REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINSTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université YAHIA FARES de MEDEA

Faculté De Technologie

Département De Génie Mécanique



Projet De Fin D'étude Pour L'obtention De Diplôme De Master En Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

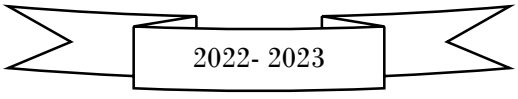
Thème

Analyse Par EF/VOF De L'atomisation D'un Jet Liquide Injecté Dans Un Cylindre

Présenté par : ***Proposer et diriger par :***

Mr DJERRAI Lakhdar

Pr. ZIRARI Mounir
Dr. LABBADLIA Omar



Remerciement

Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir accordé le privilège et l'opportunité d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.

Nous remercions sincèrement notre encadrant, **Pr. ZIRARI Mounir**, pour sa compréhension, ses conseils et son aide. Sa gentillesse et ses conseils efficaces.

Nous tenons également à remercier Pr. ALLICHE Mounir d'avoir accepté de présider le jury du projet de fin d'études.

Nous remercions Dr. REBHI Redah Et le Pr. CHIBA Younes**,** qui ont bien voulu vérifier notre travail. Leur présence enrichira certainement le travail que nous avons accompli.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à tous les professeurs de l'Université YAHIA FARES, en particulier les professeurs du Département de génie mécanique. Votre éducation a porté ses fruits.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette mémoire.

Dédicace

Grâce à ALLAH tout puissant, nous dédions ce modeste travail à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire plus particulièrement :

À mes chers parents, tout mon respect et mon affection témoignent de votre soutien, de vos sacrifices, de votre patience, de vos conseils et de votre orientation dans ma vie.

· A toute ma famille et mes chers frères et sœurs

· À tous nos professeurs de génie mécanique.

· A tous mes Amis

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 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 الحسابيةأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح تأثير المعلمات الهندسية على الانتشار الفيزيائية 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 physique lié 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 géométrique 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 1

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

I.1-Introduction 2

I.2-Injection liquide 2

I.2.1-Injection 2

I.3.Le type d'injection 2

I.3.1-Injection indirect 2

I.3.1.1-Injection indirecte sur moteur essence 3

I-3.1.2. Injection indirecte sur moteur diesel 3

I-3.2. L'injection directe 4

I.4-Injecteurs 6

I-4.1. Injecteurs différents 6

I.4.2-Injecteur de type Common Rail 6

I.4.3- Injecteur à sac et injecteur VCO 7

I.5- Les combustibles 9

I.5.1. Combustibles liquides et gazeux 9

a)Produits de distillation 9

b) Huiles végétales et diester :..... 10

I.6.l'état de l'art 10

Conclusion 16

Chapitre II : Modèles mathémathique

II.1.Introduction 17

II.2-Modélisation de L'écoulement des Fluides 17

II.2.1-Equation de Navier-Stokes 17

II.3- Équations gouvernantes de la dynamique de la chaleur : 17

II.3.1- Equation de continuité 18

II.3.2-Equation de quantité de mouvement :..... 18

II.3.3-Equation de conservation d'énergie 19

II.4.Modélisation de la turbulence 19

II.5-Bilan d'énergie 20

II.6-Les différents modes de transfert de chaleur 20

II.6.1-Transfert de chaleur par conduction 21

II.6.2-Transfert de chaleur par convection 22

II.6.3-Transfert de chaleur par rayonnement 23

II.7.Le nombre de Reynolds 23

II.8.Le nombre de Prandtl 24

Conclusion 24

Chapitre III : Méthode numérique

III.1.Introduction 25

III.2-Les trois grandes familes de méthodes 25

III.2.1.Méthode des différences finies 26

III.2.2.Méthode des éléments finis 26

III.2.3.Méthode du volume finis 26

III.3. Méthodes numériques de discrétisation 26

III.4. Méthode des volumes finis pour la résolution numérique 27

III.4.1. Présentation de la méthode des volumes finis 27

III.4.2. Maillage dans la méthode des volumes finis 28

III.5- Mise en œuvre de la méthode des éléments finis 28

III. 5. 1 - Formulation variatioelle forte 28

III. 5. 2- Formulation variatioelle faible 29

III. 6. Forme générale des équations du systéme 29

III.7-Discrétisation 30

III.7.1-Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini 31

a. Bilan Thermique : Equation De Chaleur 31

III.7.2- Forme discrétisée : éléments finis 31

III.8-Méthodes de discretizations: 32

III.9- Choix d'un maillage: 32

III.10-Méthode VOF (Volume of Fluid): 33

III.10.1- Principe de la méthode VOF: 34

Coclusion : 35

Chapitre VI : Résultat et discutions

IV. I. Introduction 37

IV.2. ANSYS 37

IV.2.2. existe plusieurs niveaux d'outils de simulation 37

IV.3 - Identification 38

IV.4. Analyse des résultats des simulations numériques pour le cas référence : 41

IV.5 : Etude de l'influence du changement géométrique dans le col : 45

IV.6- Comparaison entre le cas (0) et les 6 cas 65

Conclusion 69

Conclusion générale 70

Liste Des Figures

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

Figure I.1 : Injection indirecte sur moteur essence [2]..... 3

Figure I.2 : Injection indirecte sur moteur Diesel [2]..... 4

Figure I.3 : Injection directe [2]..... 6

Figure I.4 : Injecteurs pour injection directe et injection indirecte [2]..... 6

Figure I.5 : Schéma de principe d'un injecteur Common Rail [3]..... 7

Figure I.6 : Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite) [4] 8

Figure I.7 : Évolution de l'injection Diesel au cours des trente dernières années [5]..... 8

Chapitre II : Modèles mathémathique

Figure II.1 : bilan énergétique..... 20

Figure II.2 : schéma de transfert de chaleur par conduction..... 21

Figure II.3 : schéma du transfert de chaleur par convection..... 22

Figure II.4 : schéma de transfert de chaleur par rayonnement..... 23

Chapitre III : Méthode numérique

Figure III-1 : Volume de contrôle..... 28

Figure III-2: bilan thermique 31

Figure III.3: domain plan discretize en element relies eux par nun..... 32

Figure III-4: (a) element tétraédrique; (b) élément hexaédrique 33

Figure.III.5 : Méthode VOF [41]..... 34

Chapitre VI : Résultat et discutions

Figure IV.1 : représentation Spatiale de la configuration géométrique et les conditions limites [43] . 39

Figure IV.2 : Dynamique de spray obtenue à l'aide d'une simulation numérique directe de Menard et al. [28] 39

Figure IV.3 : résultat expérimental de Ménard [28]. 40

Figure IV.4 : Représentation spatiale de nos résultats de calcul de la dispersion dynamique du jet liquide dans le cylindre..... 40

La figure IV.5 : représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre 41

Figure IV.6 : Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse 41

Figure IV. 7 : la Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés 41

Figure IV. 8 : Représentation des sections transversale vitesse..... 42

La figure IV.9 : la variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversales de l'injecteur. 42

Figure IV.10 : Représentation du point axial. 43

Figure IV .11 : la variation de la vitesse axiale pour le cas référence..... 43

Figure IV. 12 : Les six schémas du cool proposé pour la perturbation de l'écoulement. 44

Figure : IV.13 : représente les résultats de développement de la fraction volumique. 45

Figure IV. 14 : développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le Premier cas.. 45

Figure IV.15 : la Variation de la pression transversale aux 5 pressions différentes 1èr cas. 46

Figure IV.16 : la variation de la vitesse transversale pour 1èr cas. 46

Figure IV.17 : la variation de la vitesse axiale dans le **1èr** cas..... 47

Figure IV.18 : représentation spatiale de la dynamique de dispersion et le déclanchement de l'atomisation pour le deuxième cas. 48

Figure IV.19 : développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le deuxième cas. 48

Figure IV.20 : la Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés. 49

Figure IV. 21 : la variation de la vitesse transversale pour 2ème cas. 50

Figure IV.22 : la variation de la vitesse axiale dans le 2éme cas. 50

Figure IV.23 : représente les résultats de développement de la fraction volumique..... 51

Figure IV.24 : développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour**.** 51

Figure IV.25 : la Variation de la pression transversale aux 5 pressions différentes 3ème cas. 52

Figure IV.26 : la variation de la vitesse transversale pour 3ème cas. 53

Figure IV.27 : la variation de la vitesse axial dans le 3émecas. 54

Figure IV.28 : représente les résultats de développement de la fraction volumique..... 55

Figure IV.29 : Développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le quatrième cas. 55

Figure IV.30 : la Variation de la pression axiale aux 5 pressions différentes 4ème cas. 56

Figure IV.31 : la variation de la vitesse transversale pour **4ème** cas..... 57

Figure IV.32 : la variation de la vitesse axiale dans le 4ème cas. 57

Figure IV.33 : Développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le 5ème cas. 58

Figure IV. 34 **:** représente les résultats de développement de la fraction volumique..... 59

Figure IV.35 : Représentation de l'emplacement des capteurs axiale 59

Figure IV. 36 : la Variation de la pression axiale 5 pressions différentes 5ème cas..... 59

Figure IV.37 : Représentation des sections transversale pour les capteurs de vitesse 60

Figure IV.38 : la variation de la vitesse transversale pour **5ème** cas..... 60

Figure IV.39 : Représentation du point axial. 60

Figure IV.40 : la variation de la vitesse du point axial dans le 5ème cas. 60

Figure IV.41 : représente les résultats de développement de la fraction volumique..... 61

Figure IV.42 : Développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le 6ème cas. 62

Figure IV.43 : Représentation de l'emplacement des capteurs axiale 62

Figure IV.44 : la Variation de la pression axiale 5 pressions différentes 6ème cas. 62

Figure IV.45 : Représentation des sections transversale pour les capteurs de vitesse 63

Figure IV. 46 : la variation de la vitesse transversale pour **6ème** cas..... 63

Figure IV.47 : Représentation du point axial. 64

Figure IV.48 : la variation de la vitesse du point axial dans le 6ème cas. 64

Figure IV.49 : Comparaison entre le cas (0) et les (6) cas de développement de la fraction volumique. 65

Figure IV.50 : Comparaison de l'évolution de la pression au point pivot entre le cas (0) et les cas 6 . 66

Figure IV.51 : Comparaison de développement de la vitesse transversale dans le cas (0) et 6 cas. 67

Figure IV.52 : Comparaison de développement de la vitesse du point axial (cas 0) et 6 cas. 69

Liste Des Tables

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

Tableau I.1 : les caractéristiques moyennes dans les Produits de distillation [6]. 10

Chapitre III : Méthode numérique

Tableau III-1 : Comparaison des avantages et des inconvénients des différentes méthodes numériques. 27

Tableau III.2 : Expression des coefficients d"échange et des termes sources pour les différentes variables. 30

Chapitre VI : Résultat et discutions

Tableau VI.1 : propriétés thermique et dynamique utilisé pour le calcul 38

Tableau IV.2 : condition d'injection utilisé pour le calcul numérique 38

Nomenclature

Lettres latines

Notation	Signification	Unité
C_p	Capacité calorifique massique à pression constante	[m².s−2.K−1]
α	Fraction de volume.	
P	La pression.	[Pa]
Pr	Nombre de Prandtl	
Re	Nombre de Reynolds	
T	Température	[°K]
W_e	Nombre de Weber	
V	Vitesse	[m/s]
T	Temps	[s]
D	Diamétre	[μm]
S	La surface	[m²]
V	Volume	[m^3]

Lettres grecques

δ	Fonction Dirac ou symbole de Kronecker	
ϵ	Dissipation turbulente	
θ	Angle	
k	Courbure	
μ	Viscosité dynamique	[Pa.s]
ρ	Densité volumique	[Kg/m^3]
σ	Tension de surface	
Σ	Densité volumique d'interface (liquide/gaz)	

Nomenclature

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

Introduction générale

Introduction générale

Le système d'injection joue un rôle important dans le fonctionnement des moteurs diesel et est souvent appelé le "cœur du moteur". Il régule l'alimentation en carburant en fonction des besoins du moteur, tout en assurant une forte impression d'injection pour assurer une atomisation optimale dans la chambre de combustion. Par conséquent, ce système a un impact direct sur la consommation de carburant, les émissions et le bruit général du moteur.

Récemment, les technologies d'injection ont évolué, d'abord dans le domaine des véhicules spéciaux, légers et sportifs. Les défis de la haute performance, de la faible consommation de carburant et des émissions, de la disponibilité limitée de l'essence brute et des coûts de recherche élevés pour améliorer les systèmes d'injection sont des préoccupations majeures.

Pour améliorer la qualité de la combustion, il est nécessaire de renforcer l'homogénéité des atomes et des mélanges. Par conséquent, les moteurs doivent être équipés de systèmes d'injection capables de mélanger uniformément le carburant et l'air à haute pression.

Chapitre I :

Généralité sur l'injecteur diesel « liquide »

I.1-Introduction :

L'injection est un mécanisme qui permet de fournir directement du carburant dans la chambre de combustion des moteurs à combustion interne, et est considérée comme une alternative plus efficace au carburateur. Au départ, l'injection était mécanique, mais elle a été améliorée grâce à l'utilisation de la technologie électronique, notamment en intégrant un calculateur électronique. Pour les moteurs diesel, il est crucial d'avoir un système d'injection capable de mélanger correctement le carburant et l'air sous une pression élevée afin d'obtenir une combustion de qualité. Cela est possible grâce à un jet puissant qui permet aux gouttelettes de carburant de s'évaporer rapidement à des températures élevées. De plus, la turbulence empêche les gaz brûlés de s'accumuler près de l'injecteur, ce qui garantit un mélange homogène de l'oxygène et du carburant. [1]

I.2-Injection liquide :

I.2.1-Injection :

L'injection dans le contexte des moteurs à combustion interne fait référence à l'introduction de carburant dans les cylindres d'un moteur à combustion interne en introduisant du carburant via un système d'injection de carburant.

Dans les moteurs à combustion interne, l'injection de carburant est utilisée pour mélanger le carburant avec de l'air à l'intérieur des cylindres du moteur, qui est ensuite allumé pour produire de l'énergie. Le processus d'injection de carburant doit être précis et bien contrôlé pour garantir que le moteur fonctionne de manière efficace et fiable**.**

I.3.Le type d'injection : Il existe plusieurs types d'injection de carburant dans les moteurs à combustion interne, y compris l'injection indirecte et l'injection directe

I.3.1-Injection indirect :

L'injection indirecte est une méthode d'injection de carburant utilisée dans certains moteurs à combustion interne. Dans un moteur à injection indirecte, le carburant est injecté dans une chambre de précombustion située à l'extérieur de la chambre de combustion principale. Le carburant est

mélangé à l'air dans la préchambre et préchauffé avant d'être introduit dans la chambre de combustion principale du moteur. L'allumage du mélange carburant-air dans la chambre de combustion produit de l'énergie.

Les moteurs à injection indirecte sont de moins en moins courants de nos jours car ils ont été remplacés par des moteurs à injection directe plus efficaces. Cependant, certains moteurs diesel et essence utilisent encore l'injection indirecte.

