le milieu de l'ingénierie sont incorporées dans le logiciel. ANSYS est le premier éditeur mondial dans le domaine du calcul par éléments finis. Les outils intégrés au logiciel permettent de résoudre les problèmes de validations produits de manière efficace. Ils permettent d'optimise le processus de conception (gain de temps énorme) et donc de proposer des produits plus innovants (intégration d'une pré-analyse dans le cycle de conception), de qualité plus élevée tout en minimisant les coûts. [28].

Les différentes étapes nécessaires à la simulation d'un problème physique :

- Type de calcul (2D ou 3D) ;
- Choix du maillage ;
- Équations résolues ;
- Conditions aux limites ;
- Conditions initiales ;
- Mise en place d'obstacles ;
- Méthodes et paramètres numériques (choix des schémas, résidus…). [29]

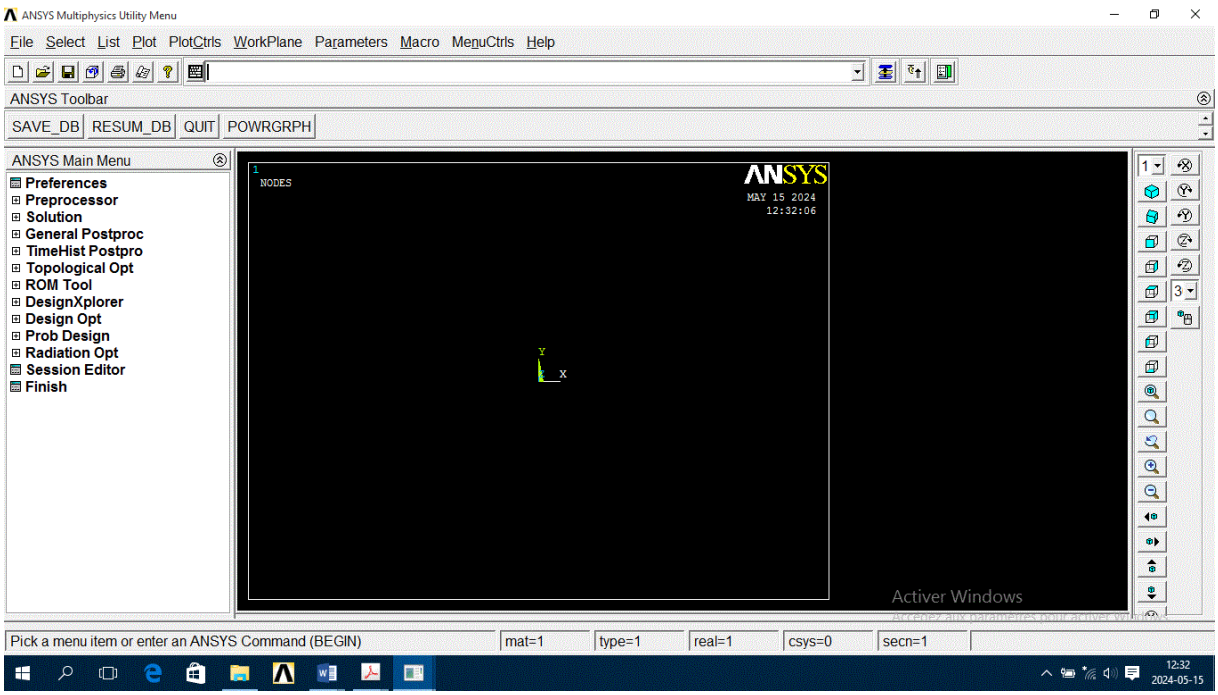


Figure IV.6. Représentation spatiale de L'interface d'ANSYS.

IV.9.1.Maillage :

D'habitude l'on choisit un maillage carré ou triangulaire mais rien n'interdit de choisir des maillages plus complexes. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et l'on a tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (par exemple aux endroits où l'on pense que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier). Plus ce maillage est resserré plus la solution que l'on obtient par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la solution de l'équation aux dérivés partielles.

Toutes ces opérations sont assistées par des logiciels dédiés à éléments finis Un maillage de très bonne qualité est essentiel pour l'obtention d'un résultat de calcul précis, robuste et signifiant. La qualité du maillage a un sérieux impact sur la convergence, la précision de la solution et surtout sur le temps de calcul.

Une bonne qualité de maillage repose sur la minimisation des éléments présentant des distorsions (skewness en anglais), et sur une bonne résolution dans les régions présentant un fort gradient (couches limites, ondes de choc,. . .). Un bon maillage doit également être suffisamment lisse.

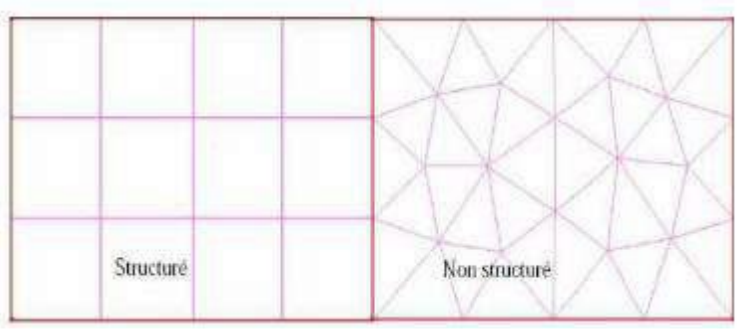


Figure IV.7. Maillages structuré et non structuré.

IV.10.La méthode VOF (Volume of Fluide) : est une méthode puissante pour la simulation des écoulements à deux ou plusieurs phases non miscibles. Elle permet de suivre l'évolution temporelle des fractions volumiques de chaque fluide dans un domaine maillé en utilisant le remplissage des cellules de calcul.

Cette méthode a été développée par Hirt et Nicols dans les années 80 [30] et elle résout un ensemble d'équations de quantité de mouvement pour chaque phase. Elle est couramment utilisée pour prédire la rupture d'un jet, le mouvement des bulles dans un liquide, le comportement du liquide après l'interruption d'un réservoir, ainsi que le déplacement d'interfaces liquide-gaz.

Cependant, il y a certaines limites à prendre en compte lors de l'utilisation de cette méthode. Tout d'abord, il est nécessaire d'avoir au moins une phase présente dans chaque cellule du maillage, ce qui signifie qu'aucune cellule ne peut être vide. De plus, seule une phase peut être compressible, tandis que l'autre phase doit rester incompressible.

Il est également important de noter que les écoulements périodiques ne peuvent pas être simulés lorsque le modèle VOF est activé, car il y a une incompatibilité entre les deux. Enfin, lorsqu'on utilise la méthode VOF dans des simulations transitoires, il est nécessaire de spécifier le nombre de Courant, qui est un nombre sans dimension comparant le pas de temps de calcul Δt au temps caractéristique nécessaire pour qu'un élément fluide traverse le volume de contrôle.

IV.10.1.Principe de la méthode de VOF :

La méthode VOF est très utile pour modéliser des écoulements avec des interfaces fortement déformées. Elle permet de définir l'emplacement de la surface libre de l'écoulement à chaque instant en utilisant une fonction discrète qui représente la fraction volumique de chaque phase dans chaque cellule.

Dans cette méthode, les éléments liquides et gaz (air) sont définis respectivement par Ck = l et Ck = 0. L'interface liquide-air est représentée par une valeur strictement comprise entre 0 et 1 dans l'élément mixte. Cette approche permet de suivre le mouvement et la déformation des interfaces au cours du temps.

C_k= 0 si x ∉ phase k

C_k (x_i, t) =0.5

C_k = 1 si x ∉ phase k

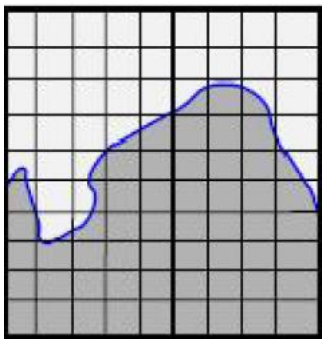


Figure IV.8. Méthode VOF [31]

Comme les marqueurs, la fonction Ck est advectée par le champ de vitesse u.

Dans le cas des écoulements incompressibles, l'équation d'advection de donne [32]

$\frac{\partial c_k}{\partial t} + u.\nabla C_k$(IV.12)

L'équation d'advection (IV.12)de la fonction Ck est utilisée pour décrire le transport de cette fonction par le champ de vitesse u. Cette équation est hyperbolique et conservative, ce qui signifie qu'elle assure la conservation de la masse lors du transport.

Cependant, il est important de noter que le transport d'une discontinuité, comme une interface entre deux phases, peut poser des difficultés en raison de la diffusion numérique des schémas numériques utilisés. Cela peut entraîner un étalement de la fonction Ck et rendre difficile la conservation précise de la discontinuité au fil du temps.

Pour résoudre ce problème, des algorithmes spécifiques peuvent être utilisés pour minimiser la diffusion numérique et améliorer la précision de la méthode VOF dans la modélisation des interfaces déformées.

Conclusion :

ANSYS-CFD est un outil puissant pour résoudre les équations mentionnées ci-dessus. Il utilise des méthodes d'éléments finis et VOF pour résoudre les problèmes associés à l'écoulement des fluides. Le logiciel offre une interface facile à utiliser et permet d'éviter le besoin d'une programmation numérique complexe.

CHAPITRE V :

Résultats et discussions

V.1.Introduction :

Dans cette section du mémoire, nous nous penchons sur l'étude de la dispersion et de l'atomisation d'un jet liquide à haute pression injecté dans un cylindre, en utilisant des simulations numériques. L'objectif principal de cette étude est d'analyser comment les paramètres de forme et de géométrie de l'injecteur influent sur la dispersion du liquide injecté à haute pression. Les résultats numériques ont été obtenus en utilisant deux techniques : EF/VOF pour les fluides miscibles et une méthode de traitement discrétisé des écoulements de fluides non miscibles, également basée sur les éléments finis. Ces simulations numériques nous ont permis de mieux comprendre comment les paramètres géométriques de l'injecteur impactent la dispersion du liquide injecté. Cette compréhension revêt une importance cruciale pour la conception et l'optimisation des systèmes d'injection à haute pression.

V.2.Identification :

Plusieurs études ont présenté les premiers résultats et les simulations numériques visant à explorer le comportement et la performance des systèmes d'injection. Les résultats de ces études numériques constituent une source précieuse de données et de références pour la validation des modèles d'injection.

