

8MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 01



DEPARTEMENT : Génie mécanique

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Science et technologie

FILIERE : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Thème :

*Analyse par EF/VOF de l'influence des
paramètres géométriques de l'injecteur sur la
dispersion d'un jet liquide injecté dans un
cylindre*

Présenté par :

- LAHIANI Lokmane
- ALLAOUI Amel

Dirigé par :

-Pr. ZIRARI Mounir
-Mr.SALHI Merouane

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ALLAH, le tout Puissant de ma donnée la patience, la santé et le courage pour finir ce travail.

Nous remercions profondément les encadreurs : Pr. ZIRARI Mounir et Mr. SALHI Marouane et toute l'équipe pédagogique de l'université SAAD DAHLAB DE BLIDA

Nous remercions nos collègues qui nous ont encouragés à faire le maximum d'efforts dans ce travail, et à toutes les personnes qui nous ont aidés de près et de loin.

Dédicace

Je souhaite dédier ce mémoire de fin d'études à ma famille. Ceux-ci ne suffisent pas de les remercier, mais il suffit de donner pour eux, qui ont toujours cru en moi et m'ont offert son soutien inconditionnel. Leur amour, leur compréhension et leur patience ont été essentiels pour me permettre de me concentrer sur cette recherche et persévérer face aux défis. Je tiens également à remercier mes proches et mes chers amis, qui m'ont prodigué des conseils et des orientations.

J'exprime ma gratitude envers mes superviseurs de recherche et tous mes camarades d'études, qui m'ont apporté une aide inestimable tout au long de cette étude. Leur expertise, leur collaboration et leurs précieux commentaires ont été une grande contribution à mon travail.

Ce travail de recherche est le fruit d'efforts continus et je suis profondément reconnaissant envers tous ceux qui y ont contribué. Je dédie humblement ce travail à leur dévouement inébranlable et à leur contribution inestimable.

خلاصة

يواجه مصنعو السيارات تحديات بيئية واقتصادية متزايدة في تقليل استهلاك الوقود وتلوث محركات الديزل بسبب معايير التلوث الأكثر صرامة. في الوقت نفسه، يطلب السائقون كلاً من راحة القيادة والأداء العالي. لذلك، من الضروري البحث عن قطرات وقود ذات حجم صغير لتعزيز الاحتراق الأمثل. بالإضافة إلى ذلك، فإن التفاعل بين المراحل السائلة والشكل الهندسي للحاقن يكتسب اهتمامًا متزايدًا. للمساهمة في فهم الظواهر الفيزيائية المتعلقة بالتفاعل بين هندسة الحاقن والانتقال المبكر من نوع غشاء إلى نوع ليفي، مما يعزز الانحلال السائل النفاث، استكشفنا تأثير تعديل هندسة حلق الحاقن، بما في ذلك القطر والاختراق في الاسطوانة ووجود عاكس. أجريت تجارب عددية باستخدام طريقة ديناميكا الموائع الحسابية أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح تأثير المعلمة الهندسية على الانتشار العرضي للطائرة داخل الاسطوانة، مما يفضل الانحلال، خاصة عندما يكون التدفق مضطربًا هندسيًا في حلق الحاقن.

الكلمات المفتاحية: حقن السوائل، التشتت، الهندسة، الحاقن، المحاكاة العددية، التدفق المضطرب.

Résumé :

Les constructeurs automobiles sont confrontés à des défis environnementaux et économiques croissants pour réduire la consommation et la pollution des moteurs diesel, en raison des normes de pollution de plus en plus strictes. Dans le même temps, les conducteurs exigent un confort de conduite et des performances élevés. Ainsi, il est crucial de rechercher des gouttelettes de carburant de taille minimale pour favoriser une combustion optimale. De plus, l'interaction entre les phases liquides et la forme géométrique de l'injecteur suscite un intérêt croissant. Pour contribuer à la compréhension des phénomènes physiques liés à l'interaction de la géométrie de l'injecteur et la transition précoce du type membrane au type fibre, favorisant l'atomisation des jets liquide, Nous avons exploré l'effet de la modification de la géométrie du col de l'injecteur, y compris le diamètre, la pénétration à l'intérieur du cylindre, ainsi que la présence de déflecteur. Les expériences numériques ont été réalisées en utilisant la méthode Eulérienne EF/VOF. Les résultats obtenus ont montré bien l'action des paramètres géométriques sur la diffusion transversale du jet dans le cylindre et qui par conséquent favorisant l'atomisation et en particulier lorsque le jet est perturbé géométriquement au niveau du col de l'injecteur.

Mots clés : injection liquide, dispersion, la géométrie, l'injecteur, simulation numérique, écoulement turbulent, VOF, EF.

Abstract:

Automobile manufacturers face increasing environmental and economic challenges in reducing fuel consumption and diesel engine pollution due to stricter pollution standards. At the same time, drivers demand both driving comfort and high performance. Therefore, it is crucial to seek out fuel droplets of minimal size to promote optimal combustion. Additionally, the interaction between liquid phases and the geometric shape of the injector is garnering growing interest. To contribute to the understanding of the physical phenomena related to the interaction between injector geometry and the early transition from a membrane-type to a fiber-type, which promotes liquid jet atomization, we explored the effect of modifying the geometry of the injector throat, including diameter, penetration into the cylinder, and the presence of a deflector. Numerical experiments were conducted using the Eulerian EF/VOF method. The obtained results clearly demonstrated the influence of geometric parameters on the transverse diffusion of the jet within the cylinder, thereby favoring atomization, particularly when the jet is geometrically perturbed at the injector throat.

Keywords: Liquid injection, dispersion, geometry, injector, numerical simulation, turbulent flow, VOF, EF.

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tables

Nomenclature

Introduction générale 01

Chapitre I : Généralité sur l'injecteur diesel « liquide »

I.1. Introduction 04

I.2. Moteur diesel 04

I.2.1. Définition 04

I.2.2. Principe de fonctionnement 04

I.2.3. Injection 05

I.3. Le type d'injection 05

I.3.1. Les moteurs à injection directe 06

I.3.2. Injection indirecte 07

I.4. Injecteur de type Common Rail 08

I.4.1. Injecteur à sac et injecteur VCO 09

I.5. Les combustibles 10

I.5.1. Combustibles liquides et gazeux 10

I.6. L'état de l'art 11

Chapitre II : Modèles mathématiques

II.1. Introduction 15

II.2. Modélisation de L'écoulement des Fluides 15

II.2.1. Equation de Navier-Stokes 15

II.2.2. Equation de continuité 15

II.2.3. Equation de quantité de mouvement 15

II.2.4. Equation de conservation de l'énergie 16

II.2.5. La décomposition statique (La décomposition de Reynolds)	16
II.2.6. Les équations des mouvements moyennes	17
II.2.6.1. Équation de continuité de mouvement moyen.....	17
II.2.6.2. Équation de Navier-stokes moyenne	17
II.2.6.3. Equation de transport des tensions de Reynolds.....	17
II.3. Conclusion	18

Chapitre III : Méthode numérique

III.1. Introduction	20
III.2. Les trois grandes familles de méthodes.....	20
III.2.1. Méthode des différences finies	20
III.2.2. Méthode des éléments finis	20
III.2.3. Méthode des volumes finis.....	20
III.3. Méthodes numériques de discrétisation.....	20
III.4. Méthode des volumes finis pour la résolution numérique.....	21
III.4.1. Maillage dans la méthode des volumes finis	21
III.5. Mise en œuvre de la méthode des éléments finis	22
III.5.1. Formulation variationnelle forte.....	22
III.6. Forme générale des équations du système.....	23
III.7. Discrétisation	23
III.7.1. Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini	24
III.7.2. Forme discrétisée.....	24
III.8. Méthodes de discrétisations.....	25
III.9. Choix d'un maillage	25
III.10. Principe de la méthode VOF	27
III.3. Conclusion	28

Chapitre IV : Résultat et discussions

IV.1. Introduction	30
IV.2. ANSYS.....	30
IV.2.1. Il existe plusieurs niveaux d'outils de simulation.....	30
IV.3. Identification	30
IV.4. Analyse des résultats des simulations numériques pour le cas d'un injecteur référence	33
IV.5 Etude de l'influence du changement géométrique dans le col	34

IV.6. Etude de l'influence Pénétration de l'injecteur à l'intérieur du cylindre	37
IV.7. Etude de l'influence de longueur de colle	49
IV.8. Etude de l'influence a augmenté et diminue le diamètre de cylindre	58
IV.9. Etude de l'influence de défecteur dans le col et le cylindre.....	69
IV.10. Conclusion	78
Conclusion générale	79
Références bibliographiques.....	81

Liste des Figures

Figure I. 1: Cycle moteur Diesel quatre temps	5
Figure I. 2: Principe d'injection directe dans un moteur diesel les moteurs à injection indirecte (préchambres, chambres de turbulences).....	7
Figure I. 3: Moteur Diesel à injection indirecte	7
Figure I. 4: Schéma de principe d'un injecteur Common Rail.....	8
Figure I. 5: Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite)	9
Figure I. 6: Évolution de l'injection Diesel au cours des trente dernières années.....	10
Figure III. 1: Volume de contrôle.....	22
Figure III. 2: Bilan thermique.....	24
Figure III. 3: Domaine plan discrétisé en élément reliés eux par noeuds.....	25
Figure III. 4: Méthode VOF	28
Figure IV. 1: Représentation Spatiale de la configuration géométrique et les conditions limites de Ménard.....	31
Figure IV. 2: Résultat expérimental de Ménard	32
Figure IV. 3: Représentation spatiale de nos résultats de calcul de la dispersion dynamique du jet liquide dans le cylindre.....	32
Figure IV. 4: Représentation spatiale de la configuration géométrique utilisée pour les simulations.....	34
Figure IV. 5: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	34
Figure IV. 6: Représentation spatiale de l'interaction développé par le jet dynamiquement pour le premier cas.	34
Figure IV. 7: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse	35
Figure IV. 8: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	35
Figure IV. 9: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	36
Figure IV. 10: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	36
Figure IV. 11: Représentation des points axial.....	37
Figure IV. 12: Variation de la vitesse axial pour le cas reference.....	37
Figure IV. 13: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	37

Figure IV. 14: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la deuxième cas.	38
Figure IV. 15: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.	38
Figure IV. 16: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	38
Figure IV. 17: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	39
Figure IV. 18: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.....	39
Figure IV. 19: Représentation un point axial.	40
Figure IV. 20: Variation de la vitesse axial pour le cas référence.	40
Figure IV. 21: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	40
Figure IV. 22: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la deuxième cas.	41
Figure IV. 23: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.	41
Figure IV. 24: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	41
Figure IV. 25: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	42
Figure IV. 26: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.....	42
Figure IV. 27: Représentation un point axial.	42
Figure IV. 28: Variation de la vitesse axial pour le cas référence.	43
Figure IV. 29: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.....	43
Figure IV. 30: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la troisième cas.	43
Figure IV. 31: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.....	44
Figure IV. 32: La Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	44
Figure IV. 33: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	44
Figure IV. 34: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	45
Figure IV. 35: Représentation un point axial.	45
Figure IV. 36: Variation de la vitesse axial pour le cas référence.....	46
Figure IV. 37: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse et les autres cas de pénétration de l'injecteur à l'intérieur du cylindre.	46
Figure IV. 38: Variation de la pression dans le temps pour la position numéro quatre capteurs proposé pour tous les cas.	47

Figure IV. 39: Représentation de troisième section de tout les cas transversale pour les captures de vitesse	47
Figure IV. 40: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur. ...	48
Figure IV. 41: Représentation des points de tous les cas axialement.....	48
Figure IV. 42: Variation de la vitesse axial pour le cas référence et les autres cas.....	49
Figure IV. 43: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	49
Figure IV. 44 : Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la première cas.....	49
Figure IV. 45: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.....	50
Figure IV. 46: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	50
Figure IV. 47: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	50
Figure IV. 48: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	51
Figure IV. 49: Représentation du point axial	51
Figure IV. 50: Variation de la vitesse axial pour le cas référence.....	52
Figure IV. 51: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	52
Figure IV. 52: Représentation spatiale de l'interaction développé par le jet dynamiquement pour la dixième cas.....	52
Figure IV. 53: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.....	53
Figure IV. 54: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	53
Figure IV. 55: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	53
Figure IV. 56: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.....	54
Figure IV. 57: Représentation du point axial.	54
Figure IV. 58: Variation de la vitesse axial pour le cas référence	54
Figure IV. 59: Représentation de l'emplacement des capteurs pour la longueur du col dans la cinquième position.....	55
Figure IV. 60: Variation de la pression dans le temps pour la position numéro quatre capteurs proposé pour tous les cas.	55
Figure IV. 61: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse dans deux cas.	56

Figure IV. 62: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur. ...	56
Figure IV. 63: Représentation des points dans les deux cas axial.	57
Figure IV. 64: Variation de la vitesse axial pour le cas référence et les autres cas.	57
Figure IV. 65: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	58
Figure IV. 66: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la dixième cas.	58
Figure IV. 67: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.	58
Figure IV. 68: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	59
Figure IV. 69: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	59
Figure IV. 70: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	59
Figure IV. 71: Représentation du point axial.	60
Figure IV. 72: Variation de la vitesse axial pour le cas référence.	60
Figure IV. 73: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	60
Figure IV. 74: Représentation spatiale de l'interaction développé par le jet dynamiquement pour la dixième cas.	61
Figure IV. 75: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.	61
Figure IV. 76: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.	61
Figure IV. 77: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	62
Figure IV. 78: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	62
Figure IV. 79: Représentation du point axial.	62
Figure IV. 80: Variation de la vitesse axial pour le cas référence.	63
Figure IV. 81: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	63
Figure IV. 82: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la dixième cas.	63
Figure IV. 83: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.	64
Figure IV. 85: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	64
Figure IV. 86: la variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	65

Figure IV. 87: Représentation du point axial.	65
Figure IV. 88: Variation de la vitesse axial pour le cas reference.....	65
Figure IV. 89: Représentation de l'enplacement des capteurs pour l'analyse et les autres cas de diamètre de l'injecteur à l'intérieur du cylindre	66
Figure IV. 90: Variation de la pression dans le temps pour la position numéro quatre capteurs proposé pour tout les cas de diamètre.....	66
Figure IV. 91: Représentation de troisième section de tout les cas transversale pour les captures de vitesse.	67
Figure IV. 92: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur. ...	67
Figure IV. 93: Représentation des points de tout les cas axialement	68
Figure IV. 94: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence et les autres cas.	68
Figure IV. 95: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	69
Figure IV. 96: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la dixième cas.....	69
Figure IV. 97: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse	69
Figure IV. 98: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	70
Figure IV. 99: Représentation du point axial.	70
Figure IV. 100: La variation de la vitesse axial pour le cas reference.	70
Figure IV. 101: représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	71
Figure IV. 102: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la dixième cas.....	71
Figure IV. 103: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	71
Figure IV. 104: la variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	72
Figure IV. 105: Représentation du point axial.	72
Figure IV. 106: La variation de la vitesse axial pour le cas reference.	73
Figure IV. 107: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.	73
Figure IV. 108: Représentation spatiale de l'interaction développé par le jet dynamiquement pour le dixième cas.....	73

Figure IV. 109: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.	74
Figure IV. 110: la variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	74
Figure IV. 111: Représentation du point axial.	75
Figure IV. 112: La variation de la vitesse axial pour le cas reference.	75
Figure IV. 113: Représentation de premiere section de tout les cas transversale pour les captures de vitesse.	76
Figure IV. 114: la variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.	76
Figure IV. 115: Représentation des points de tous les cas axialement.....	77
Figure IV. 116: La variation de la vitesse axiale pour le cas référence et les autres cas.....	77

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Les caractéristiques moyennes dans les Produits de distillation	11
Tableau III. 1 : Comparaison des avantages et des inconvénients des différentes méthodes numériques.....	21
Tableau III. 2: Tableau de Représentation d'équation de transport.	23
Tableau IV. 1: Propriétés thermique et dynamique utilisé pour le calcul	31
Tableau IV. 2: Conditions d'injection utilisé pour le calcul numérique	31

Nomenclatureur

Lettres latines

Notation	Signification	Unité
C_p	Capacité calorifique massique à pression constante	[J/Kg.K]
P	La pression.	[Pa]
Pr	Nombre de Prandtl	
Re	Nombre de Reynolds	
T	Température	[K]
We	Nombre de Weber	
V	Vitesse	[m/s]
T	Temps	[s]
D	Diamètre	[μm]
S	Surface	[m ²]
V	Volume	[m ³]

Lettres grecques

δ	Fonction Dirac ou symbole de Kronecker	
α	Fraction de volume.	
ϵ	Dissipation turbulente	
θ	Angle	
k	Courbure	
μ	Viscosité dynamique	[Pa.s]
ρ	Densité volumique	[Kg/m ³]
σ	Tension de surface	[N/m]
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	[m/s]
$C\emptyset$	Coefficient d'advection transitoire	[W/m ² .K]
λ	Conductivité thermique	[W/m.K]
$S\phi$	Termes source	

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

Dans les moteurs Diesel à injection directe, la qualité de la combustion dépend fortement de la pulvérisation du carburant dans la chambre de combustion. Cette pulvérisation est due à l'aérodynamique dans la chambre, mais elle est également influencée par les caractéristiques de l'écoulement du carburant à la sortie de l'injecteur. Comme les phénomènes en jeu sont excessivement rapides (de l'ordre de la microseconde) et qu'ils interviennent dans les géométries très petites (de l'ordre du micromètre), les études expérimentales sont difficiles à réaliser. On se propose donc de développer un code de simulation qui a deux buts :

Accéder à une meilleure compréhension de l'écoulement dans l'injecteur (pour optimiser les géométries de l'injecteur), et prédire les conditions de sortie de l'écoulement pour fournir des conditions aux limites aux codes de simulation de combustion dans la chambre.

Dernièrement les technologies utilisées dans les systèmes d'injection ont évolué, principalement dans le domaine des véhicules particuliers, des utilitaires légers et du sport. En effet, les contraintes de hautes performances, de faibles consommations et émissions, de bas bruit, et de coût font de l'optimisation des systèmes d'injection un sujet de recherche particulièrement d'actualité.

La simulation numérique permet d'avoir accès à l'ensemble de l'écoulement dans la chambre de combustion mais aussi en amont (admission, écoulement dans l'injecteur...). Il existe différents outils de simulation numérique d'écoulement diphasique dans cette étude nous proposons l'étude par simulation numérique d'un jet liquide turbulent dispersant dans l'air, ainsi que l'influence des caractéristiques géométriques de l'injecteur dans l'objectif de mettre en évidence les paramètres qui pilotent la dispersion de phase liquide.

L'objectif de cette étude sera donc d'arriver à une maîtrise de simuler numériquement l'écoulement biphasique de fluide non miscible provoquant le phénomène de l'atomisation et la dispersion à l'extérieur de la buse de l'injecteur monotrou et plus particulièrement la compréhension des phénomènes liés à l'influence des caractéristiques physiques de l'écoulement par la géométrie de l'injecteur.

Chapitre I :

Recherche bibliographique

I.1.Introduction :

L'injection est un dispositif d'alimentation des moteurs à combustion, permettant d'acheminer le carburant dans la chambre de combustion directement. Préférée au carburateur afin d'améliorer le rendement moteur, l'injection fut à l'origine exclusivement mécanique, puis améliorée par l'électronique en utilisant un calculateur électronique. Dans les moteurs Diesel, la qualité de la combustion dépendra de la pulvérisation du carburant et de l'homogénéité du mélange. Les moteurs devront être équipés de systèmes d'injection capables de réaliser le mélange air carburant ensemble et sous des pressions élevées. Le moteur diesel fonctionne en effet par auto-allumage : l'allumage du mélange se fait spontanément en raison de la température élevée de l'air et des rapports volumétriques très élevés.

Le diagramme de Clapeyron d'un cycle théorique thermodynamique du moteur diesel prévoit une combustion à pression constante, assurée par le fait que le combustible est injecté progressivement et brûle au fur et à mesure de son introduction dans la chambre de combustion. Dans la réalité cependant, la combustion ne peut s'effectuer à pression constante, en raison du délai d'inflammation. Le carburant s'accumule lors de son injection augmentant la pression. On peut le réduire en donnant au jet une forte capacité de pénétration et en augmentant la turbulence. Un jet puissant permet aux gouttelettes traversant l'air d'atteindre des températures suffisantes pour que l'évaporation se réalise et la turbulence évite que les gaz brûlés séjournent à proximité de l'injecteur, empêchant le mélange de l'oxygène et le carburant [1].

I.2. Moteur diesel :

I.2.1. Définition :

Le moteur Diesel est reconnu pour présenter l'un des meilleurs rendements énergétiques avec une flexibilité d'utilisation remarquable. Ses performances, qu'il s'agisse de sa puissance, de son rendement ou de ses émissions de polluants, sont particulièrement sensibles à la qualité de la combustion. Cette dernière est, en grande partie, liée au choix du système de combustion, à la forme de la chambre ainsi qu'à la façon dont le combustible y est introduit : le système d'injection. Il existe deux grandes catégories de moteur Diesel : le moteur à injection indirecte (aujourd'hui presque abandonné dans l'automobile) et le moteur à injection directe. [3]

I.2.2. Principe de fonctionnement :

Le moteur Diesel est constitué de pistons coulissants dans des cylindres fermés par une culasse reliant le cylindre aux collecteurs d'admission et d'échappement et munie de soupapes commandées par un arbre à cames. Le cycle d'un moteur Diesel quatre temps est réalisé sur deux tours moteurs.

Le cycle moteur se décompose comme suit, (le cycle commence avec le piston au point mort haut et les deux soupapes fermées) :

– Admission (1) : la soupape d'admission s'ouvre, le piston descend, augmentant le

Volume de la chambre de combustion pendant qu'elle se remplit d'air.

– Compression (2) : le piston est au point mort bas, la soupape d'admission se ferme, le piston monte, diminuant le volume de la chambre de combustion et ainsi augmentant la pression de l'air,

– combustion, détente (3) : peu avant le point mort haut, le carburant est injecté dans l'air, la combustion se réalise, les gaz chauds repoussent le piston,

– Echappement (4) : la soupape d'échappement s'ouvre, et les gaz brûlés sont évacués, poussés par la remontée du piston.

La commande d'ouverture et de fermeture des soupapes est mécanique et directement liée à la position du vilebrequin.

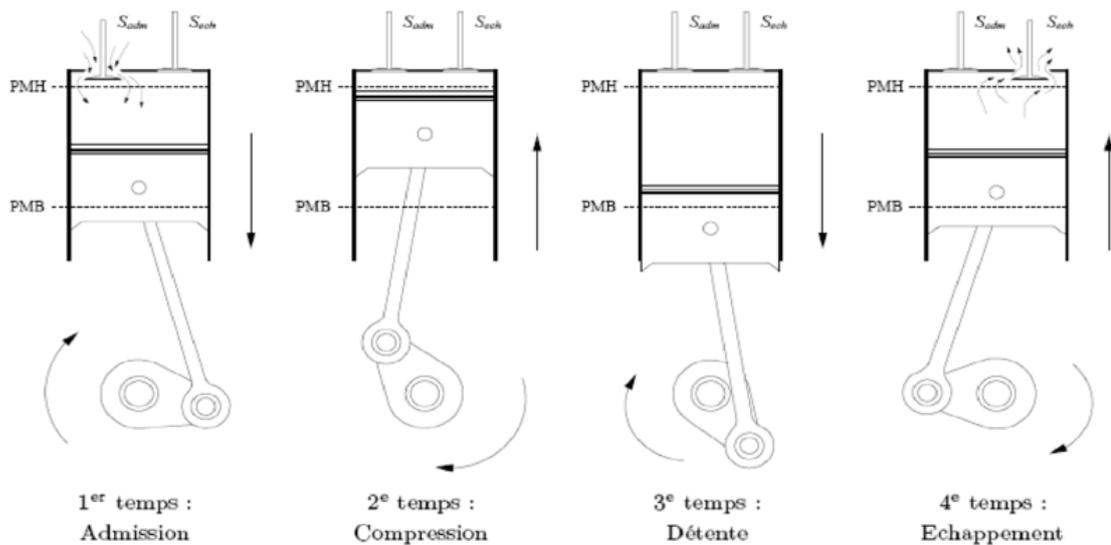


Figure I. 1: Cycle moteur Diesel quatre temps [3].

I.2.3. Injection :

Pour n'importe quel moteur à combustion interne à fonctionner en douceur et de manière efficace, le carburant et besoin d'air pour être correctement mélangés. Les problèmes de mélange de carburant et d'air sont en particulier dans un grand moteur diesel, où l'air et le combustible sont introduits à différents moments au cours du cycle et doivent être mélangés à l'intérieur des cylindres.

I.3. Le type d'injection :

On distingue deux catégories de moteurs selon le type d'injection. Deux grands types d'injection existent :

I.3.1. Les moteurs à injection directe :

Le moteur à injection directe s'impose pour son rendement supérieur à ceux des moteurs à injection indirecte.

En effet, le rapport entre la surface et le volume de la chambre de combustion est nettement plus faible pour un moteur à chambre à espace mort unique (injection directe) que pour un moteur à préchambre (injection indirecte) ; de plus, la durée de la combustion est plus courte dans un moteur à injection directe.

Ces deux paramètres diminuent les échanges thermiques entre la chambre de combustion et le système de refroidissement, facteurs de perte de rendement.

Les problèmes liés à l'injection directe sont de deux ordres : bruits de combustion et émission d'oxyde d'azote (NOx).

L'apparition de la régulation électronique dans les systèmes d'injection a permis de stabiliser et d'affiner les réglages de base, tant au niveau du moment d'injection que du débit de combustible.

Ces différents systèmes d'injection mécaniques par pompe distributrice, régulés ou non de manière électronique, présentent comme caractéristique commune la variation de la pression d'injection en fonction de la vitesse de rotation du moteur.

Cette variation de pression d'injection rend difficile une maîtrise totale de la combustion.

Ici c'est donc assez simple : le bout de l'injecteur donne directement sur la chambre de combustion (le cylindre), il va donc pulvériser le carburant directement dans cette chambre au moment voulu (temps sur les 4temps). Sur un diesel, il est un peu plus difficile d'injecter le gazole car il est moins fluide que l'essence. En conséquence, l'injection est souvent plus puissante en termes de pression. Notez qu'il ne s'agit pas d'une bougie mais bel et bien d'un injecteur ... Le carburant est ici envoyé sous pression directement dans la chambre de combustion [02]

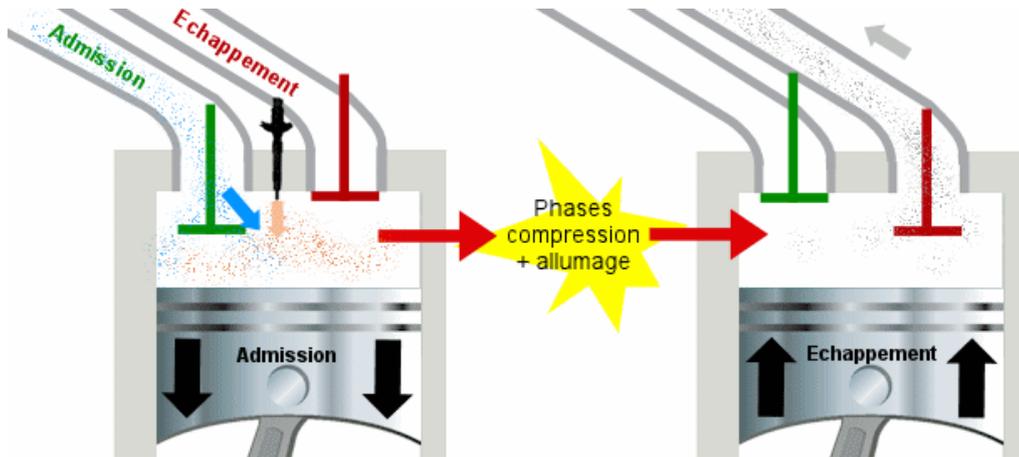


Figure I. 2: Principe d'injection directe dans un moteur diesel les moteurs à injection indirecte (préchambres, chambres de turbulences)

I.3.2. Injection indirecte :

Dans ce type de moteur, l'injecteur débouche dans une chambre de précombustion, ou préchambre, communiquant avec le cylindre (chambre principale). Elle a été conçue pour remédier au problème de bruit de combustion. Du fait du manque d'air dans la préchambre, les quantités de suies émises sont plus grandes que pour l'injection directe. De plus, la formation des NOx est réduite, du fait que lorsque la préchambre atteint une température élevée, l'oxygène requis est absent. En effet, ce qui arrive par la soupape d'admission dans un diesel ne se limite qu'à de l'air, alors que dans une essence c'est un mélange air/carburant. En conséquence, le mélange se fait dans une petite chambre à part qui est connectée au cylindre via un conduit, et non pas dans un autre endroit situé ailleurs (dans le circuit d'admission dans le cas d'une essence). Le mélange sera effectué encore une fois grâce aux "courants d'air" générés par les va et vient du cycle 4 temps (mais aussi par la conception aérodynamique précise de l'intérieur du moteur, qui permet alors les turbulences nécessaires au mélanges air/carburant).