Les moteurs essence et diesel ne fonctionnant pas de la même manière, il faut distinguer

Les deux.

I.3.1.1-Injection indirecte sur moteur essence

Sur une injection indirecte de moteur essence, l'injecteur est placé en amont de la soupape, soit dans la tubulure d'admission. Le mélange est effectué par vaporisation avant de rentrer dans le cylindre Sur une motrice essence, c'est dans le conduit d'admission qu'on injecte le carburant

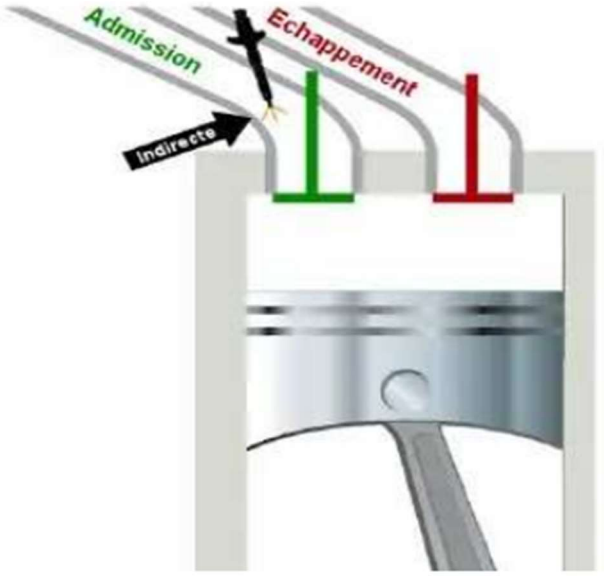


Figure I.1 : Injection indirecte sur moteur essence [2]

I-3.1.2. Injection indirecte sur moteur diesel

Dans le cas d'une injection indirecte sur un moteur diesel, l'injection se fait dans une petite

Chambre séparée (préchambre de combustion) qui donne sur le cylindre, et non e sur le cylindre, et non pas dans le conduit pas dans le conduit

D'admission comme dans le cas d'une injection indirecte essence.

En gros, cette méthode permet d'améliorer la combustion du diesel malgré l'emploi d'une du diesel malgré l'emploi d'une injection basse pression.

Lors de la compression, l'air admis va être envoyé vers cette préchambre sous pression pour se mélang pour se mélanger au carburant va er au carburant vaporisé qui va a porisé qui va alors commencer à lors commencer à s'enflammer. S'enflammer.

Les turbulences provoquées par l'aérodynamisme de la préchambre permettent d'améliorer préchambre permettent d'améliorer

la combustion. Dans ce cas, les bougies de préchauffage sont plus utiles que dans le cas d'une

Injection indirecte. Un moteur à injection indirecte. Un moteur à injection directe injection directe démarrera plus facilement sans el démarrera plus facilement sans elles.

Une petite chambre reliée au cylindre permet d'injecter le carburant mais aussi de le mélanger àl'airde l'admission grâce à la spécification aérodynamique.

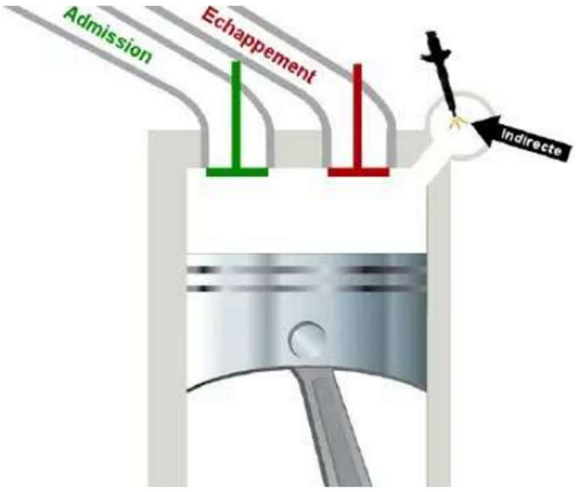


Figure I.2 : Injection indirecte sur moteur Diesel [2]

I-3.2. L'injection directe

L'injection directe sur la motrice essence n'est pas une nouveauté. La magnifique

Mercedes 300 SL (1955) a été la première voiture de série à être équipée d'une injection directe

essence. L'idée n'a pratiquement plus été mise en œuvre jusque dans les années 1980 où le

Fabriquant Fiat propose une injection fabriquant Fiat propose une injection directe diese directe diesel. Le principe permet une combustion s l. Le principe permet une combustion stratifiée tratifiée à mélange pauvre (rapport carburant/air <1), amène une réduction de l'ordre de 10% de la consommation mais produit dans le même temps plus d'oxyde d'azote (NOx).

Depuis, la technologie a évolué vers le turbodiesel à technologie a évolué vers le turbodiesel à injecté injection directe.

Le système d'injection directe est assez commun entre un moteur diesel et un moteur essence, ce qui, ce qui n'est pas le cas pour l'injection indirect n'est pas le cas pour l'injection indirecte dont la e dont la conception change en fonction de la conception change en fonction du moteur essence ou Diesel

L'injection directe est de plus en plus répandue (c'est même systématique maintenant) pour des raisons des raisons environnementale environnementales.

Ici c'est donc assez simple, le bout de l'injecteur donne directement dans la chambre de combustion (le cylindre), il va donc pulvériser le carburant directement dans cette chambre au moment voulu, plus ou moins tôt, plus ou moins souvent et avec plus ou moins de carburant.

Une injection directe permet de garder plus propre l'admission puisqu'il n'y que de l'air qui y passe et non pas le mélange air + carburant.

Ce type d'injection implique aussi généralement de plus fortes pressions car ce type de moteurs à un taux de compression plus élevé. Cela induit donc une injection qui doit être plus performante en injectant le carburant avec plus de force. L'injection d'un moteur à injection indirecte est donc potentiellement plus fiable dans le temps au niveau des injecteurs et de temps au niveau des injecteurs et de la pompe qui montent moins en pression.

Enfin, il faut noter que l'injection directe permet d'envoyer plusieurs jets au lieu d'un seul pour un même cycle, cela permet alors de mieux m mieux mélanger l'air et l'air et le carburant (plus c'est homogène mieux c'est, sauf pour la combustion stratifiée).

Le carburant est ici envoyé sous pression directement dans la chambre de combustion. La forme du piston doit être particulièrement étudiée en termes d'aérodynamisme contrairement à ce qu'indique ce schéma conceptuel.

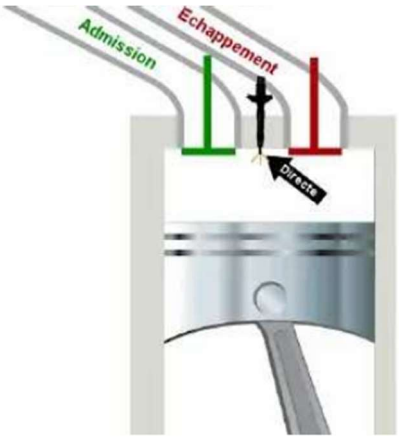


Figure I.3 : Injection directe [2]

I.4-Injecteurs :

L'injection est le processus de démarrage d'un moteur à combustion interne en injectant du carburant dans la chambre de combustion à la pression appropriée et à la dose optimale, qui diffère de l'actionnement d'un carburateur. L'injecteur reçoit le carburant sous pression, puis le renvoie au moteur sous forme d'un jet microscopique, directement ou indirectement.

I-4.1. Injecteurs différents :

La forme des injecteurs pour une injection indirecte et une injection directe est assez différente comme le montre la figure I.6.

Voici les différences entre une version indirecte et une autre directe



Figure I.4 : Injecteurs pour injection directe et injection indirecte [2]

I.4.2-Injecteur de type Common Rail :

L'injecteur Common Rail est un composant du système d'injection de carburant utilisé dans les moteurs diesel modernes. Il est ainsi nommé car il utilise une rampe commune pour pulvériser du carburant dans le sas en mesurant avec précision le débit et le temps d'injection.

Les injecteurs de type Common Rail sont capables de fournir plusieurs injections de carburant par cycle de combustion, ce qui permet un contrôle plus précis de la combustion et une réduction des émissions. Ils sont également plus silencieux que les injecteurs traditionnels et ont une durée de vie plus longue grâce à leur conception et à leur technologie avancée.

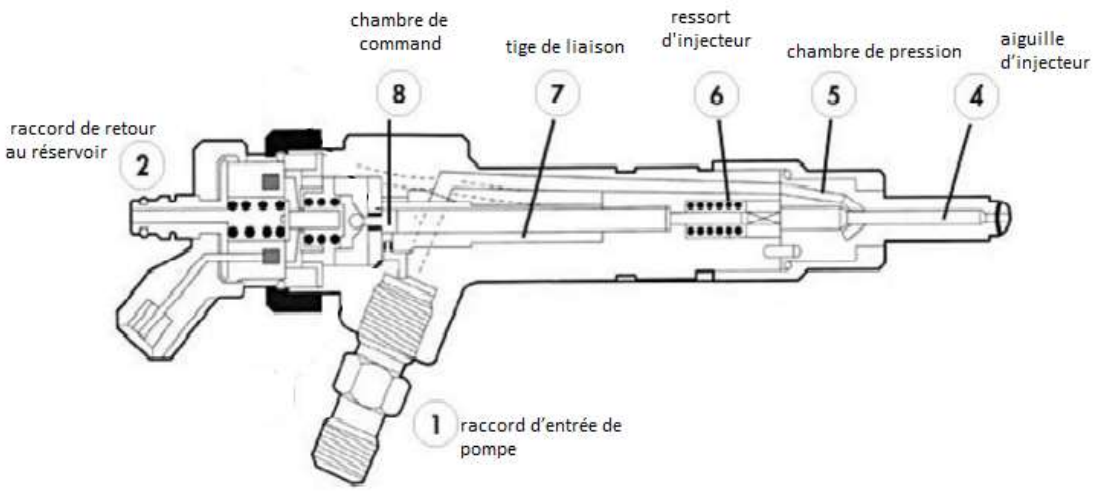


Figure I.5 : Schéma de principe d'un injecteur Common Rail [3].

I.4.3- Injecteur à sac et injecteur VCO :

Les injecteurs à sac ont une poche appelée "sac" près de l'aiguille lorsqu'elle est en position fermée (voir Figure I.6). Si la taille de ce sac est augmentée, cela peut entraîner une détérioration des émissions d'hydrocarbures imbrûlés. Lorsque l'injection est terminée et que l'aiguille est fermée, le carburant contenu dans le sac se déverse lentement et incomplètement dans la chambre de combustion, ce qui peut causer des problèmes de pollution. Pour éviter ce problème, les fabricants proposent des injecteurs VCO (Valve Covered Orifice) sans sac, où l'aiguille obstrue directement l'orifice de sortie du carburant. Cependant, pour les charges faibles et moyennes, l'aiguille n'est soulevée que partiellement,

Ce qui entraîne une pulvérisation de carburant très asymétrique et une forte augmentation de la formation de particules de suie à l'échappement, car le carburant est réparti de manière inégale dans la chambre de combustion, créant des zones très riches en carburant

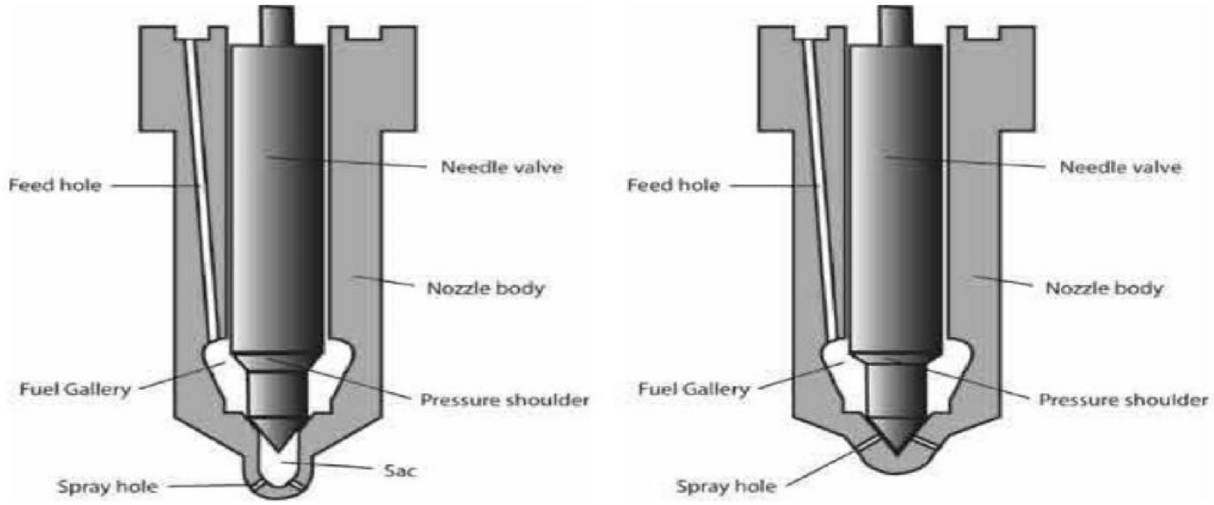


Figure I.6 : Injecteur à sac (à gauche) et injecteur VCO (à droite) [4]

Diverses options sont disponibles et sont désignées sous les termes de "mini-sac" ou "micro-sac", selon la taille de la cavité. L'agrandissement de cette cavité peut réduire les émissions de Particules de suie lorsque la charge est faible, mais en revanche, cela peut augmenter les émissions d'hydrocarbures imbrûlés. Cette information provient de [3].

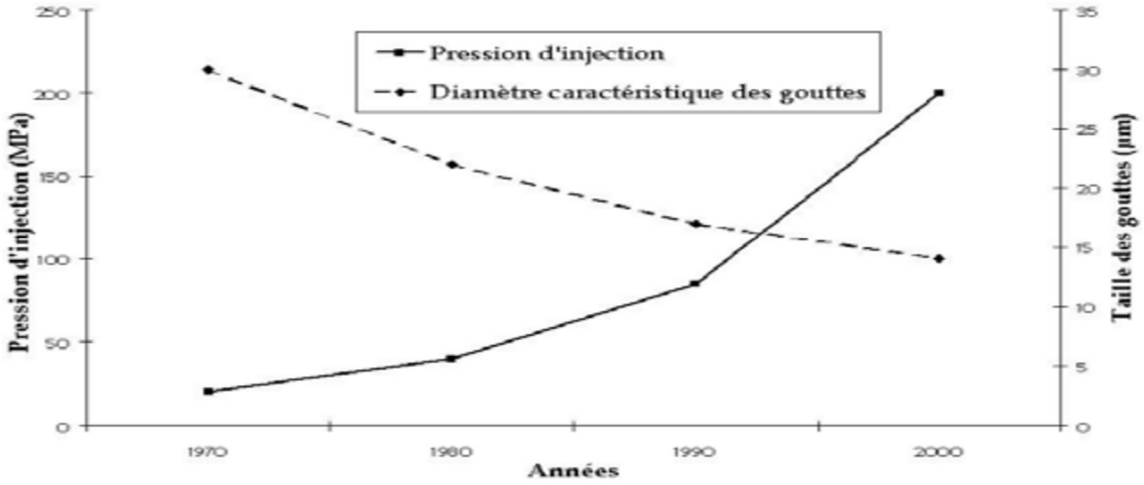


Figure I.7 : Évolution de l'injection Diesel au cours des trente dernières années [5].