Dans la première partie de notre travail, nous proposons de comparer les résultats de simulation de l'atomisation et de la dispersion de mélanges air-glycérine/eau, considérés comme des liquides newtoniens, à l'intérieur de la chambre de combustion, en utilisant les mêmes conditions numériques et expérimentales que celles employées par FEISCHI ZHANG et al [33].

Ensuite, toujours dans les mêmes conditions numériques, nous analysons l'influence de la forme et des paramètres géométriques de l'injecteur sur la dispersion du liquide injecté à haute pression. Cette approche vise à améliorer notre compréhension de l'impact des caractéristiques géométriques des injecteurs et à optimiser leur conception pour obtenir des performances optimales.

Tableau V.1. Propriétés thermique et dynamique utilisé pour le calcul [33].

Propriétés	Densité (Kg /m^3)	Viscosité (pas)	Vitesse (m/s)	Température (K)	Chaleur spécifique (KJ/kg.k)	Conductivité Thermique (W/m.k)
Glycérol /eau	1223	0.0012	1.4	293	2.43	0.29
Acier	7800	/	/	/	0.5	50.2
Air	1.205	0.000018	60	293	1007	0.025

Tableau V.2. Conditions d'injection utilisé pour le calcul numérique**[33].**

Diamètre d'injecteur (mm)	Vitesse d'injection (m/s)	Tension de surface (N/m)	Pression d'injection (KPa)
2	1.4	0.0648	1325

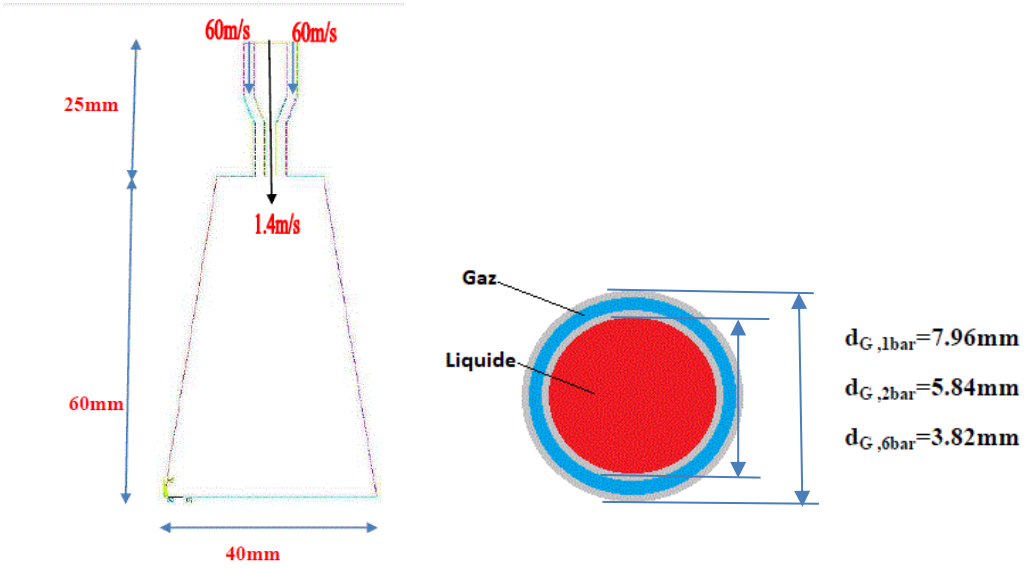


Figure V.1. Présentation spatiales de la configuration géométrique

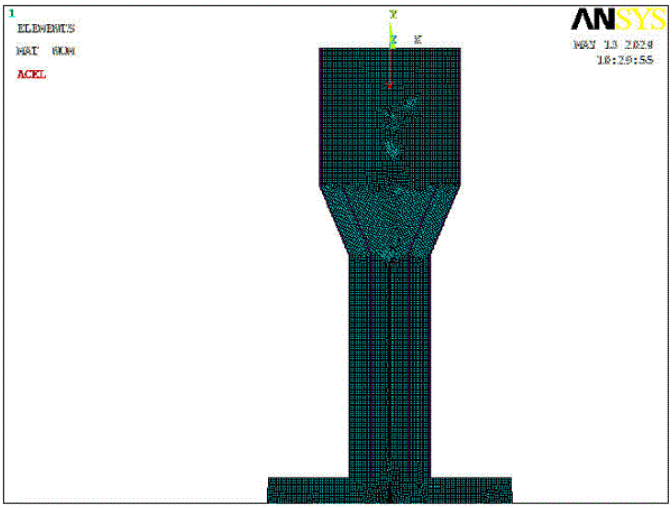


Figure V. 2. Présentation de maillage de domaine de calcul et d`injection avec zoom.

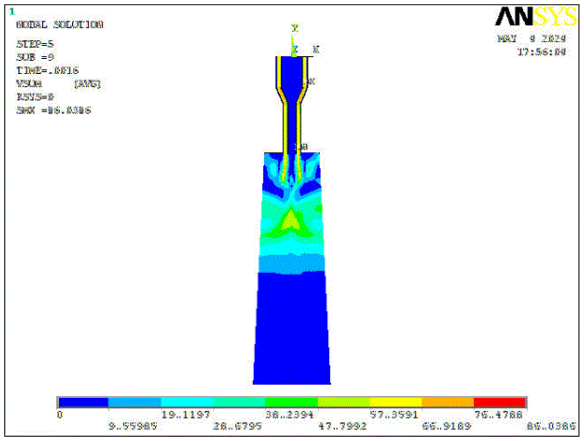


Figure V. 3. Présentation spatial de la vitesse axiale

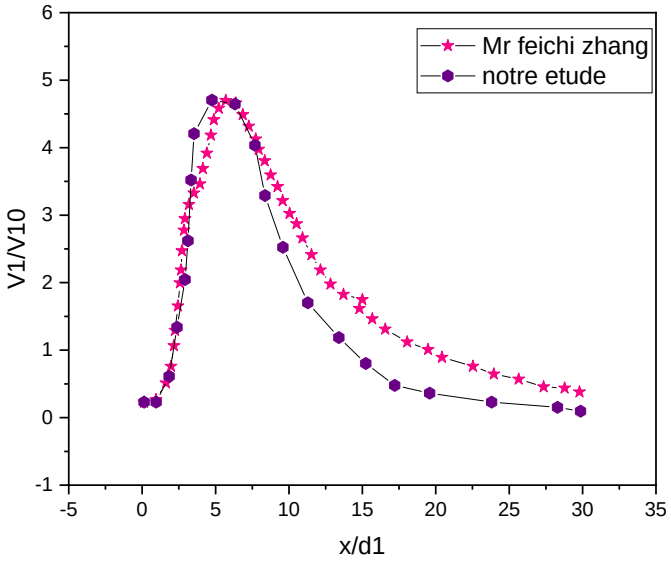


Figure V .4. Présentation graphique de variation du Flux volumique liquide axial de L`injecteur [33].

La figure V.4 illustre la variation de la vitesse axiale du jet liquide après sa dispersion dans l'injecteur, démontrant un bon accord entre nos résultats et ceux obtenus par FEISCHI ZHANG et ses collègues [33]. Une similitude notable entre les deux comportements est observée, bien qu'il existe quelques différences mineures. Ces divergences peuvent être attribuées aux méthodes de modélisation et de discrétisation utilisées.

De plus, il est remarquable que le volume de liquide de 5 m^3/s semble également réduire la vitesse d'écoulement en aval, en raison de la diffusion et de la fragmentation des ligaments de transport primaires en petits fragments. Cette diminution de la vitesse est directement attribuable à la dispersion et à la rupture du jet liquide, ce qui est en accord avec les observations théoriques et expérimentales.

V.3.Etude de l'influence de la pression d'entrainement :

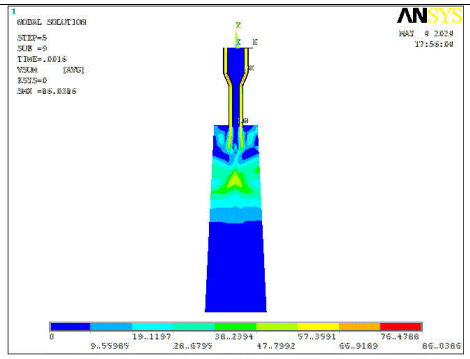
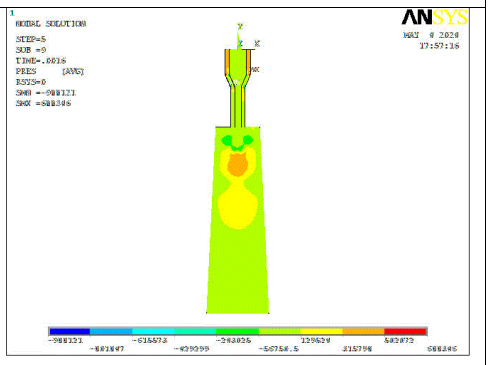
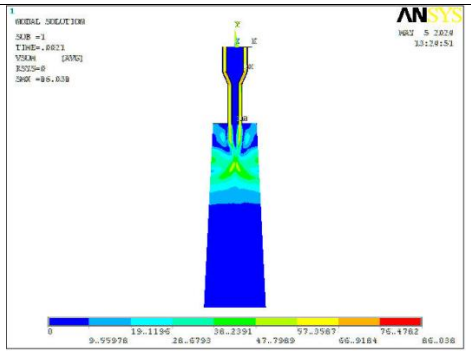
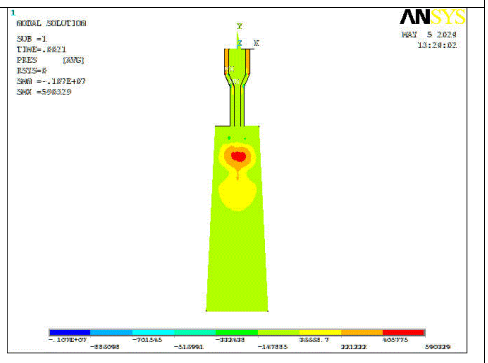
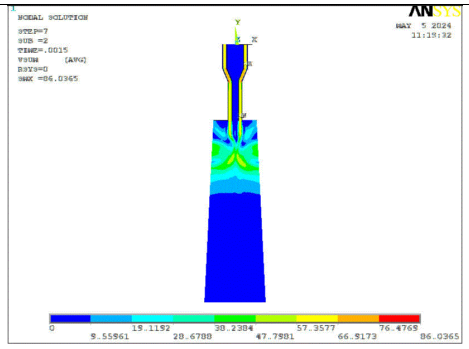
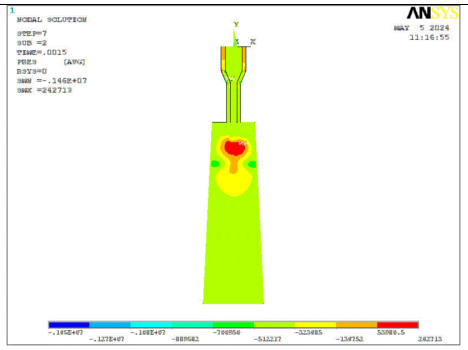
	Représentation spatial de la vitesse	Représentation spatial de la pression
P=1bar		
P=2bar		
P=6bar		

Figure V.5. Présentation spatial de la vitesse et la pression pour diffèrent pressions D`injection

D'après les figures présentées, il est évident que nous observons un changement spatial de la vitesse et de la pression au fil du temps pour trois pressions différentes. Nous constatons que la vitesse se propage transversalement, puis se répartit à l'intérieur du cylindre jusqu'à atteindre une stabilité. En ce qui concerne la pression, nous observons une évolution de celle-ci pour les trois cas à des pressions variées.