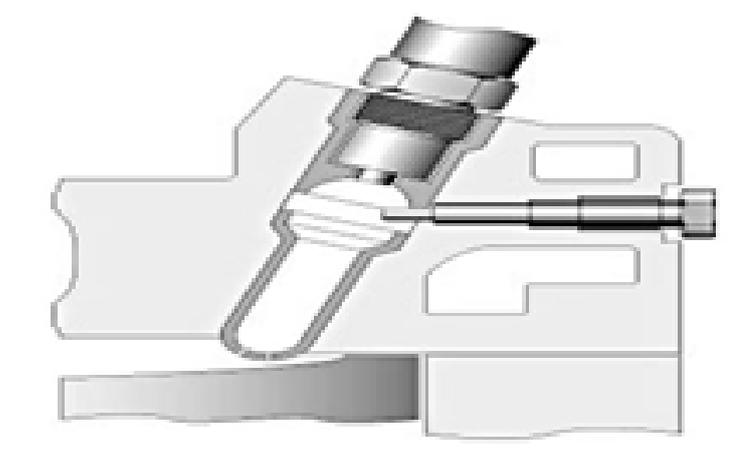


Figure I. 3: Moteur Diesel à injection indirecte [4] .

I.4. Injecteur de type Common Rail :

Le common rail est un système d'injection que l'on retrouve sur les moteurs diesel. Il permet une meilleure répartition du carburant, une augmentation des performances du moteur mais aussi une réduction des émissions polluantes. De nos jours, 70 % des véhicules diesel sont équipés d'un common rail.

L'injecteur de type Common Rail permet la pulvérisation du carburant dans la chambre de pression en dosant avec précision le débit et l'instant d'injection. L'injecteur est composé de deux parties (Figure I.3) :

- La partie supérieure est un dispositif à commande électrique qui permet le contrôle de l'aiguille.
- La partie inférieure est un injecteur à trous multiples, semblable aux injecteurs classiques montés sur les moteurs à injection directe.

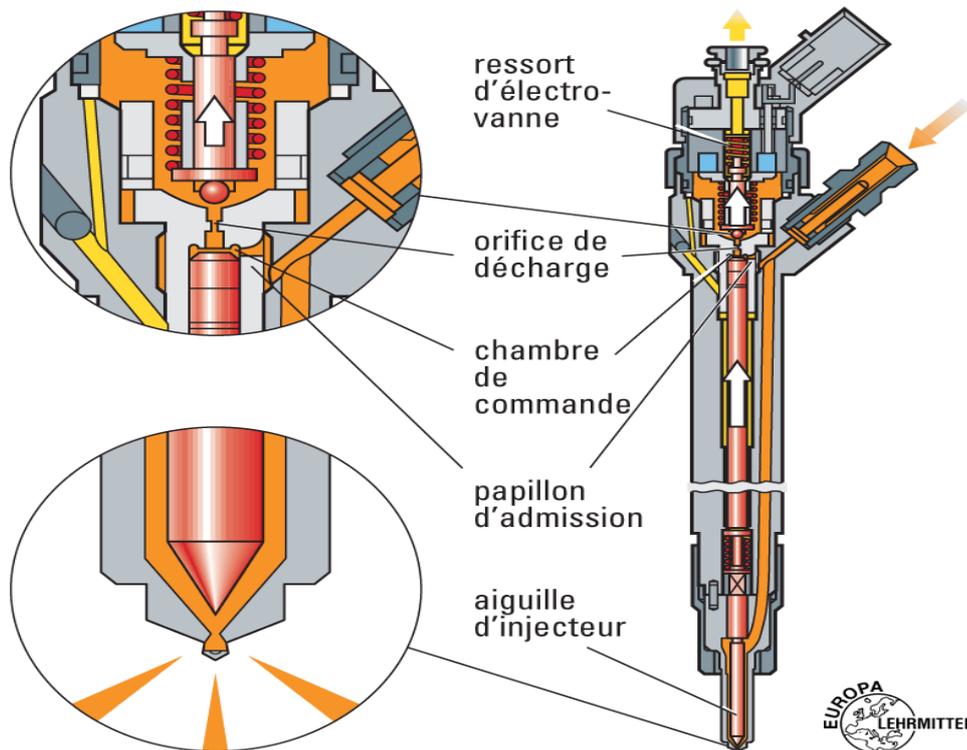


Figure I. 4: Schéma de principe d'un injecteur Common Rail [3].

A fonction des injecteurs consiste à injecter la quantité précise de carburant calculée par le calculateur dans tout état de fonctionnement du moteur. Une distance et un angle d'injection définis, spécifiques au moteur, doivent être respectés pour assurer une bonne pulvérisation du carburant et de faibles pertes par condensation.

Les techniques d'injection Diesel connaissent, depuis la mise sur le marché des moteurs à injection directe, une véritable révolution. Pour ce qui est des systèmes d'injection à rampe commune, la porte injectrice et le nez de l'injecteur ont dû être adaptés pour pulvériser au

mieux le fuel et limiter les dispersions jet à jet et cycle à cycle ; en effet, ces fluctuations incontrôlées sont des sources de formation de polluants et de surconsommation. Nous détaillons dans la suite quelques-unes des évolutions techniques du système d'injection.

I.4.1. Injecteur à sac et injecteur VCO :

Les injecteurs à sac possèdent une cavité, appelée sac, à la base de l'aiguille lorsque celle-ci repose sur son siège (Figure I.4). L'augmentation de la contenance de ce sac dégrade les émissions d'hydrocarbures imbrûlés. En effet, à la fin de l'injection, lorsque l'aiguille est retombée, le fuel contenu dans ce volume se déverse dans la chambre de combustion. Ce carburant brûle très lentement et de manière incomplète.

Cela crée des problèmes dépollution. Pour pallier ce défaut, les équipementiers proposent l'injecteur VCO (Valve Covered Orifice) qui ne présente pas de sac : l'aiguille vient obstruer n'est que partiellement levée. Les sprays sont alors très dissymétriques induisant une forte augmentation de formation de particules à l'échappement. En effet, la répartition de carburant dans la chambre étant changée, des zones très riches en fuel apparaissent, entraînant la formation de particules de suies.

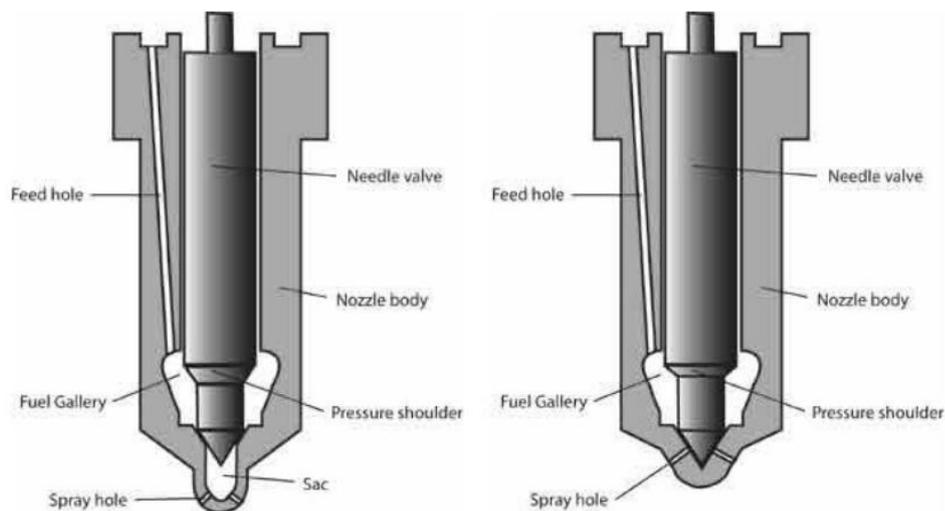


Figure I. 5: Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite)

Différents compromis sont proposés. Ils sont regroupés sous la terminologie de mini et micro sac suivant l'importance de ce dernier. L'augmentation du volume de cette cavité tend à limiter l'émission de suies en charge partielle, mais, en revanche, accroît le niveau d'imbrûlés émis [3].

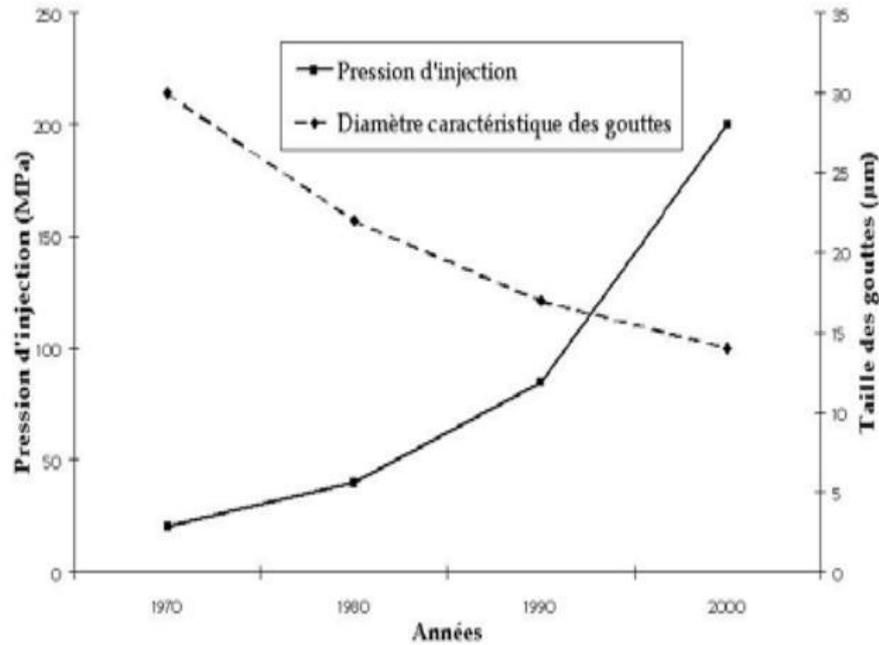


Figure I. 6: Évolution de l'injection Diesel au cours des trente dernières années.

I.5- Les combustibles :

Les combustibles peuvent être de provenance et de nature très variées, ils contiennent en quantités variables des éléments utiles : du carbone et de l'hydrogène et des éléments neutres ou mêmes néfastes : de l'oxygène, de l'azote, du soufre, des minéraux (qui se transforment en cendres) Pour calculer la composition de leurs fumées, il est nécessaire de connaître leur composition chimique. On les classe ci-après selon leur nature :

I.5.1. Combustibles liquides et gazeux :

Les combustibles gazeux aujourd'hui sont d'origine essentiellement pétrolière. On ne les dissociera pas de ceux-ci.

Le pétrole est d'origine mal connue. Beaucoup plus ancien que les charbons, il est certainement le résultat de la décomposition des microorganismes des mers primitives. La teneur en soufre naturelle (gaz ou liquide) est importante. Ils doivent être d'soufrés.

a) Produits de distillation :

Les hydrocarbures pétroliers de distillation seront plus ou moins volatils selon la hauteur du soutirage dans la colonne de distillation c'est-à-dire de la température de distillation. Cela ira du Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL : mélange butane 65% propane 35%) jusqu'aux fuels lourds pour ce qui concerne les combustibles et d'autres produits plus lourds tel que paraffine ou goudron. [4]

Tableau I. 1: Les caractéristiques moyennes dans les Produits de distillation [6].

	GPL	Essence	Kérosène	Gasoil	Fuel lourd
O(%)	0	0	0	0.2	0.4
N(%)	0	0	0	0.2	0.25
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
Ma	15.4	15	15	14.3	14
D	0.55	0.75	0.8	0.844	0.99
Ip	46MJ/kg	44MJ/kg	43,5MJ/kg	42MJ/kg	42MJ/kg

I.6.1'état de l'art :

1- Le processus de désintégration est simulé par un modèle de dynamique des fluides computationnelle (CFD) qui combine la méthode volumique des fluides (VOF), le modèle discret de phase (DPM) et la réponse adaptative des fluides (AMR).). L'approche de cartographie a été utilisée pour corrélérer efficacement le débit de fluide à l'intérieur du bus à petit volume avec le débit de jet multiphasés à grande échelle à l'extérieur du bus. L'influence du champ d'écoulement à l'intérieur de la buse sur les propriétés d'atomisation a été explorée

2- Il n'y a pas de correspondance entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux, et il est constant que l'angle d'impact et la distribution de la vitesse de projection ont des effets importants sur les propriétés de l'atomisation.

Dans cet article, une buse bi-liquide pour atomisation basse pression est étudiée, car cette buse est caractérisée par un écoulement d'air circulaire dans la chambre de mélange. L'effet du diamètre du trou d'injection d'air et de la pression d'injection d'air a été étudié. Les résultats ont montré que la buse produit de petites gouttelettes et que la taille moyenne des gouttelettes diminue d'abord puis augmente

3- Une étude des performances du modèle de désintégration eulérienne Σ -Y dans la reproduction de la structure interne d'un aérosol diesel, avec un accent sur la prédiction du diamètre moyen de Sauter (SMD). L'étude compare les résultats de modélisation avec des données de rayons X uniques et optimise la densité interfaciale prévue en utilisant une combinaison de modélisation CFD et de méthodologie de surface de réponse. Diverses injections et conditions ambiantes sont simulées avec des valeurs spécifiques, ce qui améliore considérablement les performances de modélisation

4- Traite de l'étude de la rupture initiale de fluides très visqueux à l'aide de tuyères bi-fluides à mélange externe à pression croissante du système à l'aide d'une simulation numérique basée sur une tuyère précédemment étudiée. Des caractéristiques telles que la morphologie du jet, la longueur de l'éclatement et la fréquence de l'éclatement ont été évaluées pour deux liquides de

viscosités différentes et deux vitesses d'air. La simulation a montré un bon accord avec les résultats expérimentaux concernant les propriétés et a montré une diminution de la longueur de rupture avec l'augmentation de la pression ambiante du débit massique du fluide et des constantes de vitesse de l'air d'atomisation

5- Lebas et al [10] ont proposé un modèle DNS pour valider et caler finement les équations de transport de la fraction massique moyenne de liquide et de la densité moyenne d'interface liquide et d'amélioration du modèle de spray DNS et de façon plus générale, d'amélioration de la modélisation de l'atomisation des jets Diesel. Dans le même axe de recherche nous proposons dans cette étude la réalisation des expériences numériques de l'atomisation et la dispersion de fuel diesel à l'intérieur de chambre de combustion par injecteur en proposant plusieurs configurations géométriques possible. L'injection d'un liquide à grande vitesse dans une chambre à air calme.

6- Calimez en 1998a été l'un des premiers à avoir couplé le changement de phase avec la méthode VOF dans le domaine de l'atomisation pour des écoulements diphasiques réactifs. Ce dernier a, lui aussi, été contraint de réaliser des simulations dans des domaines confinés et d'énoncer des hypothèses thermodynamiques fortes, étant donné les moyens de calcul de l'époque

7- Le Pierre-Arnaud Beau a développé, d'implémenter et de valider le modèle ELSA dans le contexte de l'injection Diesel. Ce dernier permet de décrire de façon complète le spray diesel depuis l'intérieur de l'injecteur jusque dans la zone diluée du spray. Il est important de décrire correctement le processus d'atomisation lors de l'injection Diesel, car ce phénomène contrôle la dispersion de la masse liquide et vapeur (vaporisation) dans la chambre de combustion.

8- La buse de pulvérisation à broche est utilisée dans plusieurs domaines des industries chimiques et manufacturières. Pour étudier les propriétés d'atomisation de la buse à broche, un dispositif d'atomisation à haute pression a été développé et un système d'imagerie optique a été proposé pour vérifier l'effet de la chute de pression et le diamètre de la buse de pulvérisation à broche. Les résultats ont montré que la taille et la vitesse des gouttelettes suivent une distribution log-normale et sont affectées négativement par la chute de pression et positivement par le diamètre de l'orifice

9- Une simulation numérique à haute résolution d'un filtre à jet d'air coaxial a été réalisée pour étudier les processus de gazéification en continu. L'étude vise à comprendre l'effet de la pression élevée du réacteur sur le comportement initial de décomposition des jets de liquide. La pression atmosphérique et différentes buses de mélange externes ont été utilisées dans ce travail, car les résultats ont montré l'instabilité du mode pulsé du jet de liquide et la dissociation du liquide fibreux à différentes pressions

10- Etude expérimentale et simulation numérique pour étudier l'écoulement et la cavité carburant dans les injecteurs haute pression carburante. Des visualisations expérimentales et des simulations haute résolution sont utilisées pour capturer la formation de structures de vapeur instables, la cavitation appelée des cordes et la génération de vortex dans les bus

d'injecteurs. Les résultats montrent que les interagissent vortex, fusionnent et bourdonnent, ce qui favorise l'apparition temporaire de la cavitation de cisaillement

11- De la géométrie de la buse Une étude examinant l'effet de la pression sur la qualité de pulvérisation d'un nébuliseur à deux liquides. La méthode de la buse à pression adaptée a été utilisée, avec deux fluides newtoniens de viscosités différentes, car les résultats ont montré que l'application de buses à pression adaptée et l'augmentation de la pression du système entraînent une diminution du volume des gouttelettes suivie d'une augmentation, avec une pression dynamique maximale de la phase gazeuse au volume des gouttelettes. Les images de la caméra à grande vitesse ont révélé un changement dans la forme de rupture à haute pression du système

12- Une étude des performances du modèle de désintégration eulérienne Σ -Y dans la reproduction de la structure interne d'un aérosol diesel, avec un accent sur la prédiction du diamètre moyen de Sauter (SMD). L'étude compare les résultats de modélisation avec des données de rayons X uniques et optimise la densité interfaciale prévue en utilisant une combinaison de modélisation CFD et de méthodologie de surface de réponse. Diverses injections et conditions ambiantes sont simulées avec des valeurs spécifiques, ce qui améliore considérablement les performances de modélisation.

13- L'aborde la modélisation de la pulvérisation de diesel, qui est un problème complexe avec des interactions entre différentes régions d'écoulement. Plusieurs approches de modélisation ont été utilisées pour simuler certaines régions de la pulvérisation. Le modèle d'interface diffuse à fluide unique S-Y est utilisé pour simuler le réseau de combustion des moteurs Sprays A et D. Le Spray D est modélisé avec succès en accordant une attention particulière à la région proche de la buse, où les mesures ont été validées. Ensuite, les prévisions de modélisation sont analysées en comparaison avec les résultats précédents pour Spray A, en tenant compte des effets de la géométrie de la buse

14- Ménard T.al [6] ont été proposés des simulations numériques directes du suivi d'interface et ils sont utilisés ici obtenir des données afin de construire et de valider une deuxième approche, qui se base sur une description moyenne des deux écoulements de phase qui présente un intérêt pratique pour simuler le diesel et la combustion. Ont contribué à la compréhension de la rupture primaire dans le spray diesel au moyen de simulations, par ex. représentant correctement l'influence de la température du gaz. Ont proposé un modèle DNS pour valider et caler finement les équations de transport de la fraction massique moyenne de liquide et de la densité moyenne d'interface liquide et d'amélioration du modèle de spray DNS et de façon plus générale, d'amélioration de la modélisation de l'atomisation des jets diesel. Dans le même axe de recherche nous proposons dans cette étude la réalisation des expériences numériques de l'atomisation et la dispersion de fuel diesel à l'intérieur de chambre de combustion par injecteur en proposant plusieurs configurations géométriques possible.

Chapitre II :

Modèles mathématiques

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous abordons la modélisation mathématique du transfert de chaleur et de l'écoulement d'un fluide incompressible à régime variable, ainsi que les modèles de fermeture associés. Au fil des décennies, les lois fondamentales de la mécanique des fluides découvertes par Brandtelli, Navier-Stokes et Reynolds ont été établies, restant à être exploitées par les ingénieurs et le reste du monde au service de l'humanité. En général, les mécanismes fluides sont gouvernés par trois équations de base : l'équation de continuité, l'équation de quantité de mouvement et l'équation de l'énergie. Ce chapitre vise à présenter les principales équations régissant le problème simultané (dynamique et thermique) et à développer les lois fondamentales correspondantes.

II.2. Modélisation de l'écoulement des fluides :

Les problèmes de CFD sont fondés sur les lois de la mécanique des fluides, comprenant l'équation de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie.

II.2.1. Equation de Navier-Stokes :

L'écoulement de deux fluides incompressibles, Newtoniens et non miscibles est régi par les équations de Navier-Stokes pour chaque phase

$$\frac{d\rho k v}{dt} + \nabla(\rho k) = \rho k g - \nabla \rho k + \nabla(2\mu K s k) \tag{II-1}$$

II.2.2. Equation de continuité :

L'équation de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel est mathématiquement exprimée comme suit :

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{II-2}$$

II.2.3. Equation de quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement établit les relations entre les caractéristiques du fluide en mouvement et les forces qui l'affectent. Mathématiquement, il se traduit par les équations de la quantité de mouvement (ou équations de Navier-Stokes) pour les fluides newtoniens incompressibles en régime laminaire, formulées comme suit :

Suivant OX :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + [\rho - \rho_0] g_x \tag{II.3}$$

Suivant OY:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + [\rho - \rho_0] g_y \tag{II.4}$$

Suivant OZ :

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + [\rho - \rho_0] \quad (\text{II.5})$$

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

$$\begin{aligned} \tau_{yx} = \tau_{xy} = \mu \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right]; \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right]; \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left[\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right]; \\ \tau_{xx} = \mu \left[2 \frac{\partial u}{\partial x} \right]; \tau_{yy} = \mu \left[2 \frac{\partial v}{\partial y} \right]; \tau_{zz} = \mu \left[2 \frac{\partial w}{\partial z} \right] \end{aligned}$$

II.2.4. Equation de conservation de l'énergie :

L'équation de conservation d'énergie découle du premier principe de la thermodynamique, qui établit une relation entre les différentes formes d'énergie par :

$$\begin{aligned} \rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + q \quad (\text{II-6}) \\ \alpha = \frac{k}{\rho c} \end{aligned}$$

T : température.

q : source volumique. [20]

II.2.5. La décomposition statique (La décomposition de Reynolds)

Elle consiste à décomposer chaque grandeur instantané φ des équations des Navier- Stokes en une grandeur moyenne $\bar{\varphi}$ et une fluctuation turbulente φ' .

Les équations de Navier -Stokes étant non linéaires, l'opération de moyenne fait apparaître de nouveaux termes qui traduisent l'influence de la turbulence sur l'écoulement moyen.

$$\varphi = \bar{\varphi} + \varphi' \quad (\text{II-7})$$

Avec la valeur moyenne de φ est exprimée par la relation suivante :

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{T} \int_0^1 \varphi \, dt \quad (\text{II-7-a})$$

Dans le cadre de la modélisation en un point de la turbulence, on ne s'intéresse qu'aux Moyennes statiques de la vitesse et de la pression. On décomposé ainsi les grandeurs Instantanées selon la règle de Reynolds :

$$\begin{aligned} U_i = \bar{U} + U_i' \\ p = \bar{p} + p' \end{aligned} \quad (\text{II-8})$$

On fait la différence (II.15) -(II.11) en tenant compte de (II.12) :

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \bar{U}_K \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + u_k \frac{\partial U_i}{\partial x_k} + \frac{\partial(u_i u_k - \bar{u}_k \bar{u}_i)}{\partial x_k} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_k \partial x_k} \quad (\text{II-15})$$

On peut écrire (II.16) pour l'indice j :

$$\frac{\partial u_j}{\partial t} + \bar{U}_K \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + u_k \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \frac{\partial(u_j u_k - \bar{u}_k \bar{u}_j)}{\partial x_k} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_k \partial x_k} \quad (\text{II-16})$$

On multiplie (II-16) par U_j (II-17) par U_i et on somme les deux équations obtenues. En regroupant certains termes, il vient [22]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_j}{\partial t} + U_K \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_k} = & - R_{ik} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} - R_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} + \frac{\bar{P}}{\rho} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{U_i U_j U_k}) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \\ & 2\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \nu \frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial x_k \partial x_k} \end{aligned} \quad (\text{II-17})$$

Cette équation fait apparaître au second membre plusieurs contributions : les deux premiers termes traduisent l'action des gradients de vitesse moyenne sur le champ turbulent et représentent la production des tensions de Reynolds (son signe peut dans certains cas être Négatif). Le terme de corrélation pression-déformation s'annule par contraction et réalise

Dance une redistribution d'énergie sur les composantes des tenseurs de Reynolds.

Schématiquement on écrira [23]

$$\frac{\partial R_{ij}}{\partial t} + \bar{U}_k \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_k} = P_{ij} + T_{ij} + D_{ij} - \epsilon_{ij} + \nu \frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial x_k \partial x_k} \quad (\text{II-18})$$

T_{ij} = Transport diffusif dû à la fluctuation de vitesse et aux fluctuations de pression.

P = production.

ϵ_{ij} = Dissipation visqueuse (car il constitue un puits dû à la viscosité moléculaire).

D_{ij} = Diffusion visqueuse.

L'équation (II.16) est appelée équation de tension de Reynolds ou équation des corrélations

Doubles $R_{ij} = \overline{U_j U_i}$

II.3. Conclusion :

Nous avons exposé la formulation mathématique des équations qui gouvernent les écoulements fluides, ainsi que les principaux modes de transfert de chaleur tels que la conduction, la convection et le rayonnement. Au chapitre suivant, 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.

Chapitre III :

Méthodes numériques

III.1. Introduction :

Méthodes de résolution numérique d'une EDP elliptique Pour passer d'un problème exact continu régité par une EDP au problème approché discret, il existe trois grandes familles de méthodes :

Méthode des différences finies ;

Méthode des éléments finis ;

Méthode des volumes finis :

III.2. Les trois grandes familles de méthodes :**III.2.1. Méthode des différences finies :**

Est une technique courante de recherche de solutions approchées d'équations aux dérivées partielles qui consiste à résoudre un système de relations (schéma numérique)

Cette méthode apparaît comme étant la plus simple à mettre en œuvre car elle procède en deux étapes :

(a) D'une part la discrétisation par différences finies des opérateurs de dérivation

(b) D'autre part la convergence du schéma numérique ainsi obtenu lorsque la distance entre les points diminue.

III.2.2. Méthode des éléments finis :

Les méthodes d'éléments finis (MEF) qui restent aussi les plus utilisées, pour la résolution des problèmes aux limites des chapitres précédents. Cela nous permettra d'introduire les principes permettant de construire des méthodes de ce type plus générales est une technique numérique puissante permet de trouver des solutions approximatives aux problèmes de valeurs limites (valeurs aux bords). L'utilité de cette méthode a été reconnue pour la première fois au début des années 1940 par Richard Courant, un mathématicien germano-américain

III.2.3. Méthode des volumes finis :

Est une technique numérique qui permet de transformer les équations aux dérivées partielles, traduisant les lois de conservation de la physique, en des équations algébriques discrètes, sur des volumes finis. La méthode des volumes finis est essentiellement utilisée en Mécanique des Fluides Numérique (MFN) et Computational Fluid Dynamique (CFD).

III.3. Méthodes numériques de discrétisation :

Les équations qui gouvernent les problèmes de l'écoulement autour d'obstacle en présence d'une rugosité variable se sont des équations différentielles partiels. Trois méthodes classiques sont utilisées pour la discrétisation et la résolution

Tableau III. 1 : Comparaison des avantages et des inconvénients des différentes méthodes numériques.

Méthode	Avantages	Inconvénients
Différences finies	Mathématiquement simple Facilité d'avoir des schémas élevés en termes d'espace et de temps.	La conservation de la masse n'est pas assurée
Éléments finis	Équations indépendantes pour chaque élément	Complicquée en termes de formulation mathématique. Temps de résolution long.
Volume finis	Simple en application pour les fluides. Assure la conservation de la masse	Exactitude dépendante du maillage. Difficulté de construire des schémas numériques d'ordre élevé.

III.4. Méthode des volumes finis pour la résolution numérique :

Cette méthode est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles comme la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis mais, contrairement à la méthode de différence finies qui utilise des approximations de dérivées, la méthode de volume fini utilise comme la méthode d'éléments finis, des approximations d'intégrales. Dans la méthode des volumes finis les lois de conservations (de la masse, de quantité de mouvement et de l'énergie) sont exprimées localement sous une forme intégrale.

La clé de cette méthode réside dans l'application du théorème de la divergence ou théorème d'Ostrogorski, qui permet de changer une intégrale de volume en intégrale de surface. L'un des principaux avantages de la méthode des volumes finis est d'assurer une conservation intégrale exacte des grandeurs quelle que soit la taille du maillage et c'est pour raison qu'elle est très largement utilisée pour la résolution des phénomènes gouvernés par des équations à dérivées partielles.

III.4.1. Maillage dans la méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis est une version spéciale de la méthode des résidus pondérés où la fonction de projection égale à l'unité [29]. Cette méthode consiste à subdiviser le domaine d'étude en volumes élémentaires de telle manière que chaque volume entoure un nœud principal P.