I.5- Les combustibles

Les carburants peuvent provenir de sources très diverses et avoir des compositions variables. Ils contiennent souvent des éléments utiles tels que le carbone et l'hydrogène, ainsi que des éléments neutres ou nuisibles tels que l'oxygène, l'azote, le soufre et des minéraux qui se transforment en cendres. Pour déterminer la composition chimique de leurs fumées, il est nécessaire de connaître la composition du carburant. Les carburants sont classés en fonction de leur nature comme suit :

I.5.1. Combustibles liquides et gazeux :

Les combustibles liquides et gazeux sont deux types de combustibles utilisés dans les processus de combustion pour générer de l'énergie. Les combustibles liquides sont des substances liquides qui peuvent être brûlées pour produire de la chaleur, comme le diesel, l'essence et certains

Biocarburants. D'autre part, les combustibles gazeux sont des gaz qui peuvent être brûlés pour produire de l'énergie, comme le gaz naturel et le propane. Les combustibles liquides sont souvent utilisés dans les voitures, les avions et les générateurs, tandis que les combustibles gazeux sont couramment utilisés pour chauffer et produire de l'électricité dans les centrales électriques

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]

	GPL	Essence	Kérosène	Gasoil	Fuel lourd
C	82.5	85.5	85.7	86	87
H	17.5	14.5	14.3	13.3	11.35
S	0	0	0.3	0.3	1
N	0	0	0	0.2	0.25
O	0	0	0	0 .2	0.4
Ma	15.4	15	15	14.3	14
D	0.55	0.75	0.8	0.844	0.99
Ip	46 Mj/kg	44 Mj/ kg	43.5 Mj /kg	42 Mj /kg	42 Mj/kg

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

b) Huiles végétales et diester :

Ce sont des carburants alternatifs pour les moteurs diesel. Les huiles végétales ont des propriétés défavorables telles qu'une viscosité élevée, une température d'écoulement, une basse température de craquage et un faible indice de cétane. Il est donc préférable d'utiliser ces huiles sous forme de diester dont les propriétés sont proches de celles du gazole. Un diester est une huile végétale qui subit une réaction d'estérification en présence d'un catalyseur, à partir d'un acide ou d'une base. [5]

I.6.l'état de l'art :

Kolb, T, et al [7] : ont présentés des activités de recherche du projet biolique qui vise à développer une nouvelle technologie de conversion de la biomasse en combustibles liquides par gazéification par pyrolyse. L'objectif de cet étude est de présenter les activités de recherche visant la modélisation mathématique de la gazéification comme intrant pour la conversion de combustibles issus de la biomasse en gaz de synthèse à pouvoir calorifique moyen.

Moneib, H. et al [8]: ont étudier expérimentale en utilisant la technologie de mesure laser PIV pour évaluer la pulvérisation de différents carburants (diesel léger, huile de cuisson et leur mélange) en utilisant différents rapports air-liquide et débits de Co-air. Les résultats ont montré que le taux d'évaporation maximal est plus élevé pour le diesel léger et que l'huile de cuisson usée ne réagit pas avec l'air ambiant en raison de sa viscosité, de sa densité et de la plus grande taille des gouttelettes.

Grosshans, H et al [9]: ont décrit une analyse numérique des propriétés de rupture initiales d'un jet de liquide à l'aide d'une approche de volume de fluide (VOF) avec des modèles de courbure moyenne directionnelle (DAC) et de courbure normale moyenne directionnelle (DAN). Cette méthode est utilisée pour la première fois pour prédire l'hydrolyse et montre une grande précision. l'étude traite également l'influence des propriétés du fluide et des conditions d'injection sur la taille des gouttelettes résultantes, par rapport aux distributions obtenues par le modèle de perturbation unidimensionnelle (ODT).

Arinti, et al [10] : ont mené une étude sur l'atomisation d'un atomiseur de n-dodécane, résultant du dévissage d'un injecteur à pointe d'aiguille d'une injectrice haute pression Bosch Diesel. Les écoulements multi phases sont calculés à l'aide d'une approche de capture d'interface à la surface du combustible liquide avec des limites incluses pour les parois de l'injecteur. Nous concluons qu'il existe une possibilité de modéliser la compressibilité de la phase liquide et gazeuse tout en maintenant une interface nette entre les deux. L'étude examine les différences de dissolution du jet entre les conditions de paroi fixe et de température à l'aide de l'équation de Tait titrée pour le n-dodécane.

Pandal A, et al [11]: ont analysés 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.

Pandal, A., García-Oliver, J. M., et al [12] : ont étudier l'effet d'implémentation et validation d'un modèle Couplé Σ-Y ADF pour la simulation CFD de la pulvérisation diesel. Le modèle de diffusion approchée de Flamelet (ADF) est alimenté par la description de pulvérisation fournie par le modèle de désintégration eulérien Σ-Y. Le modèle peut prédire les

paramètres de réaction de pulvérisation typiques tels que le délai d'allumage et la longueur de collage, ainsi que la structure interne en termes de distribution spatiale du formaldéhyde et de l'OH. Les résultats de la modélisation ont été comparés aux mesures de vélocimétrie par images de particules (PIV). Le modèle a été utilisé pour comprendre la réduction de l'épuisement induit par la combustion.

Kumar A, et al [13] : ont réaliser des analyses expérimentales de l'instabilité du jet de liquide dans un atomiseur coaxial à jet d'air. La technique de connectivité optique a été utilisée pour mesurer la longueur de rupture instantanée du jet d'eau et des images d'ombroscopie résolues dans le temps ont été capturées pour caractériser les instabilités du jet à différents emplacements axiaux. Les fluctuations de la longueur de rupture du jet et l'instabilité de battement du jet de liquide ont été mesurées pour une large gamme de rapport de flux de quantité de mouvement air-liquide et de nombre de Weber aérodynamique. L'instabilité de Kelvin-Helmholtz et l'instabilité de battement ont été identifiées comme les principales causes des fluctuations en aval des caractéristiques de pulvérisation

Zhou, Zhi-Fu, et al [14] : ont réaliser une étude numérique systématique sur la pulvérisation clignotante de R404A, un cryogène volatil, réalisée à l'aide de simulations Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) avec la méthode eulérienne lagrangienne pour le continu et la phase discrète. Les résultats montrent une atomisation explosive avec un grand angle de cône et une expansion rapide vers la direction radiale près de la sortie de la buse. La pression ambiante a un impact considérable sur le profil de pulvérisation, la distance de pénétration et la vitesse. Les résultats permettent de mieux comprendre le mécanisme de la pulvérisation flash avec des cryogènes volatils

Müller T, et al [15] : ont traités 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.

Zhang, Feichi, et al [16] : ont effectuées des simulations et des mesures expérimentales pour étudier l'effet de la pression sur l'atomisation initiale d'un jet de liquide visqueux avec une

buse de mélange externe assistée par air. L'instabilité de position pulsatile est notée pour la rupture initiale suivie d'une désintégration de type fibreuse des ligaments sous-jacents fluides. A haute pression, les fines particules de liquide se désagrègent et le liquide de base se contracte. Les simulations ont révélé une augmentation significative de l'énergie cinétique du fluide à haute pression, indiquant un transfert forcé de quantité de mouvement de la phase gazeuse à la phase liquide.

Pandal, Adrian, et al [17] : ont abordé 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

Wachter S et al [18] :ont réaliser 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.

Ahmed, A, et al [19] : Les moteurs à combustion interne modernes utilisent des systèmes d'injection de carburant à haute pression, ce qui peut entraîner des problèmes avec l'alésage de l'injecteur. Pour étudier l'effet de la cavité sur la formation de l'écoulement, les auteurs ont proposé une méthode de simulation numérique utilisant un cadre de base cohérent de techniques de capture d'interface. Les résultats numériques sont comparés aux mesures expérimentales actuelles et les structures liquide et vapeur sont analysées.

Zhang, F, et al [20] : 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

Ibrahim, I, et al [21] : Une étude expérimentale a été menée sur la combustion d'aérosols de conception innovante, où une plate-forme d'essai a été fabriquée pour vérifier les différentes conditions de fonctionnement que constituent la masse de combustible liquide, l'ouverture et la température de l'air. Les distributions de température de flamme ont été mesurées à l'aide d'un thermocouple de type R et les concentrations d'espèces ont été mesurées par un analyseur de gaz infrarouge. Où les résultats ont indiqué que la zone de combustion à haute température est déplacée vers le haut et vers l'extérieur en augmentant les valeurs d'ALR et d'AAT, et la concentration de NO atteint ses valeurs maximales près de l'emplacement de la température axiale maximale

Zhang, Y et al [22] : Dans cette publication, 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

Piscaglia, F et al [23]: réalisé des expériences et simulation numérique pour étudier l'écoulement et la cavité carburant dans l'injectrice haute pression carburant. Des visualisations expérimentales et des simulations hautes 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 qui favorise l'apparition temporaire de la cavitation de cisaillement

Sun, H.et al [24]: 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

Wachter, S et al [25]: L'effet de la pression du système, de la vitesse du gaz et de la largeur de l'intervalle de gaz annulaire sur la taille des gouttelettes résultantes a été étudié. Trois

évaporateurs à double liquide à mélange externe avec un débit massique de liquide constant et différentes vitesses de gaz ont été utilisés. Des images de caméra à grande vitesse ont été analysées pour mesurer la taille des gouttelettes, et un modèle expérimental a été développé pour mesurer la pression du système de filtres à fluide double mélangés de manière externe. Les résultats montrent que l'augmentation de la vitesse du gaz et de la pression du système réduit la taille des gouttelettes, tandis que l'augmentation de la largeur de l'entrefer réduit les gouttelettes.

Jin, W et al[26]: Dans cet article, 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 corréler efficacement le débit de fluide à l'intérieur du bus à petit volume avec le débit de jet multi phase 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

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.

Vankeswaram, S. K, et al [27]: L'importance de comprendre les propriétés de dégradation des carburants d'aviation durables, tels que les biocarburants d'aviation, pour lutter contre les émissions de dioxyde de carbone de l'aviation a été étudiée. Les auteurs ont analysé la taille des gouttelettes de biocarburants aviation dérivés de la cameline et du jatropha, à l'aide d'un évaporateur à jet hybride. Ils ont mené des expériences pour décrire l'atomisation de l'hybride, suivie d'un ravitaillement en aérosol, dans six conditions. Les principales conclusions de l'étude étaient que le flux d'air ambiant du vaporisateur d'air hybride modifie considérablement la forme et la longueur du film liquide et l'angle du cône de pulvérisation.

Ménard T.al [28]: L'article traite de l'utilisation de simulations numériques pour étudier les densités d'aérosols où les informations proviennent d'approches expérimentales ou théoriques où les simulations utilisent la méthode de réglage de niveau pour suivre l'interface et la méthode du fluide fantôme pour capturer avec précision les discontinuités nettes de pression, de densité et de viscosité. . La méthode de mise à niveau est également combinée avec la méthode VOF pour la préservation de masse. Le couplage level-set-VOF est validé sur des cas tests 2D et 3D, et la méthode du niveau de liquide imaginaire fini est appliquée à l'instabilité de Rayleigh d'un

jet de liquide. Les résultats préliminaires de la simulation 3D de la séparation initiale d'un jet de liquide turbulent à l'aide de la méthode de niveau de liquide VOF-fantôme sont présentés.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une introduction générale sur l'injection de carburant diesel liquide, sa description et son fonctionnement. Avec l'augmentation des émissions polluantes, les constructeurs automobiles diesel sont actuellement soumis à des contraintes pour trouver des solutions visant à réduire les émissions et la consommation de carburant. C'est pourquoi le système d'injection Common Rail est considéré comme l'une des meilleures solutions actuellement disponibles ; et analysons l'État de l'Art présenté ; Nous proposons d'analysé par voie numérique, la dynamique de jets liquides en interaction avec les paramètres géométrique de l'injecteur, dans l'intérêt d'optimiser la dispersion du jet pour une meilleure combustion de carburant.

Dans le chapitre suivant, nous étudions la présentation des modèles mathématiques de transfert de chaleur et de l'écoulement turbulent diphasique d'un fluide incompressible en régime variable.

Chapitre II

Modèles mathématiques

II.1. Introduction :

Ce chapitre traite de la modélisation mathématique des transferts de chaleur et de l'écoulement d'un fluide incompressible à vitesse variable, ou les modèles de fermeture discutés.

Au fil des décennies, des scientifiques comme Brandt, Navier-Stokes et Reynolds ont découvert les lois fondamentales de la mécanique des fluides, et il appartient maintenant aux ingénieurs et à la société de les appliquer pour améliorer la vie humaine.

En général, les mécanismes fluides sont décrits par trois équations de base, à savoir l'équation de continuité, l'équation de quantité de mouvement et l'équation d'énergie. Ce chapitre vise à présenter les principales équations qui régissent le problème simultané de la dynamique et de la chaleur, ainsi que les lois fondamentales qui les sous-tendent.

II.2-Modélisation de L'écoulement des Fluides :

Tous les problèmes de CFD sont bases sur les lois fondamentales de mécanique des fluides qui sont :

II.2.1-Equation de Navier-Stokes :

On considère l'écoulement de deux fluides incompressibles, newtoniens et non miscibles. La dynamique de chaque phase k est déterminée par les équations de Navier- Stokes :

$$\frac{d\rho \mathrm{kv}}{\mathrm{dt}} + \nabla(\rho k) = \rho k g - \nabla \rho k + \nabla(2\mu K s k) \qquad \text{(II.1)}$$

II.3- Équations gouvernantes de la dynamique de la chaleur :

Les équations de Navier-Stokes sont utilisées pour modéliser le mouvement des fluides, permettant de prendre en compte les propriétés des fluides courants tels que l'eau, l'air, l'huile et même les métaux en fusion. Les équations gouvernantes sont :

► La conservation de la masse ou l'équation de continuité,

► La conservation de la quantité de mouvement,

► La conservation d'énergie (premier principe de la thermodynamique).