Interprétation physique :

La propagation transversale de la vitesse peut être attribuée à la dispersion initiale du jet liquide dans le cylindre. Au fur et à mesure que le temps avance, la vitesse se stabilise à mesure que le mélange liquide se disperse de manière plus uniforme dans l'espace de la

chambre de combustion. Cette stabilité de la vitesse indique une répartition homogène du liquide dans le cylindre, ce qui est essentiel pour une combustion efficace.

Quant à l'évolution de la pression, elle peut être le résultat de plusieurs facteurs, notamment la quantité de liquide injecté, les propriétés de combustion du carburant, et les variations de volume dans la chambre de combustion. Une pression plus élevée peut indiquer une plus grande quantité de carburant injectée ou une combustion plus vigoureuse, tandis qu'une pression plus faible peut suggérer un moindre apport en carburant ou des conditions de combustion moins optimales.

En résumé, l'observation de ces variations spatiales de la vitesse et de la pression au fil du temps nous permet de mieux comprendre les dynamiques de dispersion et de combustion à l'intérieur du cylindre, ce qui est essentiel pour optimiser les performances et l'efficacité des moteurs à combustion interne.

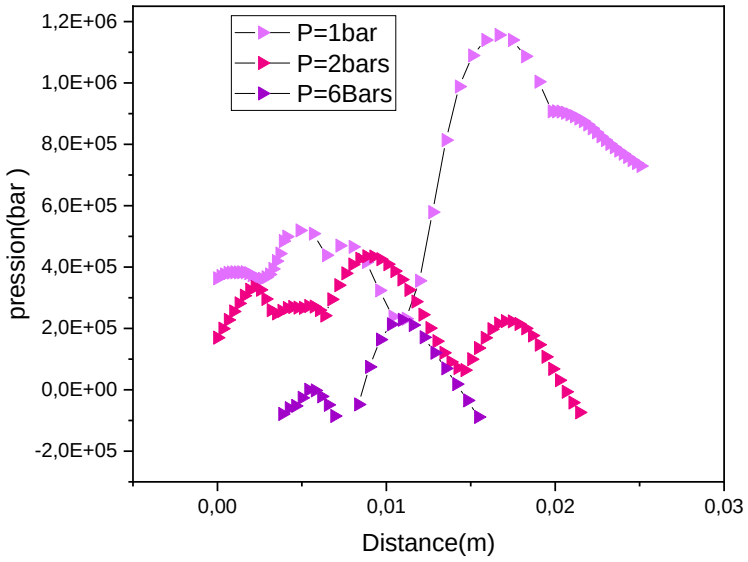


Figure V. 6 : la variation de la pression transversale pour trois différentes pressions d'injection.

La figure V.6 illustre le comportement de la pression le long de l'axe de l'injecteur pour trois pressions d'injection différentes. Les résultats révèlent que la pression varie après le processus d'injection dans chaque expérience, induisant ainsi des perturbations variables. Ces fluctuations sont attribuables à des phénomènes dynamiques engendrés par les changements de pression, ce qui conduit à la formation d'ondes instables et à la désintégration de fragments liquides.

Interprétation physique :

Les variations de pression observées peuvent être expliquées par les interactions complexes entre le jet liquide injecté et l'environnement environnant. Lorsque le liquide est injecté dans la chambre de combustion, il crée une perturbation dans le milieu ambiant, ce qui entraîne des variations de pression. Ces variations peuvent être amplifiées par des phénomènes tels

que les instabilités de l'écoulement et les turbulences, provoquant ainsi des fluctuations de pression le long de l'axe de l'injecteur.

En outre, la présence d'ondes instables et la désintégration de fragments liquides peuvent être le résultat de la dispersion du jet liquide dans la chambre de combustion. Les variations locales de pression peuvent influencer la forme et la structure du jet, entraînant la formation d'ondes instables et la fragmentation des fragments liquides. Ces phénomènes peuvent avoir un impact sur la combustion ultérieure du carburant et doivent donc être pris en compte dans la conception et l'optimisation des systèmes d'injection.

V.4.Représentation des profils des vitesses :

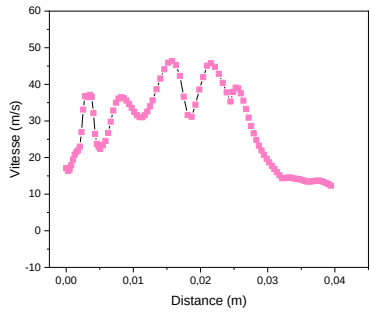
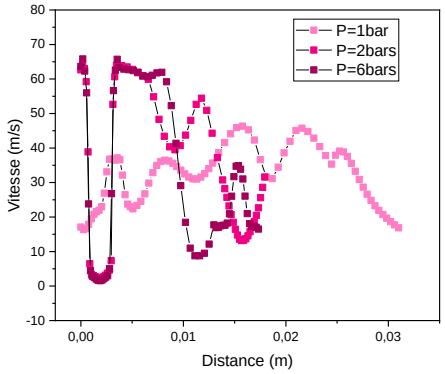
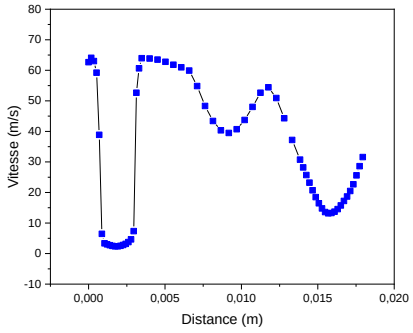
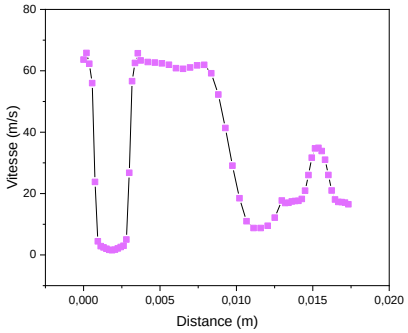
	Profil de vitesse	Comparaison
P=1bar		
P=2bar		
P=6bar		

Figure V. 7. Présentation des profils des vitesses dans chaque pression et ça comparaison

La figure V.7 représente le comportement de la pression le long de l'axe de l'injecteur pour trois pressions d'injection différentes. Les résultats révèlent que la pression varie après le processus d'injection dans chaque expérience, ce qui explique la présence de perturbations variables. Ces perturbations sont dues à des comportements dynamiques causés par les changements de pression, entraînant la formation d'ondes instables et la désintégration de fragments liquides.

Interprétation physique :

Lorsque le liquide est injecté dans la chambre de combustion, il crée une perturbation dans l'environnement environnant, entraînant des fluctuations de pression le long de l'axe de l'injecteur. Ces fluctuations peuvent être attribuées à des instabilités hydrodynamiques et à des phénomènes de turbulence induits par l'interaction entre le jet liquide et le milieu ambiant.

Les variations de pression le long de l'axe de l'injecteur peuvent également être amplifiées par des facteurs tels que la géométrie de l'injecteur, la vitesse d'injection et les caractéristiques du carburant. Ces fluctuations locales de pression peuvent influencer la forme et la structure du jet liquide, entraînant la formation d'ondes instables et la désintégration de fragments liquides.

En somme, l'observation de ces variations de pression offre un aperçu précieux des phénomènes dynamiques qui se produisent lors du processus d'injection, ce qui est essentiel pour comprendre et optimiser le comportement des systèmes d'injection dans les moteurs à combustion interne.

V.5.Analyse des résultats des simulations numériques pour le cas référence :