Le domaine de calcul est subdivisé en un ensemble de volumes de contrôle. Ces volumes englobent tout le domaine de calcul, de sorte que la somme de leurs volumes est exactement égale au volume du domaine de calcul. Un point est situé au centre de chaque volume, appelé centre du volume de contrôle, noté P. Les nœuds des volumes adjacents seront N, S, W, E, T, B selon leurs positions (North, South, West, East, Top, Bottom) Figure III-1

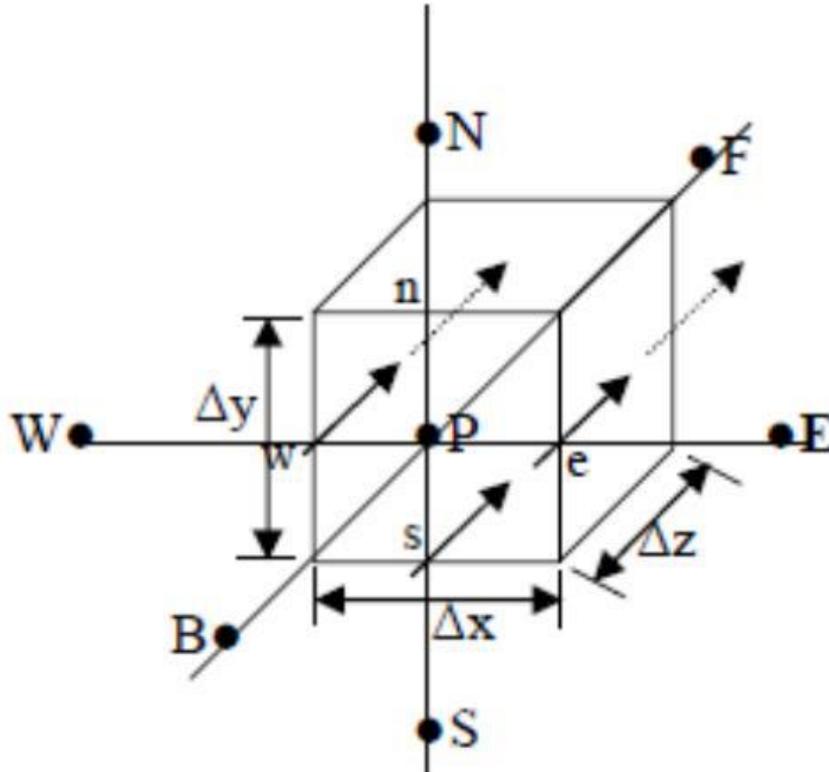


Figure III. 1: Volume de contrôle.

III.5. Mise en œuvre de la méthode des éléments finis :

III.5.1. Formulation variationnelle forte :

Dans la formulation forte d'un problème aux conditions aux limites, l'objectif est de trouver une fonction $U(x)$ dans un espace de solutions US qui satisfait l'équation différentielle $\mathcal{L}(u)-F=0$ pour tout x dans le domaine Ω , et la condition aux limites $B(u)=u_0$ pour tout x sur la frontière Γ .

L'espace des solutions US doit être choisi de manière judicieuse en fonction des propriétés de l'équation et des conditions aux limites. Il dépendra de la nature du problème et des contraintes spécifiques qui lui sont associées.

La sélection appropriée de l'espace des solutions est importante car elle doit permettre de capturer les caractéristiques essentielles de la fonction $U(x)$ recherchée tout en satisfaisant les conditions aux limites spécifiées. Différentes méthodes et espaces fonctionnels peuvent être utilisés en fonction du type d'équation et des conditions aux limites.

En résumé, la formulation forte d'un problème aux conditions aux limites consiste à trouver une fonction $U(x)$ dans un espace de solutions US qui satisfait l'équation différentielle

et les conditions aux limites spécifiées. Le choix judicieux de l'espace des solutions dépendra des propriétés du problème et des contraintes qui lui sont associées.

III.6. Forme générale des équations du système [22]

Tableau III. 2: Tableau de Représentation d'équation de transport. [34]

Variable \varnothing	coefficient d'advection c_\varnothing	Diffusivité Γ_\varnothing	Termes source S_\varnothing
V_x	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \sigma \nabla \cdot \left(\frac{\nabla_c}{\ \nabla_c\ } \right) \frac{\nabla_c}{\ \nabla_c\ }$
V_y	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \sigma \nabla \cdot \left(\frac{\nabla_c}{\ \nabla_c\ } \right) \frac{\nabla_c}{\ \nabla_c\ }$
T	1	$\frac{k}{\rho c^e}$	$\frac{\varphi}{\rho c^e}$
ρ	1	0	0

III.7-Discretisation :

Dans le contexte de la discrétisation par la méthode des éléments finis, on commence par subdiviser le domaine de la solution en éléments finis, tels que des triangles ou des quadrilatères pour un domaine 2D, ou des tétraèdres ou des hexaèdres pour un domaine 3D. Chaque élément fini est défini par un ensemble de nœuds, et la solution est approximée par une fonction interpolant qui est définie localement à l'intérieur de chaque élément fini.

La méthode Galerkin des résiduels pesés consiste à choisir des fonctions de pondération appropriées pour chaque élément fini. Ces fonctions de pondération sont généralement choisies de manière à satisfaire certaines propriétés, telles que la continuité ou la dérivabilité. Les fonctions de pondération sont combinées avec les équations aux dérivées partielles et intégrées sur chaque élément fini.

III.7.1-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

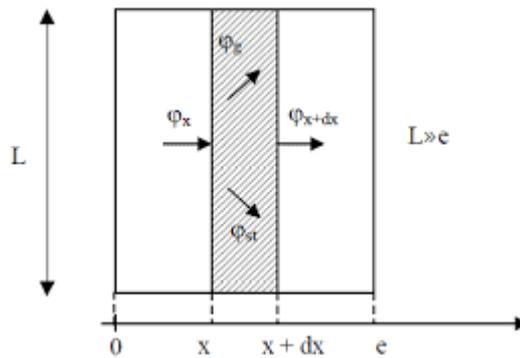


Figure III. 2: Bilan thermique

La puissance thermique stockée dans un objet, représentée par P, est définie comme la quantité d'énergie thermique absorbée ou libérée par cet objet par unité de temps. Dans le cas d'un système composé de plusieurs éléments, la puissance thermique totale stockée dans le système est la somme des puissances thermiques stockées dans chaque élément individuel.

la puissance thermique reçue sous forme de flux a travers la surface S [22]:

$$\int \rho C_p \partial T \partial t dv = \int q dv + \int -n(-\bar{\lambda} g a d\bar{T}) ds \tag{III-1}$$

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

$$\rho C_p T - \text{div}(\bar{\lambda} g a d\bar{T}) q = 0 \tag{III-2}$$

Pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (III-2) s'écrit dans le repère orthonormé (x,y)[24] :

$$\rho C_p T = (\partial^2 T \partial x^2 + \partial^2 T \partial y^2) + q \tag{III-3}$$

III.7.2. Forme discrétisée : éléments finis

Un domaine V est décomposé en sous-domaines \$V_e\$ de formes géométriques simples (éléments), qui sont reliés entre eux en des points appelés nœuds. Cette opération est appelée maillage. [25]

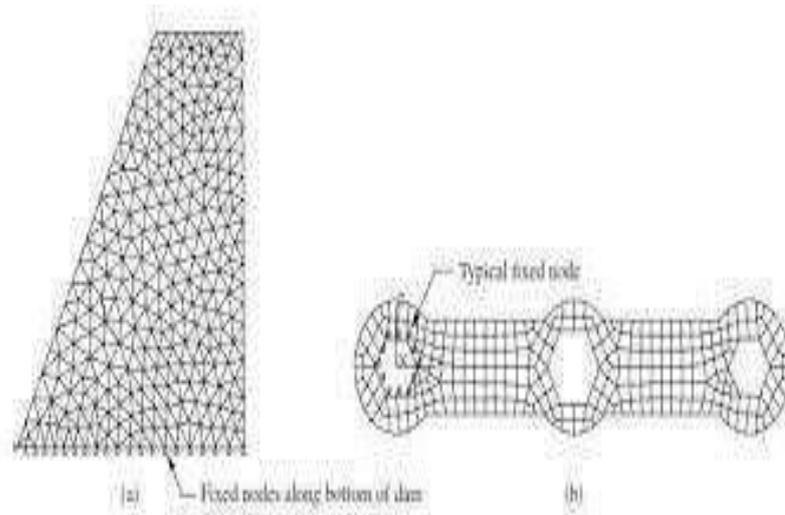


Figure III. 3: Domaine plan discrétisé en élément reliés eux par nœuds.

III.8-Méthodes discrétisations :

Un ensemble d'étapes pour résoudre numériquement une équation différentielle est appelé une méthode de discrétisation. La mise en œuvre de méthodes numériques pour le calcul des champs conduit inévitablement à des logiciels qui lui sont associés, un programme pouvant être écrit pour chaque problème qui prend en compte sa géométrie, ses propriétés physiques et ses conditions aux limites. Il existe aujourd'hui des logiciels polyvalents adaptés dits de technologie CAO, dont la structure informatique est adaptée pour traiter un grand nombre de problèmes du même type, tels que PDETOOL sous MATLAB, ANSYS,

Description du problème (Géométrie, caractéristiques physiques, maillage, limites du domaine d'étude).

Mise en œuvre de la méthode numérique de simulation (Différences finies, éléments finis, volumes finis, intégrales de frontière) plus une méthode itérative

III.9- Choix d'un maillage :

Le choix d'un maillage d'éléments finis dépend de plusieurs facteurs, tels que la géométrie du problème, les propriétés matérielles, les conditions aux limites et les objectifs de l'analyse. Voici quelques considérations générales pour vous aider à faire un choix de maillage approprié :

Type d'éléments : Le premier choix à faire est le type d'éléments finis à utiliser. Les éléments finis peuvent être de différentes formes et dimensions, tels que les éléments linéaires (1D), les éléments triangulaires ou quadrangulaires (2D) et les éléments tétraédriques ou hexaédriques (3D). Le choix dépendra de la dimensionnalité du problème et de la complexité de la géométrie.

Taille des éléments : La taille des éléments dans le maillage est importante pour obtenir des résultats précis. Des éléments plus petits permettent une meilleure représentation des variations locales, mais augmentent également la taille du système à résoudre. Des éléments plus grands peuvent simplifier le problème, mais conduire à une précision réduite. Il est courant d'utiliser des techniques d'adaptation de maillage pour optimiser la taille des éléments dans différentes régions de la géométrie.

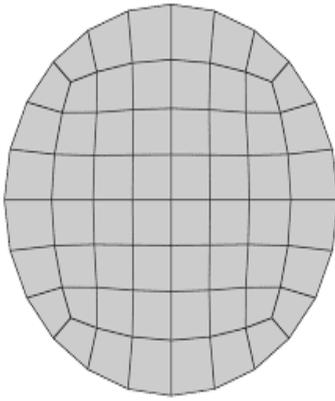
Raffinement du maillage : Dans certains cas, il peut être nécessaire de raffiner le maillage dans certaines zones critiques pour capturer des phénomènes locaux importants. Par exemple, près des singularités, des interfaces matérielles ou des zones de grande variation. Le raffinement du maillage peut se faire de manière uniforme ou adaptative en fonction des besoins de l'analyse.

Types d'éléments spéciaux : Pour des problèmes spécifiques, il peut être nécessaire d'utiliser des types d'éléments spéciaux pour modéliser des comportements particuliers. Par exemple, des éléments d'interface pour les problèmes de contact, des éléments d'interface fluide-structure pour les problèmes couplés fluides-structures, ou des éléments d'interface cohésifs pour les problèmes de rupture.

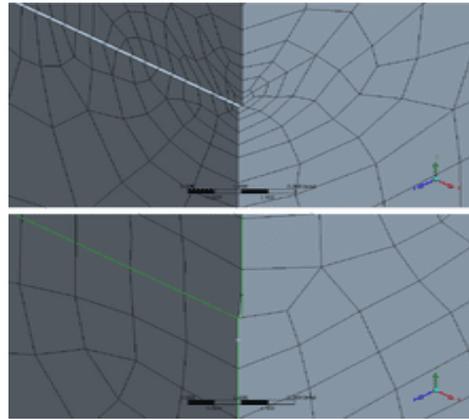
Contraintes de temps et de ressources : Le choix du maillage peut également être influencé par les contraintes de temps et de ressources disponibles. Un maillage plus fin nécessite généralement plus de temps de calcul et de ressources informatiques. Il est donc important de trouver un compromis entre la précision des résultats et les contraintes de temps.

Validation et vérification : Il est recommandé de valider et de vérifier le maillage en effectuant des analyses de convergence. Cela implique de raffiner progressivement le maillage et de vérifier si les résultats convergent vers une solution stable. Cela permet de s'assurer de la qualité du maillage et de la fiabilité des résultats obtenus.

En résumé, le choix d'un maillage d'éléments finis dépendra de la géométrie, des propriétés matérielles, des conditions aux limites et des objectifs de l'analyse. Il est important de considérer ces facteurs et de faire des ajustements itératifs du maillage en fonction des besoins spécifiques du problème.



A-élément hexaédrique.



B-élément tétraédrique

III.10. Principe de la méthode VOF :

La méthode VOF (Volume of Fluid) est une méthode numérique largement utilisée pour modéliser les écoulements multiphasiques avec des interfaces fortement déformées. Cette méthode permet de déterminer l'emplacement de la surface libre de l'écoulement à chaque instant en utilisant une fonction discrète.

Dans la méthode VOF, le domaine de simulation est discrétisé en une grille de cellules. Chaque cellule de la grille possède une valeur de fraction volumique, représentant la proportion du volume occupé par un fluide donné (par exemple, le métal liquide) à l'intérieur de la cellule. La somme des fractions volumiques de tous les fluides dans une cellule est égale à 1.

Dans cette méthode, les fluides sont généralement représentés par des variables discrètes appelées C_k , où k est un indice représentant le fluide en question. Par exemple, $C_k = 1$ peut représenter le métal liquide et $C_k = 0$ peut représenter l'air (gaz). Les valeurs de C_k pour les différentes cellules déterminent la configuration de l'écoulement.

L'interface entre le métal liquide et l'air est représentée par une valeur de C_k comprise strictement entre 0 et 1. Par exemple, une valeur de $C_k = 0,5$ dans une cellule indiquerait que la moitié du volume de la cellule est occupée par le métal liquide et l'autre moitié par l'air. Cette valeur intermédiaire de C_k représente la frontière entre les deux fluides.

Au cours de la simulation, les valeurs de C_k sont mises à jour à chaque itération en fonction des conditions aux limites, des propriétés des fluides et des équations de conservation appropriées (comme l'équation de conservation de la masse). Ces mises à jour permettent de suivre l'évolution de l'interface et de modéliser les déformations et les mouvements de la surface libre au fil du temps.

En résumé, la méthode VOF utilise une fonction discrète pour représenter la fraction volumique des différents fluides dans chaque cellule, ce qui permet de localiser l'interface

entre les fluides et de modéliser les écoulements aux interfaces fortement déformées, tels que les écoulements liquide-air dans lesquels la surface libre change de forme et de position.

$$C_k = 0 \text{ si } x \notin \text{phase } k$$

$$C_k(x_i, t) = 0.5$$

$$C_k = 1 \text{ si } x \in \text{phase } k$$

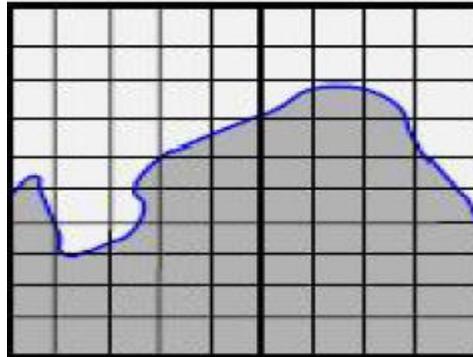


Figure III. 4: Méthode VOF [27].

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

Dans le cas des écoulements incompressibles, l'équation d'advection de donne [28]

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla C_k \quad (\text{III-4})$$

L'équation d'advection (III.4) possède deux particularités : elle est hyperbolique et conservative. De nombreux travaux portent sur la discrétisation de ce type d'équation. Ils montrent entre autres qu'une discrétisation conservative de cette équation permet d'assurer la conservation de la masse. Malheureusement le transport d'une discontinuité s'avère délicat du fait de la diffusion numérique des schémas numériques responsables d'un étalement de la fonction C_k Il est en effet impossible de transporter et de conserver au cours du temps une discontinuité. Pour contourner cette difficulté, des algorithmes de reconstruction géométrique ont été imaginés pour repérer la position de l'interface à l'intérieur des mailles comportant $\nabla C_k \neq 0$. De nombreux algorithmes de reconstruction plus ou moins complexes ont été développés ces dernières années. On trouvera une revue des méthodes de reconstruction dans [30].

III.11. Conclusion :

Ce chapitre présente les trois principales méthodes numériques couramment utilisées pour résoudre les équations aux dérivées partielles, et choisit la méthode des éléments finis pour discrétiser la forme générale des équations. Nous donnons un aperçu général de la méthode VOF (Volume of Fluid).

Chapitre IV :

Résultats et discussions

IV.1. Introduction :

Ce chapitre présente une étude de simulations numériques portant sur la dissolution et la dispersion d'un jet liquide injecté dans un cylindre, en se basant sur une configuration proposée par Ménard et al. [31]. L'objectif est d'analyser l'impact de la forme et des paramètres géométriques de l'injecteur sur la dispersion d'un jet liquide à haute pression. Les résultats numériques ont été obtenus en utilisant le logiciel de simulation ANSYS APDL et la méthode VOF [28].

IV.2. ANSYS :

Le logiciel de calcul ANSYS (APDL) est un programme basé sur la méthode des éléments finis qui permet d'analyser des structures 3D dans plusieurs domaines, tels que la thermique, la mécanique, la statique et la dynamique, tant linéaires que non linéaires. Il permet également l'interaction fluide-structure, l'analyse de la fatigue, etc. Le logiciel offre une bibliothèque complète pour modéliser avec précision les structures et différents effets tels que les poutres, les coques, les solides, les fluides, la rigidité, la masse, les matrices d'amortissement, entre autres.

IV.2.1. Il existe plusieurs niveaux d'outils de simulation :

- ANSYS DesignScape: C'est un outil de conception assistée par ordinateur destiné aux bureaux d'études fonctionnant dans un environnement Windows standard. Il utilise des méthodes d'éléments finis pour analyser rapidement le comportement mécanique, thermique et vibratoire de vos conceptions. Il prend en charge les assemblages, ce qui permet d'attribuer différents types de contact entre les pièces et les assemblages.
- ANSYS Professional : Ce logiciel permet d'effectuer des analyses plus complexes, telles que les réponses spectrales et harmoniques, ainsi que les calculs transitoires en mécanique et thermique. Il offre des fonctionnalités avancées de contrôle, telles que les contacts face/face, les options de contact face/arête et la combinaison de solutions. Il dispose également d'outils de post-traitement pour les zones de contact.
- ANSYS Structural and Mechanical: Cette version offre un accès à tous les types de non-linéarité, tels que les matériaux non linéaires, les grandes déformations et les grands déplacements. Elle est spécifiquement destinée aux utilisateurs expérimentés ayant une connaissance approfondie de la théorie des éléments finis.

IV.3. Identification :

Dans cette première partie de notre travail, l'objectif est de justifier le modèle utilisé en comparant nos résultats de simulation d'atomisation et de dispersion de carburant diesel à l'intérieur d'une chambre de combustion avec les résultats numériques et expérimentaux de Ménard [28]. Ménard [30] présente des résultats de simulations numériques directes proches des conditions réelles du moteur diesel. Leur approche repose sur un couplage original des méthodes Volume of Fluid (VOF) et Level Set.

Cependant, certaines concessions sont faites dans les conditions simulées par Ménard par rapport aux conditions d'injection haute pression typiques d'un moteur diesel, notamment une vitesse d'injection réduite à 100 m/s. Les tableaux ci-dessous résument les propriétés thermiques et dynamiques, ainsi que les conditions d'injection utilisées.

Tableau IV. 1: Propriétés thermique et dynamique utilisé pour le calcul [28].

Propriétés	Densité (Kg /m3)	Viscosité (pas)	Vitesse (m/s)	Température (K)	Chaleur Spécifique (Kj/kg.k)	Conductivité Thermique (W/mk)
Glycérol /eau	696	0.0012	100	293	4.169	0.6
Acier	8100	/	/	/	0.447	48.3

Tableau IV. 2: Conditions d'injection utilisé pour le calcul numérique [28].

Diamètre d'injecteur (μm)	Vitesse d'injection (m/s)	Tension de surface (N/m)	Pression d'injection (MPa)
100	100	0.6	138

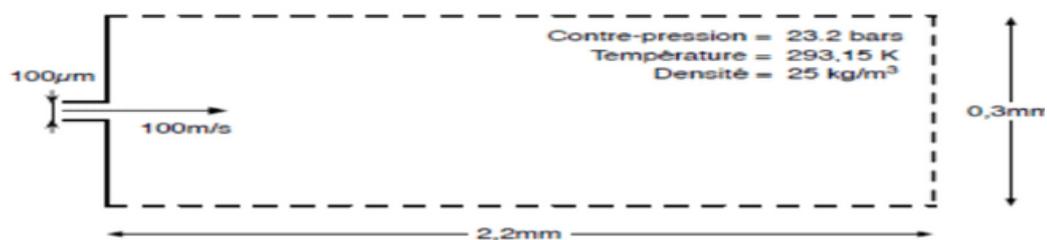


Figure IV. 1: Représentation Spatiale de la configuration géométrique et les conditions limites de Ménard [28].

La présence de gouttes entraîne inévitablement une mauvaise estimation des transferts de quantité de mouvement (loi de traînée), de masse et d'énergie (loi d'évaporation). Ces observations, qu'elles soient expérimentales ou numériques, mettent en évidence plusieurs phénomènes :

1. L'écoulement à l'intérieur de l'injecteur a des conséquences directes et significatives sur le processus d'atomisation et la rupture du jet liquide. Le niveau de turbulence du liquide à l'intérieur de la buse, ainsi que la présence de cavitation, sont des facteurs de déclenchements importants. Par conséquent, il est nécessaire de développer un modèle d'atomisation capable de prendre en compte ces phénomènes.
2. L'existence d'un dard liquide, c'est-à-dire une zone de liquide intacte proche de la pointe de la buse d'injecteur, doit être prise en compte lors du développement de ce modèle. Ces considérations soulignent l'importance de développer un modèle d'atomisation qui tienne compte de ces phénomènes, tant l'écoulement à l'intérieur de l'injecteur que l'existence du dard liquide.
3. Les structures liquides qui se détachent du cœur du jet présentent des formes très différentes de celles des gouttes sphériques, telles que des ligaments, des surfaces plissées et des formes complexes. Dans de telles conditions d'injection, il devient de plus en plus difficile de modéliser un spray en considérant chaque goutte comme une entité sphérique isolée.

Ces considérations permettent donc de poser les bases pour le développement d'un modèle d'atomisation [31]. Il est nécessaire de prendre en compte la variété de formes des structures liquides détachées du cœur du jet, et de trouver des approches de modélisation appropriées pour représenter ces phénomènes complexes.

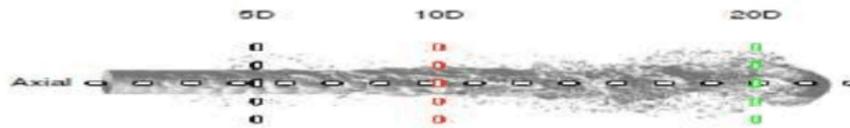


Figure IV. 2: Résultat expérimental de Ménard [28].

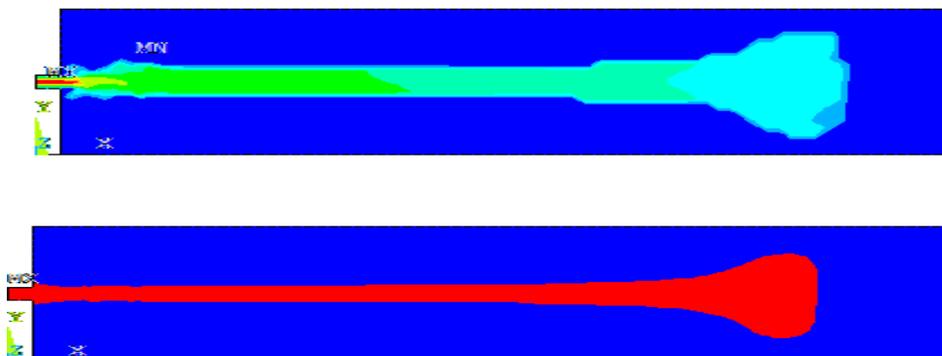


Figure IV. 3: Représentation spatiale de nos résultats de calcul de la dispersion dynamique du jet liquide dans le cylindre.

La séquence d'images (Fig. IV.2) et (Fig. IV.3) présente le développement du jet, tandis que la (Fig. IV.4) montre la surface calculée du jet liquide ainsi que sa dynamique, y compris la rupture près de la buse. On peut observer que les premières gouttelettes se forment à travers une rupture à l'avant du jet, créant une forme de champignon. Le noyau liquide principal est ensuite entouré d'un nuage de petites gouttelettes, ce qui est clairement visible dans les résultats de calcul. De plus, la simulation montre la même échelle de longueur de la structure liquide intacte ainsi que la même déflexion radiale du jet

Nous comparons nos résultats de la dynamique de dispersion avec ceux obtenus par Ménard dans la Figure IV.3 [28]. Nous constatons un accord acceptable entre les deux, ce qui justifie l'utilisation du modèle choisi.

IV.4. Analyse des résultats des simulations numériques pour le cas d'un injecteur référence :

Pour contribuer à la compréhension des phénomènes physiques liés à l'interaction de la géométrie de l'injecteur et la dispersion et à l'atomisation des jets liquide nous proposons de faire des simulations numériques sur le même injecteur expérimental proposé par **Zoltan Farago et al.** [29] ; Le banc d'essai d'atomisation sous pression (PAT) est utilisé pour l'étude expérimentale du processus de rupture primaire à pression ambiante élevée. Il se compose d'une buse à deux fluides et d'une chambre de pression accessible optiquement. La conception générique du système PAT permet l'étude de paramètres spécifiques, tels que la pression du réacteur, la viscosité du fluide ou la géométrie de la buse sur le processus d'atomisation. La chambre de pression cylindrique peut fonctionner à une pression de système allant jusqu'à 21 bars et a un diamètre intérieur de 300 mm et une hauteur de 3000 mm. Un système de contrôle de processus permet de contrôler les débits massiques de gaz et de liquide, ainsi que de réguler la pression du réacteur. Une description plus détaillée du système PAT peut être trouvée dans [29]. La figure IV 4.1 illustre le système de buse utilisé dans ce travail, consistant en un jet central de liquide avec un mélange glycérol/eau (fraction massique de glycérol égale à 0,843) et un flux d'air coaxial à grande vitesse.

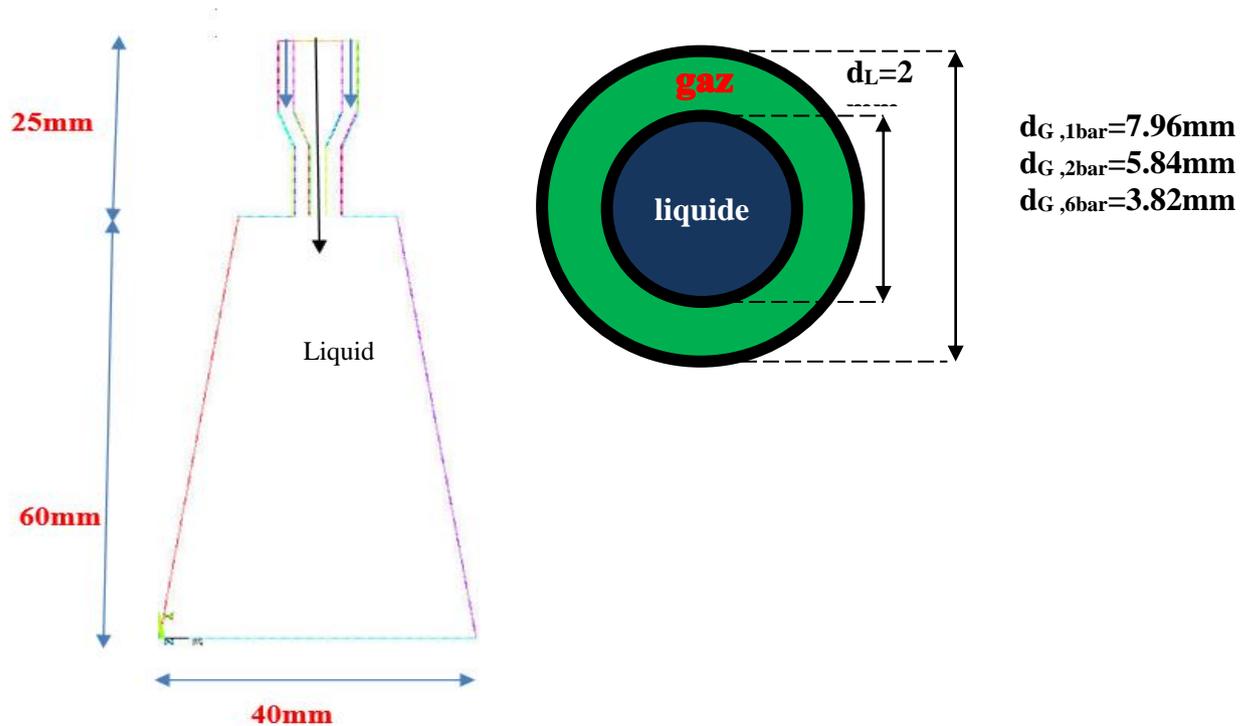


Figure IV. 4: Représentation spatiale de la configuration géométrique utilisée pour les simulations

Dans cette première partie du travail, nous présentons les résultats obtenus ainsi que la stratégie d'analyse utilisée pour étudier le jet liquide, ce qui nous permettra de mieux comprendre le phénomène de dispersion et d'atomisation.