La formulation mathématique des lois de la conservation régissant les phénomènes physiques comme les écoulements de fluides, est généralement écrite sous forme d'équations aux dérivées partielles comme suit [29]

II.3.1- Equation de continuité :

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

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

Ou dans une notation plus compacte :

$$\partial t + \text{div}\,(\rho u) = 0 \qquad \text{(II.3)}$$

Anisi, l'incompressibilité d'un fluide ($\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$) se traduit par la relation suivant :

$$\text{Div}\ u = 0 \qquad \text{(II.4)}$$

II.3.2-Equation de quantité de mouvement :

Les relations entre les propriétés d'un fluide en mouvement et les forces qui les produisent sont établies grâce au principe de conservation de la quantité de mouvement. Ce Principe stipule que la variation de la quantité de mouvement à l'intérieur d'un volume de contrôle est égale à la somme des forces externes qui y sont appliquées. Les équations de quantité de mouvement (ou équations de Navier-Stokes) pour les fluides newtoniens incompressibles dans un système lamellaire sont exprimées par les formules suivantes:

Suivant ox:

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}\right) = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau xx}{\partial x} + \frac{\partial \tau yx}{\partial x} + \frac{\partial \tau zx}{\partial x}\right) + [\rho - \rho_0]\, g_x \qquad \text{(II.5)}$$

Suivant oy:

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

Suivant oz:

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

Où les composants du tenseur des contraintes visqueuses sont donnés par : $\tau yx = \tau xy = \mu[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}]$; $\tau yz = \tau zy = \mu[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}]$; $\tau xz = \tau xz = \mu[\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}]$;

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

II.3.3-Equation de conservation d'énergie :

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

$$\rho Cp\frac{DT}{Dt} + \rho CpU.\nabla T = \text{div}\,(\lambda grad) + \emptyset \quad \text{(II.8)}$$

Ou:

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

Avec :

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

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

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

$\boldsymbol{\emptyset}$ **:** La dissipation irréversible de l'eau frottement visqueux. [30]

II.4. Modélisation de la turbulence :

Les progrès réalisés dans l'analyse des équations de la mécanique des fluides, notamment le développement de méthodes de calcul, ont permis de rendre possible l'application actuelle. Aujourd'hui,la modélisation est devenue un complément important à la recherche expérimentale,

en particulier pour comprendre les mécanismes physiques de la conception et du développement industriel, grâce à la modélisation de la turbulence. Celle-ci permet de réduire le nombre d'essais en soufflerie, ce qui réduit les coûts et les délais de conception, ce qui est un enjeu économique important. Actuellement, les applications dans les domaines de la prévision atmosphérique et de la qualité de l'air de la couche limite urbaine impliquent des phénomènes complexes tels que la transition laminaire, la turbulence et la séparation, en particulier pour les géométries complexes

II.5-Bilan d'énergie :

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

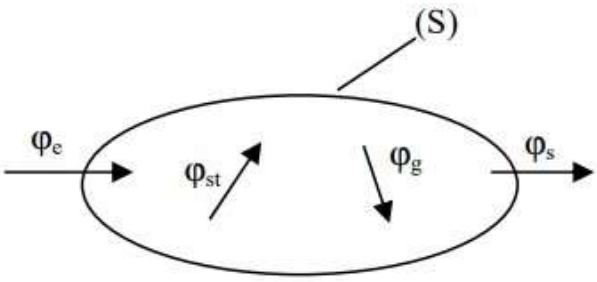


Figure II.1 : bilan énergétique

$\boldsymbol{\varphi}_{st}$: flux de chaleur stocké

$\boldsymbol{\varphi}$: flux de chaleur généré dans le système (S)

$\boldsymbol{\varphi}_{e}$: flux de chaleur entrant

$\boldsymbol{\varphi}_{s}$: flux de chaleur sortant

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\boldsymbol{\varphi}_{e} + \boldsymbol{\varphi}_{s} = \boldsymbol{\varphi}_{st} + \boldsymbol{\varphi}g \qquad \text{(II.10)}$$

II.6-Les différents modes de transfert de chaleur :

Lorsqu'il y a des différences de température entre deux systèmes, la chaleur circule du système le plus chaud vers le système le plus froid. Cette situation génère un transfert de chaleur, également appelé enthalpie, qui se produit dans de nombreuses applications industrielles telles que les

moteurs thermiques et électriques, les centrales électriques au gaz et l'électronique, ainsi que dans les applications domestiques telles que le chauffage. [31]

Le flux de chaleur généré par le transfert d'énergie peut se produire dans trois modes de transfert de chaleur différents : conduction, rayonnement et convection.

II.6.1-Transfert de chaleur par conduction :

La conduction thermique est un processus de transfert de chaleur sans mouvement de matière à travers un milieu opaque, résultant d'une différence de température. Ce processus se produit dans les organismes selon deux mécanismes distincts: la transmission par les vibrations des atomes ou des molécules et la transmission par les électrons libres

Le transfert de chaleur par conduction s'appuie sur la loi de Fourier [32] :

la densité de flux est proportionnelle au gradient de températeur :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \overrightarrow{grad}(T) \qquad \text{(II.11)}$$

Ou sous forme algébrique : $\boldsymbol{\varphi} = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}$ (II .12)

Avec :

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

$\boldsymbol{\lambda}$: Conductivité thermique du milieu ($Wm^{-1}\,°C^{-1}$)

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

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

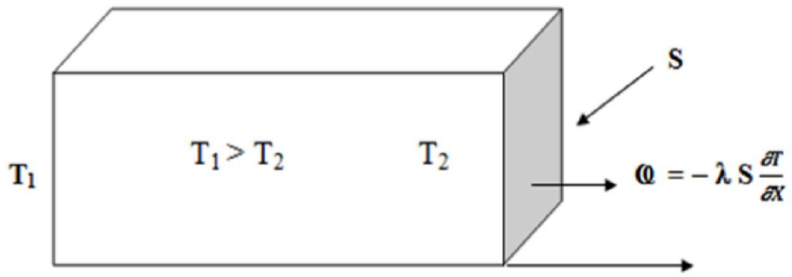


Figure II.2 : schéma de transfert de chaleur par conduction

II.6.2-Transfert de chaleur par convection :

La convection implique le transfert de chaleur à Travers une substance via le mouvement de cette dernière. Ce mode de transfert ne s'applique qu'aux fluides ou aux échanges de chaleur entre un solide et un fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton [32] :

$\boldsymbol{\varphi}$ = Hs (T_P - T_∞) (II .13)

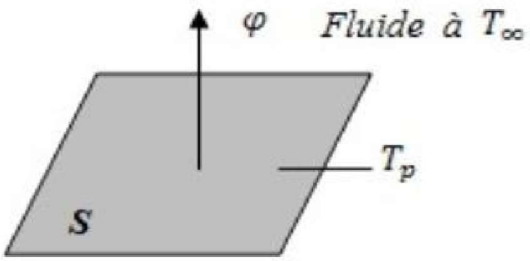


Figure II.3 : schéma du transfert de chaleur par convection

Avec :

$\boldsymbol{\varphi}$ **:** flux de chaleur transmis par convection (W)

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

$\boldsymbol{T_p}$**:** Température de la surface ($^\circ C$)

$\boldsymbol{T_\infty}$**:** Températeur du milieu environnant la surface ($^\circ C$)

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

Le transfert de chaleur par convection peut être classé en deux types, la convection et la force, en fonction du débit de fluide. La convection libre, également appelée convection normale, se produit lorsqu'un fluide génère un courant électrique en raison de différences de température. En

revanche, la force de charge est actionnée par une action externe, telle qu'une pompe ou un ventilateur, qui provoque le déplacement du fluide.

II.6.3-Transfert de chaleur par rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu

Environnant et dans ce cas, nous avons la relation [32] :

$$\boldsymbol{\varphi} = \sigma \varepsilon_P S\ (T_p^4 - T_\infty^4) \qquad \text{(II.14)}$$

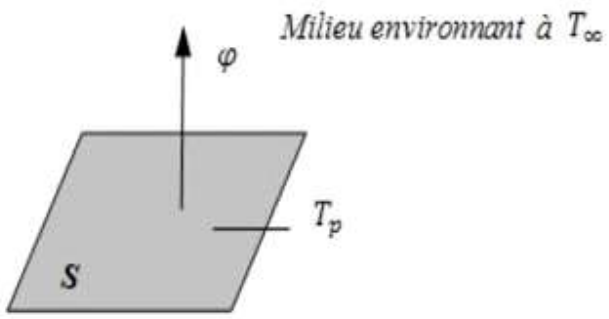


Figure II.4 : schéma de transfert de chaleur par rayonnement.

Avec :

$\boldsymbol{\varphi}$: Flux de chaleur transmis pa rayonnement (W)

$\boldsymbol{\sigma}$: Constant de stephan $(5.67 \times 10^{-9} W m^{-2} K^{-4})$

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

$\boldsymbol{T_P}$: Températeur de la surface (K)

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

S : Air de la surface (m^2)

II.7. Le nombre de Reynolds :

Ce nombre joue un rôle fondamental dans la caractérisation de l'écoulement, il est définit par l'expression suivante [33] :

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

Avec v est la viscosite inématique d fluide.

- ► Si Re < 2400 on est en regime laminaire.
- ► Pour la vitesse plus élevées, Re >> 2400, le régime turbulent apparait

II.8.Le nombre de Prandtl :

Ce nombre est entièrement caractéristique du fluide considéré [33]. L'inverse du nombre de Prandtl est appelé par les « thermiciens » français : le nombre de Stanton (S)

Dans le cas des gaz, $p_r$est sensiblement constat avec la pression et la temérature et ne varie qu'avec les changements thermiques de C_P(T)

$$P_r = \frac{\mu C_p}{K} \qquad \text{(II.16)}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé les équations mathématiques qui régissent l'écoulement des fluides. Nous avons également présenté les principales équations qui régissent le transfert de chaleur, notamment la conduction, la convection et le rayonnement, en tant que différents modes de transfert de chaleur, en prenant en compte le problème simultané (dynamique et thermique).

Le chapitre suivant abordera les différentes méthodes numériques utilisées pour résoudre ces équations, telles que la méthode des différences finies, la méthode des éléments finis et la méthode des volumes finis**.**

Chapitre III

Méthode numérique

III.1.Introduction :

Pour résoudre un problème de physique, il est important de faire la différence entre un modèle physique et un modèle mathématique .méthodes numériques,

Existe troix grandes familles de méthodes :

(Méthode des différences finies ; Méthode des éléments finis ; Méthode des volumes finis) ;

la discrétisation est la transposition d'un état continu (fonction, modèle, variable, équation) en un équivalent discret.

III.2-Les trois grandes familles de méthodes :

La méthode des différences finies est une technique numérique utilisée pour résoudre des équations différentielles en approchant les dérivées à l'aide de différences finies. Elle consiste à diviser un domaine continu en un ensemble discret de points, puis à approximer les dérivées aux points de grille en utilisant des différences finies, qui peuvent être calculées à partir des valeurs des points adjacents.

Cette méthode est largement utilisée pour résoudre des problèmes de physique, notamment des problèmes de diffusion, de conduction thermique et d'écoulement de fluides. Elle est relativement simple à implémenter et à comprendre, mais elle peut être limitée par la précision de la discrétisation spatiale et temporelle, ainsi que par les erreurs d'arrondi numérique.

Malgré ses limitations, la méthode des différences finies reste une méthode numérique couramment utilisée dans de nombreux domaines de la physique, de l'ingénierie et des mathématiques appliquées. Elle est souvent combinée avec d'autres techniques numériques, telles que la méthode des éléments finis et la méthode des volumes finis, pour obtenir des solutions plus précises et plus efficaces.

III.2.1. Méthode des différences finies :

La technique des différences finies est souvent utilisée pour obtenir des approximations de solutions aux équations aux dérivées partielles. Elle implique la résolution d'un système de relations reliant des valeurs de fonctions inconnues à des points qui sont suffisamment proches les uns des autres. Cette méthode est considérée comme la plus simple car elle se compose de deux étapes : premièrement, l'estimation des opérateurs de dérivation par les différences finies, et deuxièmement, la convergence du schéma numérique obtenu lorsque la distance entre les points diminue

III.2.2. Méthode des éléments finis :

Cette méthode consiste à transformer les équations différentielles sous des formes

Intégrale basée sur le concept de minimisation d'une quantité (comme l'énergie…), conduisant

à la solution exacte. En d'autres termes elle s'agisse de trouver une fonction globale

Représentant le modèle mathématique dans le domaine étudié.

III.2.3. Méthode du volume finis :

Est une technique numérique qui permet de transformer l'équation 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 Fluide 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 partielles. Trois méthodes classiques sont utilisées pour la discrétisation et la résolution :

Méthode	Avantages	Innconvénients
Différeces finies	Méthode simple à mettre en œuvre, facile à comprendre, applicable à une large gamme de problèmes. Mathématiquement simple Facilité	La méthode peut devenir imprécise si les pas entre les points sont trop grands, La conservation de la masse n'est pas assurée.

Eléments finis	Bonne précision, convient pour des domaines complexes, permet de traiter des géométries non structurées, Équations indépendantes pour chaque élément	Compliquée en termes de formulation mathématique. Temps de résolution long. les résultats peuvent être affectés par l'erreur de maillage.
Volume finis	Simple en application pour les fluides. Assure la conservation de la masse. Exactitude	Exactitude dépendante du maillage. Difficulté de construire des schémas numériques d'ordre élevé

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

En général, le choix de la méthode numérique dépend du problème spécifique à résoudre, des ressources disponibles (temps, budget, compétences), et des compromis entre précision et coût. Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients, et il est important de choisir la méthode la plus appropriée pour chaque problème afin d'obtenir des résultats précis et fiables.

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

III.4.1. Présentation de la méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis implique la division du domaine en volumes de contrôle, sur lesquels l'équation d'évolution est intégrée. Chaque équation aux dérivées partielles est résolue dans un volume de contrôle ou une grille de calcul, pour obtenir des équations discrètes qui lient les valeurs des variables centrales aux variables adjacentes. La longueur caractéristique de chaque volume de calcul est déterminée par le pas de discrétisation spatiale, avec la précision des calculs assurée en tenant compte des conditions de stabilité numérique imposées par les valeurs de gradient

III.4.2. Maillage dans la méthode des volumes finis :

Le domaine de calcul est divisé en plusieurs volumes de contrôle qui recouvrent tout le domaine de calcul. Ainsi, la somme de leurs volumes est égale au volume total du domaine. Chaque volume a un point central, appelé centre de volume de contrôle, noté P. Les nœuds des volumes adjacents sont désignés par les lettres N, S, W, E, T, B, selon leur position respective (Nord, Sud, Ouest, Est, Haut, Bas), comme illustré dans la figure III-1:

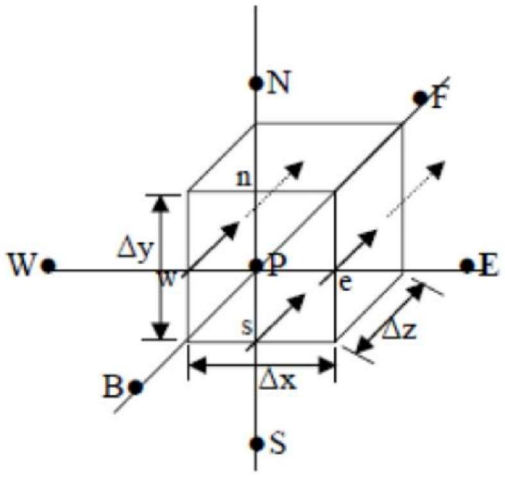


Figure III-1 : Volume de contrôle

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

III. 5. 1 - Formulation variantielle forte :

La formulation forte d'un problème aux conditions aux limites s'écrit alors comme suit Trouver $U\ (x)\ U\ (x)\ \epsilon$ espace des solutions US tel que [34]

$$L\ (u) - F = 0\ \forall\ x\ \epsilon\ \Omega B\ (u) = u_0 \forall\ x\ \epsilon\ \Gamma u_0 \qquad \text{(III .1)}$$

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

III. 5. 2- Formulation variantielle faible :

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

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

$\bar{u} = \sum_{i=1}^{n} Ni\ \bar{U}_1$ (III.2)

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

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

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

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

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

On N nombre d'inconnues indépendants du système

En formulation de galerkine les fonctions tests sont assimilées aux fonctions de forme

On pose :

$W_K = N_K \Rightarrow \int Nk\ \zeta(\sum_{i=1}^{n} Ni\ \bar{u}i)\ d\Omega = 0$ (III.5)

On-dit que u $\varepsilon H_0^1(\Omega)$ est une solution faible de

Si :

$\forall$ v $\in H_0^1\ (\Omega)$ a $(\bar{U}, V)$ (III.6)

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

Lu = f sur Ω et u = 0 sur $d\Omega = 0$

III. 6. Forme générale des équations du système [35] :

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

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c\phi\phi) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho V_x C\Phi\phi\rho) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho v y C\Phi\phi) = \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma\Phi\ \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial \Phi}{\partial y}(\Gamma\Phi\ \frac{\partial \Phi}{\partial y}) + S\Phi \quad \text{(III.7)}$$

Où :

$\boldsymbol{\Phi}$ **:** Variable généralisée.