V.5.1. P=1bar

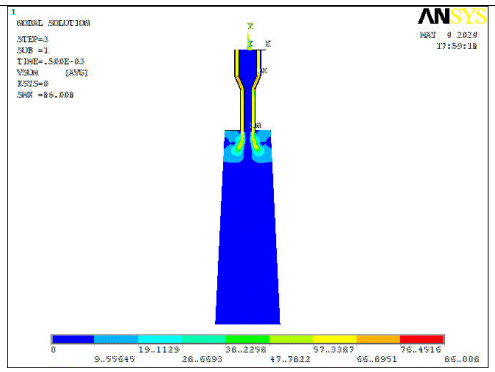
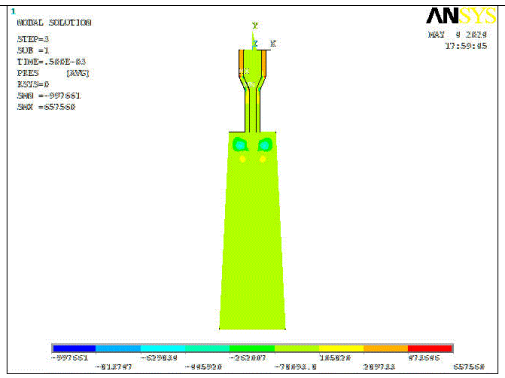
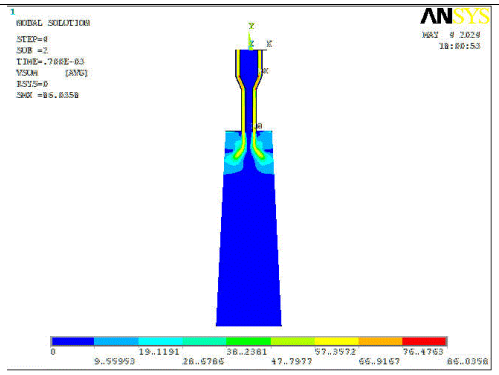
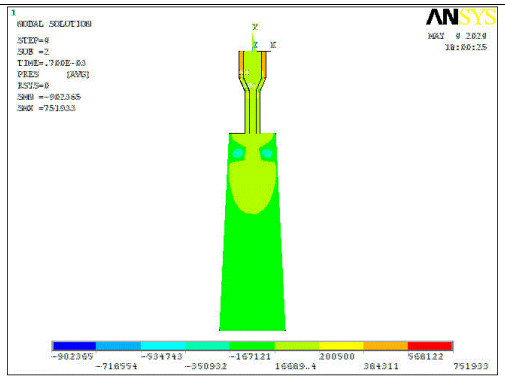
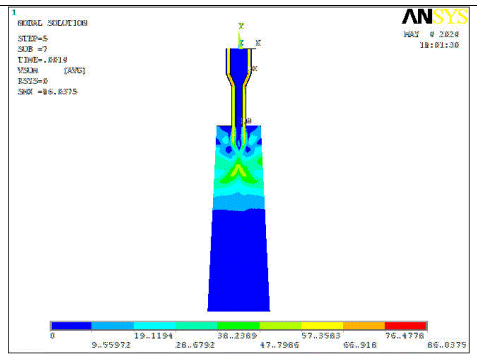
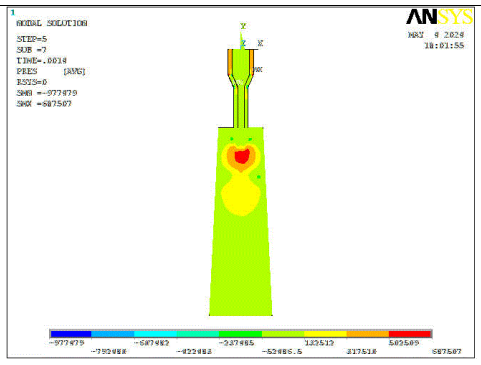
	Représentation spatial de la vitesse	Représentation spatial de la pression
$2*10^{-2}$		
$4*10^{-4}$		
$8*10^{-4}$		

Figure V.8. Présentation spatiale de la dynamique de diffusion du jet dans le cylindre pour une pression d'injection P= 1bar

La Figure V.8 représente l'évolution spatiale de la vitesse et de la pression du liquide lorsque la pression d'injection est de 1 bar. Les résultats sont pris à trois moments différents, et nous observons une propagation progressive de la vitesse du fluide dans la chambre de combustion à chaque instant, expliquant ainsi les variations observées dans les résultats. D'autre part, la pression d'injection varie également à chaque instant, et nous avons noté que la pression se diffuse uniformément dans la chambre de combustion à tout moment.

Interprétation physique :

La propagation progressive de la vitesse du fluide dans la chambre de combustion peut être attribuée à la dispersion du jet liquide initialement injecté. Au fil du temps, le liquide se mélange de manière plus homogène avec le milieu ambiant, ce qui se traduit par une augmentation progressive de la vitesse dans la chambre de combustion.

Quant à la diffusion uniforme de la pression dans la chambre de combustion, elle peut être le résultat de la distribution spatiale uniforme du liquide injecté et de sa pression initiale. Les variations de pression observées à différents moments peuvent être dues à des changements dans la quantité de liquide injecté ou à des fluctuations dans les caractéristiques de combustion.

En résumé, l'observation de ces variations spatiales de la vitesse et de la pression nous fournit des informations cruciales sur les processus de dispersion et de combustion à l'intérieur de la chambre de combustion, ce qui est essentiel pour optimiser les performances des moteurs à combustion interne.

V.5.2. P=2bar

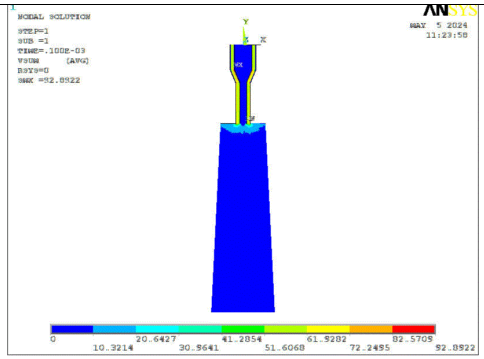
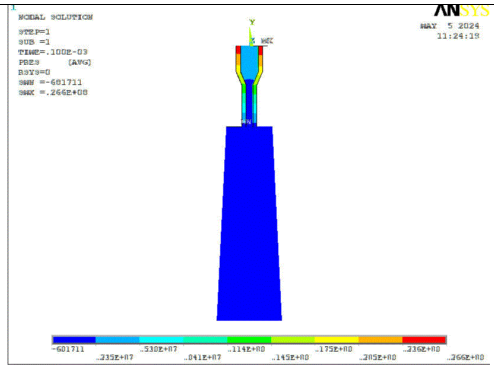
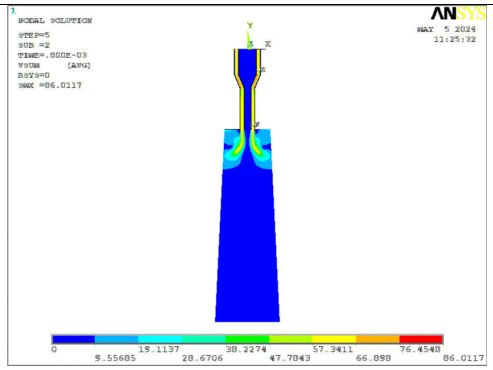
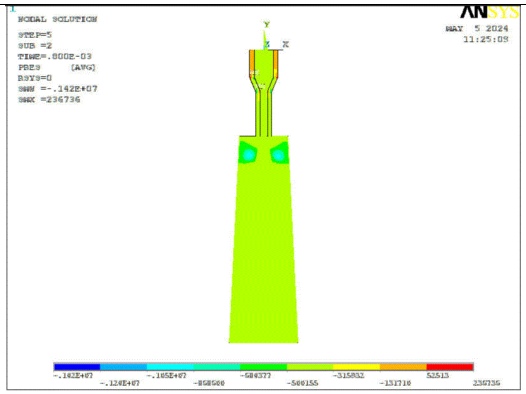
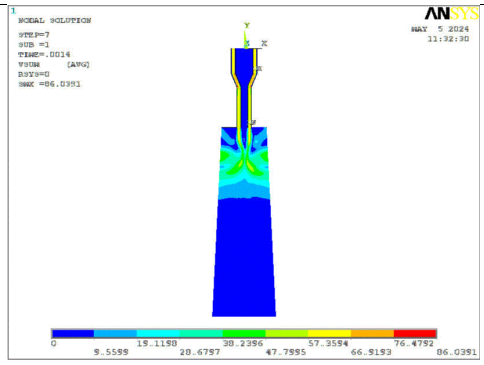
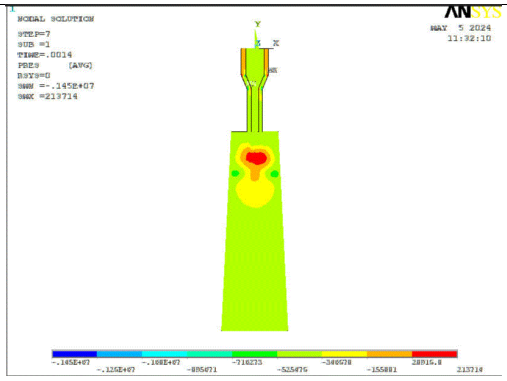
	Représentation spatial de la vitesse	Représentation spatial de la pression
$2*10^{-4}$		
$4*10^{-4}$		
$8*10^{-4}$		

Figure V.9 . Présentation spatiale de la dynamique de diffusion du jet dans le cylindre pour une pression d'injection P= 2bar

La Figure V.9 représente l'évolution spatiale de la vitesse et de la pression du liquide lorsque la pression d'injection est de 2 bars. Nous observons que la vitesse du fluide se diffuse transversalement à chaque instant dans le cylindre. De plus, nous avons noté que la pression met un certain temps pour se propager dans la chambre de combustion, comme indiqué lors des deux premiers moments.

Interprétation physique :

La diffusion transversale de la vitesse du fluide dans le cylindre peut être attribuée à la dispersion initiale du jet liquide. Lorsque le liquide est injecté dans la chambre de combustion, il se propage de manière latérale, ce qui peut être dû à des forces d'inertie, des turbulences ou des variations locales de pression.

Quant à la propagation retardée de la pression dans la chambre de combustion, cela peut être le résultat de la dynamique de l'écoulement et de la géométrie de la chambre. La pression peut mettre un certain temps pour se répartir de manière homogène dans tout l'espace de la chambre de combustion en raison de la résistance offerte par l'environnement environnant et des interactions avec le fluide.

En résumé, l'observation de ces variations spatiales de la vitesse et de la pression nous fournit des informations précieuses sur les processus de dispersion et de propagation de pression dans la chambre de combustion, ce qui est crucial pour comprendre et optimiser le comportement des systèmes d'injection dans les moteurs à combustion interne.