IV.5 Etude de l'influence du changement géométrique dans le col

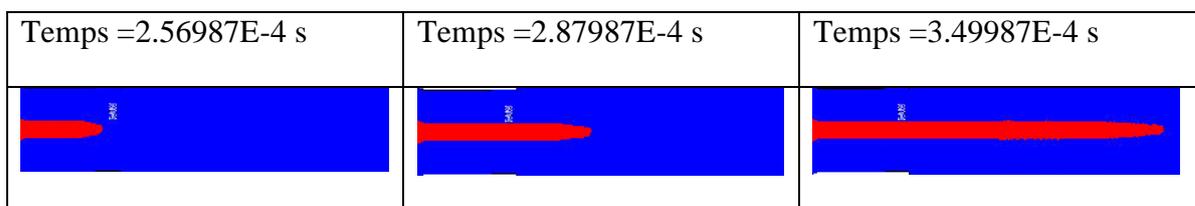


Figure IV. 5: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

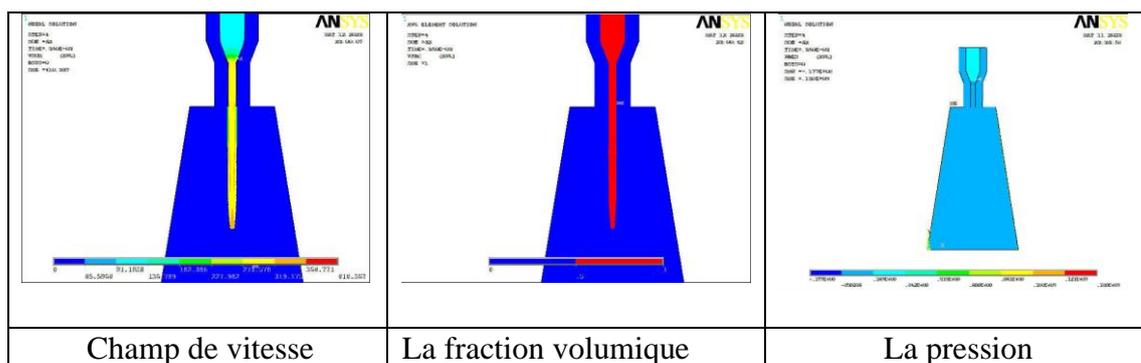


Figure IV. 6: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le premier cas.

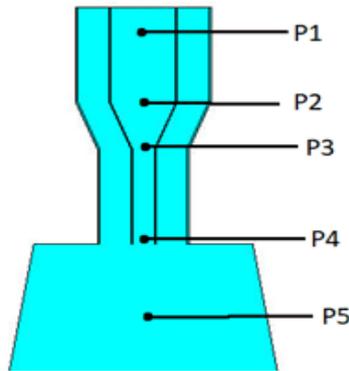


Figure IV. 7: Représentation de l’emplacement des capteurs pour l’analyse

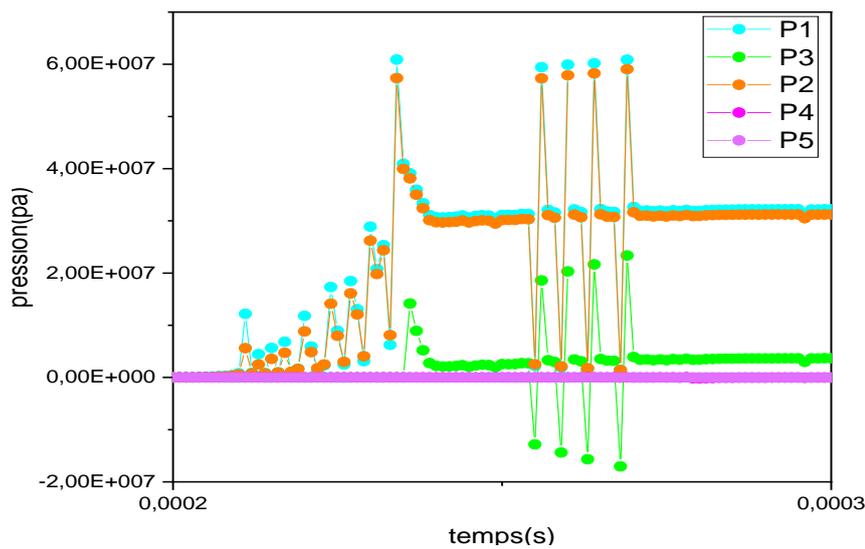


Figure IV. 8: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La figure (IV.8) présente la variation de pression (Pas) en fonction de temps (sec) pour différents positions (P1, P2, P3, P4 et P5) on remarque que la pression pour les capteurs considérés suit une même allure, où après une perturbation dans un min de temps due à la l’étranglement de jet dans le col la pression augmente et se stabilise à 60000 KPas. P1 culminer p2 57000 kpa Oscillant augmentant et diminuant puis se stabilisant, Soit reste constant le long de la ligne p4 et p5 23.2 kpa P3 Puis il diminue et se stabilise 300000 kpa ensuite il fluctue augmente diminue puis se stabilise.

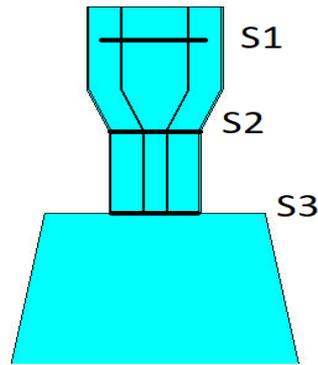


Figure IV. 9: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

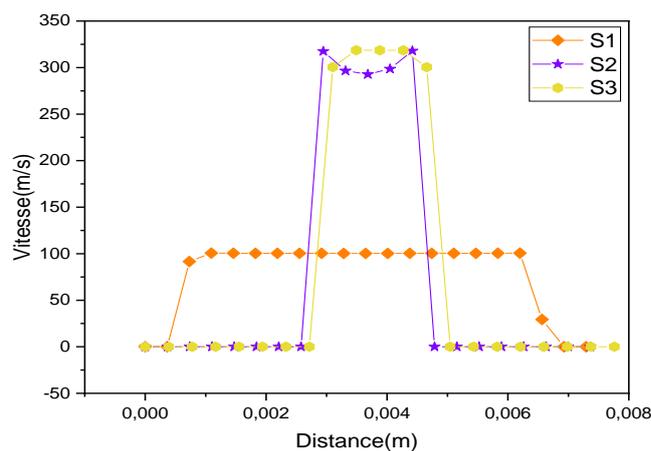


Figure IV. 10: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Sur la Figure IV.10, la vitesse transversale pour les trois sections est représentée, où nous constatons que la vitesse atteint une valeur maximale dans le col (300 m/s), par contre en aval la vitesse dans le cylindre diminue jusqu'à 200 m/s, du fait de la singularité géométrique aval. Le diamètre du passage de carburant est plus petit que les autres passages, ce qui augmente la vitesse d'écoulement du carburant. En revanche, on remarque dans les troisièmes.

Le diamètre du passage de carburant est plus petit que les autres passages, ce qui augmente la vitesse d'écoulement du carburant. En revanche, on remarque dans les troisièmes, quatrièmes et cinquièmes sections une légère diminution de la vitesse.

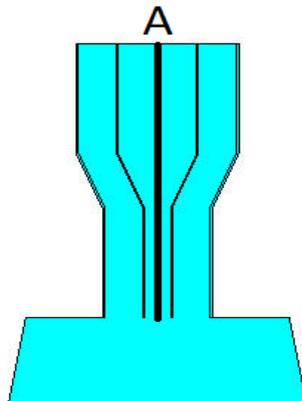


Figure IV. 11: Représentation des points axial.

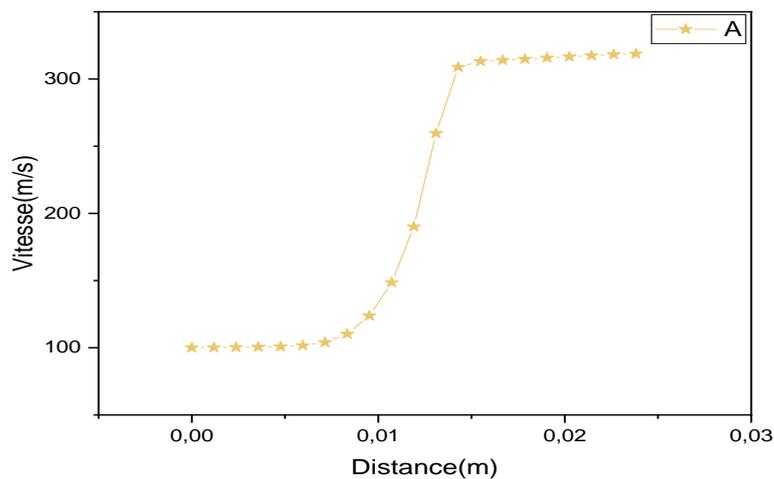


Figure IV. 12: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Les profils de vitesse axiale représenté sur la figure IV.12 confirme les constatations précédentes, où l’augmentation de l’énergie cinétique au niveau du col et augmentée de trois fois, due à la diminution de section provoquant un phénomène de compression.

IV.6. Etude de l’influence Pénétration de l’injecteur à l’intérieur du cylindre.

La longueur de cylindre plus 0.6mm.

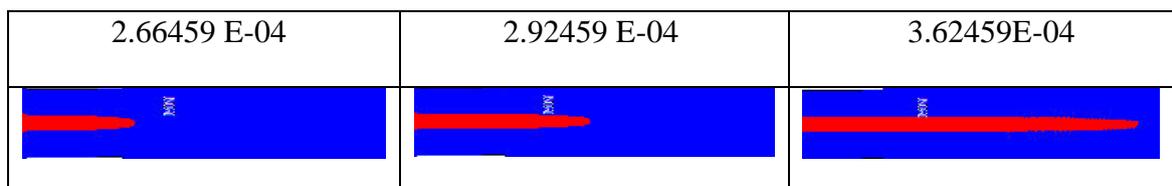


Figure IV. 13: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

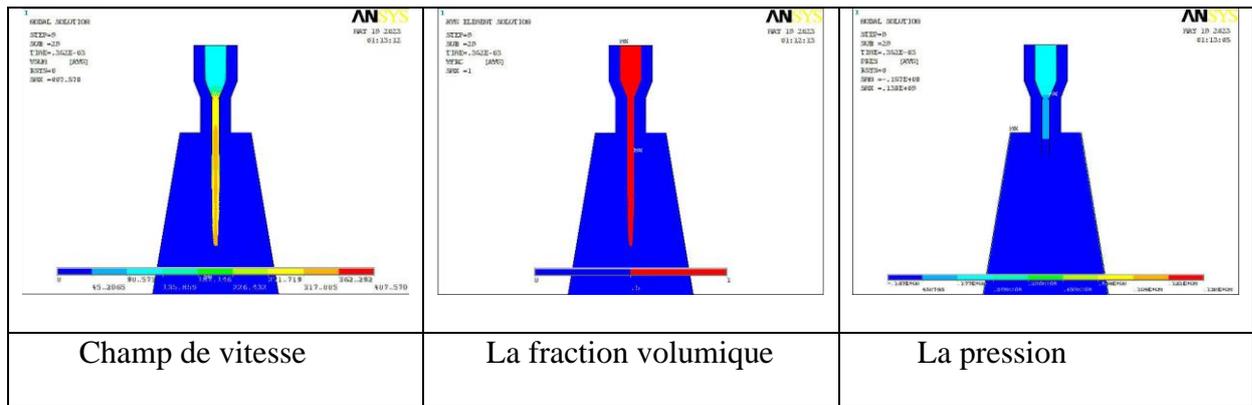


Figure IV. 14: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

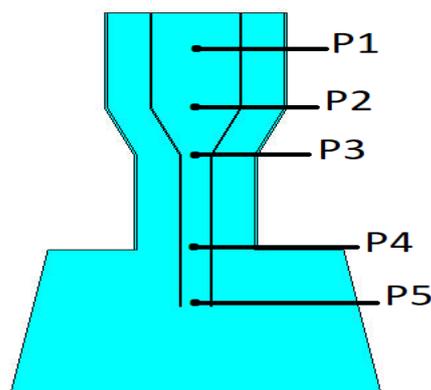


Figure IV. 15: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.

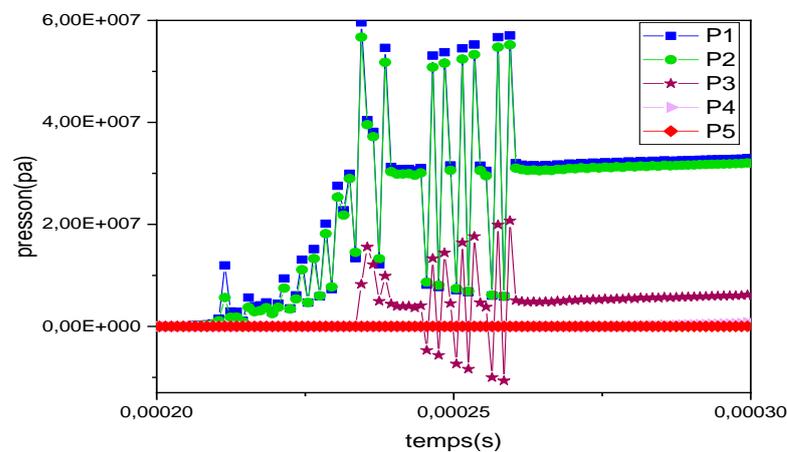


Figure IV. 16: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La figure (IV.16) présente la variation de pression (Pa) en fonction de temps (s) pour différentes positions (P1,P2,P3,P4 et P5) ou nous remarquons que le plus grande valeur jusqu' à 60000 kpa ('P1) et P2 est identique a P1 On remarque que la pression des capteurs étudiés suit la même rythme, où après qu'une perturbation se produit en quelques secondes

due à l'étranglement du jet dans la gorge La pression augmente pour atteindre la valeur maximal 60000 KPa) puis diminue légèrement et se stabilise à 55 000 kPa .

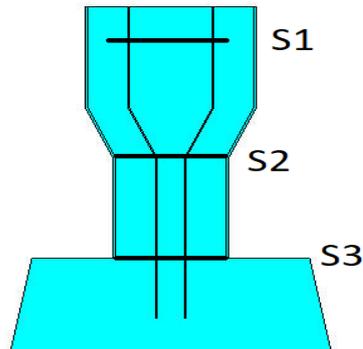


Figure IV. 17: Représentation des sections transversales pour les captures de vitesse.

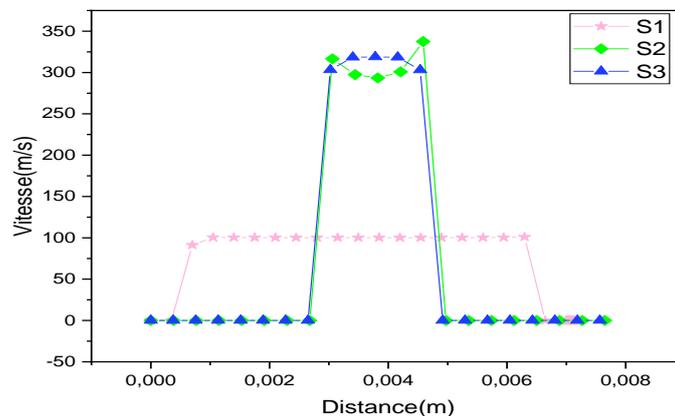


Figure IV. 18: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversales en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Montre les vitesses transversales de 3 sections, montrant que la vitesse au début était de 100 m/s pour augmenter jusqu'à ce que la vitesse maximale de 380 m/s soit atteinte dans le col. Le diamètre du passage de carburant est plus petit que les autres passages, ce qui augmente la vitesse d'écoulement du carburant. En revanche, on remarque dans la troisième section une légère diminution de la vitesse.

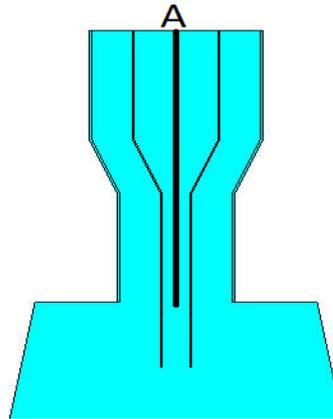


Figure IV. 19: Représentation un point axial.

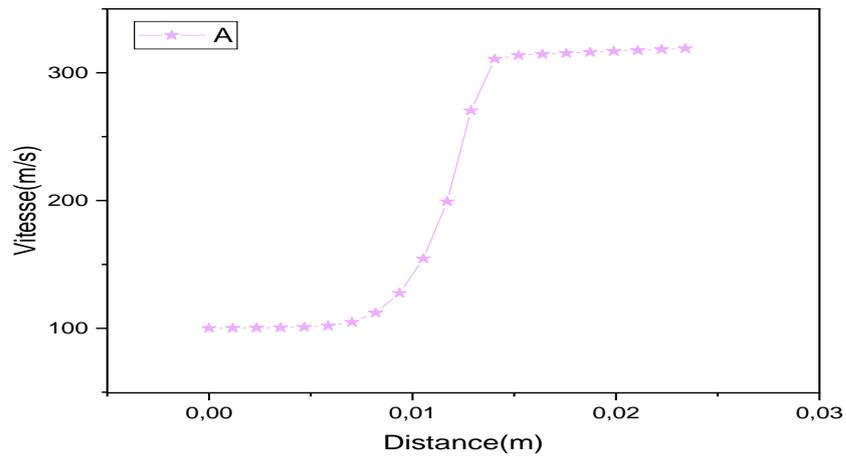


Figure IV. 20: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

La courbe représente la variation de la vitesse à instant. Nous remarquons sur la courbe que l'énergie cinétique augmente à position A, car elle était de 100 m/s à l'emplacement et a atteint son maximum a, atteignant 350m/s.

La longueur de cylindre plus 0.11mm.

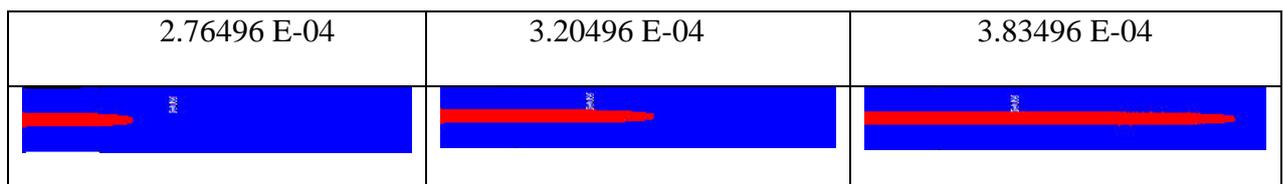


Figure IV. 21: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

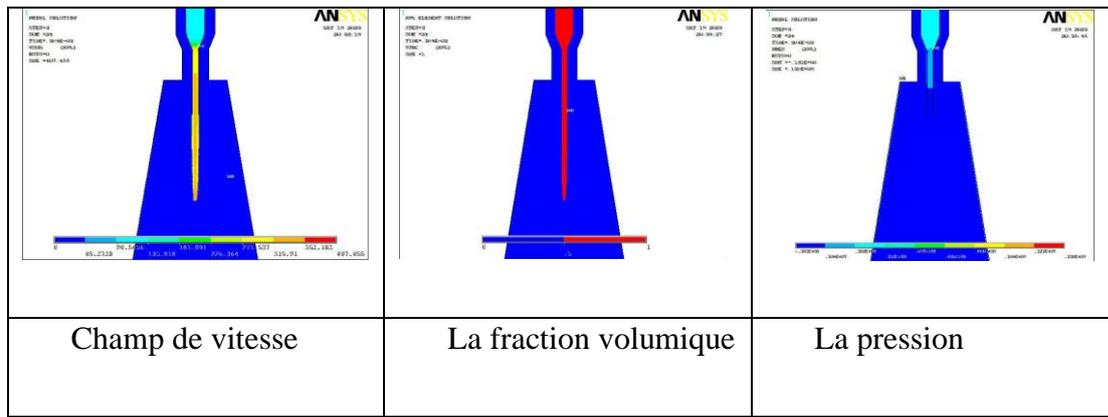


Figure IV. 22: Représentation spatiale de l’interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

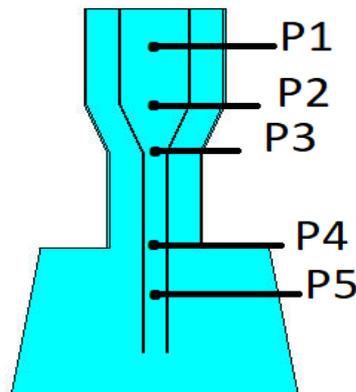


Figure IV. 23: Représentation de l’emplacement des capteurs pour l’analyse.

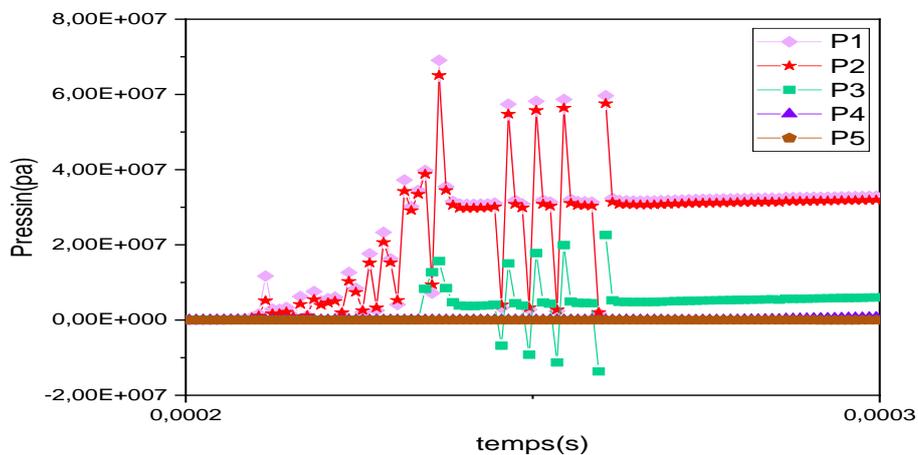


Figure IV. 24: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

Montre la variation de pression (Pa) en fonction du temps (times) pour plusieurs modes différents (P1, P2, P3, P4) On remarque que la pression des capteurs étudiés suit le même rythme, où après qu'une perturbation se produit en quelques secondes (0.0002-

0.0003sec) due à l'étranglement du jet dans la gorge La pression augmente pour atteindre la valeur maximal 70000 KPa) puis diminue légèrement et se stabilise à 30 000 kPa.

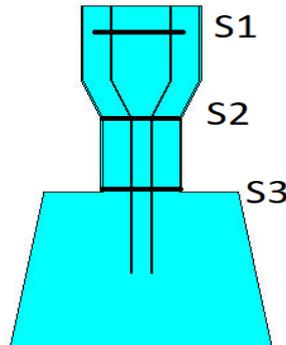


Figure IV. 25: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

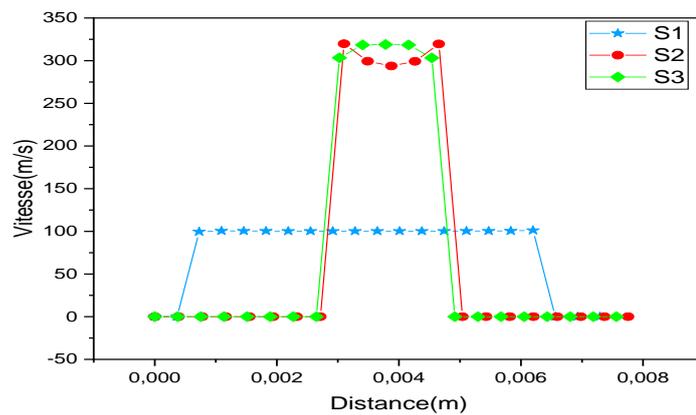


Figure IV. 26: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Comme la courbe du cercle de section, une indication de distance, car lorsque le gaz atteint une section à deux, la vitesse du flux de carburant augmente dans la source et à l'intérieur du col d'injection 320m/s

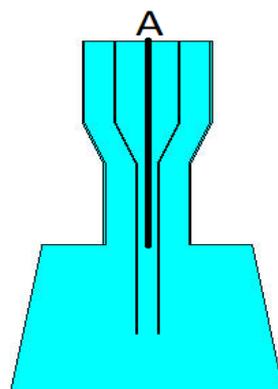


Figure IV. 27: Représentation un point axial.

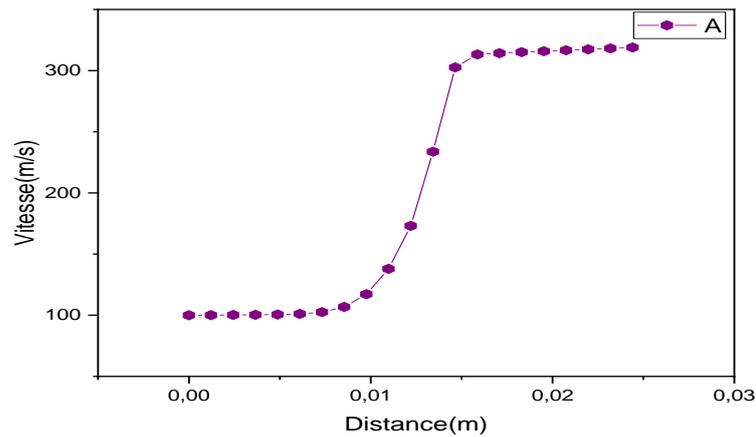


Figure IV. 28: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

La courbe représente la variation de la vitesse à instant. Nous remarquons sur la courbe que l'énergie cinétique augmente à position A, car elle était de 100 m/s à l'emplacement et a atteint son maximum a, atteignant 320m/s.

La longueur de cylindre plus 0.13mm.

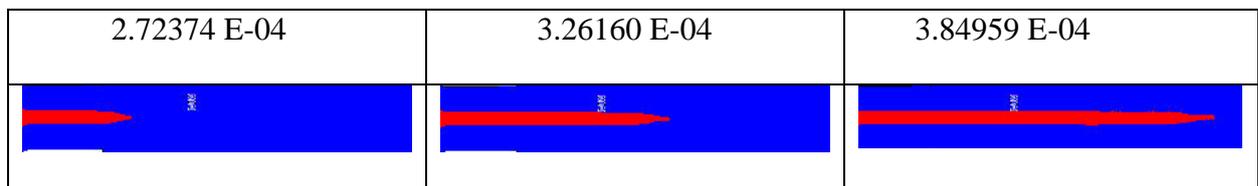


Figure IV. 29: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre

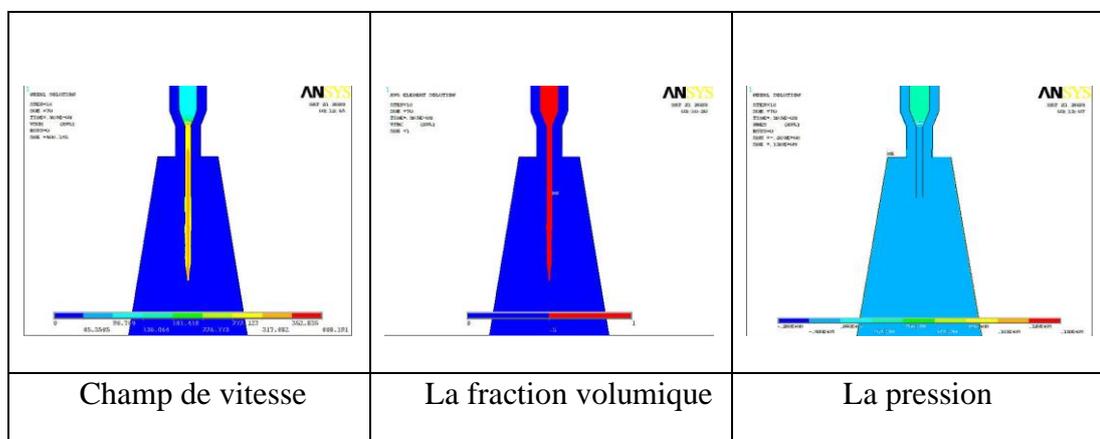


Figure IV. 30: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la troisième cas.

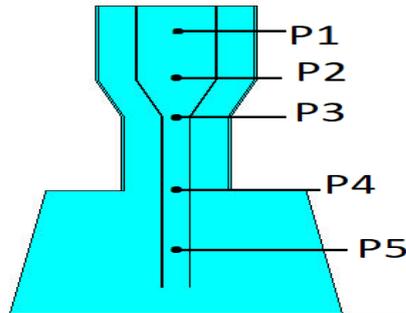


Figure IV. 31: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.