$\boldsymbol{C_\phi}$ **:** Coefficient d'advection transitoire**.**

$\boldsymbol{\Phi_\Gamma}$: Coefficient de diffusion.

S_ϕ **:** Termes source.

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

Tableau III.2 : Expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables.

III.7-Discrétisation :

La discrétisation de ces équations permet de convertir les équations aux dérivées partielles en équations algébriques qui sont alors résolues par les méthodes numériques traditionnelles. Le procédé de discrétisation par EF consiste à écrire, après intégration, l'équation généralisée, sous forme matricielle élémentaire [36].

$$([A_B^{transient}]+[A_e^{advection}]+[A_e^{transien}])(\phi e)=(S_e^{\phi}) \qquad \text{(III.8)}$$

Pour les intégrales élémentaire, La méthode Galerkin des résiduels pesos est employée

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

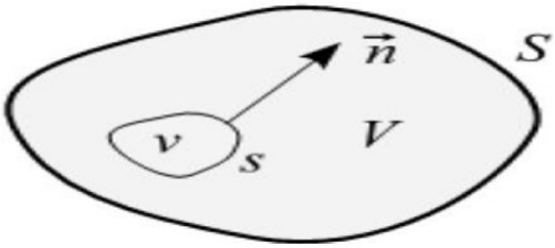


Figure III-2: bilan thermique

La puissance thermique stockée dans v est égale à la somme de la puissance thermique q générée par les sources volumiques contenues dans V et de la puissance thermique reçue sous forme de flux a travers la surface S [35]

$$\int \rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} \, \mathrm{dv} = \int q dv + \int -n(-\lambda \overline{grad T}) \mathrm{ds} \qquad \text{(III.9)}$$

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

$$\rho C_P \dot{T} - \mathrm{div}(\overline{\lambda grad} \mathrm{T}) \, \mathrm{q} = 0 \qquad \text{(III.10)}$$

Pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (III-21) s'écrit dans le repère orthonormé (x, y) [37] :

$$\rho C_P \dot{T} = \left(\frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial \mathrm{y}^2}\right) + \mathrm{q} \qquad \text{(III.11)}$$

III.7.2- Forme discrétisée : éléments finis

Le domaine V est décomposé en sous-domaines Ve de forme géométrique simple (les éléments) relies entre eux en des points appelés nœuds. Cette opération s'appelle maillage. [38]

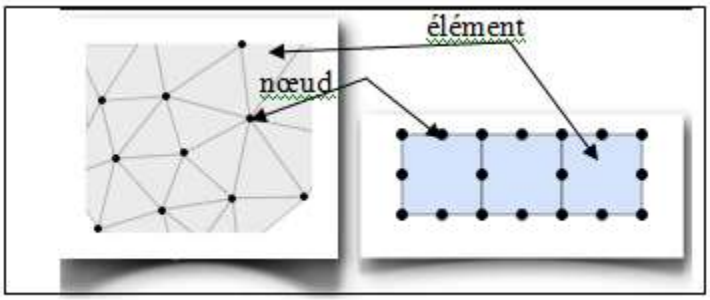


Figure III.3: domain plan discretize en element relies eux par nun

III.8-Méthodes de discrétisations:

L'ensemble des étapes de résolution des équations différentielles par la voie numérique s'appelle méthode de discrétisation. La mise en œuvre d'une méthode numérique de calcul des champs débouche inévitablement sur un logiciel qui lui est associé, on peut écrire pour chaque problème un programme qui tient compte de sa géométrie, ses propriétés physiques et ses conditions aux limites. Il existe aujourd'hui des logiciels généraux appropriés nommées techniques de la CAO dont les structures informatiques sont adaptées aux traitements d'un grand nombre de problèmes d'un même type tels que PDETOOL sous MATLAB, ANSYS, La méthode de discrétisation désigne l'ensemble des étapes nécessaires pour résoudre des équations différentielles en utilisant des techniques numériques. Lorsque l'on utilise ces méthodes pour calculer des champs, cela nécessite la création d'un logiciel spécifique pour

- 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 :

La méthode des éléments finis utilise une grille d'espace, qui peut être carrée ou triangulaire, mais il n'est pas nécessaire que ce soit une grille plus complexe, ni qu'elle soit régulière. Plus le maillage est fin, plus la solution obtenue par la méthode des éléments finis est précise et proche de la solution réelle de l'équation aux dérivées partielles. Des objets géométriquement complexes peuvent être associés à des éléments tétraédriques, mais cela nécessite un grand nombre d'éléments, ce qui peut entraîner une forte charge sur les ressources de calcul. Si l'objet

a des rapports d'aspect très élevés, il est préférable d'utiliser des éléments hexaédriques ou angulaires plutôt que des éléments tétraédriques, comme la montre la figure III-3 intitulée "Objets à grands rapports d'aspect". Cette figure montre que le nombre d'éléments tétraédriques (a) est supérieur à celui des éléments hexaédriques (b), bien que des densités de maillage similaires soient utilisées dans toute la section transversale**.**

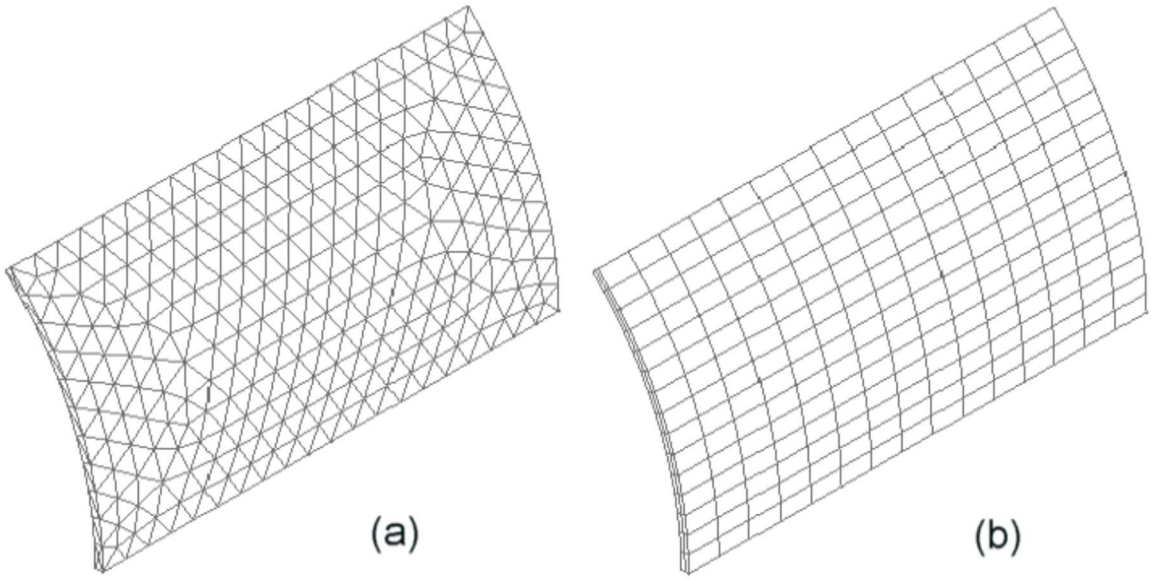


Figure III-4: (a) élément tétraédrique; (b) élément hexaédrique

III.10-Méthode VOF (Volume of Fluid) :

La méthode VOF est une technique efficace pour modéliser un fluide constitué de deux ou plusieurs phases non miscibles, comme par exemple un liquide et un gaz. Elle se base sur la discrétisation du domaine de calcul en cellules pour évaluer l'évolution du fluide dans le temps. Cette méthode a été développée dans les années 80 par Hirt et Nichols [39]. Elle repose sur la résolution d'un ensemble d'équations de conservation de la quantité de mouvement, en suivant la fraction volumique de chaque fluide dans tout le domaine. Elle peut être utilisée pour prédire la rupture de jets, le mouvement de grandes bulles dans un liquide, le mouvement du liquide après l'interruption d'un réservoir, ainsi que la trajectoire d'une interface liquide-gaz. Cependant, cette méthode présente certaines limites :

Aucune cellule ne doit être vide (présence obligatoire d’une ou plusieurs phases combinées).

Une seule phase seulement peut être compressible mais pas les deux.

Les écoulements périodiques ne peuvent être simulés lorsqu’on active le modèle VOF (Incompatibilité).

Lors de l'utilisation des méthodes VOF pour des régimes transitoires, il est nécessaire de fournir le nombre de Courant, qui est un nombre sans dimension qui compare le pas de temps de calcul Δt avec le temps caractéristique nécessaire pour qu'un élément fluide traverse le volume de contrôle.

III.10.1- Principe de la méthode VOF :

La méthode VOF est particulièrement efficace pour modéliser les écoulements avec des interfaces fortement déformées en suivant la position de la surface libre de l'écoulement à chaque instant. Pour ce faire, une fonction discrète est utilisée pour représenter la fraction volumique de métal liquide dans chaque cellule par rapport au volume total de la cellule. Les phases liquide et gazeuse sont distinguées par des valeurs discrètes de Ck égales à l ou à 0, respectivement. L'interface liquide-air est définie comme une valeur comprise strictement entre 0 et 1 dans les éléments mixtes (voir Figure III.5)

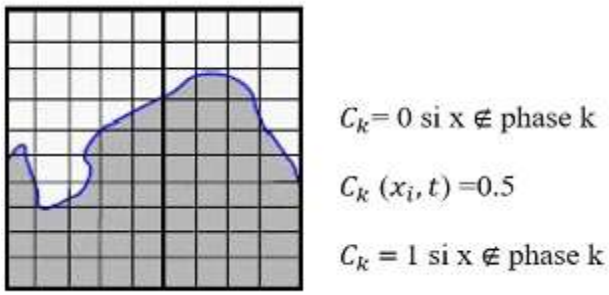


Figure.III.5 : Méthode VOF [40]

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 [41]

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + \text{u}.\nabla C_K \qquad \text{(III.12)}$$

En parlant de l'équation d'advection (III.12), il est important de noter deux caractéristiques importantes : elle est à la fois hyperbolique et conservative. Plusieurs études ont été menées pour discrétiser ce type d'équation, montrant que la conservation de la masse pouvait être assurée grâce à une discrétisation conservative. Cependant, il est difficile de transporter une discontinuité en raison de la diffusion numérique des schémas numériques qui entraîne une propagation de la fonction Ck. En effet, il n'est pas possible de transporter et de conserver une discontinuité au fil du temps. Afin de surmonter cette difficulté, des algorithmes de

reconstruction géométrique ont été développés pour déterminer la position de l'interface à l'intérieur des mailles où $\nabla Ck \neq 0$. Ces dernières années, plusieurs algorithmes de reconstruction, plus ou moins complexes, ont été élaborés et sont décrits dans une revue des méthodes de reconstruction dans [42].

Conclusion :

Ce chapitre a introduit les trois principales méthodes numériques utilisées pour résoudre les systèmes d'équations aux dérivées partielles, avec la méthode des éléments finis choisie pour discrétiser la forme générale des équations du système. Une vue d'ensemble de la méthode VOF (Volume of Fluid) a également été présentée.

Chapitre IV

Résultat et discutions

IV. I. Introduction :

Ce chapitre expose une modélisation numérique de la fusion et de la dispersion d'un jet de liquide qui est introduit dans un cylindre, selon le modèle proposé par Menard et ses collaborateurs dans leur article [43]. Les résultats obtenus de façon numérique seront générés à l'aide du logiciel de simulation ANSYS APDL, utilisant la méthode VOF.

IV.2. ANSYS :

ANSYS est le dernier logiciel de simulation utilisé dans l'industrie de l'ingénierie et de la conception pour modéliser, simuler et analyser des systèmes complexes. Le logiciel ANSYS offre une gamme de fonctions de simulation, notamment la simulation numérique, la mécanique des fluides, la simulation des vibrations et la simulation thermique. Le logiciel ANSYS utilise une méthode de simulation numérique qui permet aux ingénieurs et aux concepteurs de tester le comportement d'un produit ou d'un système réel avant sa fabrication. Cela réduit les coûts de développement, améliore la qualité et la sécurité des produits et réduit le risque de défaillance.

IV.2.2. Existe plusieurs niveaux d'outils de simulation :

• ANSYS Design Scape est une aide à la conception pour les bureaux d'études 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 gère les assemblages, de sorte qu'un type de contact peut être attribué entre différentes pièces et assemblages.

• ANSYS Professional permet des analyses plus complexes : réponses spectrales et harmoniques, calculs transitoires : mécaniques et thermiques. Il comprend des outils de contrôle avancés tels que visage/visage, options de contact visage/ligne, combinaison de solutions, post-traitement des zones de contact.

• ANSYS Structural and Mechanical donne accès à tous les types de non-linéarité : matériaux, grandes déformations et grands déplacements. Ils sont spécifiquement destinés aux utilisateurs expérimentés connaissant la théorie des éléments finis

IV.3 - Identification :

Dans cette première partie de notre travail, nous proposons de comparer les résultats de la simulation numérique de la dynamique d'atomisation et de dispersion du gazole à l'intérieur de la chambre de combustion, dans les mêmes conditions numériques et expérimentales, afin de déterminer et de justifier le modèle utilisé. Les travaux de Ménard [43] fournissent des résultats issus de simulations numériques directes se rapprochant des conditions du moteur diesel. Ménard et ses collègues ont utilisé une méthode de couplage originale entre les approches volume liquide et LEVEL SET. Dans les conditions simulées par Ménard, certains avantages sont obtenus par rapport aux conditions d'injection haute pression typiques du moteur diesel, comme une vitesse d'injection réduite à 100 m/s. Les tableaux présentés ci-dessous résument les propriétés thermiques et dynamiques ainsi que les conditions d'injection utilisées.