V.5.3. P=6bars

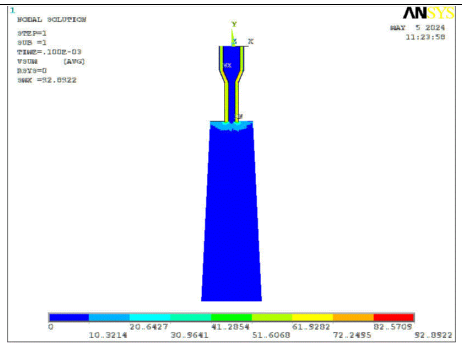
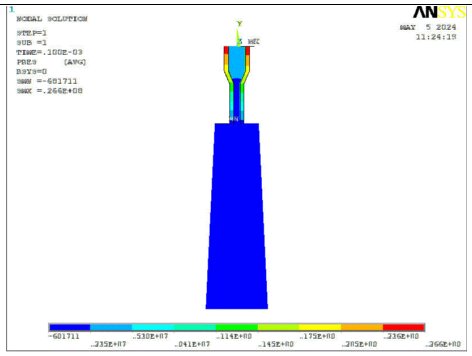
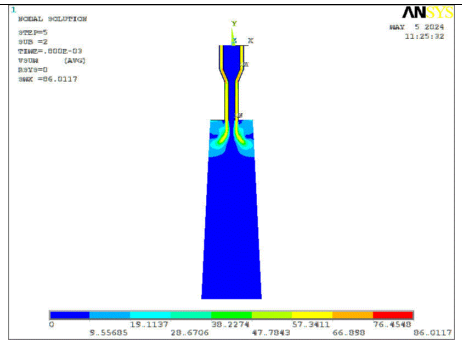
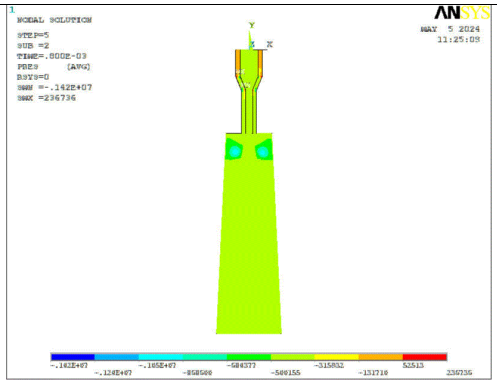
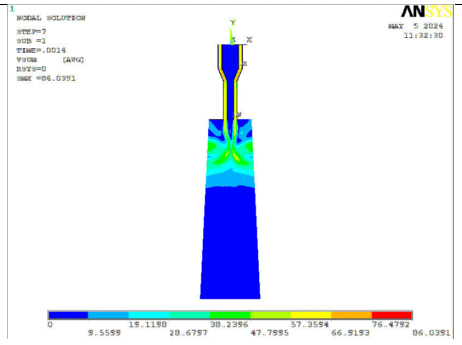
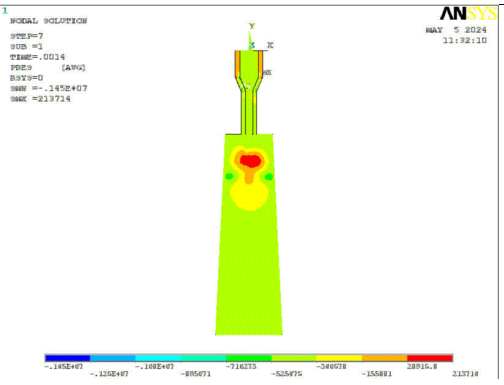
	Représentation spatial de la vitesse	Représentation spatial de la pression
$2*10^{-4}$		
$4*10^{-4}$		
$8*10^{-4}$		

Figure V.10. Présentation spatiale de la dynamique de diffusion du jet dans le cylindre pour une pression d'injection P= 6bar

La Figure V.10 illustre l'évolution spatiale de la vitesse et de la pression du liquide lorsque la pression d'injection est de 6 bars. Nous observons que les résultats sont similaires à ceux obtenus avec une pression d'injection de 2 bars. Plus la durée de la simulation est longue, plus la diffusion du fluide se produit progressivement à l'intérieur du cylindre.

Interprétation physique :

La similitude des résultats entre les pressions d'injection de 2 bars et de 6 bars suggère que, quel que soit le niveau de pression initiale, les processus de dispersion et de propagation de la vitesse et de la pression du fluide dans la chambre de combustion sont relativement similaires. Cela pourrait indiquer que les caractéristiques de l'écoulement sont principalement influencées par des facteurs autres que la pression d'injection, tels que la géométrie de la chambre de combustion et les propriétés du fluide.

La diffusion progressive du fluide à l'intérieur du cylindre avec le temps suggère que le liquide injecté se mélange de manière plus homogène avec le milieu ambiant au fur et à mesure que la simulation progresse. Cela peut être dû à des processus de turbulence et d'interaction fluide-fluide qui favorisent une répartition plus uniforme du liquide dans la chambre de combustion.

En conclusion, l'observation de cette évolution spatiale de la vitesse et de la pression du liquide confirme l'importance de la durée de la simulation dans la compréhension des processus de dispersion et de mélange dans les moteurs à combustion interne.

V.6.Représentation des profils de vitesses différentes périodes :

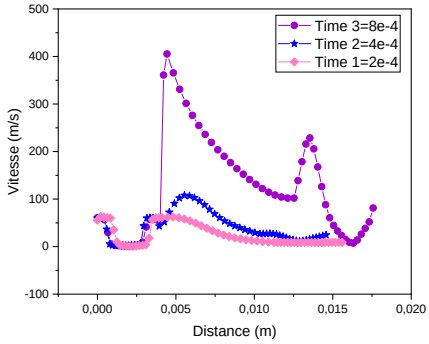
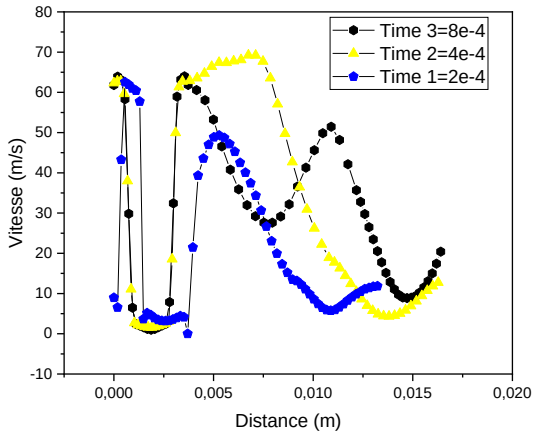
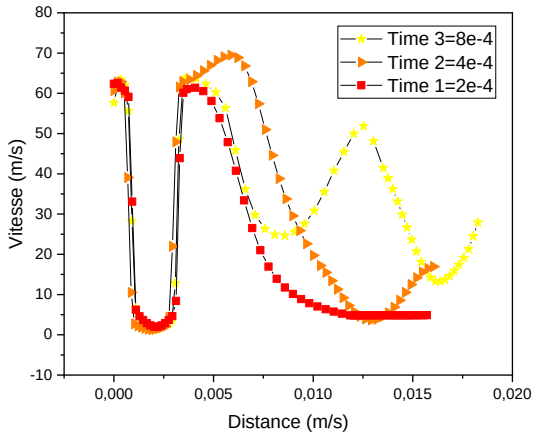
	Profile de vitesse
P=1bar	
P=2bar	
P=6 bar	

Figure V.11. Présentation des profils des vitesses différentes périodes de temps de 3 cas

La figure V.11 présente les courbes illustrant l'évolution spatiale de la vitesse par rapport à la distance à trois moments différents pendant la compression. À travers ces courbes, on observe une instabilité de la vitesse, attribuable aux ondes instables résultant de la séparation des fragments liquides.

En examinant les courbes correspondant à une pression d'injection de 1 bar, nous constatons une diminution de la vitesse par rapport à la distance axiale et une instabilité de la vitesse à trois moments différents, en raison des ondes instables provoquées par la séparation des fragments liquides.

Pour les pressions d'injection de 2 bars et 6 bars, nous observons une diminution progressive de la vitesse jusqu'à atteindre 0 m/s, suivie d'une augmentation jusqu'à une valeur maximale de 70 m/s. Cette augmentation peut être attribuée à la pression injectée dans le cylindre, qui induit une accélération du fluide lors de la compression.

Interprétation physique :

L'instabilité de la vitesse observée dans toutes les courbes est le résultat des ondes instables générées par la séparation des fragments liquides dans le flux. Ces ondes instables peuvent perturber le mouvement du fluide et entraîner des variations de vitesse le long de l'axe axial.

La diminution initiale de la vitesse suivie d'une augmentation jusqu'à une valeur maximale peut être expliquée par les processus de compression dans la chambre de combustion. Lorsque la pression augmente pendant la compression, le fluide est comprimé, ce qui entraîne une diminution de la vitesse. Ensuite, lorsque la pression diminue pendant la détente, le fluide est libéré avec une énergie accrue, ce qui se traduit par une augmentation de la vitesse jusqu'à un maximum.

En résumé, l'observation de ces courbes offre des informations précieuses sur les variations de vitesse pendant les phases de compression et de détente dans la chambre de combustion, ce qui est essentiel pour comprendre le comportement des moteurs à combustion interne.

Conclusion partielle 1 :

Les résultats obtenus à travers les simulations numériques représentent une avancée significative dans la compréhension des phénomènes complexes qui se produisent à l'intérieur des moteurs à combustion interne. En examinant l'évolution spatiale de la vitesse et de la pression du liquide à différentes pressions d'injection, nous avons pu identifier des tendances importantes.

Premièrement, nous avons observé une instabilité de la vitesse due aux ondes instables résultant de la séparation des fragments liquides. Cette instabilité peut avoir un impact sur le comportement global de l'écoulement dans la chambre de combustion et nécessite une attention particulière lors de la conception des systèmes d'injection.

Deuxièmement, nous avons constaté que la pression d'injection influence de manière significative l'évolution de la vitesse du fluide. Une pression d'injection plus élevée a

entraîné une augmentation plus prononcée de la vitesse après la compression, ce qui suggère une meilleure efficacité de combustion associée à des pressions d'injection plus élevées.

Enfin, nous avons observé une évolution similaire de la vitesse pour différentes pressions d'injection, indiquant une certaine robustesse des résultats par rapport aux variations de pression. Cependant, des différences dans les détails de l'évolution de la vitesse ont été observées, soulignant l'importance de choisir judicieusement la pression d'injection pour optimiser les performances du moteur.

En conclusion, ces résultats fournissent des informations précieuses pour la conception et l'optimisation des systèmes d'injection dans les moteurs à combustion interne, en mettant en lumière l'impact de la pression d'injection sur les dynamiques de l'écoulement et la combustion.