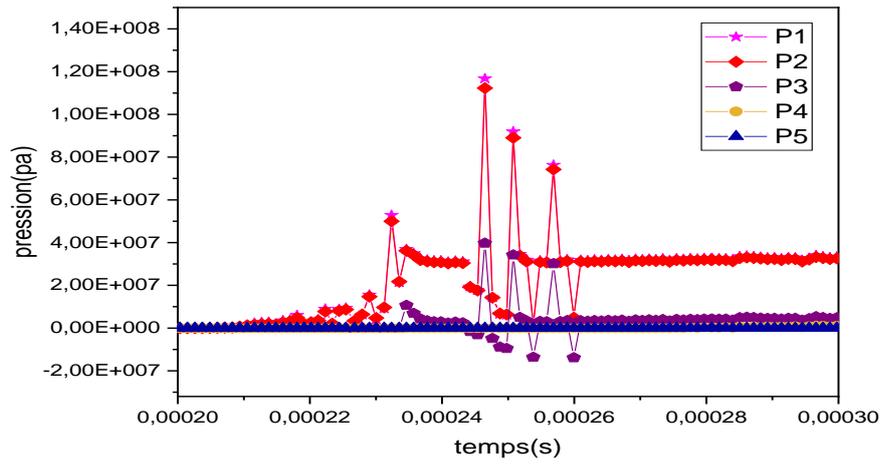


Figure IV. 32: La Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La figure (IV.32) montre la variation de pression (Pa) en fonction du temps (s) pour plusieurs modes différents (P1, P2, P3, P4) On remarque que la pression des capteurs étudiés suit la même rythme, où après qu'une perturbation se produit en quelques secondes (0.00222-0.00228 sec) due à l'étranglement du jet dans la gorge La pression augmente pour atteindre la valeur maximal (120000 KPa) puis diminue légèrement et se stabilise à 30 000 kPa.

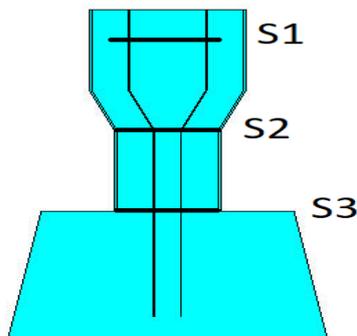


Figure IV. 33: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

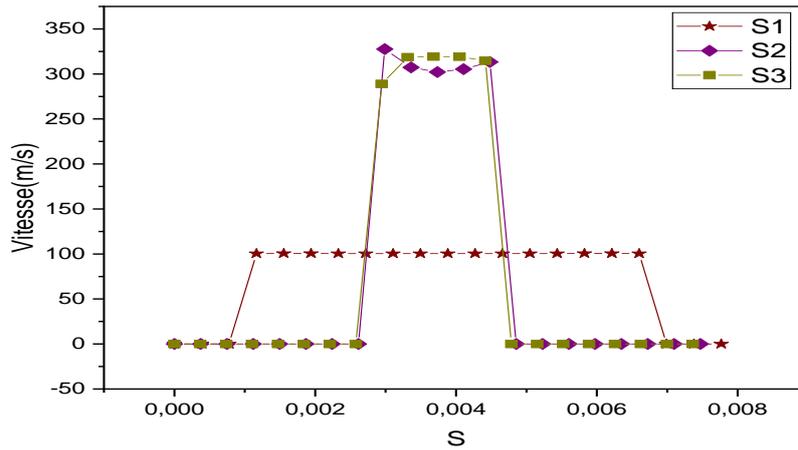


Figure IV. 34: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Sur la Figure IV.34, nous pouvons observer la représentation de la vitesse transversale pour les trois sections. Nous constatons qu'une valeur maximale de vitesse (350 m/s) est atteinte dans le col, tandis qu'en aval, la vitesse diminue progressivement dans le cylindre jusqu'à atteindre 250 m/s. Cette diminution de vitesse est due à une singularité géométrique présente en aval.

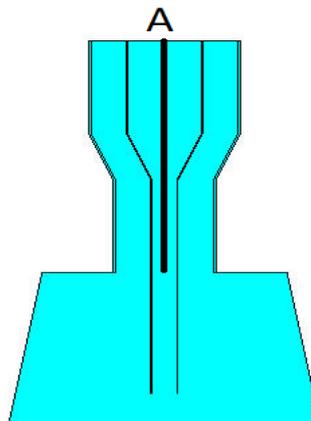


Figure IV. 35: Représentation un point axial.

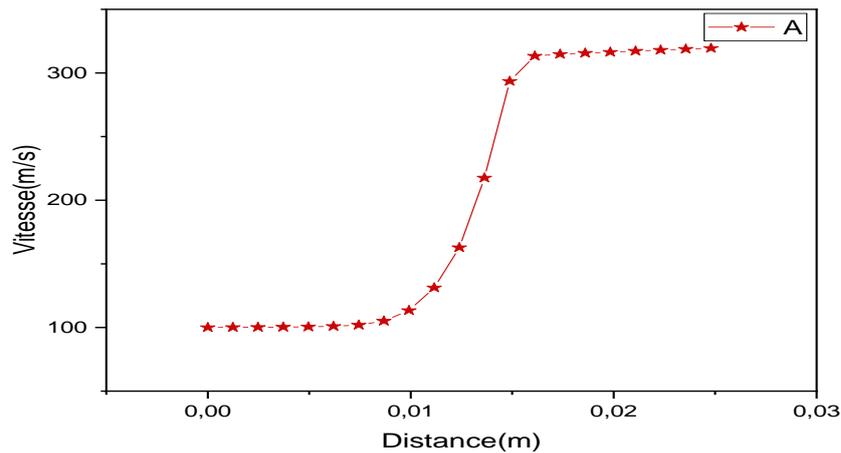


Figure IV. 36: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Ce commentaire présente une courbe qui représente la variation de la vitesse en fonction du temps. Initialement, lorsque l'énergie cinétique est de 100m/s, la vitesse augmente jusqu'à atteindre un maximum de 325m/s.

Pour mieux comprendre l'interaction entre jet et structure de détachement, nous avons proposé trois positions alternatives pour l'insertion de l'injecteur dans le cylindre, dans le but d'explorer différentes configurations.

- La comparaison de tous les cas de pénétration de l'injecteur à l'intérieur du cylindre du position numéro quatre.

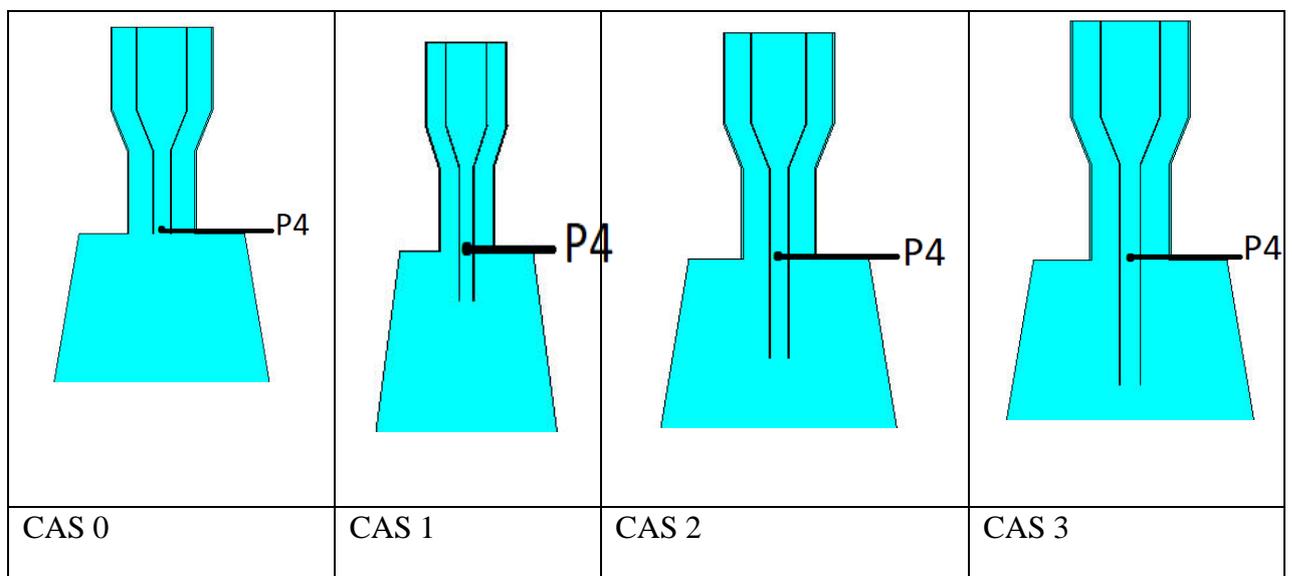


Figure IV. 37: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse et les autres cas de pénétration de l'injecteur à l'intérieur du cylindre.

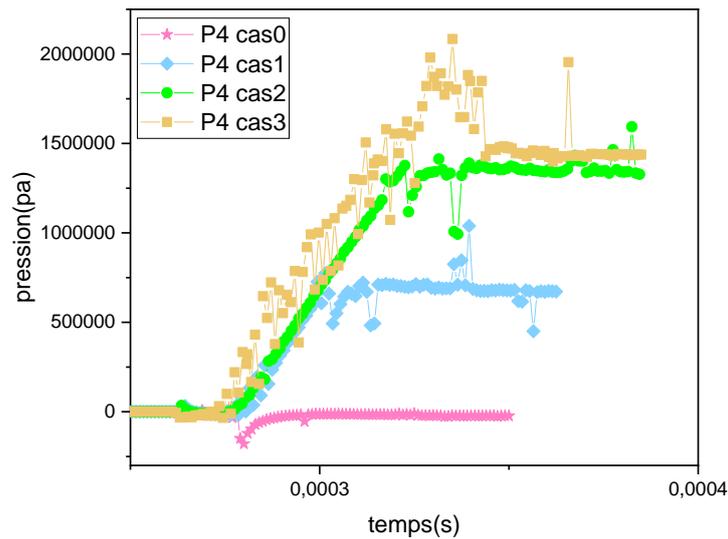


Figure IV. 38: Variation de la pression dans le temps pour la position numéro quatre capteurs proposé pour tous les cas.

Pénétration de l’injecteur à l’intérieur de cylindre, il entre dans la famille des injecteurs en quatre étapes tu as envoyé comme il vous renforce à chaque étape de la pénétration de l’injecteur depuis l’intérieur du cylindre.

La comparaison de tous les cas de pénétration de l’injecteur à l’intérieur du cylindre du section numéro trois.

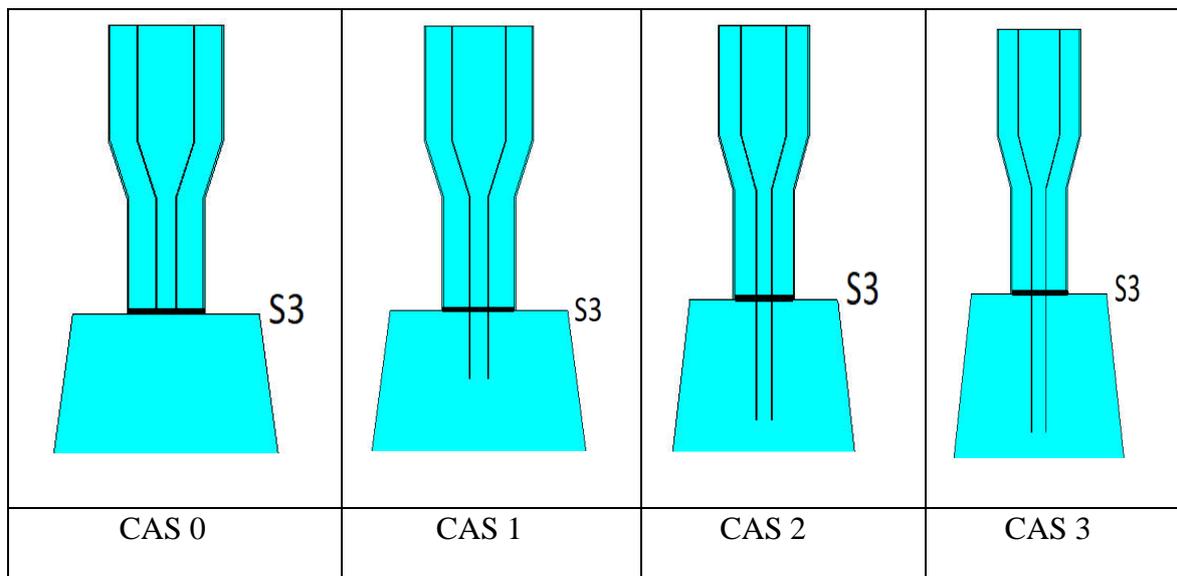


Figure IV. 39: Représentation de troisième section de tous les cas transversale pour les captures de vitesse

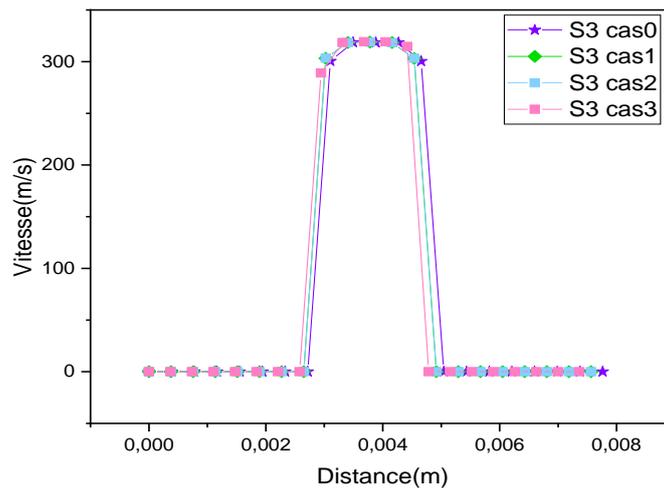


Figure IV. 40: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l’intérieur du col de l’injecteur.

Le parcours reflète les changements de pression en fonction des temps, de sorte que la pression augmentée avec le temps jusqu'à atteindre un tableau de 2 000 000 KPa, ce qui confirme l'expérience du travail selon laquelle plus la longueur de la jante et la pénétration dans le cylindre sont longues, plus la pression est l'élévation, plus la pression au milieu de la chambre de combustion, qui est une combustion osseuse.

La comparaison de tous les cas de pénétration de l'injecteur à l'intérieur du cylindre d'axile.

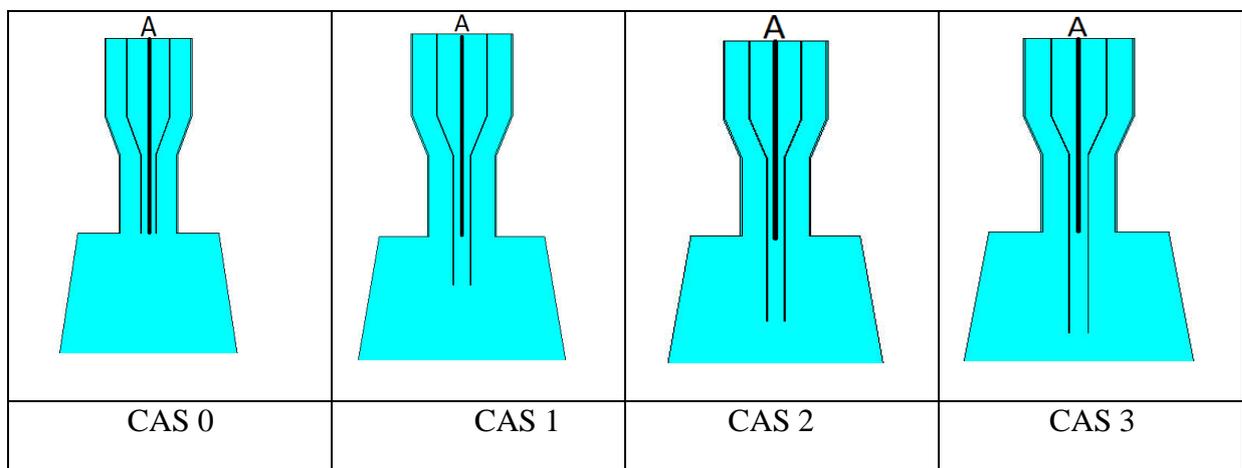


Figure IV. 41: Représentation des points de tous les cas axialement.

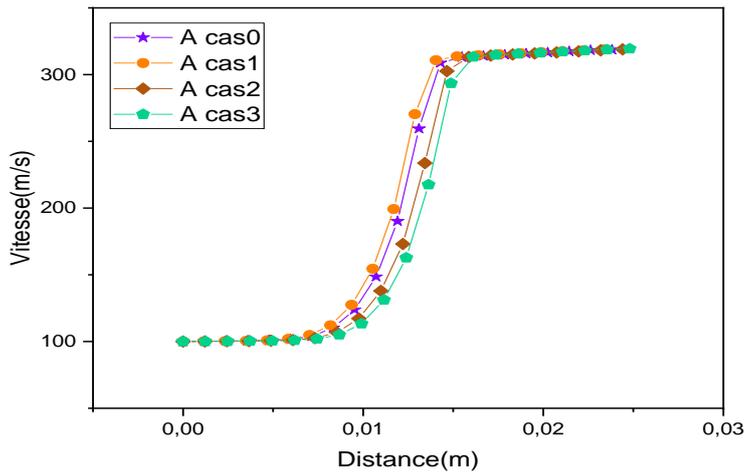


Figure IV. 42: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence et les autres cas.

La courbe représente les changements de vitesse en fonction de la distance pour quatre cas le long de l'axe, où l'on remarque une stabilité de la vitesse de 100 m/s et une augmentation rapide de la vitesse du flux de carburant à une distance de 0,0025.

IV.7. Etude de l'influence de longueur de colle.

La longueur diminuer plus pénétration du colle valeur estimée.

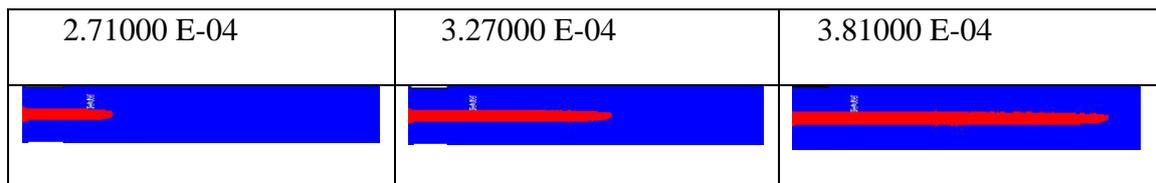


Figure IV. 43: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

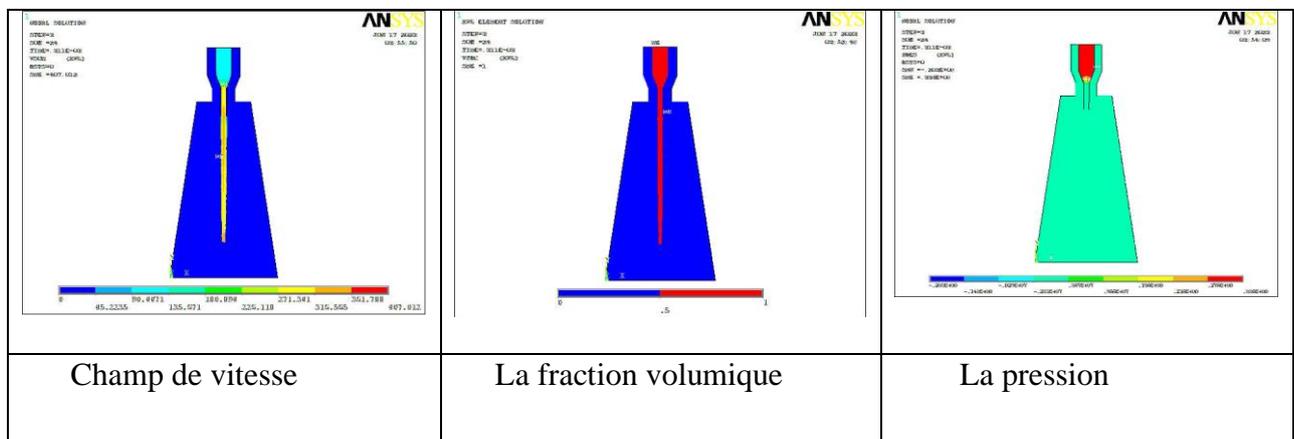


Figure IV. 44 : Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour la premier cas.

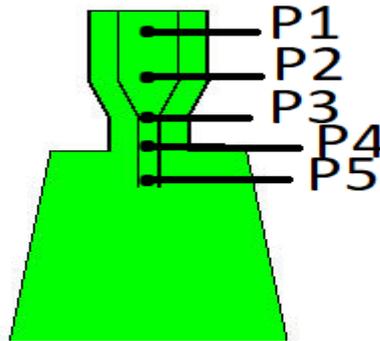


Figure IV. 45: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse

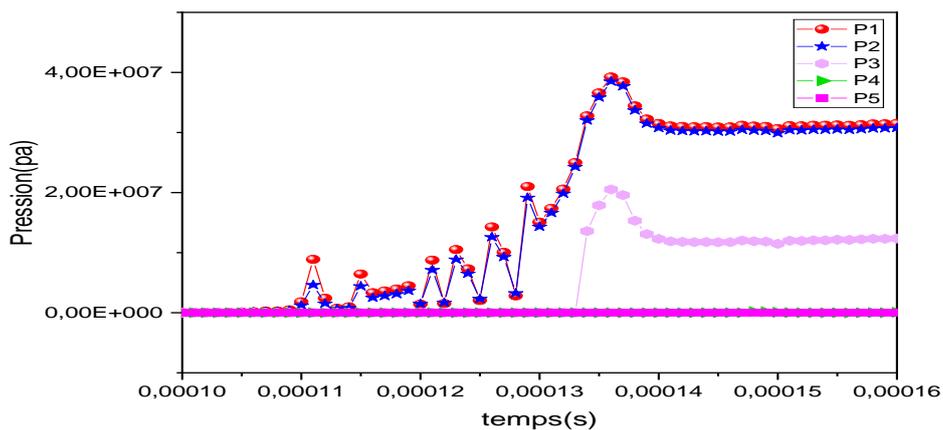


Figure IV. 46: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La courbe La représente le changement de pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés, la figure IV.46 illustre la variation de pression en fonction du temps pour différents modes (P1, P2, P3, P4, P5). Les capteurs étudiés montrent un schéma de pression similaire. Après un certain temps, une perturbation se produit en quelques secondes (0.0001-0.00015 secondes) en raison de l'étouffement de l'avion dans la gorge. La pression augmente ensuite jusqu'à atteindre une valeur maximale de 4000 KPa, puis diminue pour se stabiliser à - 1000 KPa.

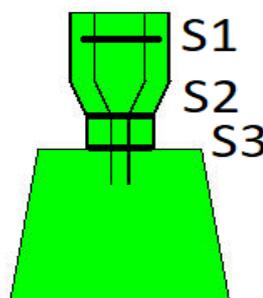


Figure IV. 47: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

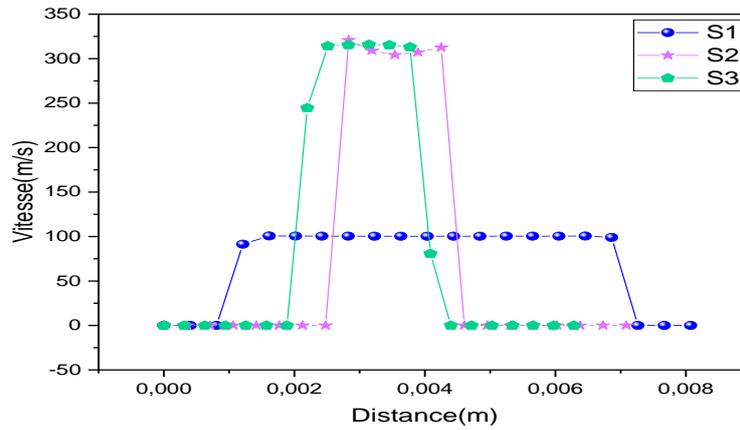


Figure IV. 48: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

La figure IV.48 présente la variation de la vitesse transversale du boîtier en fonction des différentes sections transversales amont, aval et à l'intérieur du col de l'injecteur. On observe une augmentation de la vitesse au niveau du col de l'injecteur, atteignant une vitesse maximale de 330 m/s.

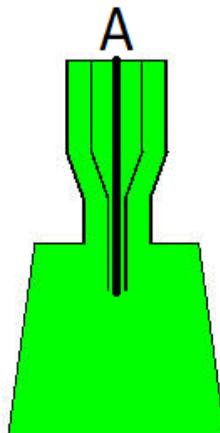


Figure IV. 49: Représentation du point axial.

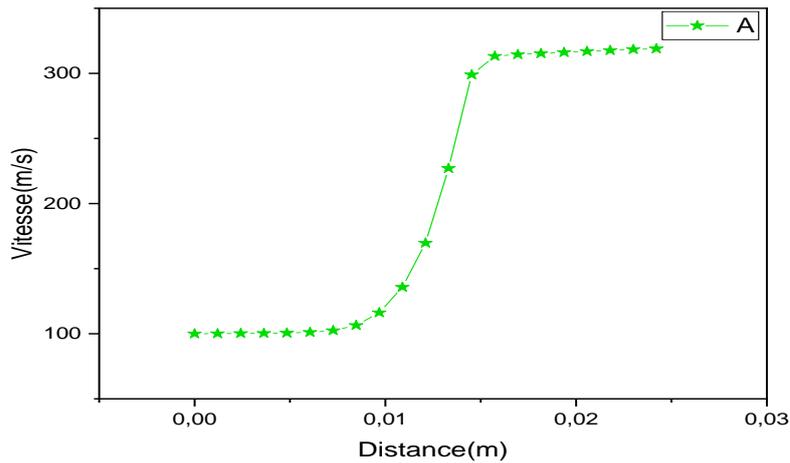


Figure IV. 50: Variation de la vitesse axiale pour le cas reference.

Sur la Fig. IV.50, la vitesse tangentielle est représentée section trois, où l'on constate que la vitesse atteint sa valeur maximale dans le col (340 m/s).

La longueur diminuer .

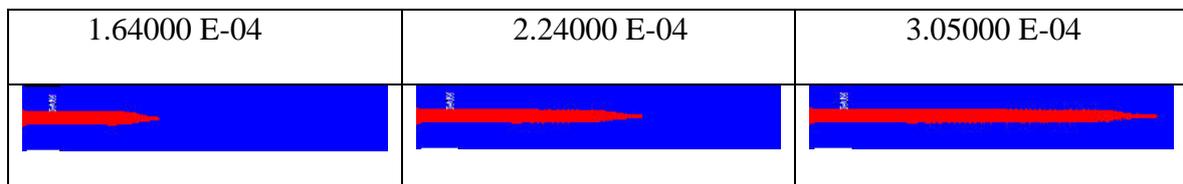


Figure IV. 51: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

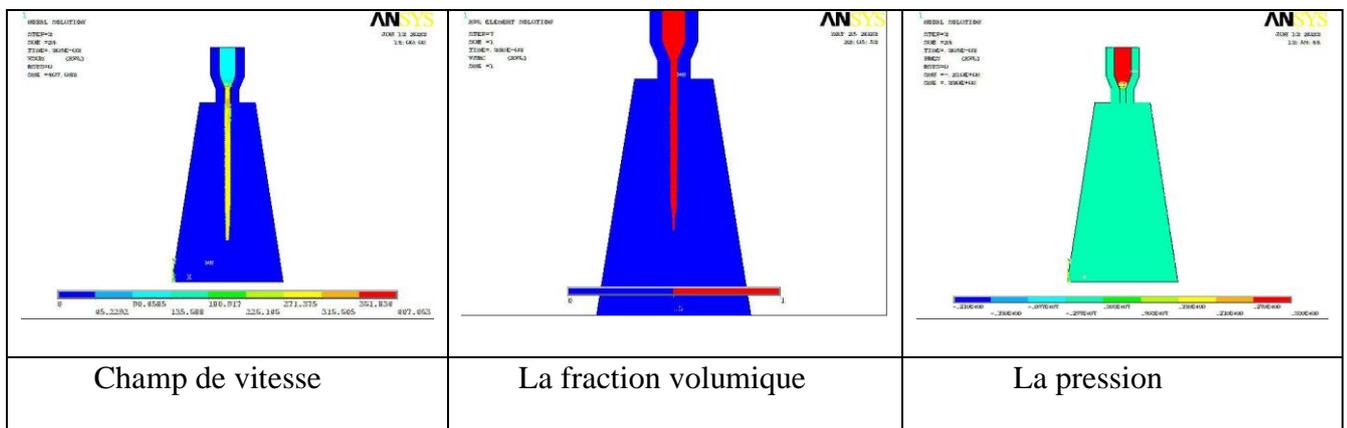


Figure IV. 52: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

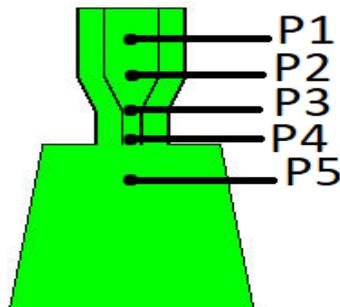


Figure IV. 53: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.