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

Tableau VI.1 : propriétés thermique et dynamique utilisé pour le calcul [43]

Diamètre d'injecteur (µm)	**Vitesse d'injection (m/s)**	**Tension De surface (N/m)**	**Pression d'injection (Mpa)**
100	100	0.06	138

Tableau IV.2 : condition d'injection utilisé pour le calcul numérique [43]

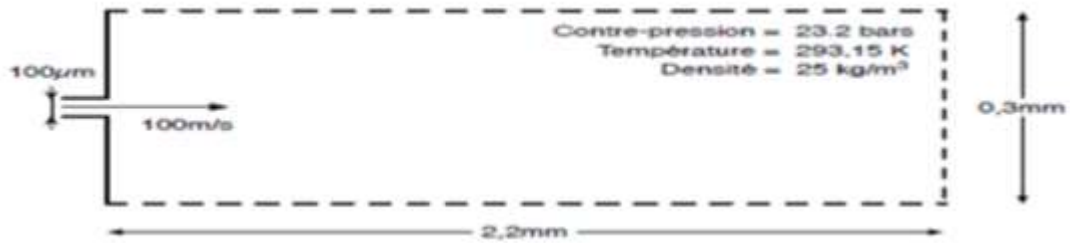


Figure IV.1 : représentation Spatiale de la configuration géométrique et les conditions limites [43]

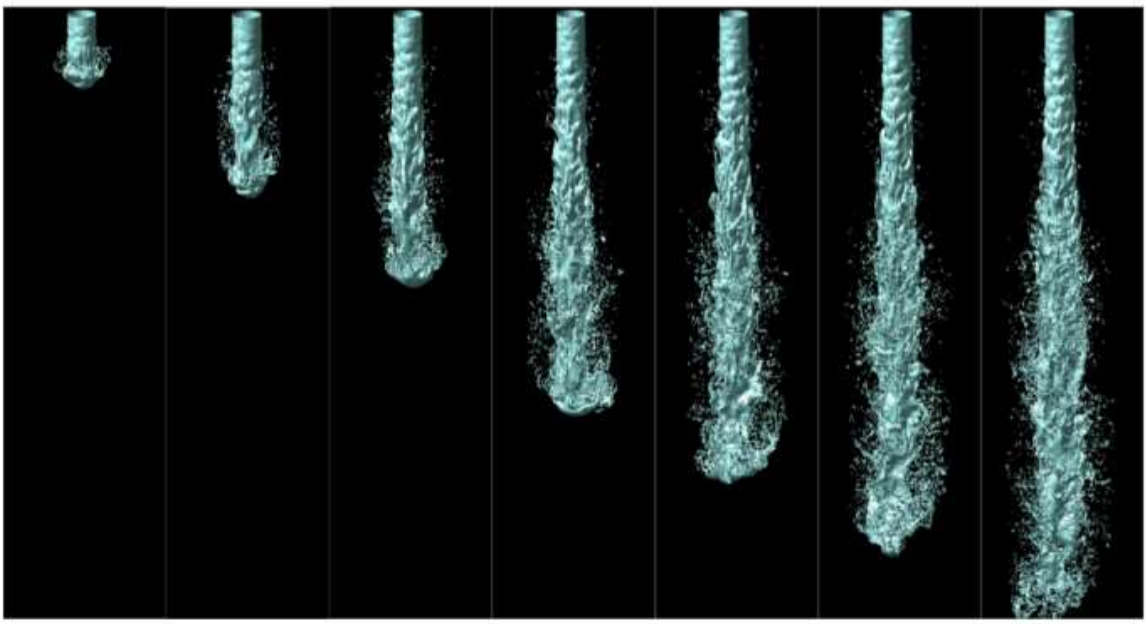


Figure IV.2 : Dynamique de spray obtenue à l'aide d'une simulation numérique directe de Menard et al. [28]

Une estimation précise de la quantité de mouvement (règle de traînée) ainsi que de la masse et de l'énergie (règle d'évaporation) par les gouttelettes ne peut être garantie.

Les résultats obtenus à partir d'observations expérimentales ou numériques éclairent davantage de phénomènes. Le débit à l'intérieur de l'injecteur a une grande influence sur

L'atomisation et la dissolution du jet de liquide. Le cycle de vie de la perturbation des orifices et des cavités n'est pas le fait le plus important. Il est donc nécessaire de développer un modèle de décroissance capable de prendre en compte ces phénomènes.

L'existence d'un dard liquide, d'une zone de liquide intact proche du nez de la buse d'injecteur, nécessite d'être prise en compte lors du développement de ce modèle ;

Les structures liquides qui se détachent du cœur ont des formes très différentes des sphères (ligaments, surfaces plissées, formes très complexes, etc.) ; il devient de plus en plus délicat de modéliser un spray comme un ensemble de gouttes sphériques isolées dans de telles conditions d'injection.

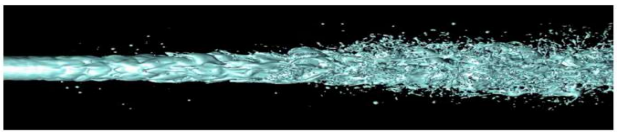


Figure IV.3 : résultat expérimental de Ménard [28].

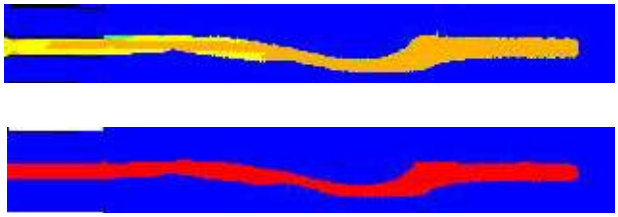


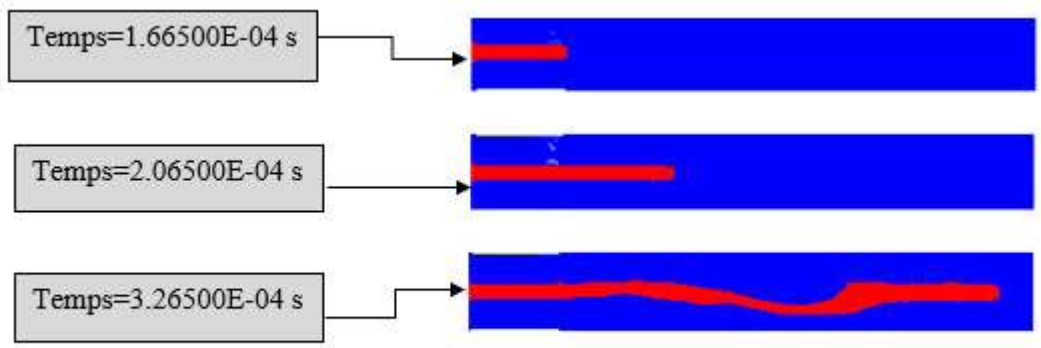
Figure IV.4 : Représentation spatiale de nos résultats de calcul de la dispersion dynamique du jet liquide dans le cylindre

La progression du flux de fluide est illustrée dans les séquences d'images des (Figure IV.2 et IV.3), ainsi qu'une mesure de sa surface et de sa dynamique, y compris la rupture près du cratère de libération, comme le montre la (Fig. 4.IV). Les résultats de calcul montrent que les premières gouttelettes sont générées à partir du séparateur à l'avant de l'avion, par conséquent, le noyau de base du liquide est encapsulé dans un nuage de petites gouttelettes qui est clairement visible dans les résultats de calcul.

On compare nos résultats de la dynamique de dispersion et celle obtenue par Menard, (Figure IV.3) [28] ; On constate un accord acceptable, et justifie bien le modèle utilisé

IV.4. Analyse des résultats des simulations numériques pour le cas référence :

Dans cette première partie du travail nous pressentons les résultats ainsi que la stratégie d'analyse du jet qui nous permettra la bonne compréhension du phénomène de dispersion et l'atomisation du jet liquide



La figure IV.5 : représentation spatiale de la dynamique de dispersion du jet dans le cylindre

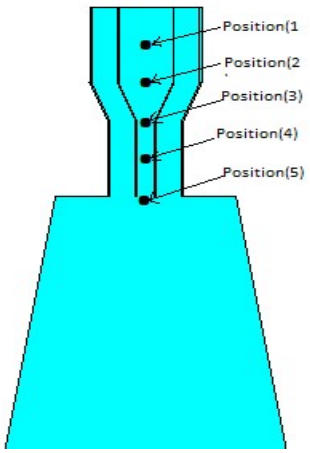


Figure IV.6 : Représentation de l'emplacement des capteurs pour l'analyse

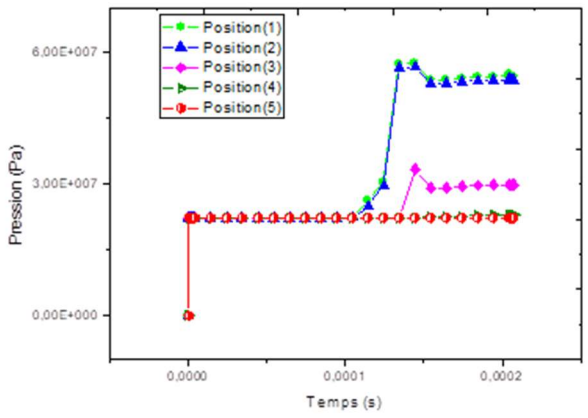


Figure IV. 7 : la Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés

La figure (IV.7) 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 le même rythme, où après qu'une perturbation se produit en quelques secondes (0.0001-0.00015 sec) due

à l'étranglement du jet dans la gorge La pression augmente pour atteindre la valeur maximal (59000 KPa) puis diminue légèrement et se stabilise à 55 000 kPa.

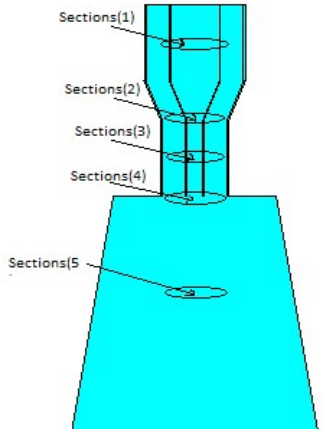
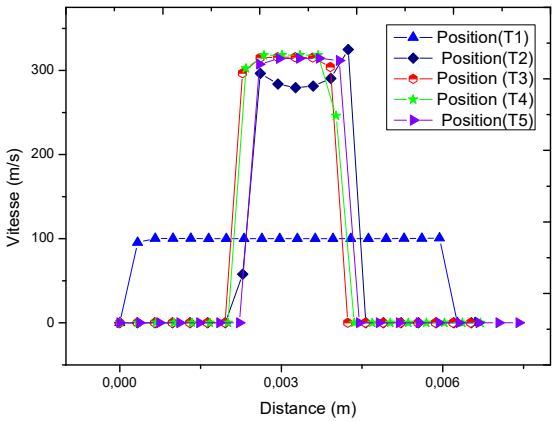


Figure IV. 8 : Représentation des sections transversale vitesse



La figure IV.9 : la variation de la vitesse transversale pour le cas référence aux différentes sections transversales de l'injecteur.

La figure IV.9 montre les vitesses tangentielles de cinq sections, montrant que la vitesse au début était de 100 m/s pour augmenter jusqu'à ce que la vitesse maximale de 320 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 les troisièmes Quatrièmes et cinquièmes sections une légère diminution de la vitesse

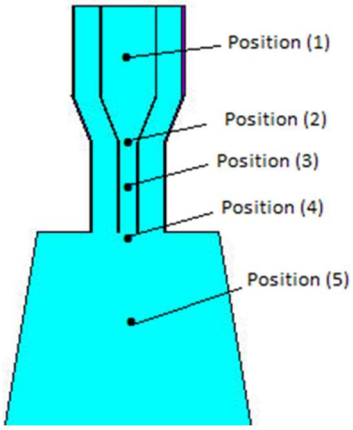


Figure IV.10 : Représentation du point axial.

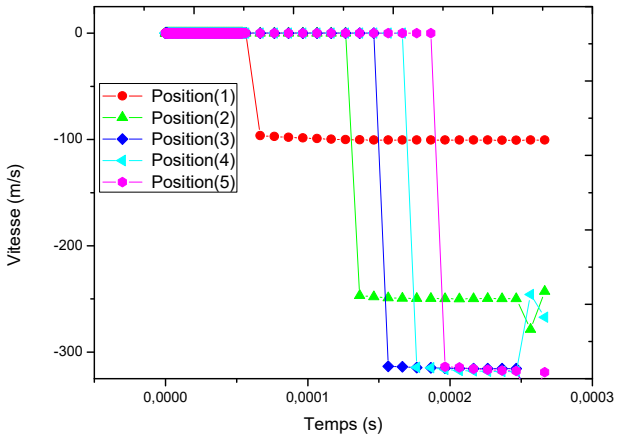


Figure IV .11 : la variation de la vitesse axiale pour le cas référence

La courbe représente la variation de la vitesse à chaque instant. Nous remarquons sur la courbe que l'énergie cinétique augmente à chaque position, car elle était de 100 m/s au premier emplacement et a atteint son maximum au cinquième emplacement, atteignant 325 m/s

1. Etude de l'influence de la forme géométrique du col sur la dispersion et l'atomisation

Les résultats présentés ci-dessus confirment l'importance de la perforation dans le comportement dynamique de l'écoulement. Ainsi, dans la section suivante, nous proposons de créer une perturbation géo métrique du débit dans le col afin de contrôler le comportement du débit d'injection dans le cylindre.