Partie II

En nous basant sur l'étude de FEISCHI Zhang, qui a démontré des résultats prometteurs dans l'amélioration du processus d'injection, nous avons entrepris plusieurs expériences sous diverses formes en utilisant la méthode VOF. Les résultats obtenus sont les suivants :

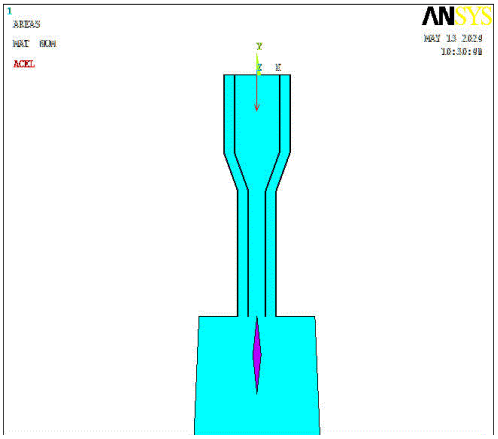


Figure V.12. L`idée proposée -géométrie 1 -

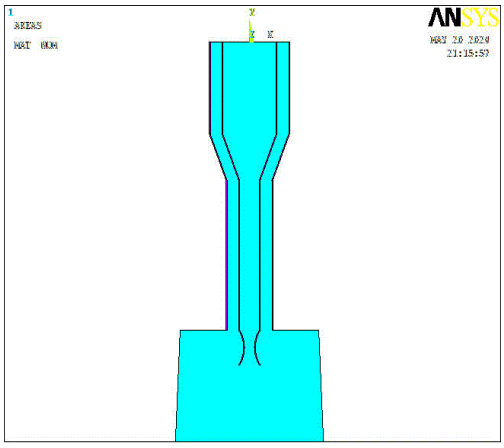


Figure V.13. L`idée proposée -géométrie 2-

V.7.Etude de l'influence la pression d'entrainement :

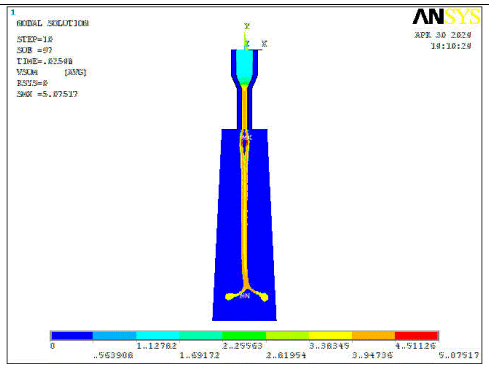
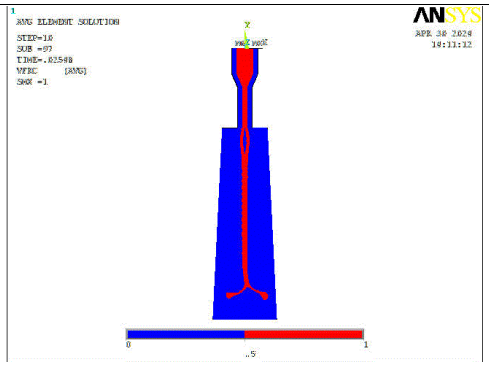
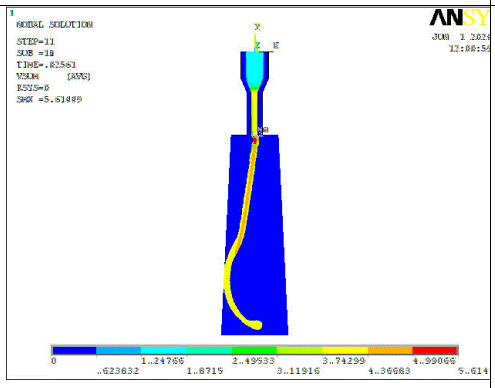
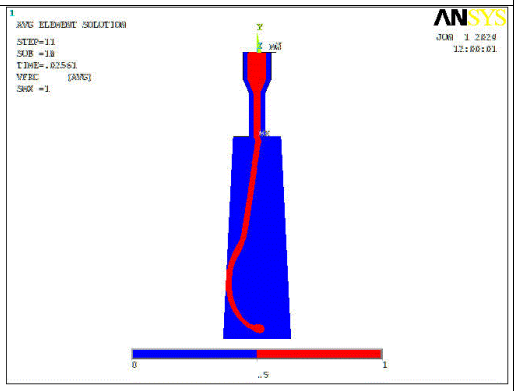
	Représentation spatial de la vitesse	Représentation spatial de la fraction volumique
Géométrie 1		
Géométrie 2		

Figure V.14. Présentation spatial de la vitesse et la fraction volumique

Après le processus d'injection sous les formes proposées ci-dessus, la figure représente les résultats du changement spatial du liquide. Dans chaque image, nous observons la vitesse de déplacement du liquide et le mouvement de la fraction volumique. À travers les résultats obtenus, nous avons remarqué une différence dans le mode de déplacement du liquide dans chaque forme. Dans la première figure, le liquide se distribue longitudinalement puis se ramifie après un intervalle de temps spécifié. Quant à la deuxième forme, le liquide est distribué de manière incurvée, ce qui souligne une différence notable.

Ces observations nous indique que:

Dans le cas de la première forme, le liquide se distribue longitudinalement avant de se ramifier. Cela peut être dû à une force initiale plus importante appliquée dans la direction principale du mouvement. Par exemple, si l'injecteur applique une pression plus forte dans cette direction, le liquide aura tendance à se déplacer dans cette direction en premier lieu avant de se disperser latéralement.

En revanche, dans le cas de la deuxième forme où le liquide se distribue de manière incurvée, cela peut être attribué à des forces de dispersion plus équilibrées. Cela peut résulter d'une pression d'injection plus uniforme ou d'une forme spécifique de l'injecteur qui encourage une répartition plus homogène du liquide dans différentes directions dès le départ.

Ces explications physiques fournissent un cadre théorique pour comprendre les observations expérimentales et peuvent guider de futures analyses et optimisations du processus d'injection.

V.8.Représentation des profils des vitesses :

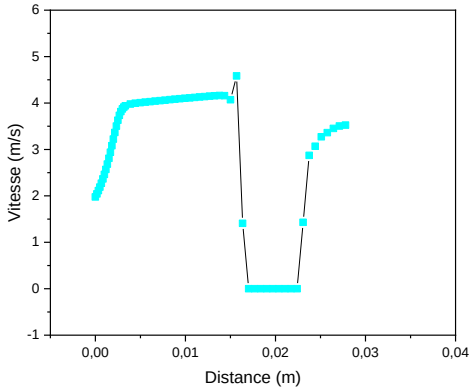
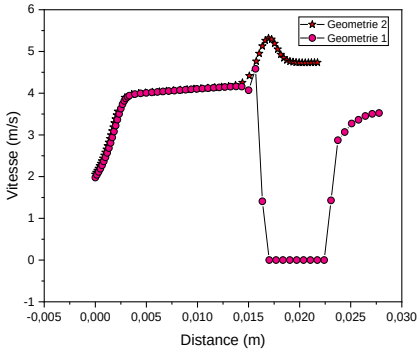
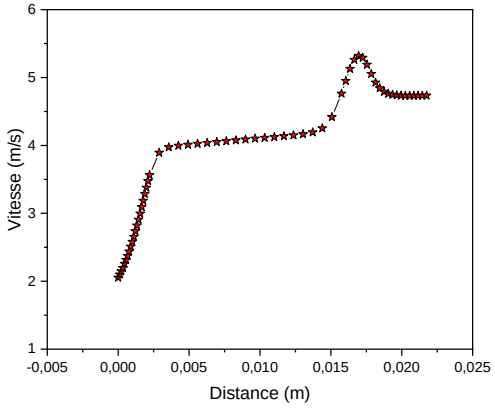
	Profil de vitesse	Comparaison
Géométrie 1		
Géométrie 2		

Figure V.15. Présentation les profils de vitesse de deux géométries et ça comparaison

La figure représente les courbes du mouvement du fluide après le processus d'injection. Les résultats présentés dans les figures (1) et (2) révèlent des différences dans la vitesse du fluide dans chaque expérience.

Sur la Figure (1), on observe une augmentation de la vitesse au début de l'injection jusqu'au pic, estimé à 4,5 m/s à une distance de 0,03 m. Ensuite, la vitesse diminue jusqu'à 0 m/s, puis augmente à 4 m/s. Cette augmentation initiale peut être expliquée par la ramification du liquide, où une partie de celui-ci se sépare du flux principal, créant ainsi une augmentation momentanée de la vitesse. La diminution de la vitesse à 0 m/s puis son augmentation à 4 m/s peuvent être attribuée à la réorganisation du liquide après la ramification, suivi d'un retour à un écoulement plus uniforme.

Quant à la Figure (2), on observe une augmentation de la vitesse jusqu'à 4 m/s, qui reste constante jusqu'à ce que le liquide atteigne une distance de 0,005 m. Ensuite, la vitesse augmente jusqu'à sa valeur maximale d'environ 8 m/s. Cette augmentation de vitesse peut

être expliquée par la libération de liquide du flux principal, créant ainsi une accélération supplémentaire du fluide restant. Après cela, la vitesse diminue à 0 m/s, puis augmente à 4 m/s, ce qui peut être associé à des phénomènes de turbulence ou à des interactions avec l'environnement.

Ces observations fournissent des insights précieux sur le comportement du fluide après l'injection, et une compréhension approfondie de ces phénomènes peut contribuer à optimiser les processus d'injection pour des applications spécifiques.

V.9. Présentation des différents périodes du temps de chaque géométrie :

V.9.1.Géométrie1 :

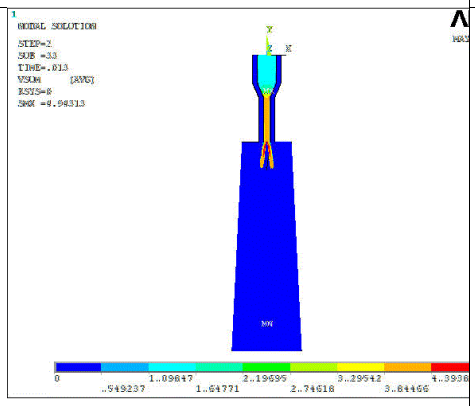
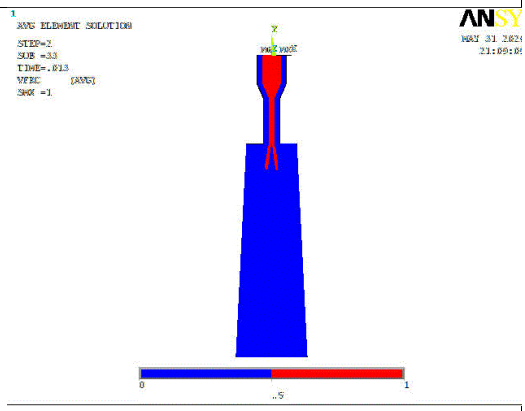
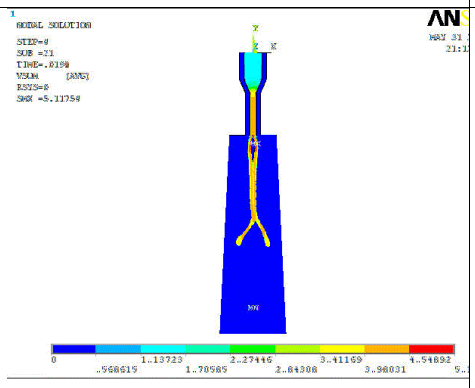
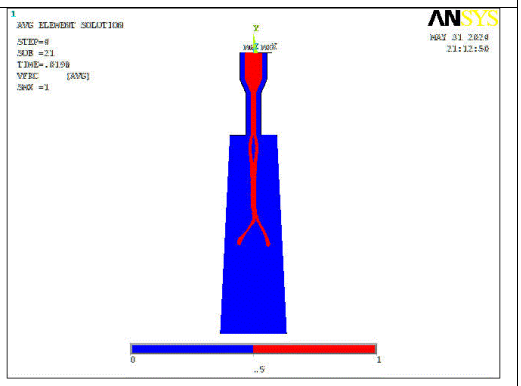
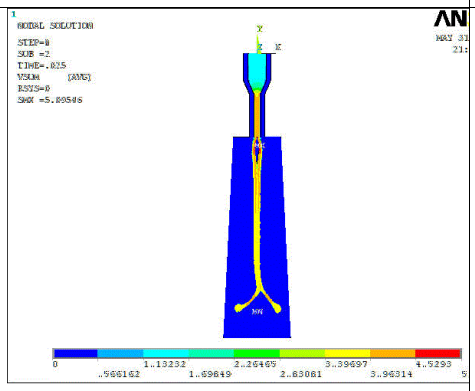
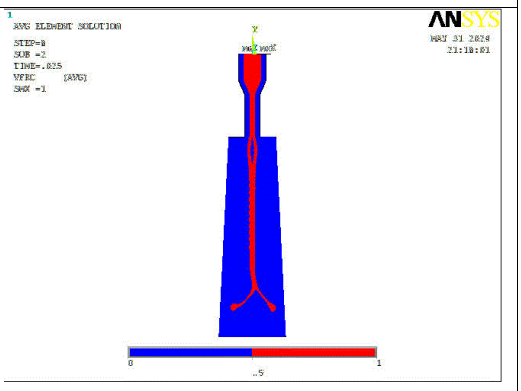
	Représentation spatial de la vitesse	**Représentation spatial de la fraction volumique**
$1.3*10^{-2}$		
$1.98*10^{-2}$		
$2.5*10^{-2}$		