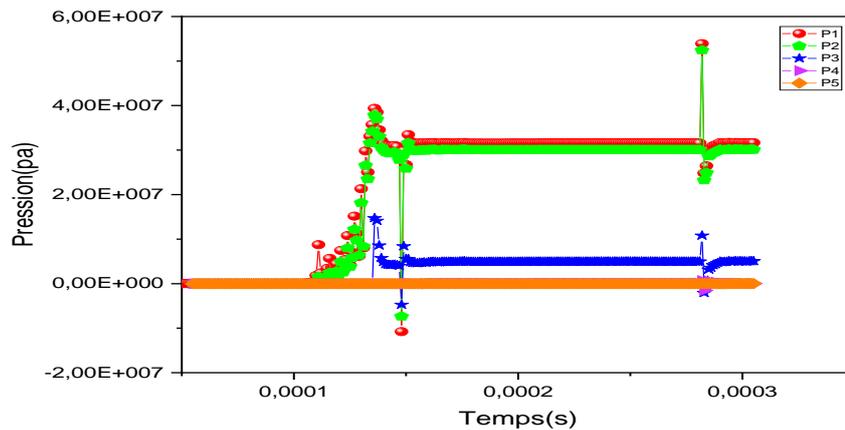


Figure IV. 54: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

Dans ce commentaire, la figure (IV.54) présente la variance d'expression (Pa) en fonction du temps pour différents emplacements (P1, P2, P3, P4 et P5). On remarque que l'expression des capteurs suivent le même schéma temporel. Après une perturbation, qui se produit dans un délai d'une minute, la pression augmente en raison de l'étranglement du jet dans le col, puis se stabilise à 57 000 kPa, atteignant un pic.

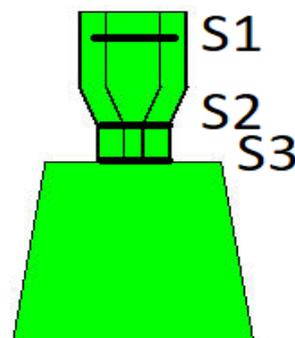


Figure IV. 55: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

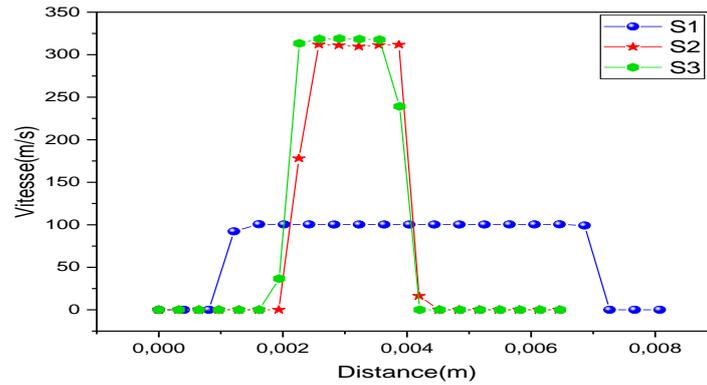


Figure IV. 56: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l’intérieur du col de l’injecteur.

Sur la Figure IV.56, la vitesse transversale pour les trois section est représentée, où nos constatant que la vitesse atteint une valeur maximal dans le col (320m/s), par contre en aval la vitesse dans le cylindre diminue j’jusqu’au 200 m/s,

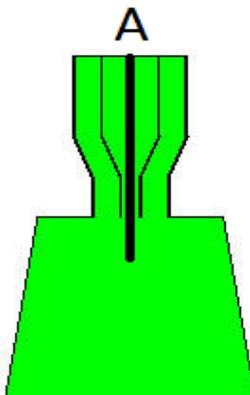


Figure IV. 57: Représentation du point axial.

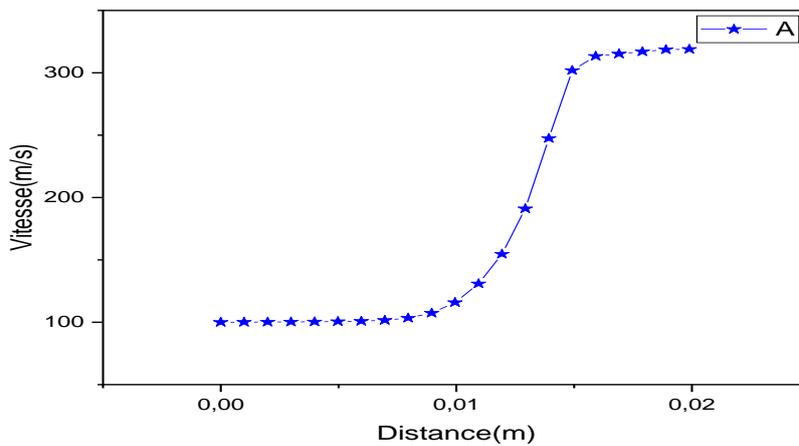


Figure IV. 58: Variation de la vitesse axial pour le cas référence .

Les profils de vitesse axiale représentés dans la figure confirment les observations précédentes. On constate une augmentation de l'énergie cinétique au niveau du col, multipliée par trois, en raison de la diminution de la section qui entraîne un phénomène de compression. Cette augmentation de l'énergie cinétique est clairement visible dans les profils de vitesse axiale.

La comparaison du longueur diminuer plus pénétration du colle et longueur diminuer sans pénétration .

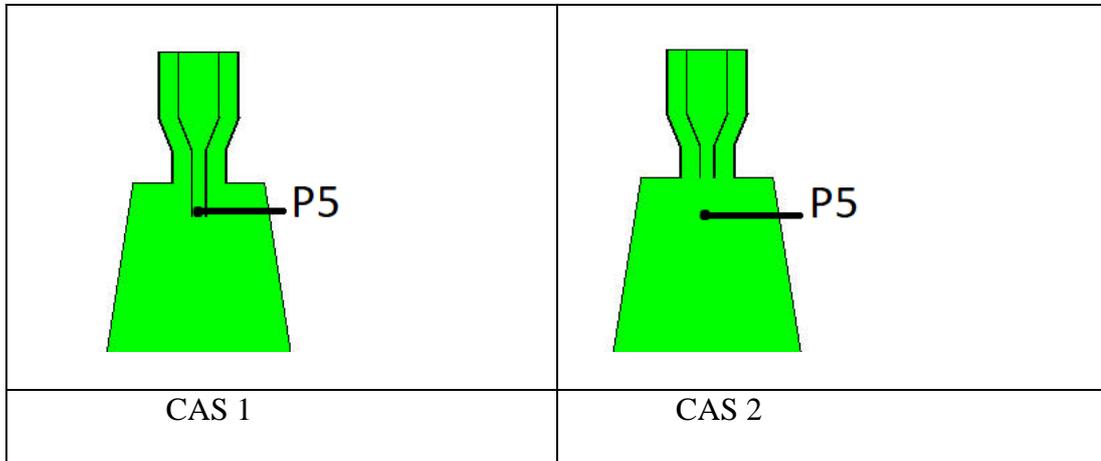


Figure IV. 59: Représentation de l'emplacement des capteurs pour la longueur du col dans la cinquième position.

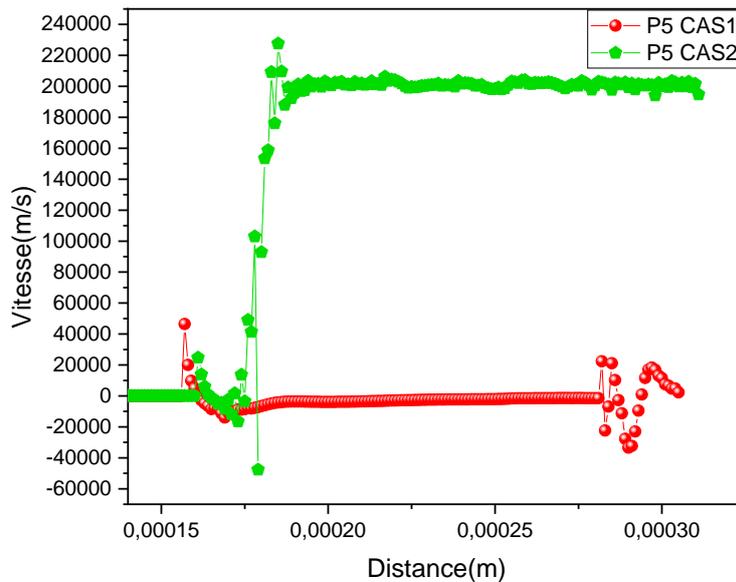


Figure IV. 60: Variation de la pression dans le temps pour la position numéro quatre capteurs proposé pour tous les cas.

Dans ce commentaire, il est proposé de réduire la longueur du col pour la position P5. Deux cas sont mentionnés : dans le premier cas, le col se trouve à l'intérieur d'un cylindre, tandis que dans le second cas, il se trouve à l'extérieur. Une courbe représente les changements de vitesse en fonction de la distance. Cette courbe indique une suffocation avec une augmentation de la pression et une augmentation de la vitesse jusqu'à atteindre 2 200 000 m/s.

La comparaison de la longueur diminuer plus pénétration du colle et longueur diminuer sans pénétration du section.

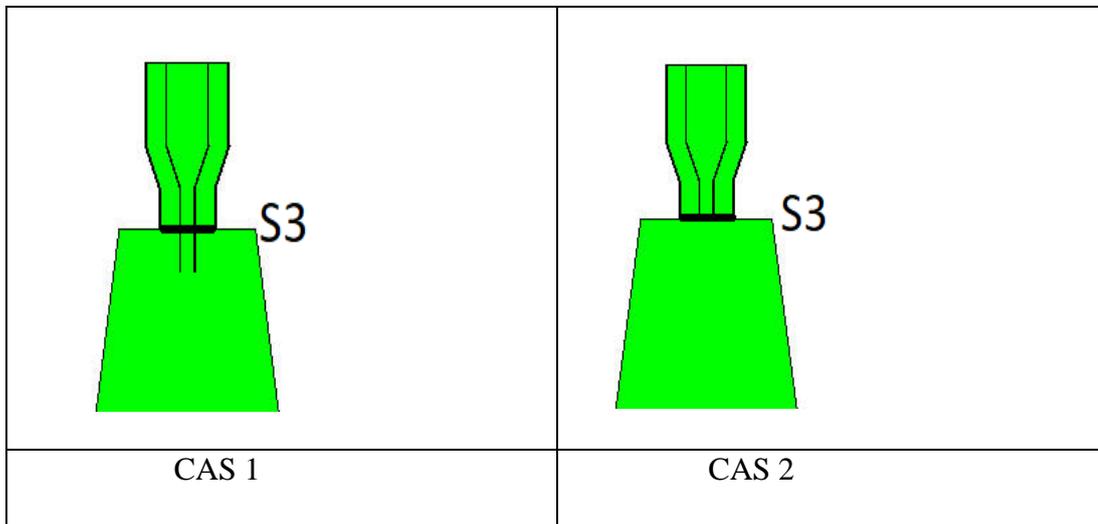


Figure IV. 61: Représentation des sections transversales pour les captures de vitesse dans deux cas.

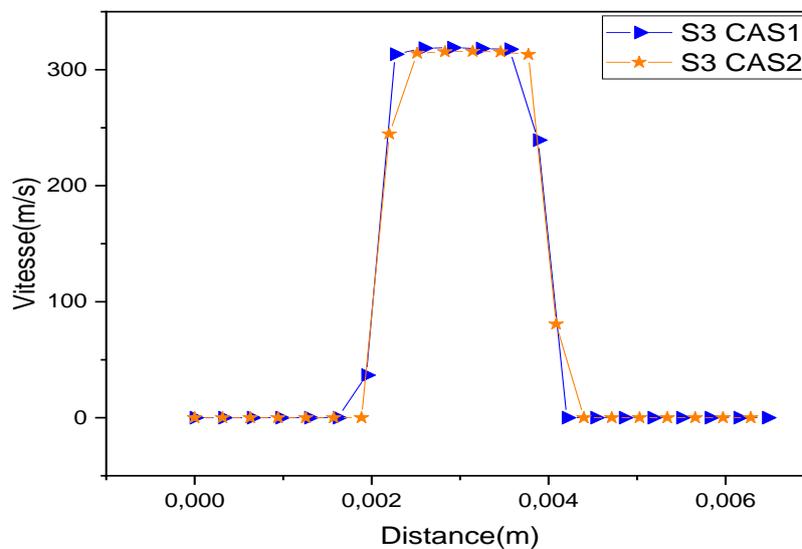


Figure IV. 62: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Ce commentaire concerne la représentation des sections transversales pour les captures de vitesse dans deux cas. On propose de réduire la longueur du col pour la position S3. Dans le premier cas, le col se trouve à l'intérieur d'un cylindre, tandis que dans le second cas, il se trouve à l'extérieur. Une courbe est utilisée pour représenter les changements de vitesse en fonction de la distance. Les deux courbes sont congruentes dans les deux cas et atteignent une vitesse de 300 m/h.

La comparaison du longueur diminuer plus pénétration du colle et longueur diminuer sans pénétration axile .

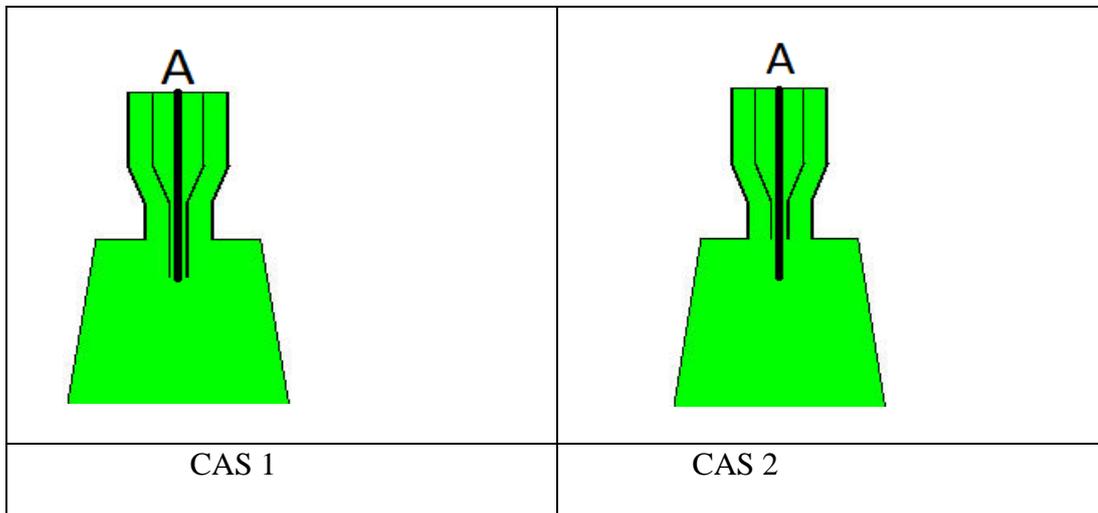


Figure IV. 63: Représentation des points dans les deux cas axiaux.

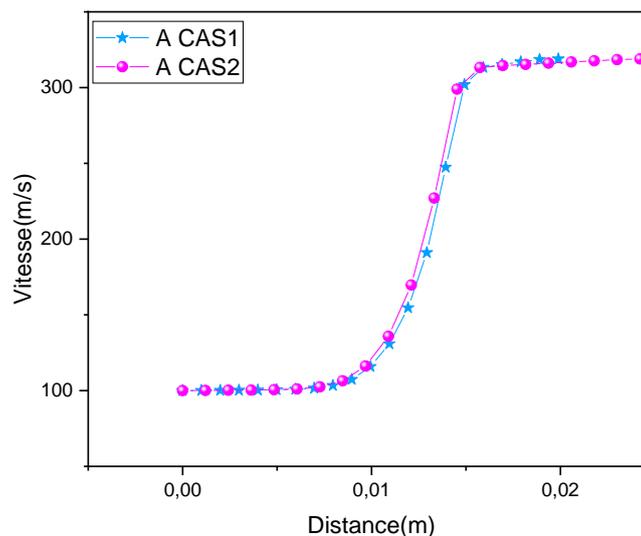


Figure IV. 64: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence et les autres cas.

Ce commentaire concerne la représentation des points axiaux. Les points pivots représentent le premier cas où ils sont à l'intérieur d'un cylindre, tandis que dans le second cas, ils sont "à l'extérieur". Les courbes sont tracées en tournant autour de ces points pivots. Les deux courbes se superposent dans les deux cas jusqu'à atteindre une vitesse de 300 m/h.

IV.8. Etude de l'influence a augmenté et diminué le diamètre de cylindre :

Diamètre moins de 0.02mm.

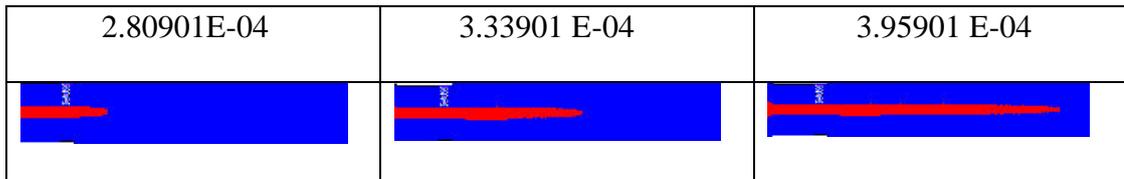


Figure IV. 65: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

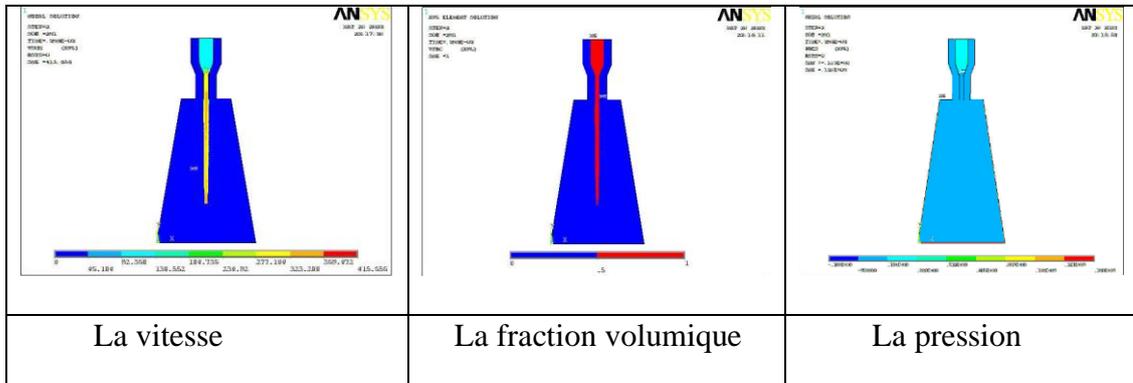


Figure IV. 66: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

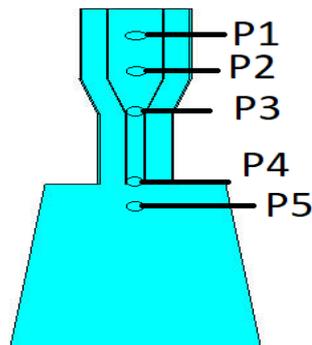


Figure IV. 67: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse.

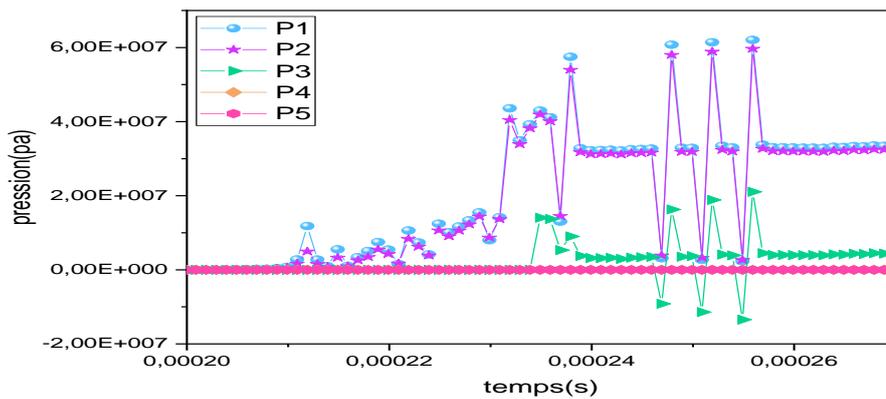


Figure IV. 68: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La courbe représente l'évolution de la pression au fil du temps. La pression reste constante aux positions cinq et quatre. Dans le mode (1 2 3 4), il y a une fluctuation de pression entre les instants 0.00014 et 0.00022.

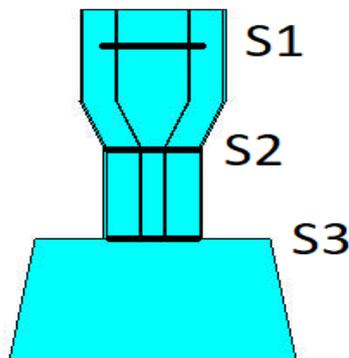


Figure IV. 69: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

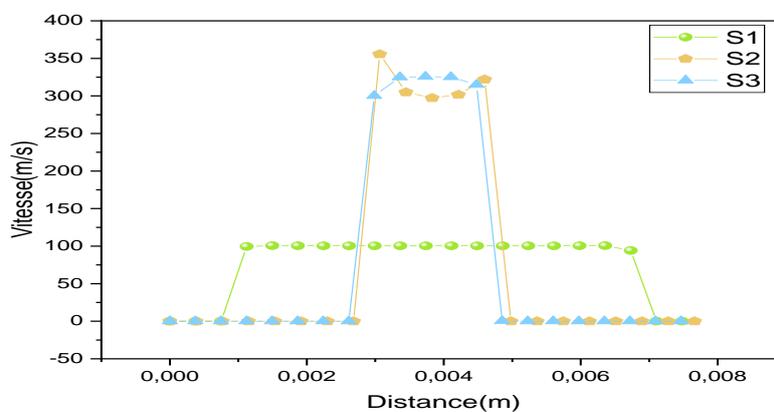


Figure IV. 70: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

La Figure IV.70 : Variation de la vitesse transversale de l'état en référence aux différentes sections amont, aval et à l'intérieur du col de l'injecteur La vitesse augmente en atteignant l'aval pour atteindre un maximum de 35, en raison de l'étranglement du carburant en ce point.

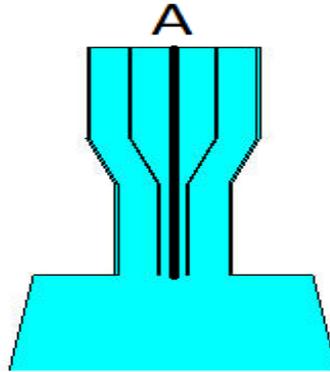


Figure IV. 71: Représentation du point axial.

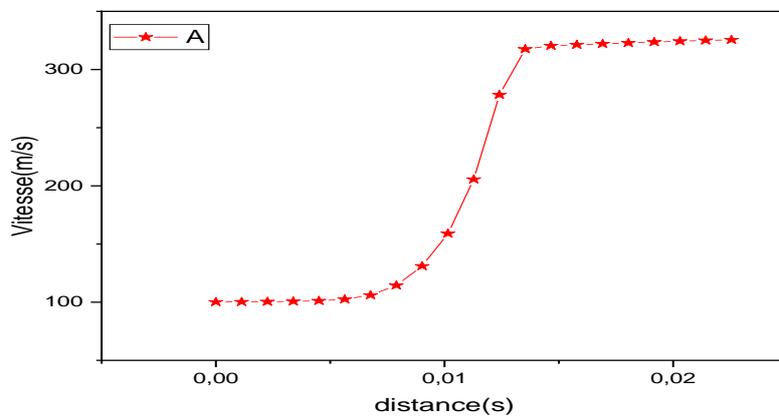


Figure IV. 72: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Les profils de vitesse axiale représentés sur la Figure IV.72 confirment les résultats précédents, où l'augmentation de l'énergie cinétique augmente au niveau du col, du fait de la diminution de la section faisant atteindre 300 m/s.

Diamètre moins de 0.04mm.

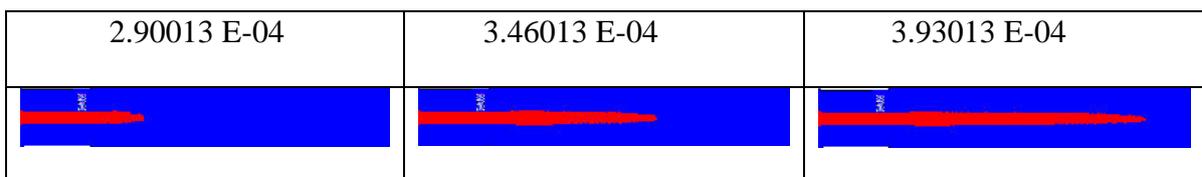


Figure IV. 73: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

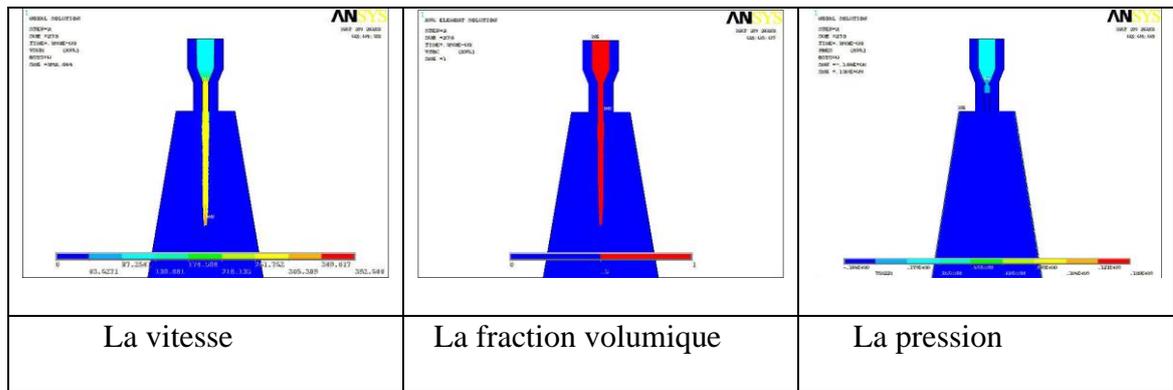


Figure IV. 74: Représentation spatiale de l’interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

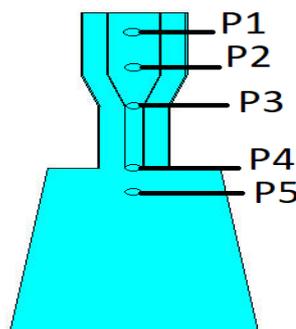


Figure IV. 75: Représentation de l’emplacement des capteurs pour l’analyse.

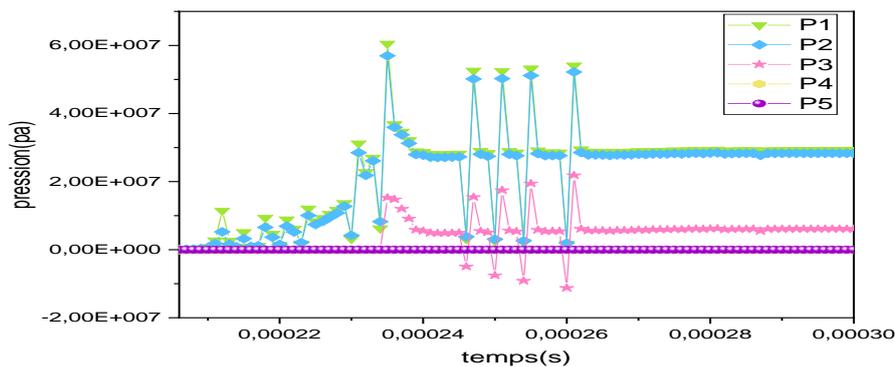


Figure IV. 76: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

Le commentaire porte sur la représentation de l'emplacement des capteurs pour analyser l'évolution de la pression dans le temps. Les cinq capteurs proposés sont placés de telle manière que la pression augmente au niveau des puisards P4 et P5 afin d'augmenter le débit de carburant. De plus, la pression est également générée au niveau du COL P5, qui contribue à la pression dans le puisard.