$1^{ér}$ **cas**	$2^{éme}$ **cas**

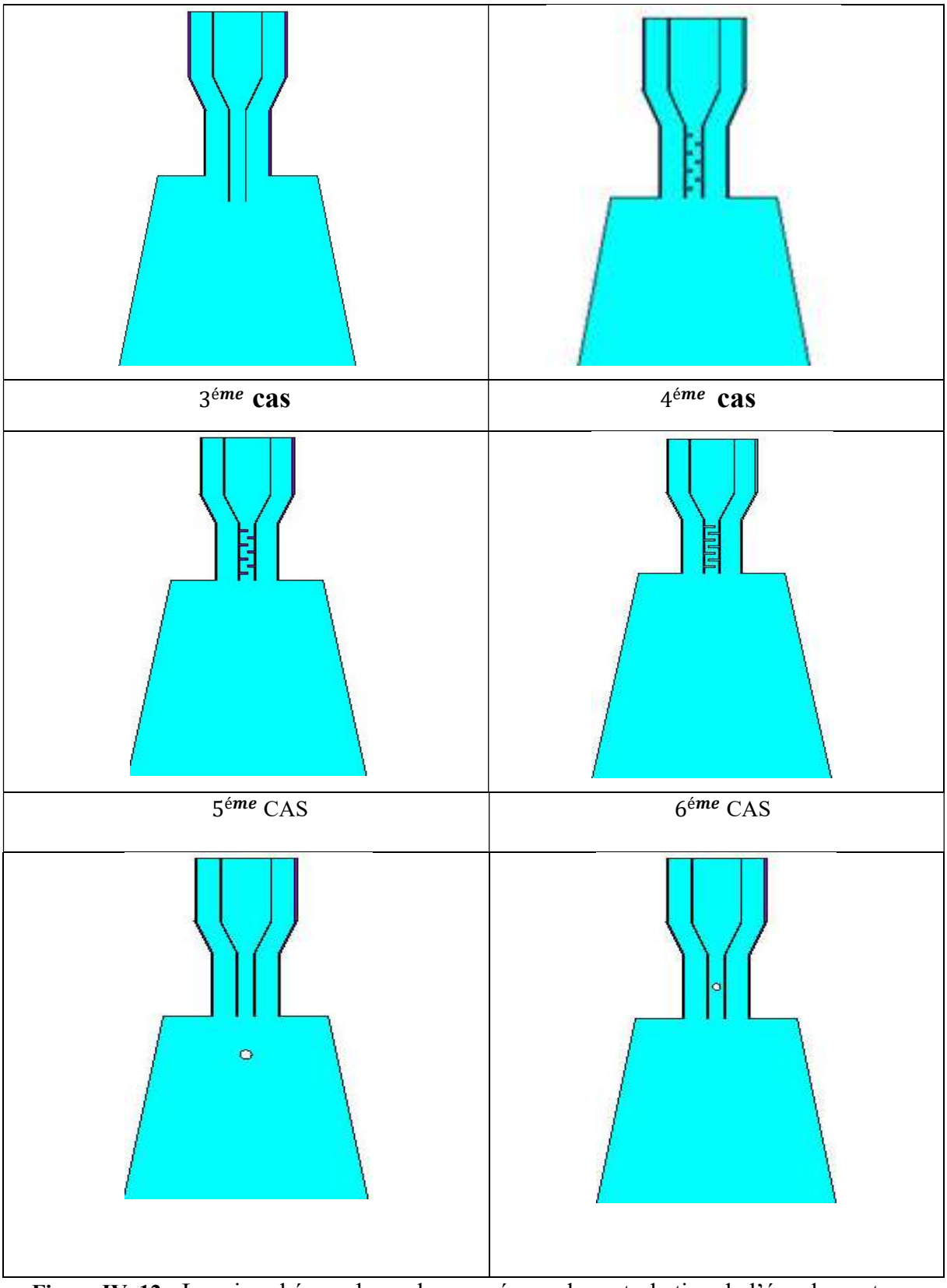


Figure IV. 12 : Les six schémas du cool proposé pour la perturbation de l'écoulement.

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

Premier cas : nous avons planté le col d'injection à l'intérieur de la chambre de combustion.

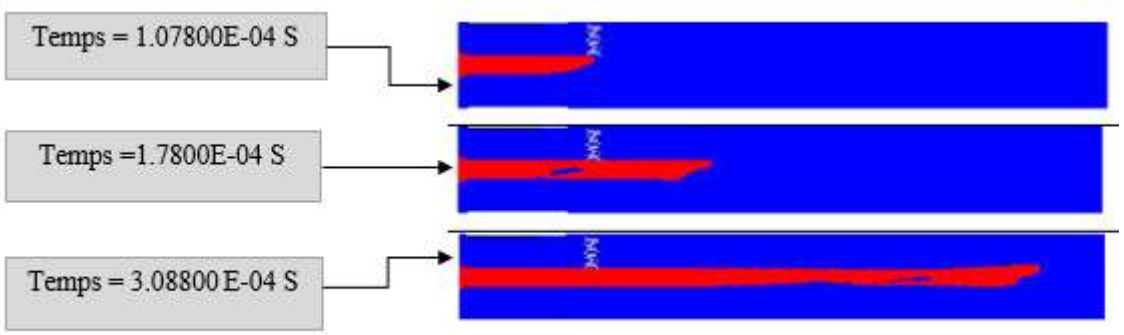


Figure : IV.13 : représente les résultats de développement de la fraction volumique.

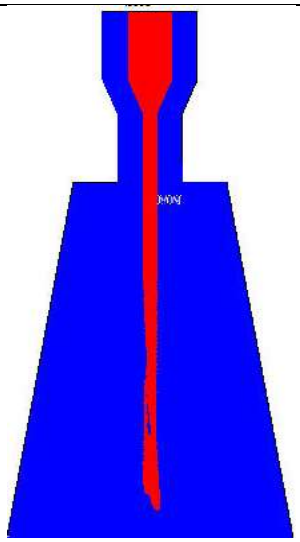
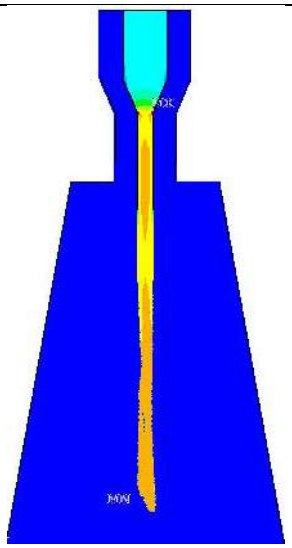
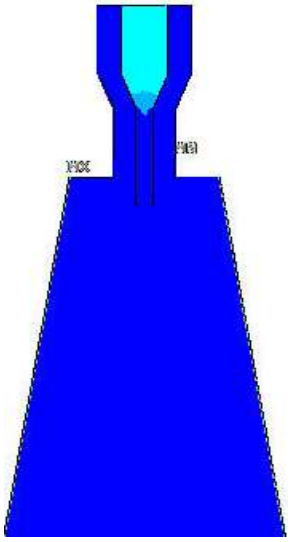
fraction volumique	Vitesse	pression
		

Figure IV. 14 : développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le Premier cas.

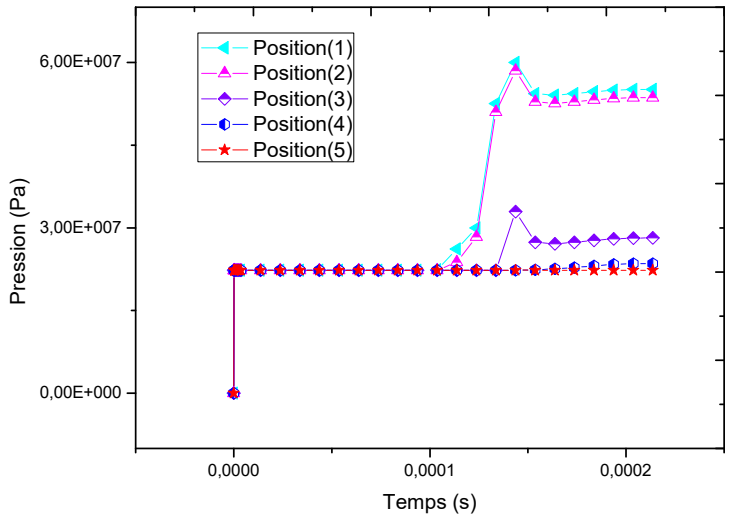


Figure IV.15 : la Variation de la pression transversale aux 5 pressions différentes 1^{èr} cas.

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 (0.0001-0.00015 sec) 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.

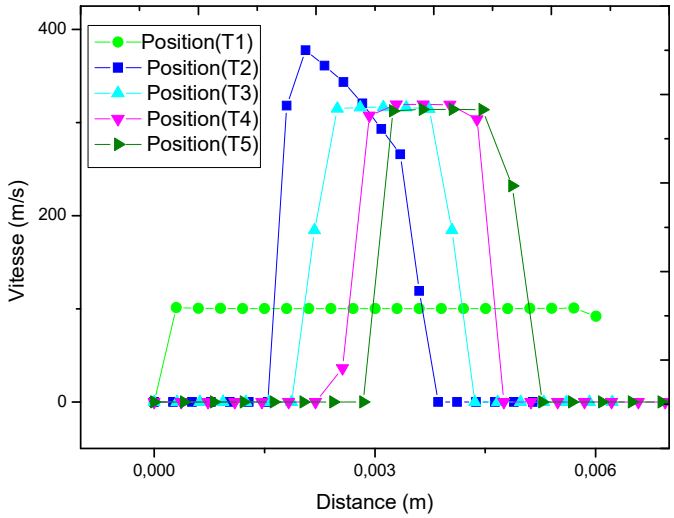


Figure IV.16 : la variation de la vitesse transversale pour 1^{èr} cas.

Montre les vitesses tangentielles de cinq 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 Quatrième et cinquième section une légère diminution de la vitesse

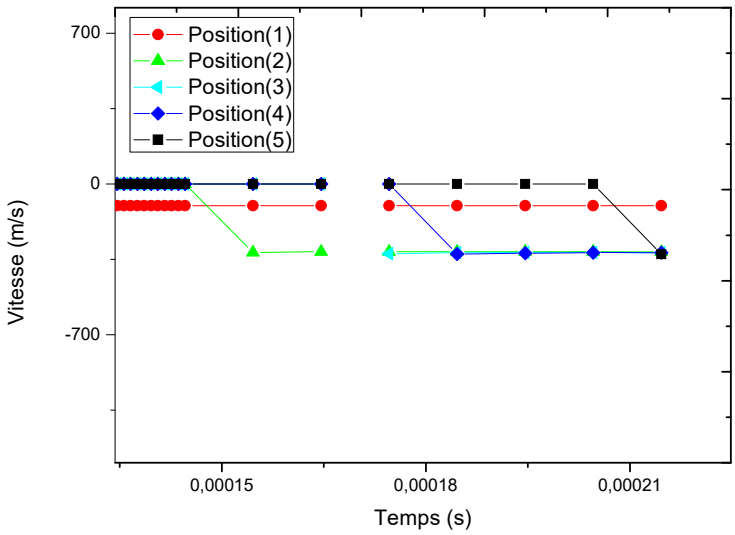


Figure IV.17 : la variation de la vitesse axiale dans le **1èr** cas.

La courbe représente le changement de vitesse en termes de temps, car nous remarquons au premier instant une augmentation progressive de la vitesse jusqu'à atteindre 100 m/s. Cela indique une augmentation du débit de carburant à l'intérieur de l'injecteur et une augmentation de la pression de l'injecteur, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse du carburant injecté soit au deuxième, troisième et quatrième instant malgré le changement de temps jusqu'à la vitesse est passée à 300 m/s Cela indique que pendant ces moments, une augmentation significative a été obtenue dans la pression de l'injecteur et la vitesse du carburant injecté dans la chambre de combustion

Deuxième cas : Nous avons placé 7 obstacles superposés dans le col de l'injecteur.

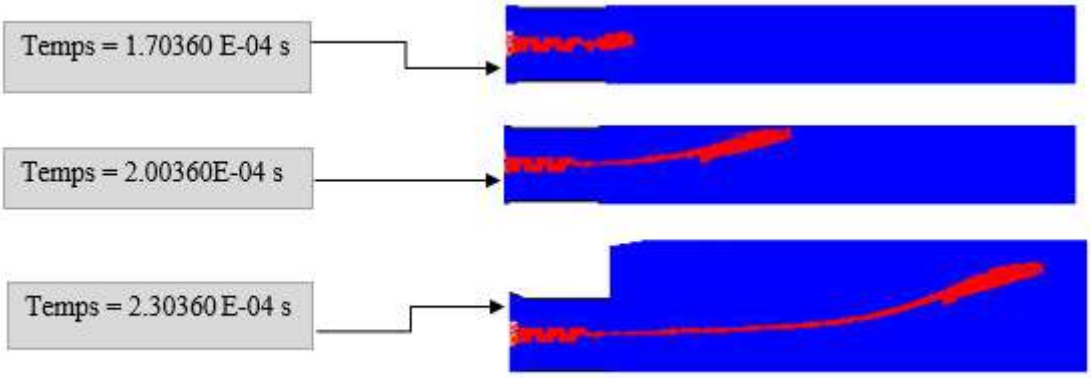


Figure IV.18 : représentation spatiale de la dynamique de dispersion et le déclanchement de l'atomisation pour le deuxième cas.

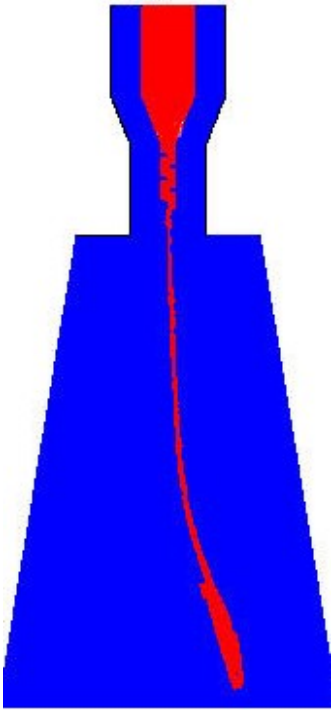
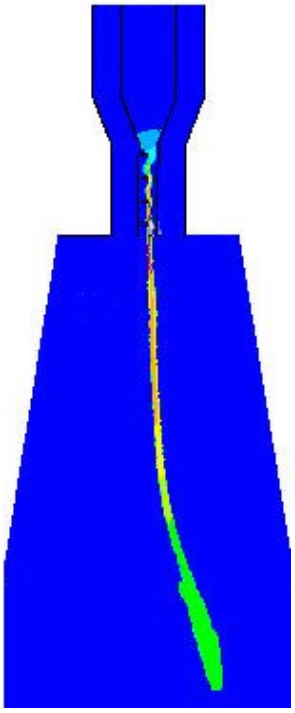
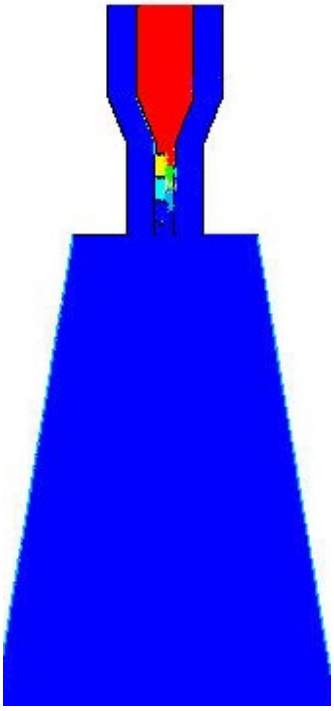
fraction volumique	Vitesse	pression
		

Figure IV.19 : développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le deuxième cas.

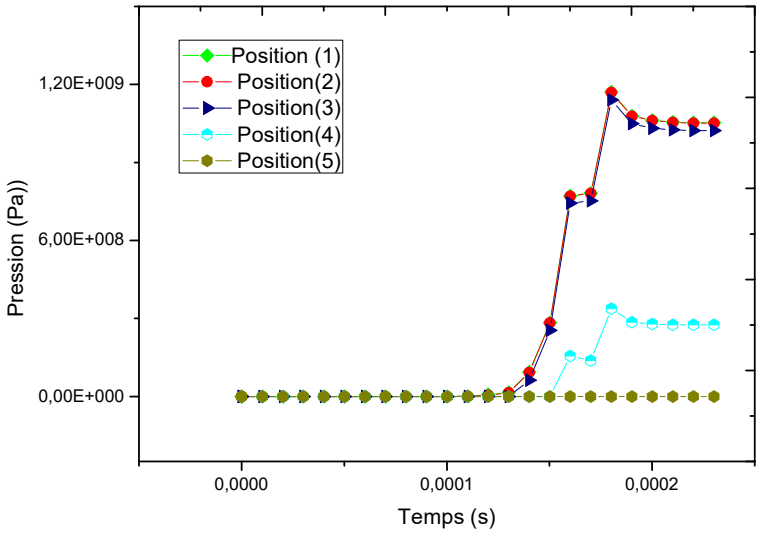


Figure IV.20 : la Variation de la pression dans le temps pour les cinq capteurs proposés.