Figure V.16. Présentation des différents périodes du temps de géométrie 1

La figure V.16 représente les résultats du mouvement du liquide sous la première forme avec des images prises à différents moments. À partir de ces résultats, on observe que le liquide est distribué longitudinalement et se termine par une ramification. Cela peut être expliqué par la présence d'un obstacle ajouté au milieu de la chambre de mélange. La présence de cet obstacle perturbe le flux du liquide, forçant une partie de celui-ci à se séparer et à se disperser latéralement, créant ainsi une ramification. Cette observation se répète à travers les trois moments étudiés, démontrant la cohérence du phénomène induit par l'obstacle.

Cette explication physique met en lumière l'impact de la géométrie de la chambre de mélange sur le comportement du liquide, soulignant l'importance de prendre en compte de tels facteurs dans la conception et l'optimisation des processus d'injection pour obtenir les performances souhaitées.

V.9.2.Géométrie2 :

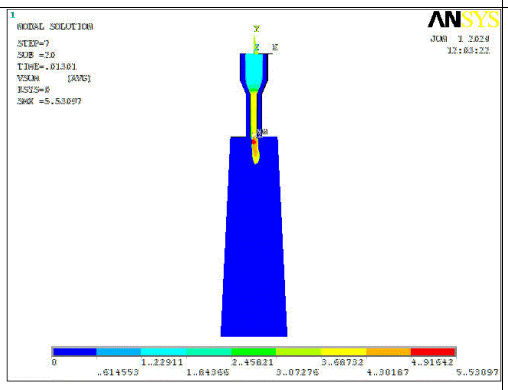
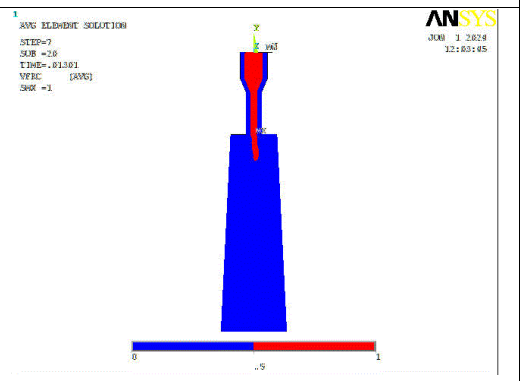
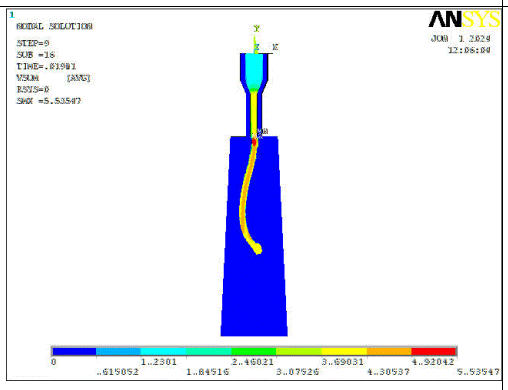
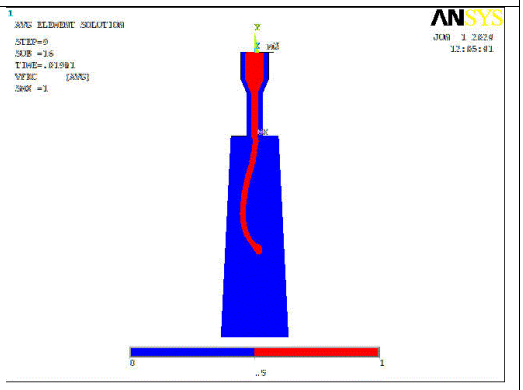
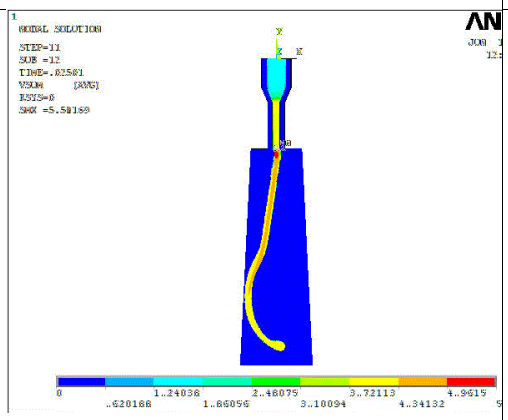
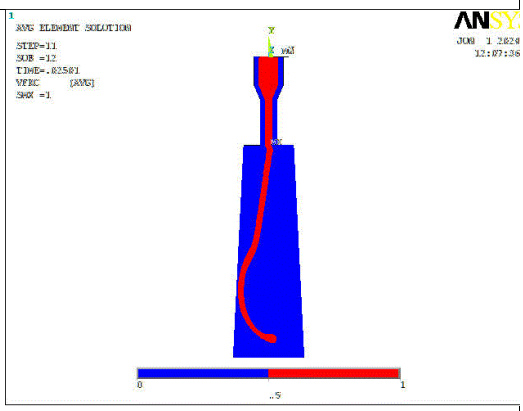
	Représentation spatial de la vitesse	Représentation spatial de la fraction volumique
$1.3*10^{-2}$		
$1.98*10^{-2}$		
$2.5*10^{-2}$		

Figure V.17 Présentation des différents périodes du temps de géométrie 2

La figure V.17 représente les résultats de la dynamique du liquide dans la deuxième configuration, avec des images capturées à différents moments. À partir de ces résultats, on observe que le liquide est initialement distribué de manière uniforme. Cependant, après avoir quitté le flux dans une configuration convergente-divergente, il adopte une trajectoire incurvée en raison de la présence d'un nouvel obstacle.

Cette observation peut être expliquée par le changement de géométrie de la chambre de mélange. Lorsque le liquide traverse la zone convergente-divergente, la variation de la section transversale du flux modifie la dynamique du liquide. En rencontrant le nouvel obstacle dans cette configuration, le liquide subit des forces qui dévient sa trajectoire, conduisant à une distribution incurvée.

Cette explication physique met en évidence l'importance de la géométrie de la chambre de mélange dans la modification du comportement du liquide, ce qui peut avoir des implications significatives dans la conception et l'optimisation des processus d'injection pour des performances optimales.

V.10.Représentation des profils de vitesse dans différentes périodes de temps de chaque géométrie :

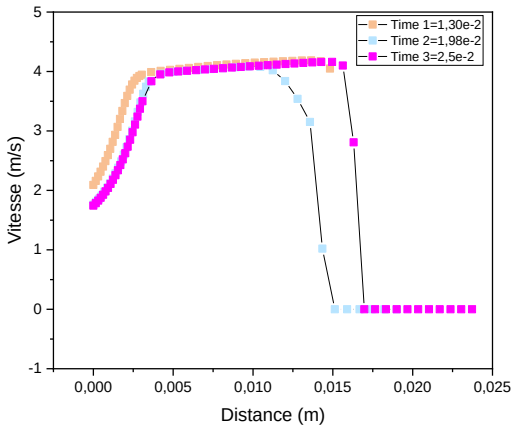
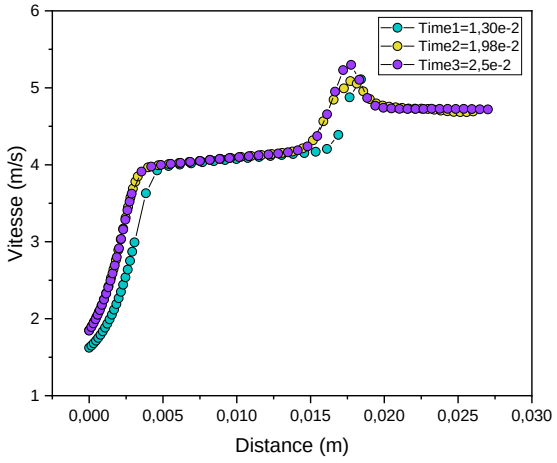
	Profils de vitesse
Géométrie 1	
Géométrie 2	

Figure V.18. Présentation des profils de vitesse dans différentes périodes de temps de chaque géométrie

La figure V.18 présente les résultats du moment pour trois périodes de temps différentes pour la vitesse d'un liquide par rapport à la distance axiale des deux configurations proposées. Dans la première configuration, la vitesse augmente progressivement dans les trois périodes de temps, atteignant une valeur maximale de 4.3 m/s avant de se stabiliser, puis diminue jusqu'à une vitesse minimale de 0 m/s.

Quant à la deuxième configuration, la vitesse augmente également progressivement pour les trois périodes de temps étudiées. On observe que la vitesse continue d'augmenter jusqu'à une valeur maximale de 5.5 m/s, puis diminue légèrement pour atteindre 4.8 m/s.