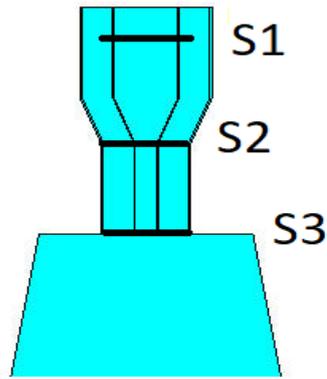


Figure IV. 77: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

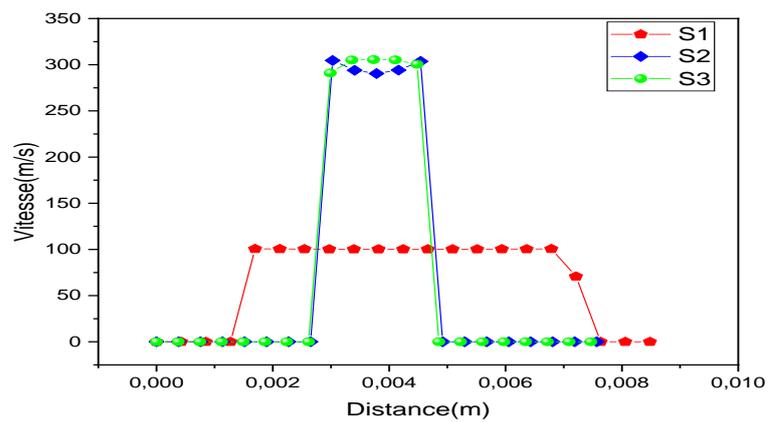


Figure IV. 78: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

La variation de vitesse transversale du boîtier indique les différentes sections transversales en amont, en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur. On augmente la longueur de l'injecteur, on augmente la longueur de l'injecteur, donc la vitesse augmente.

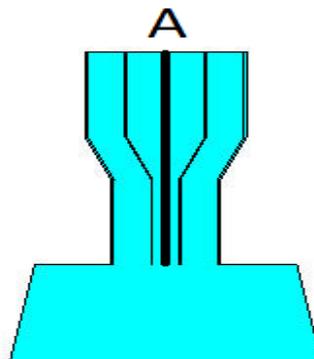


Figure IV. 79: Représentation du point axial.

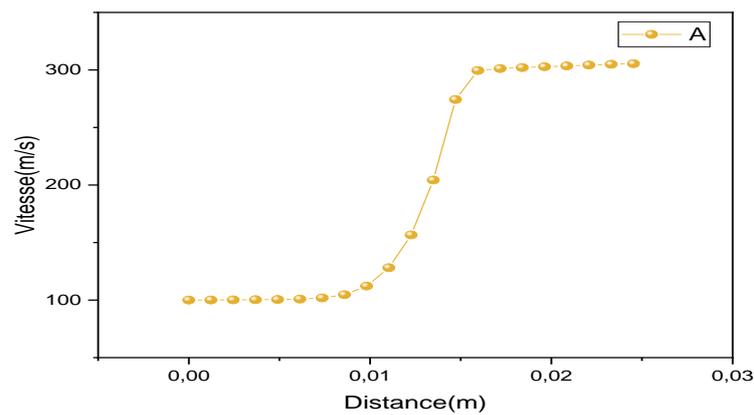


Figure IV. 80: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Sur la figure IV.80, la vitesse tangentielle est représentée, où nous constatons que la vitesse atteint une valeur maximale dans la gorge (300 m/s), en raison de la géométrie unique en aval.

Diamètre plus de 0.02mm.

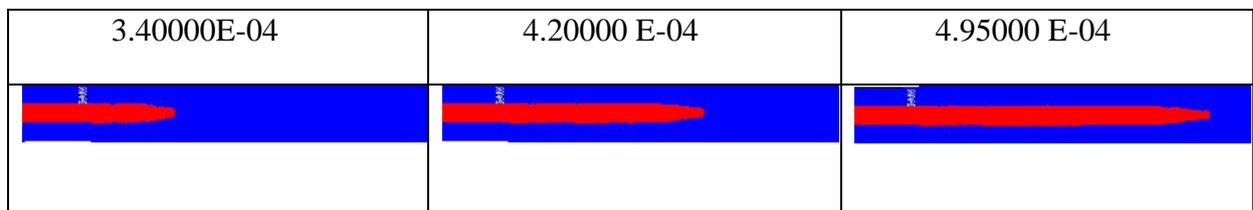


Figure IV. 81: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

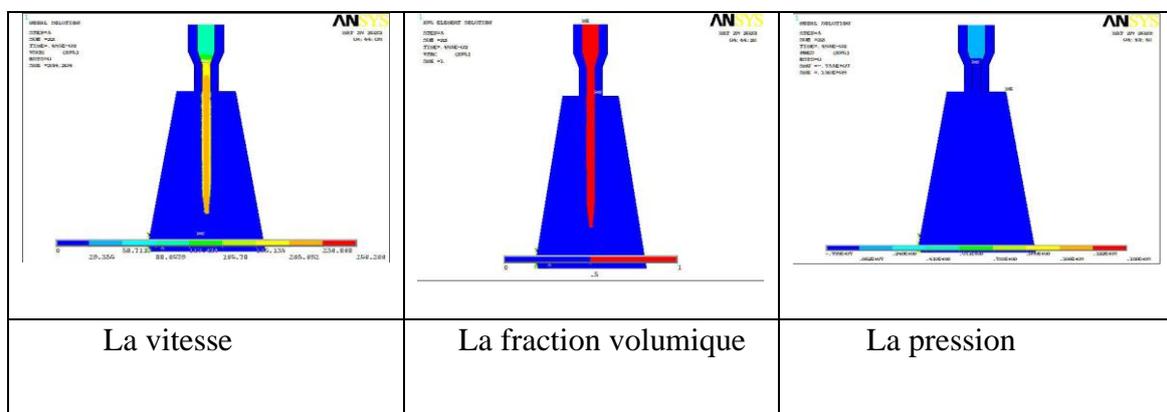


Figure IV. 82: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

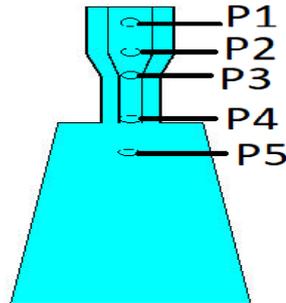


Figure IV. 83: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse

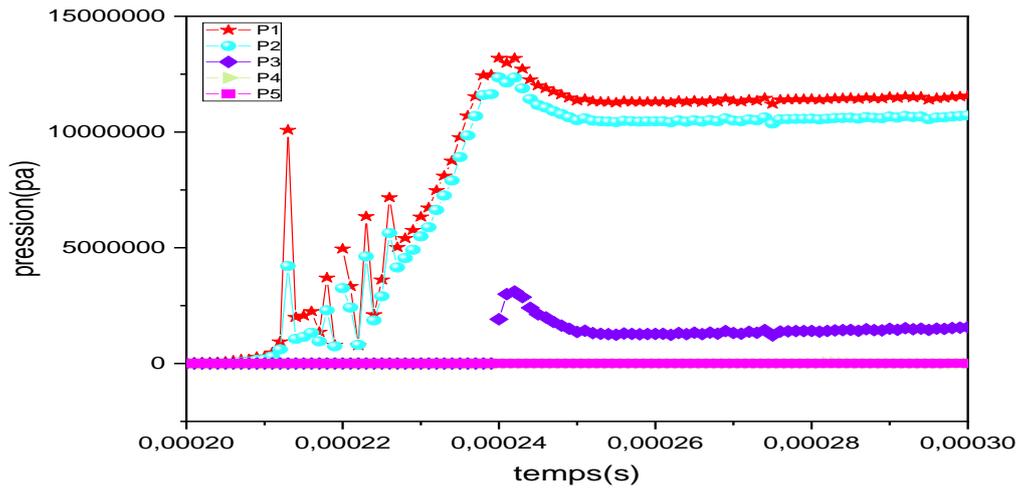


Figure IV. 84: Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La courbe représente le changement de pression en termes de temps, la pression initiale au début de l'injection étant de 0kpa et culminant à p1, qui s'est produite après la rupture de carburant due à un impact.

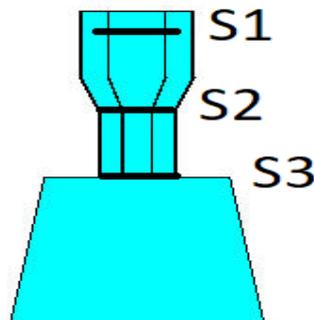


Figure IV. 85: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse

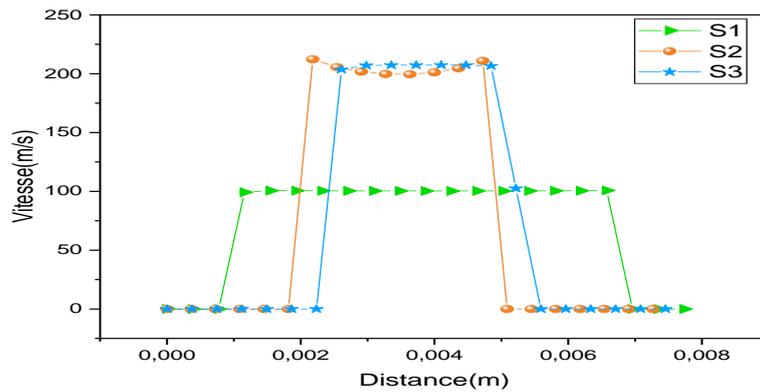


Figure IV. 86: la variation de la vitesse transversale pour le cas référence au différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

La variance de vitesse de la section du boîtier est liée aux différentes sections situées en amont, en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur. Lorsque la longueur de l'injecteur est augmentée, la vitesse augmente également, et cela se produit en augmentant la pression

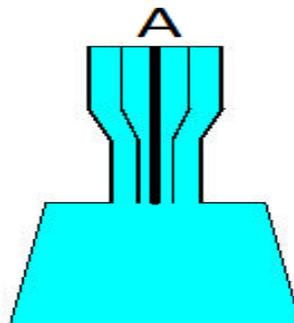


Figure IV. 87: Représentation du point axial.

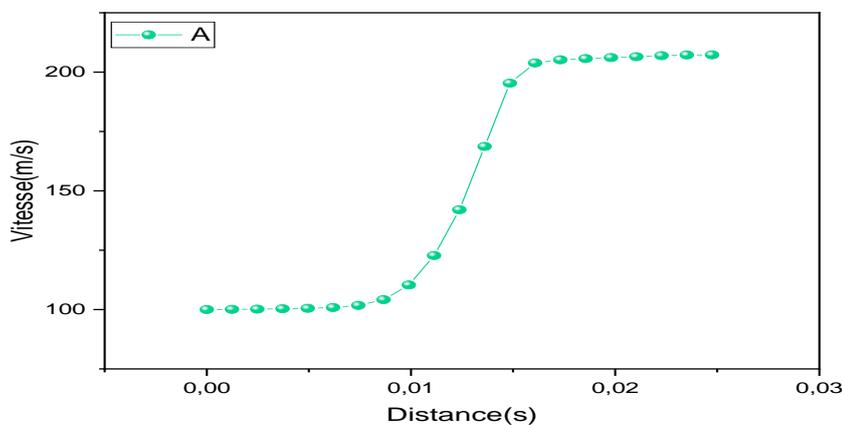


Figure IV. 88: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Dans ce cas, nous constatons une augmentation de la vitesse, jusqu'à un maximum de 220. Cela s'explique par une augmentation de la vitesse du carburant.

La comparaison de tous les cas de diamètre de l'injecteur à l'intérieur du cylindre du position numéro quatre.

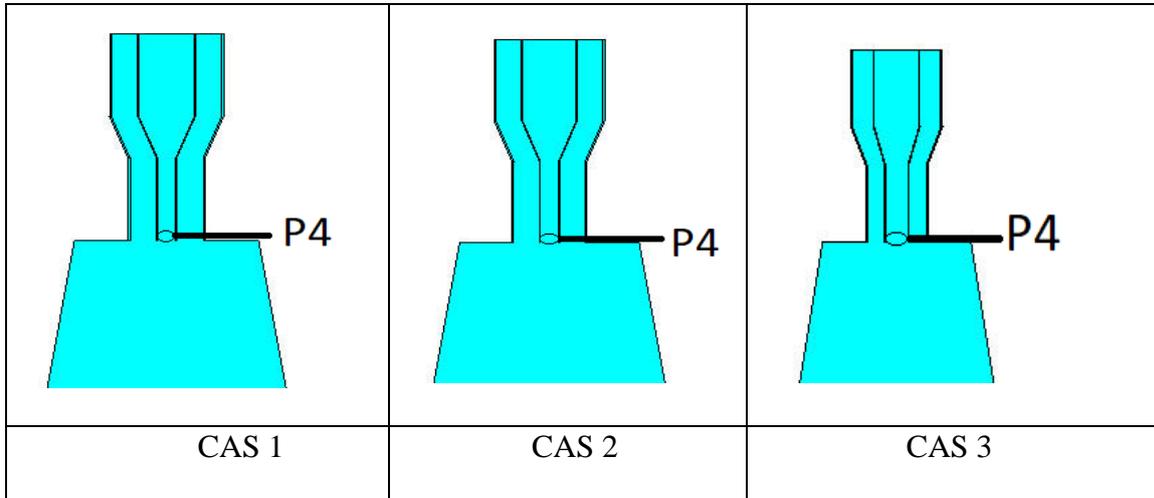


Figure IV. 89: Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse et les autres cas de diamètre de l'injecteur à l'intérieur du cylindre .

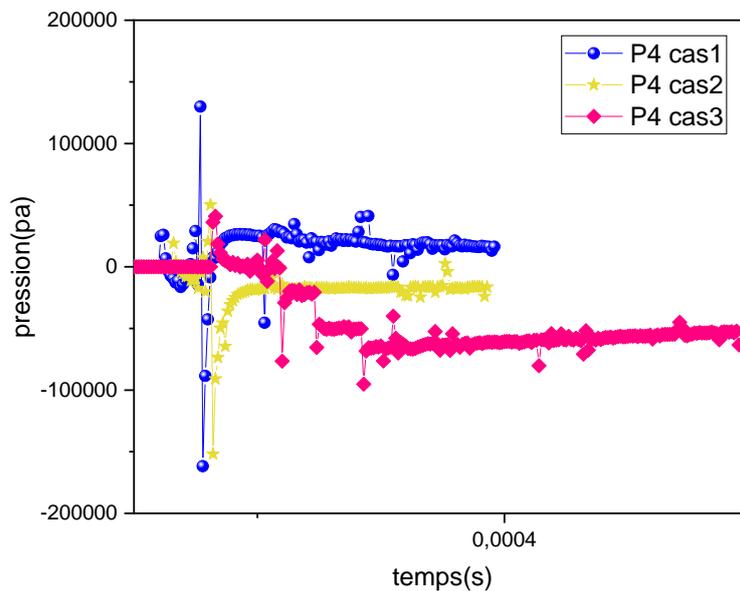


Figure IV. 90: Variation de la pression dans le temps pour la position numéro quatre capteurs proposé pour tous les cas de diamètre.

Dans les trois cas présentés, on observe une relation inverse entre le diamètre et la pression/vitesse. Plus le diamètre est petit, plus la pression et la vitesse sont élevées, et inversement.

La comparaison de tous les cas de diamètre de l'injecteur à l'intérieur du cylindre du section numéro trois.

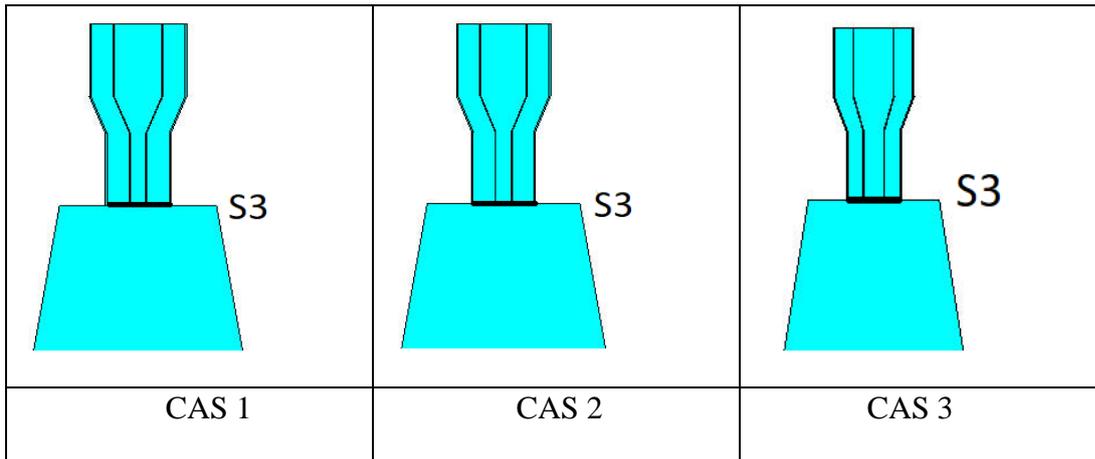


Figure IV. 91: Représentation de troisième section de tous les cas transversaux pour les captures de vitesse.

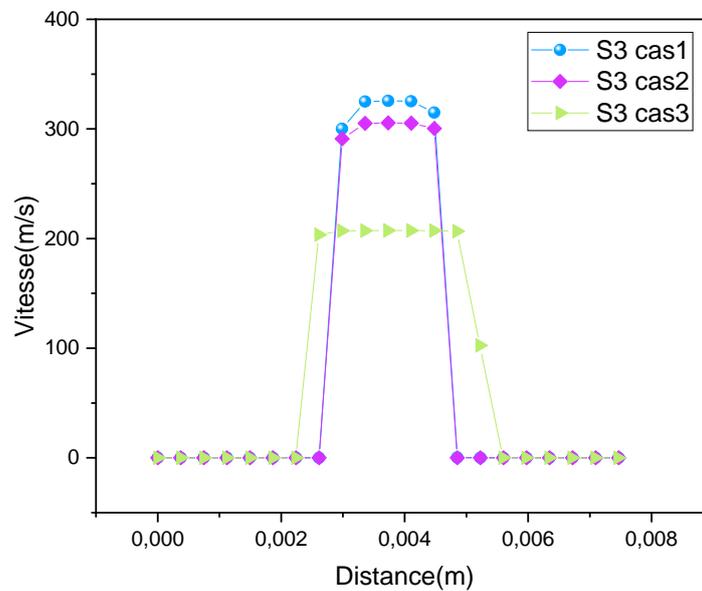


Figure IV. 92: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Les coupes transversales des trois chambres révèlent une corrélation entre le diamètre, la pression et la vitesse. Plus le diamètre est réduit, plus la pression et la vitesse augmentent, et vice versa.

La comparaison de tous les cas d'augmentation et de diminution de diamètre du cylindre axile.

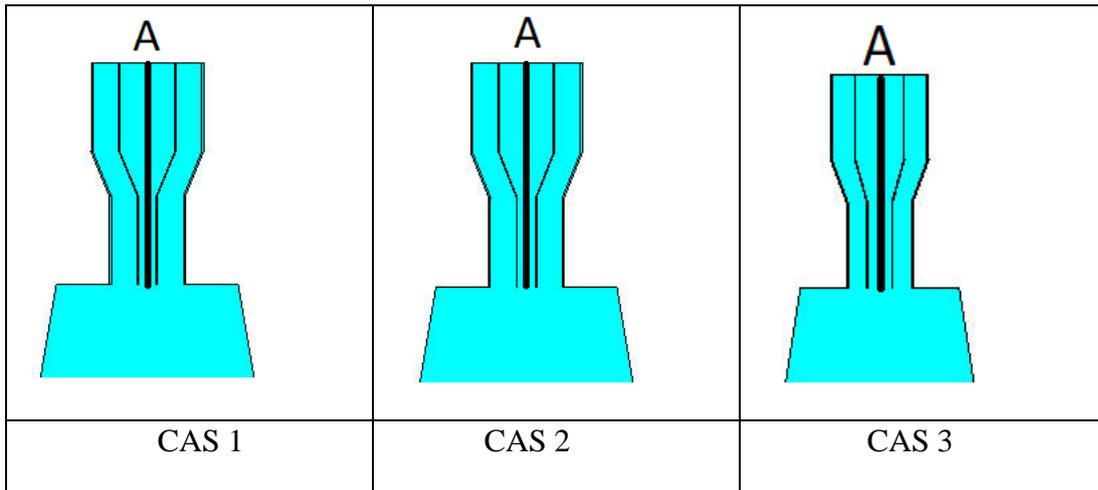


Figure IV. 93: Représentation des points de tous les cas axialement .

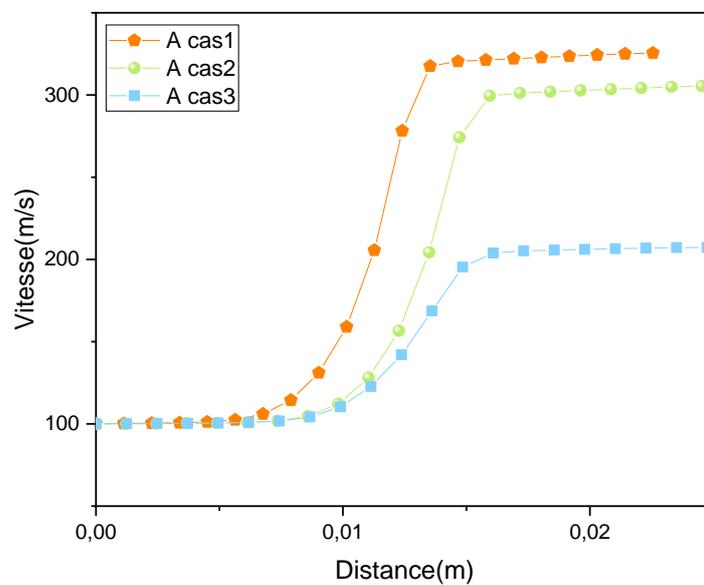


Figure IV. 94: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence et les autres cas.

Lorsqu'on observe les coupes longitudinales des trois chambres, on constate une relation inverse entre le diamètre, la pression et la vitesse. En effet, plus le diamètre est réduit, plus la pression et la vitesse augmentent, et vice versa.

IV.9. Etude de l'influence de déflecteur dans le col et le cylindre :

Le déflecteur et à la sortie du col.

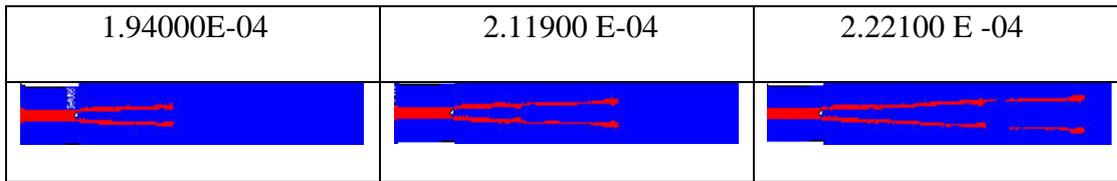


Figure IV. 95: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

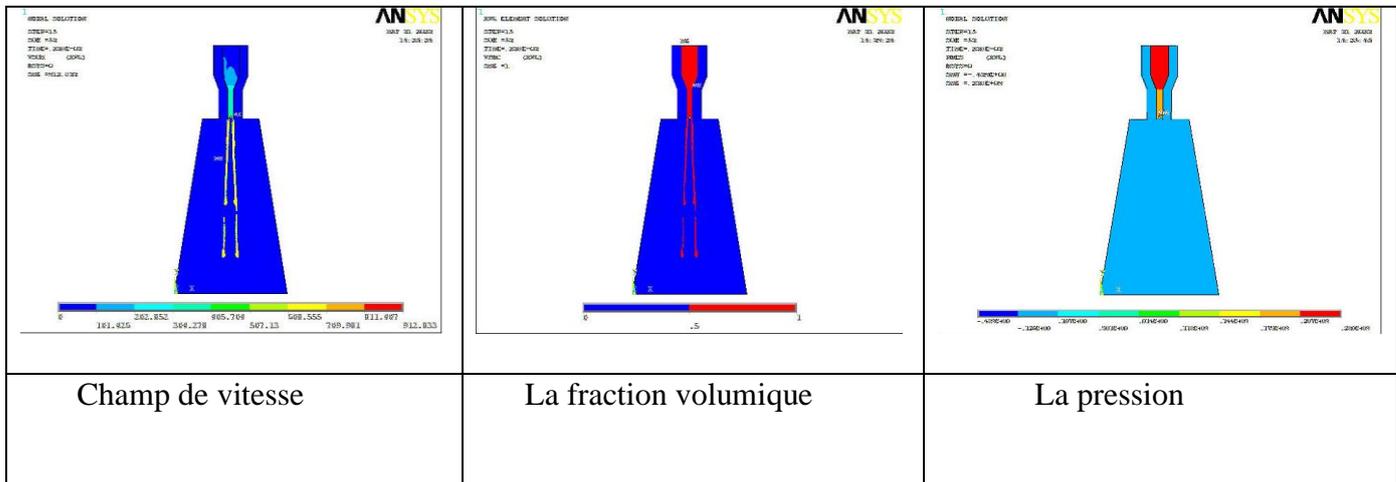


Figure IV. 96: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

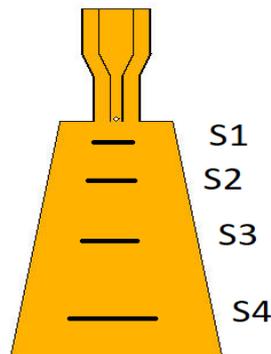


Figure IV. 97: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse

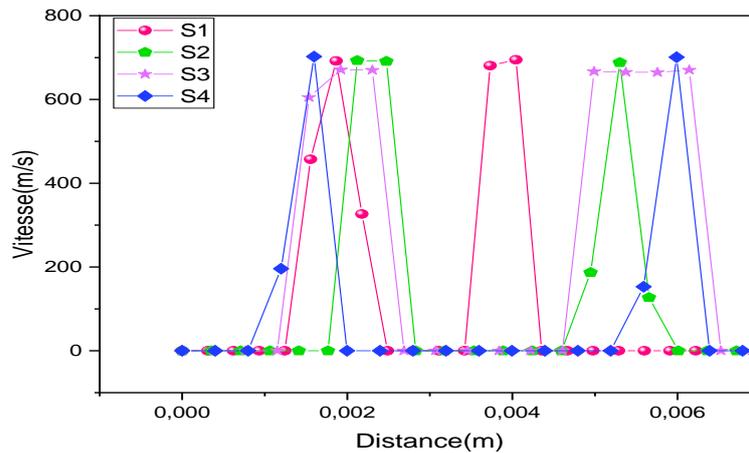


Figure IV. 98: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

La coupe de la figure met en évidence la séparation du carburant en deux parties par l'injecteur dévié en sortie de collerette. Il est observé que plus la distance entre les parties augmente, plus la vitesse augmente également, atteignant finalement 700 m/s.

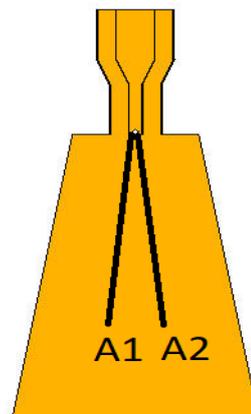


Figure IV. 99: Représentation du point axial.

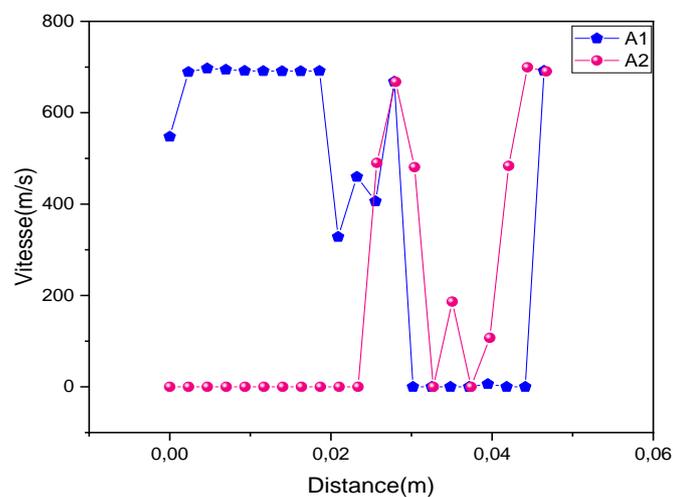


Figure IV. 100: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

La coupe longitudinale de la figure montre que l'injecteur dévié à la sortie du goulot divise le carburant en deux parties distinctes. On observe que lorsque la distance entre les parties augmente, la vitesse augmente également jusqu'à atteindre 700 m. Dans le même temps, le carburant brûle.

Le déflecteur est au début de cylindre.

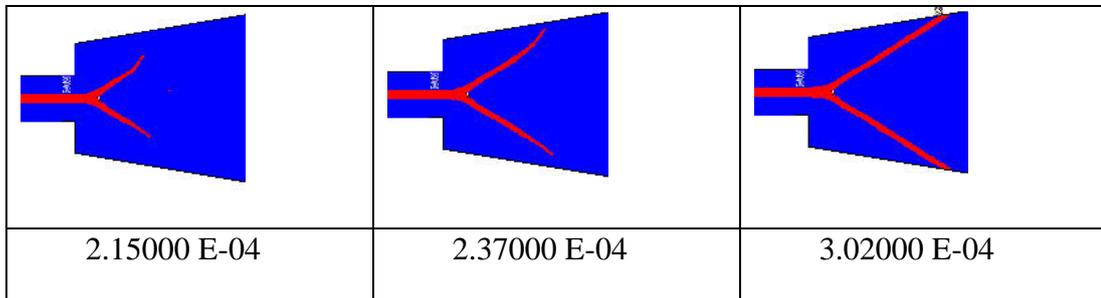


Figure IV. 101: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

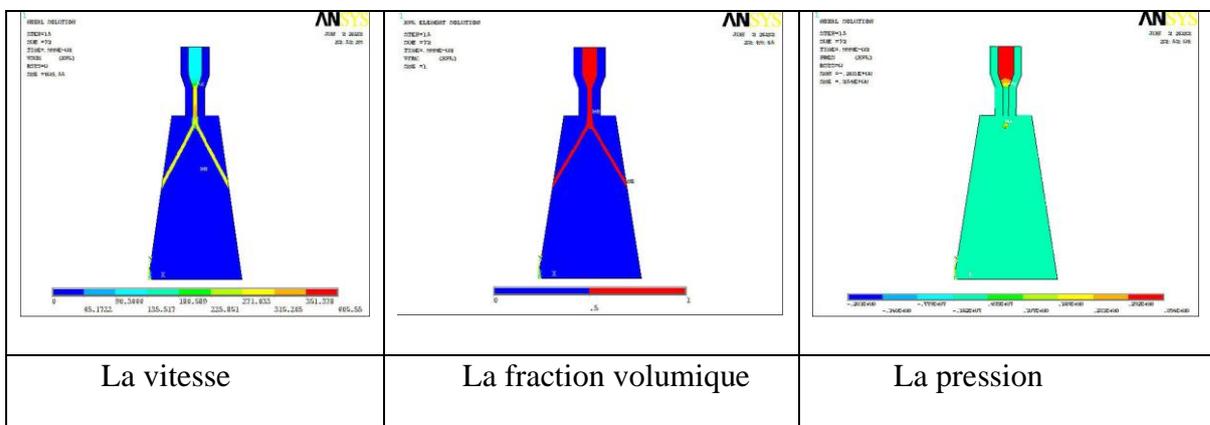


Figure IV. 102: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le deuxième cas.

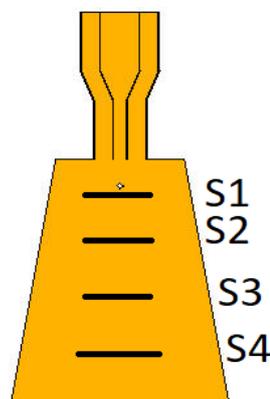


Figure IV. 103: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

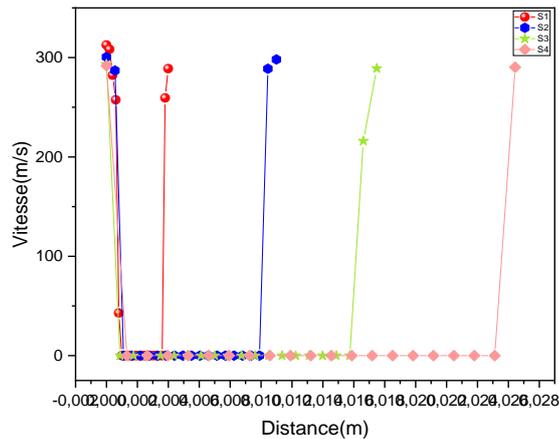


Figure IV. 104: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

La coupe longitudinale de la figure montre que l'injecteur dévié à la sortie du goulot divise le carburant en deux parties distinctes. On observe que lorsque la distance entre les parties augmente, la vitesse augmente également jusqu'à atteindre 200 m/s. Dans le même temps, le carburant brûle.

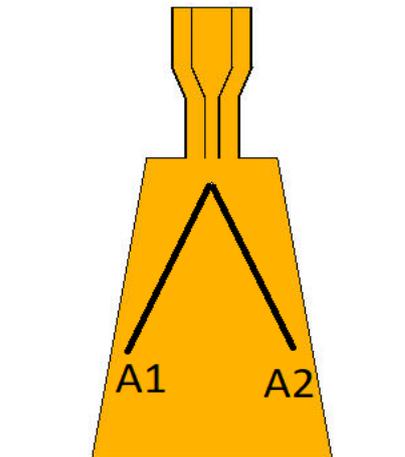


Figure IV. 105: Représentation du point axial.

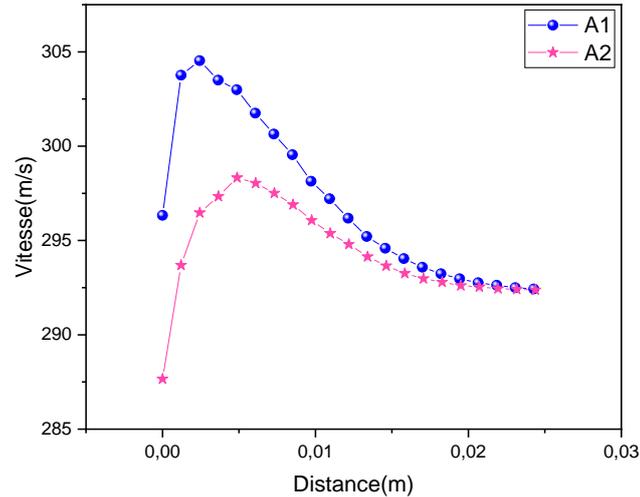


Figure IV. 106: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Dans les deux coupes longitudinales, il ressort de la figure que l'injecteur dévie au niveau d'un cylindre. Le carburant est divisé en deux parties. On note qu'à mesure que la distance augmente, la vitesse augmente jusqu'à atteindre 305 m/s. Le carburant brûle.

Le déflecteur est au milieu de col.

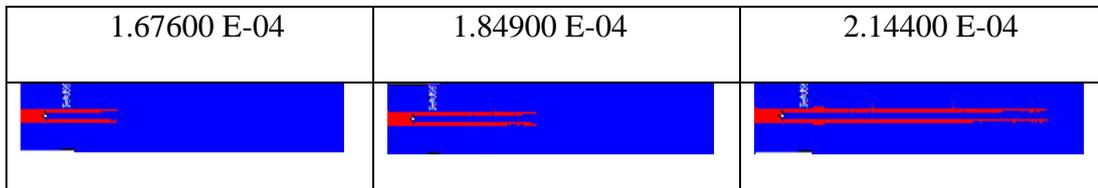


Figure IV. 107: Représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre.

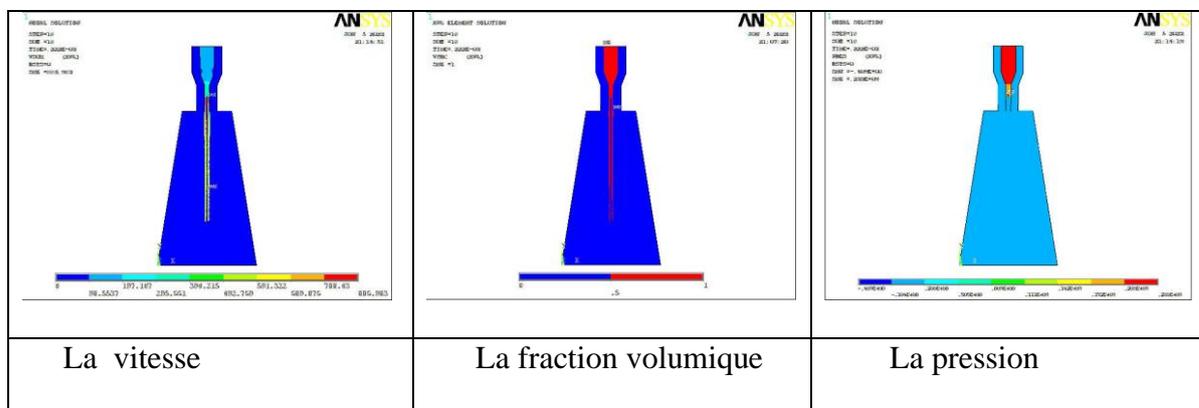


Figure IV. 108: Représentation spatiale de l'interaction développée par le jet dynamiquement pour le dixième cas.

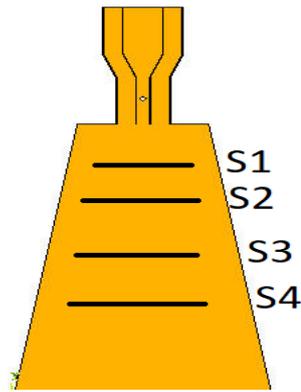


Figure IV. 109: Représentation des sections transversale pour les captures de vitesse.

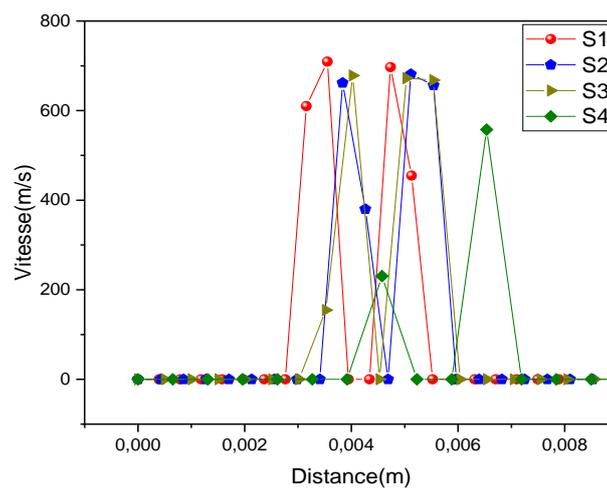


Figure IV. 110: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Dans la coupe transversale de la figure, on peut observer que l'injecteur est dévié au début du col. En augmentant la profondeur, le carburant est divisé en deux parties distinctes. On remarque que lorsque la distance entre ces parties augmente, la vitesse augmente également jusqu'à atteindre 780 m/s. Pendant ce processus, le carburant brûle.

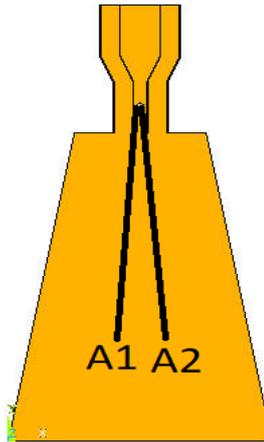


Figure IV. 111: Représentation du point axial.

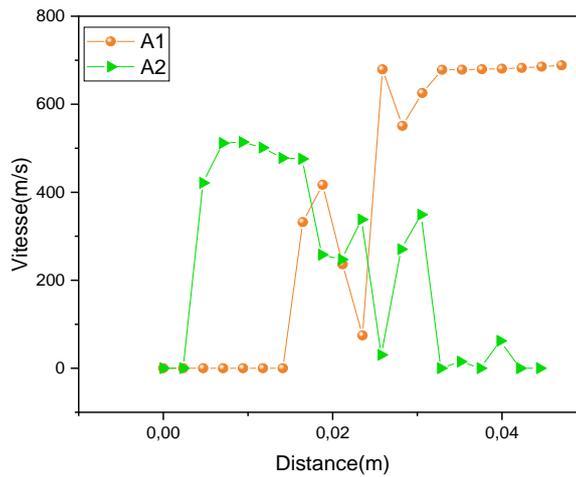


Figure IV. 112: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence.

Dans la coupe longitudinale, il ressort de la figure que l'injecteur est dévié au début du col. Nous augmentons la profondeur. Le carburant est réparti en deux parties. Nous notons que lorsque la distance augmente, la vitesse augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne 700 m/s. Le carburant brûle.

La comparaison de tous les cas de déflecteur dans le col et cylindre de l'injecteur à l'intérieur du cylindre du section numéro un.

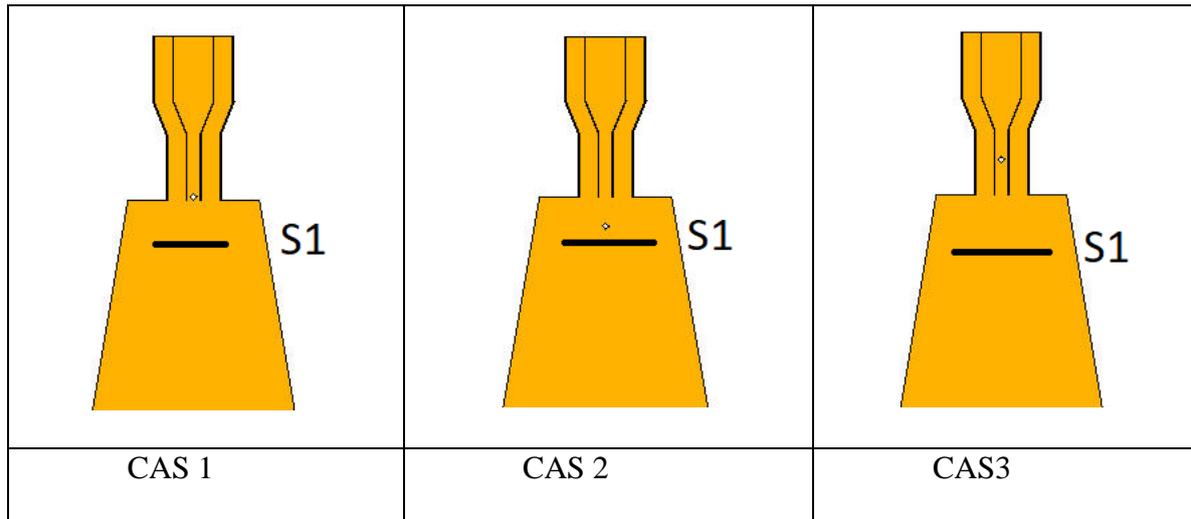


Figure IV. 113: Représentation de première section de tous les cas transversale pour les captures de vitesse.

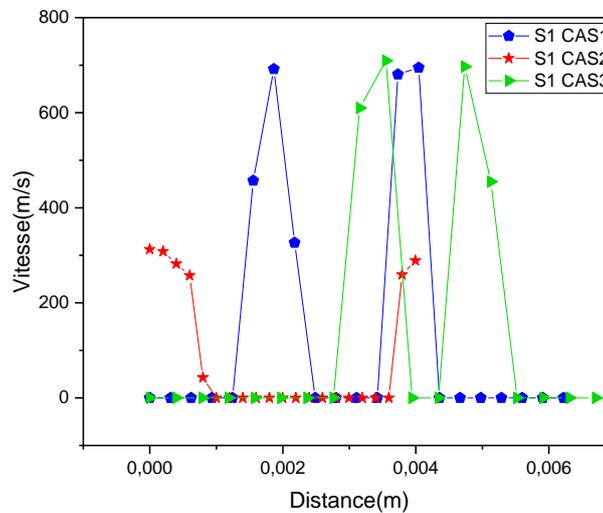


Figure IV. 114: Variation de la vitesse transversale pour le cas référence et les autres cas aux sections numéro trois transversale en amont et en aval et à l'intérieur du col de l'injecteur.

Dans ce commentaire, il est mentionné qu'un déflecteur est placé à l'intérieur du col pour capter la vitesse dans trois cas. Dans les cas 1 et 3, la vitesse atteint un pic de 600 m/h, tandis que le deuxième cas présente une vitesse plus faible. Cela confirme que le déflecteur a perdu de la vitesse en raison de collisions. Les coupes transversales sont utilisées pour visualiser ces variations de vitesse.

La comparaison de tous les cas de déflecteur dans le col et cylindre de l'injecteur à l'intérieur du cylindre d'axe numéro une.

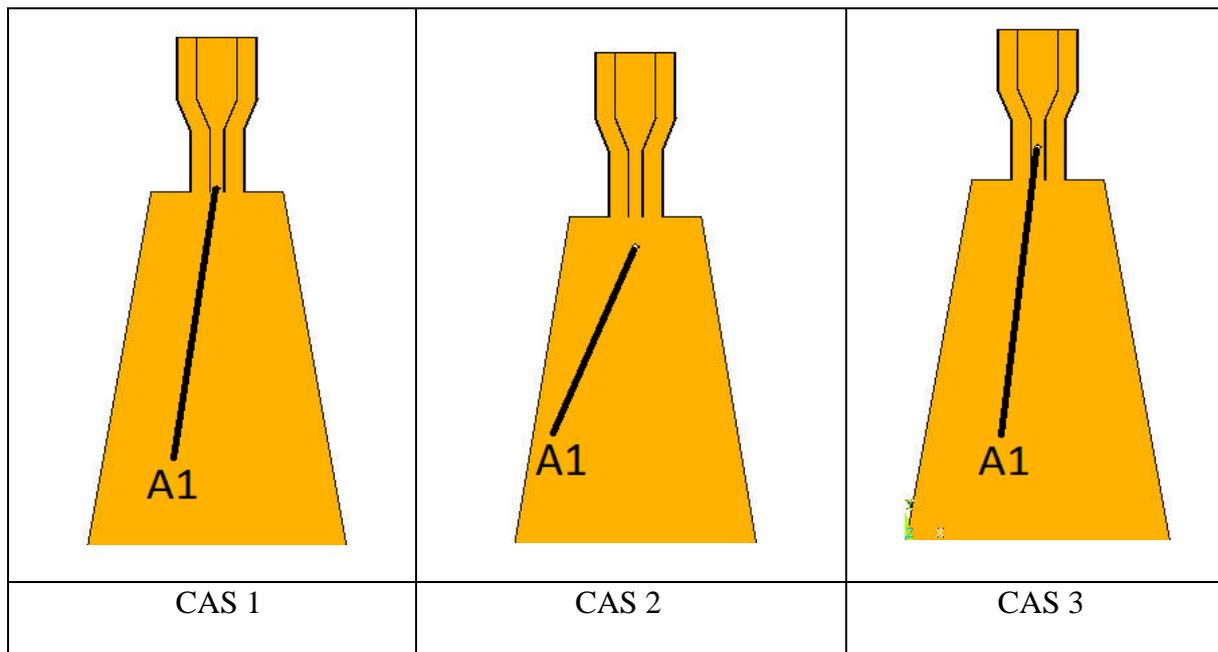


Figure IV. 115: Représentation des points de tous les cas axialement

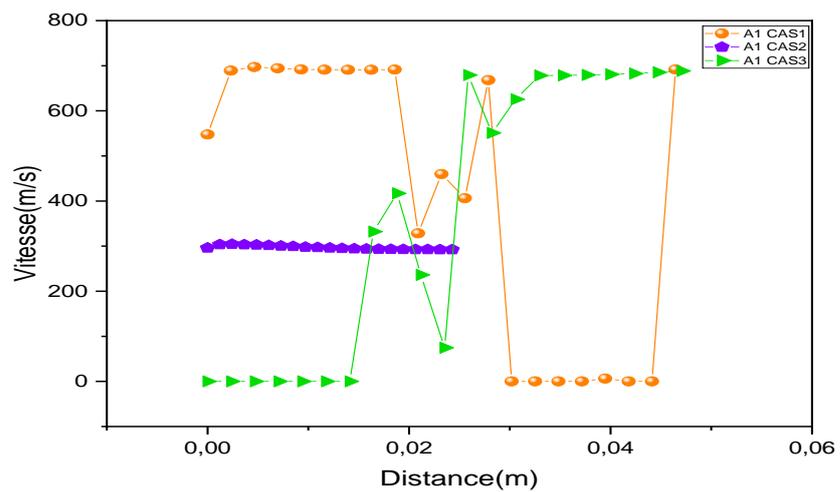


Figure IV. 116: Variation de la vitesse axiale pour le cas référence et les autres cas.

Sur la Figure IV.116, la vitesse transversale pour les trois sections est représentée, où nous constatons que la vitesse atteint une valeur maximale dans le col (650 m/s),

IV.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, après avoir assuré l'indépendance entre la solution et le maillage et validé le modèle utilisé, nous avons analysé spécialement les résultats numériques du problème conjugué d'écoulement diphasique, de dispersion et d'atomisation du carburant liquide en modifiant la géométrie du col de l'injecteur. Les expériences numériques réalisées à l'aide de la méthode eulérienne EF/VOF ont produit de meilleurs résultats.

Nos observations montrent que chaque fois que nous avons ajusté la position de pénétration de l'injecteur, de bons résultats ont été obtenus. En particulier, lorsque le diamètre de l'orifice d'injection était plus petit, les résultats étaient excellents en termes d'atomisation et de dispersion. De plus, chaque fois que nous avons réduit la longueur du col de l'injecteur, nous avons obtenu de bons résultats par rapport à la pénétration du jet.

Cependant, lors de la quatrième étude, nous avons constaté des différences dans les résultats entre les cas deux et trois par rapport aux premières études. Il est important de noter que ces cas particuliers nécessitent une attention supplémentaire, car ils n'ont pas montré des performances aussi satisfaisantes en termes de mode d'instabilité primaire pulsatoire et prédit correctement l'atomisation et de dispersion. Cela souligne l'importance de trouver la combinaison optimale de la géométrie de l'injecteur pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

Dans l'ensemble, nos résultats suggèrent que la position de pénétration de l'injecteur, le diamètre de l'orifice d'injection et la longueur du col de l'injecteur sont des paramètres clés à prendre en compte pour comprendre la morphologie de rupture du fluide et ainsi améliorer l'atomisation et la dispersion du jet de carburant diesel. Des ajustements plus précis de ces paramètres pourraient conduire à des améliorations significatives dans les performances de l'injecteur.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'analyse par EF (éléments finis) ou VOF (Volume of Fluid) de l'injecteur et de ses paramètres géométriques est essentielle pour comprendre l'impact de ces paramètres sur la dispersion d'un jet liquide injecté dans un cylindre. Cette analyse permet de tirer une conclusion générale quant à l'influence de ces facteurs sur le comportement du jet.

En utilisant la méthode des éléments finis, il est possible de modéliser l'injecteur et d'effectuer des simulations numériques pour étudier les caractéristiques du jet liquide. Cette approche permet de prendre en compte différents paramètres géométriques de l'injecteur, tels que la forme de l'orifice d'injection, le diamètre de l'orifice, l'angle d'injection, etc.

Le modèle VOF est une méthode de suivi d'interface qui permet de représenter l'interface entre le liquide et l'air dans le domaine de simulation. Cela permet de capturer les phénomènes de mélange, de fragmentation et de dispersion du jet liquide dans le cylindre.

En analysant les résultats des simulations EF/VOF, on peut tirer des conclusions générales sur l'impact des paramètres géométriques de l'injecteur sur la dispersion du jet liquide et qui conduit à des transitions plus précoces du type membrane au type fibre. Par exemple, on peut constater que le diamètre du col d'injecteur affecte la direction et la répartition spatiale du jet dans le cylindre. Un diamètre plus faible peut entraîner une dispersion plus large du jet, tandis qu'un diamètre plus élevé peut favoriser une concentration plus étroite du jet.

Ainsi, le diamètre de l'orifice d'injection peut influencer la taille des diffusions transversale du jet liquide et donc sa dispersion et qui conduit à une transition plus précoce du type membrane au type fibre.

En résumé, l'analyse par EF/VOF des paramètres géométriques de l'injecteur dans la dispersion d'un jet liquide injecté dans un cylindre permettent de comprendre l'influence de ces paramètres sur le comportement du jet. Cette analyse peut aider à optimiser la conception de l'injecteur et à améliorer l'efficacité de l'injection de liquide dans différentes applications industrielles, telles que l'injection de carburant dans les moteurs ou l'injection d'agents de refroidissement dans les systèmes de refroidissement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] VANKESWARAM, S. K., et al. Evaluation of spray characteristics of aviation biofuels and Jet A-1 from a hybrid air blast atomizer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2023, 142: 110820
- [2] Wachter, S., Jakobs, T., & Kolb, T. (2021). Towards system pressure scaling of gas assisted coaxial burner nozzles—An empirical model. *Applications in Energy and Combustion Science*, 5, 100019.
- [3] Jin, W., Xiao, J., Ren, H., Li, C., Zheng, Q., & Tong, Z. (2022). Three-dimensional simulation of impinging jet atomization of soft mist inhalers using the hybrid VOF-DPM model. *Powder Technology*, 407, 117622.
- [4] Kolb, T., Aigner, M., Kneer, R., Mueller, M., Weber, R., & Djordjevic, N. (2016). Tackling the challenges in modelling entrained-flow gasification of low-grade feedstock. *Journal of the Energy Institute*, 89(4),
- [5] Kolb, T., Aigner, M., Kneer, R., Mueller, M., Weber, R., & Djordjevic, N. (2016). Tackling the challenges in modelling entrained-flow gasification of low-grade feedstock. *Journal of the Energy Institute*, 89(4), 485-503
- [6] ZHANG, Feichi, et al. Numerical and Experimental Investigation of Primary Breakup of High-Viscous Fluid at Elevated Pressure. In: *Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, December. 2019. p. 1-8.
- [7] Müller T, Kadel K, Habisreuther P, Trimis D, Zarzalis N, Sängler A, Jakobs T, Kolb T. Influence of reactor pressure on the primary jet breakup of high-viscosity fuels: basic research for simulation-assisted design of low-grade fuel burner. In: *Proceeding so FASME Turbo Expo*. 2018. p. GT2018–75950
- [8] ZHOU, Zhi-Fu; LU, Guan-Yu; CHEN, Bin. Numerical study on the spray and thermal characteristics of R404A flashing spray using Open FOAM. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018, 117: 1312-1321.
- [9] Kumar A, Sahu S. Liquid jet breakup unsteadiness in a coaxial air-blast atomizer. *Int J Spray Combust Dyn* 2018; 10(
- [10] 22. Pandal A, Payri R, García-Oliver JM and Pastor JM. Optimization of spray break-up CFD simulations by combining S–Y Eulerian atomization model with response surface methodology under diesel engine-like conditions (ECN Spray A). *Comput Fluid* 2017; 156: 9–
- [11] ARIENTI, Marco; SUSSMAN, Mark. A numerical study of the thermal transient in high-pressure diesel injection. *International Journal of Multiphase Flow*, 2017, 88: 205-221

- [12] Wachter S, Jakobs T, Kolb T. Experimental investigation on the influence of system pressure on resulting spray quality and jet breakup applying pressure adapted win-fluid nozzles. *Int J Multi ph. Flow*2020;125
- [13] Ahmed, A., Duret, B., Réveillon, J., & Demoulin, F. X. (2020). Numerical simulation of cavitation for liquid injection in non-condensable gas. *International Journal of Multiphase Flow*, 127, 103269
- [14] Menard, T, Tanguy, S., Berlemont, A., 2007. Coupling level set/VOF/ghost fluid methods: validation and application to 3D simulation of the primary break-up of a liquid jet. *Int. J. Multiphase Flow* 33 (5), 510–524.
- [15] Behzad M, A shgriz N, Karney B. Surface breakup of a non-turbulent liquid jet injected into a high-pressure gaseous crossflow. *Int J Multi ph Flow* 2016 ;80 :100–17
- [16] CALIMEZ. Simulation à petite échelle par une méthode VOF d'écoulements diphasiques Réactifs, Thèse de doctorat en Energétique Ecole centrale de Paris, 1998.
- [17] Ahmed, A., B. Duret, et al. (2020). " Numerical simulation of cavitation for liquid injection in non-condensable Gas" *International Journal of Multiphase Flow* 127: 103269.
- [18] Le Pierre-Arnaud Beau, Modélisation de l'atomisation d'un jet liquide Application aux Sprays Diesel, Thèse doctorat Université de Rouen CoRIA, décembre 2006
- 19 [3] PIERRE-ARNAUD BEAU Modélisation de l'atomisation d'un jet liquide Application aux sprays Diesel, thèse doctorat de l'école Doctorale de l'Université de Rouen, CoRIA, le 2008
- [20] Marc Julien, performance à 4 temps v3.1, 2009/2012.
- [21] Mlle. ABDELLAOUI Amina ET. Mr. BENTAALLAH Yasser, Simulation numérique de Combustion dans un moteur Diesel turbocompressée, Mémoire professionnel (niveau M). Génie Mécanique à l'Université Tlemcen le : 2011
- [22] Menard, T, Tanguy, S., Berlemont, A., 2007. Coupling level set/VOF/ghost fluid methods: validation and application to 3D simulation of the primary break-up of a liquid jet. *Int. J. Multiphase Flow* 33 (5), 510–524
- [23] B. E. LAUNDER, D, B. SPALDING, the numerical computation of turbulent transport, *Adv. Géophysiques*, vo118A, (1974)

- [24] Suhas V. Patankar, « Numerical heat transfer and fluid flow » Edition series in Computational methods in mechanics and thermal sciences, 1980.
- [25] 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
- [26] YVESJANNOT transfert thermique école des mines Nancy 2009
- [27]F KREITH “transmission de chaleur et thermodynamique université du colorado 1967
- [28] [Ménard, 2006] Ménard T. et al. 2006, Numerical jet atomisation. Part I: DNS simulation
Of primary break up, Proceedings of ASME FEDSM, Miami
- [29] Wachter S, Jakobs T, Kolb T. Experimental investigation on the influence of system pressure on resulting spray quality and jet breakup applying pressure adapted twin-fluid nozzles. Int J Multi ph Flow 2020 ;125.
- [30] Ménard; T, S. Tanguy, and A. BERLEMONT. coupling level set / VOF / ghost fluid methods: Validation and application to 3d simulation of jet primary break-up. International Journal of Multiphase Flow, in press.
- [31] Romain Lebas thèse Faculté des Sciences de L’Université de Rouen26 octobre 2007
Modélisation Eulérienne de l’Atomisation Haute Pression - Influences sur la Vaporisation Et la Combustion Induite page 12 Fractionnement d’un jet liquide - physique du phénomène