Ces observations peuvent être expliquées par les différences de géométrie et de dynamique de l'écoulement entre les deux configurations. Dans la première configuration, la vitesse atteint son maximum puis diminue progressivement en raison de la perte d'énergie due aux frottements et aux pertes de pression. En revanche, dans la deuxième configuration, la vitesse continue d'augmenter légèrement avant de diminuer, ce qui peut être attribué à une dynamique d'écoulement différente induite par la géométrie de la chambre de mélange.

Ces explications physiques mettent en lumière l'importance de la conception de la chambre de mélange dans la détermination de la dynamique de l'écoulement et de la vitesse du liquide, ce n qui peut avoir un impact significatif sur les performances globales du processus d'injection.

Conclusion partielle 2 :

À partir des commentaires précédents sur les résultats observés dans les différentes configurations de la chambre de mélange et du mouvement du liquide, nous pouvons tirer plusieurs conclusions partielles.

Tout d'abord, les observations mettent en évidence l'importance critique de la géométrie de la chambre de mélange dans le comportement du liquide après l'injection. Des variations subtiles dans la conception de la chambre, telles que l'ajout d'obstacles ou des changements de section transversale, peuvent entraîner des différences significatives dans la dynamique de l'écoulement et la distribution du liquide.

De plus, les résultats soulignent l'influence de ces modifications géométriques sur la vitesse du liquide. Nous observons des variations dans les profils de vitesse, avec des différences dans les valeurs maximales atteintes ainsi que dans les tendances d'évolution de la vitesse le long de la distance axiale de la chambre de mélange.

En outre, les explications physiques fournies suggèrent que ces observations sont cohérentes avec les principes fondamentaux de la dynamique des fluides, notamment en ce qui concerne la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

En conclusion partielle, ces résultats soulignent la nécessité de prendre en compte la géométrie de la chambre de mélange dans la conception et l'optimisation des processus d'injection pour garantir des performances optimales. Une compréhension approfondie de la dynamique de l'écoulement et de ses interactions avec la géométrie de la chambre est essentielle pour orienter efficacement ces efforts d'optimisation.

Conclusion général

Conclusion général :

Conclusion générale

Ces deux conclusions partielles mettent en lumière des aspects essentiels de la recherche sur les processus d'injection et de combustion dans les moteurs à combustion interne.

D'abord, en se concentrant sur les résultats des simulations numériques, la première conclusion souligne l'impact significatif de la pression d'injection sur les dynamiques de l'écoulement et la combustion. L'observation des instabilités de vitesse et l'effet de la pression sur l'évolution de la vitesse du liquide fournissent des indications précieuses pour améliorer l'efficacité de combustion et l'économie de carburant des moteurs.

D'autre part, la deuxième conclusion partielle insiste sur l'importance de la géométrie de la chambre de mélange dans la distribution du liquide et la dynamique de l'écoulement. Les variations observées dans les profils de vitesse et l'impact des obstacles ajoutés à la chambre de mélange soulignent la nécessité de concevoir des systèmes d'injection qui prennent en compte ces facteurs géométriques pour optimiser les performances du moteur.

En combinant ces deux conclusions, nous pouvons affirmer que la conception et l'optimisation des systèmes d'injection dans les moteurs à combustion interne doivent tenir compte à la fois de la pression d'injection et de la géométrie de la chambre de mélange pour garantir des performances optimales en termes d'efficacité de combustion, d'émissions et de consommation de carburant.

En conclusion générale, ces résultats soulignent l'importance continue de la recherche dans ce domaine pour répondre aux défis de durabilité et d'efficacité énergétique dans le secteur automobile. Ils offrent des perspectives précieuses pour les ingénieurs et les chercheurs qui travaillent à améliorer les moteurs à combustion interne dans le contexte de la transition vers des modes de transport plus propres et plus efficace.

Références et bibliographique

Références et bibliographique :

[1] JEAN-BAPTISTE Moreau, Modélisation de l'écoulement poly phasique à l'intérieure et en sortie des injecteur diesel, Thèse doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse 2005.

[2] Marc Julien, performance à 4 temps v3.1, 2009/2012.

[3] PIERRE-ARNAUD BEAU (2008). Modélisation de l'atomisation d'un jet liquide Application aux sprays Diesel, thèse doctorat de l'école Doctorale de l'Université de Rouen, KOREA.

[4] ABDELLAOUI Amina et BENTAALLAH Yasser(2011), Simulation numérique de combustion dans un moteur Diesel turbocompressée, Mémoire professionnel (niveau M).Génie Mécanique à l'Université Tlemcen.

[5] ALLICHE Mounir, Article Etude et Dimensionnement d'une Chambre de combustion d'un Moteur à Jet utilisant un Propergol Liquide.

[6] Wang, P., Zhang, K., & Liu, R. (2019). Influence of air supply pressure on atomization characteristics and dust-suppression efficiency of internal-mixing air-assisted atomizing nozzle. Powder Technology, 355, 393-407.

[7] Mandal, S., Sadeghianjahromi, A., & Wang, C. C. (2022). Experimental and numerical investigations on molten metal atomization techniques–A critical review. Advanced Powder Technology, 33(11), 103809.

[8] Liu, R., Zhang, L., Li, S., Li, J., & Ji, H. (2024). Numerical investigation on the spray characteristics of biodiesel with gas-assisted atomization injection. Fuel, 358, 130178.

[9] Li, X., Wang, S., Yang, S., Qiu, S., Sun, Z., Hung, D. L., & Xu, M. (2024). A review on the recent advances of flash boiling atomization and combustion applications. Progress in Energy and Combustion Science, 100, 10

[10] Wang, T., Liu, Y., Chen, C., & Hardalupas, Y. (2023). Combined two-photon optical connectivity and planar laser induced fluorescence for instantaneous characterization of liquid interface during primary atomization. Experimental Thermal and Fluid Science, 147, 110935.1119.

[11] Yadav, R. K., & Patel, V. K. (2023). Influence of ALR on SMD in 3-D air-blast atomization using CFD. Materials Today: Proceedings, 80, 952-957.

[12] Ma, X., Wang, S., Li, F., Zhang, H., Jiang, S., & Sui, M. (2022). Effect of airflow rate and temperature on the atomization characteristics of biodiesel in internal and

external flow fields of the pressure swirl nozzle. Energie, 253, 124112.

[13] Zhang, F., Zirwes, T., Müller, T., Wachter, S., Jakobs, T., Habisreuther, P., … & Kolb, T. (2020). Effect of elevated pressure on air-assisted primary atomization of coaxial liquid jet basic research for entrained flow gasification. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110411.

[14] Ma, X., Wang, S., Li, F., Zhang, H., Jiang, S., & Sui, M. (2022). Effect of airflow rate and temperature on the atomization characteristics of biodiesel in internal and external flow fields of the pressure swirl nozzle. energie, 253, 124112.

[15] Xu, F., Liu, X., Zhang, L., Wang, A., Xu, W., Fang, J., … & Jing, Y. (2022). Research on atomization evaporation characteristics and parameter optimization of a novel spray evaporation desalting system. desalination, 542, 116057.

[16] Chen, L., Sun, D., Yang, K., Song, P., Wang, S., & Zeng, W. (2023). Experimental study on the effect of plasma excitation on the atomization characteristics of aviation kerosene transverse jet. Fuel, 332, 126210.

[17] Yu, H., Jin, Y. C., Cheng, W., Yang, X., Peng, X., & Xie, Y. (2021). Multistage simulation of atomization process and droplet particles diffusion of pressure-swirl nozzle. Powder technology, 379, 127-143.

[18] Han, H., Wang, P., Li, Y., Liu, R., & Tian, C. (2020). Effect of water supply pressure on atomization characteristics and dust-reduction efficiency of internal mixing air atomizing nozzle. Advanced Powder Technology, 31(1), 252-268.

[19] Rutard, N., Dorey, L. H., Le Touze, C., & Ducruix, S. (2020). Large-eddy simulation of an air-assisted liquid jet under a high frequency transverse acoustic forcing. International Journal of multiphase Flow, 122, 103144.

[20] korti Mohammed Chokri ; (simulation numérique des champs dynamique et thermique durant le moulage par injection à haute pression des métaux). Diplôme de magister université Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2011-2012

[21] PHILIPE MARTY cours de transferts thermique conduction et rayonnement" Université Joseph Fourier Grenoble septembre 2001.

[22] YVESJANNOT transfert thermique école des mines Nancy 2009

[23] F KREITH "transmission de chaleur et thermodynamique université du colorado 1967

[24] B. E. LAUNDER, D, B. SPALDING, the numerical computation of turbulent transport, Adv. Géophysiques, vo118A, (1974).

[25] Paul FERREY, Modèles aux tensions de REYNOLDS avec prise en compte de l'intermittence de frontière, thèse pour l'obtention du Grade de docteur de l'université de POITIERS.

[26] Chapitre 2 : Modèle D'Etalement Et Traitement Numérique, Discrétisation la forme

[27] Présentée par Melle KAOUANE Malika ; mémoire de magister thème : analyse des contraintes mécaniques et de la fissuration des éléments en béton armé sous l'effet thermomécanique ; année2010/2011.

Référence et Bibliographique :

[28] Présentés par HANTZ Mathieu (Elève ingénieur, INSA de Strasbourg, Spécialité génie Civil), mémoire de fin d'étude, thème : Etude de l'optimisation du renforcement par des fibres de carbones des dalles en béton armé munies de trémies, en utilisant l'optimisation topologique ; Université Fédérale d'Uberlândia, Brésil.

[29] R.Vincent. Contribution à la Modélisation des Ecoulements Turbulents réactifs partiellement pré mélangés. Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2007.

[30] C. W Hirt, B.D. Nichols, « volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries » Journal of Computational Physics 39, 1 (1981), p201-225.

[31] F. Harlow and J.E. Welch, « Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surface » Physics of Fluids 8, 1965, p 2182-2189,

[32] J. Lopez, J. Hernandez, P. Gomez, F. Faura, « A volume of fluid method based on multidimensional advection and spline interface reconstruction » Journal of Computational Physics 195 (2004), p 718-742.

[33] Zhang, F., Zirwes, T., Müller, T., Wachter, S., Jakobs, T., Habisreuther, P., … & Kolb, T. (2020). Effect of elevated pressure on air-assisted primary atomization of coaxial liquid jets: Basic research for entrained flow gasification. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110411.