La figure IV. 20 montre la pression en fonction du temps, où l'on remarque aux positions (1, 2, 3) que la pression des capteurs étudiés suit le même rythme, où en secondes (0.00013 _ 0.000175) des turbulences se sont produites du fait de l'étouffement de l'avion dans la gorge mais au centre de la gorge il y avait de la turbulence dans (0,00015 _ 0,000175), où la vitesse de pression atteignait 4 par 10 et 8, et ces courbes sont représentées car les barrières dans le col affectent l'écoulement du matériau, et bien que les barrières affectent la pression au milieu et à la fin du cou, elles n'affectent pas la pression au début, le cou

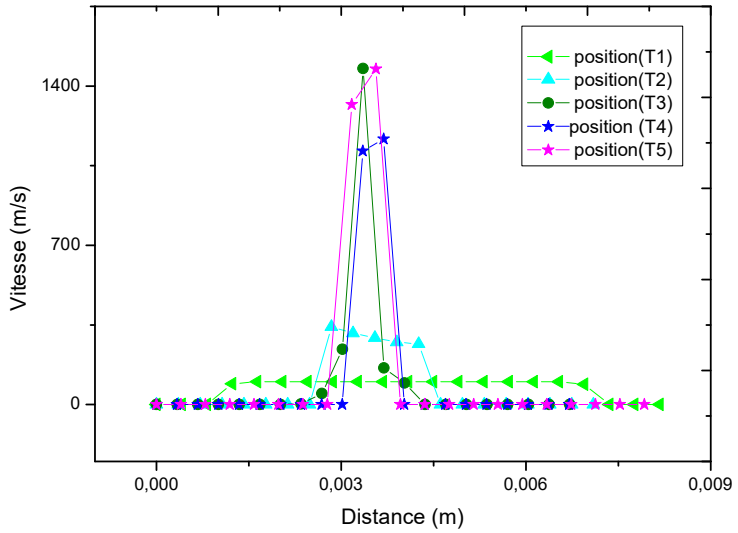


Figure IV. 21 : la variation de la vitesse transversale pour 2ème cas.

La vitesse d'éjection radiale du deuxième cas (Fig. IV.21) est représentée pour les cinq sections de l'injecteur, où l'effet de col est toujours certain et la vitesse à la sortie de l'injecteur atteint 1450 m/s, une très grande augmentation par rapport au cas de référence, ce qui a favorisé la séparation représentée sur les figures IV.18 et IV.19, et donc l'atomisation devient favorable par le fait que la traînée des gaz appliqués au jet est augmentée, toujours en tenant compte de la homogénéité de dispersion dans un cylindre.

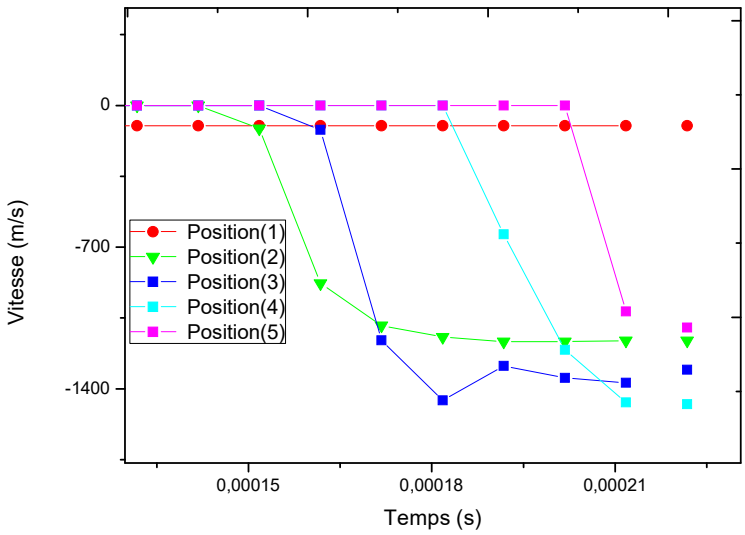


Figure IV.22 : la variation de la vitesse axiale dans le 2^{éme} cas.

Nous remarquons sur la courbe que la vitesse augmente avec le temps, car la vitesse initiale est de 100 m/s, et elle atteint son maximum en quatrième position, atteignant 1500 m/s, en raison de la présence de barrières sur les côtés, ce qui entraîne une augmentation du débit de carburant dans la direction centrale. Ce flux central plus fort augmente la vitesse d'écoulement du carburant. On note également que la vitesse dans la chambre de combustion diminue par rapport à la position de l'extrémité du col, la valeur de vitesse atteignant 1100 m/s. Cela est dû à la pression du carburant. Dans cette région.

Troisième cas : Nous avons placé 7 obstacles superposés dans le col de l'injecteur.

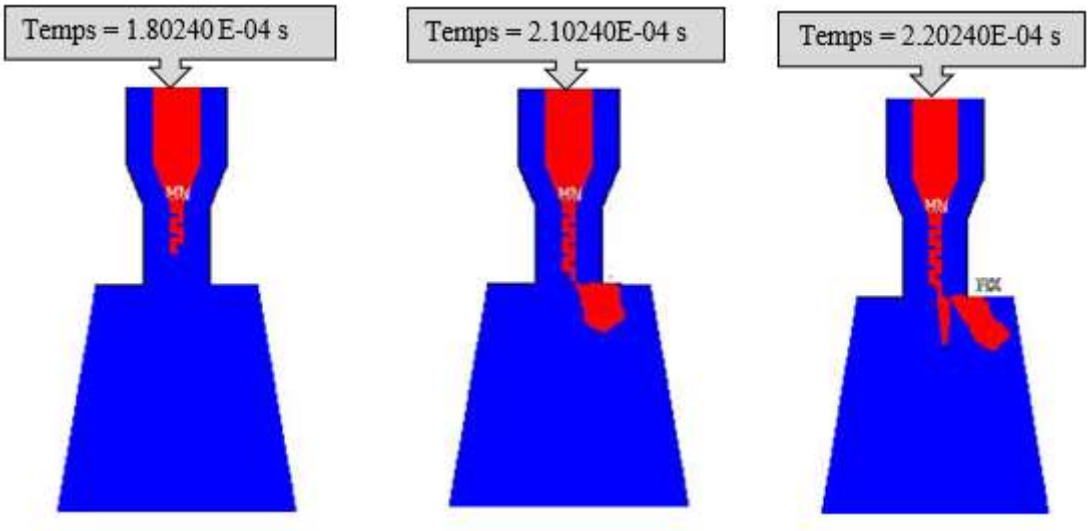


Figure IV.23 : représente les résultats de développement de la fraction volumique

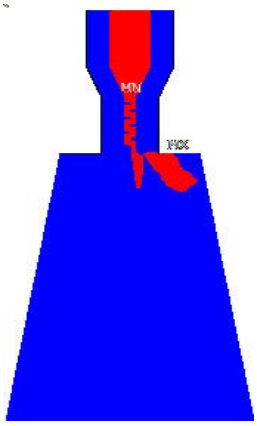
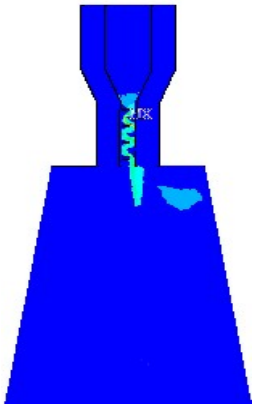
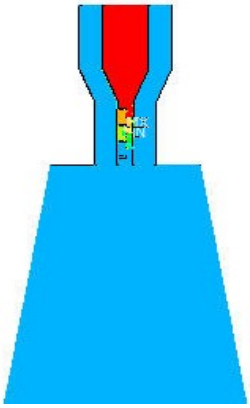
fraction volumique	Vitesse	pression
		

Figure IV.24 : développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour**.**

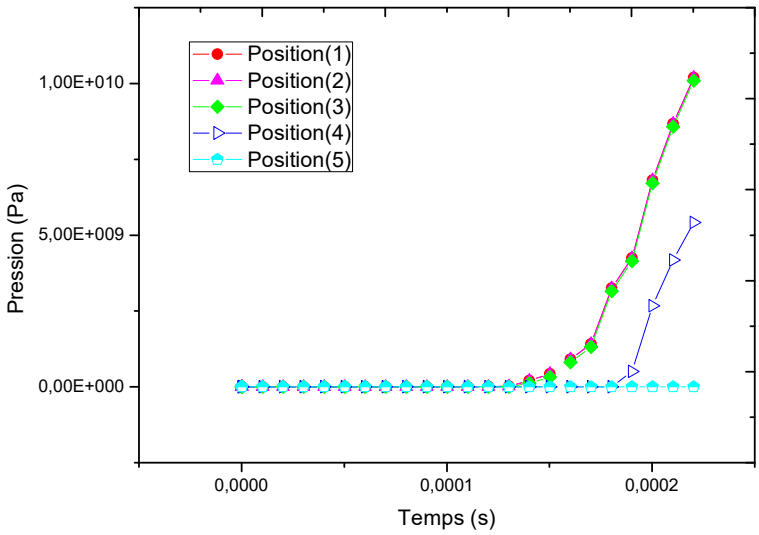


Figure IV.25 : la Variation de la pression transversale aux 5 pressions différentes 3ème cas.

La figure 25 montre la pression (Pa) en fonction du temps (S) , où l'on remarque dans les positions (1, 2, 3) que la pression des capteurs étudiés suit le même rythme, et la pression augmente progressivement en secondes (0.00013 _ 0.00022) pour atteindre 10 en raison de l'étouffement dans la gorge, mais au centre de la gorge, il y a eu une augmentation de la pression en quelques secondes (0,00015 _ 0,00022) car la vitesse de pression a atteint de 5.10^9. Alors que la position (5) à l'extrémité du col est fixe, nous expliquons que les barrières dans le col affectent le flux de matériaux, bien que les barrières affectent Bien que la pression soit au milieu et à l'extrémité du col, elle n'affecte pas la pression en premier, le col

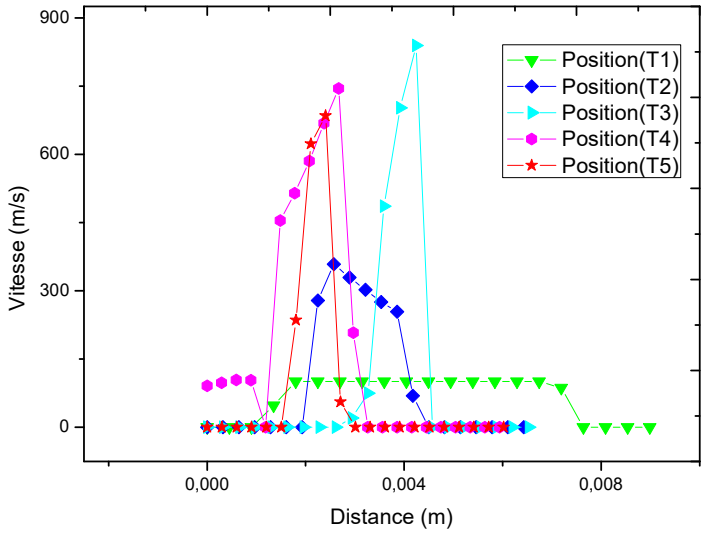


Figure IV.26 : la variation de la vitesse transversale pour 3ème cas.

La vitesse de jet radial du troisième cas (Fig. IV.26) est indiquée pour les cinq sections de l'injecteur, où l'effet de col est toujours certain et la vitesse au milieu du col de l'injecteur atteint 825 m/s (en baisse de le cas précédent 1450 m/s), ce qui est une augmentation significative pour le cas de référence, et on peut noter des résultats donnés dans les (Figures IV.23 IV.24) qu'il y a toujours une instabilité de surface qui est d'une grande importance dans le atomisation liquide mais relativement moins intense pour le premier cas, l'atomisation est rendue moins favorable par le fait que les nuages de gaz appliqués au jet diminuent relativement, conservent toujours une dispersion uniforme dans le cylindre et se prêtent à une combustion homogène.

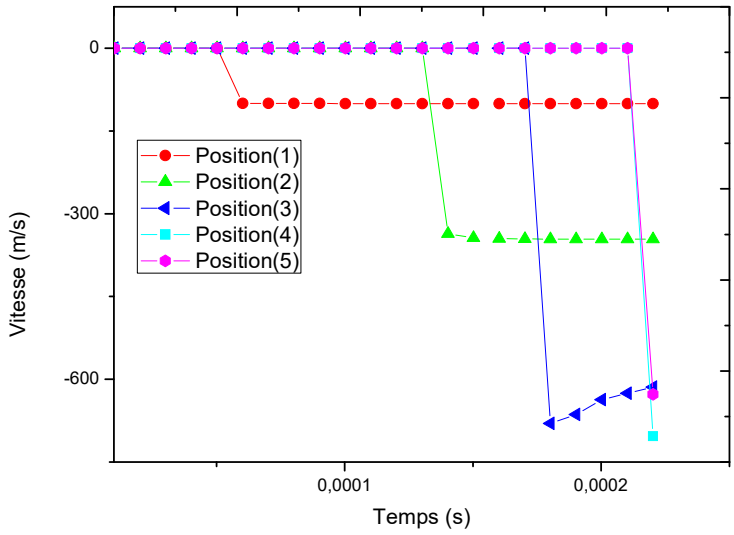


Figure IV.27 : la variation de la vitesse axial dans le 3^{éme}cas.

La courbe représente l'évolution de la vitesse (m/s) en fonction du temps (s), où au premier instant on observe une augmentation progressive de la vitesse jusqu'à atteindre 100 m/s. Cela indique une augmentation du débit de carburant à l'intérieur de l'injecteur et une augmentation de la pression de l'injecteur provoquant une accélération du carburant injecté, au milieu du col la vitesse augmente à 700 m/s puis diminue légèrement. L'augmentation de la vitesse peut être due à l'équilibre entre les forces d'écoulement et le frottement à l'intérieur du col, et la diminution de la vitesse peut être dû au frottement du liquide contre les barrières. Quant au cinquième moment à l'intérieur de la chambre de combustion, le la vitesse a augmenté à 700 m/s puis est restée constante. La raison de l'augmentation de la vitesse ici peut être des facteurs de combustion et une réaction chimique à l'intérieur de la chambre.

On remarque pendant les instants que l'on a pris que la vitesse passe de 100 m/s à 700 m/s et cela indique que pendant ces instants on a obtenu une augmentation significative de la pression de l'injecteur et de la vitesse du carburant injecté dans la chambre de combustion

Quatrième cas : Nous avons placé 7 obstacles superposés dans le col de l'injecteur.

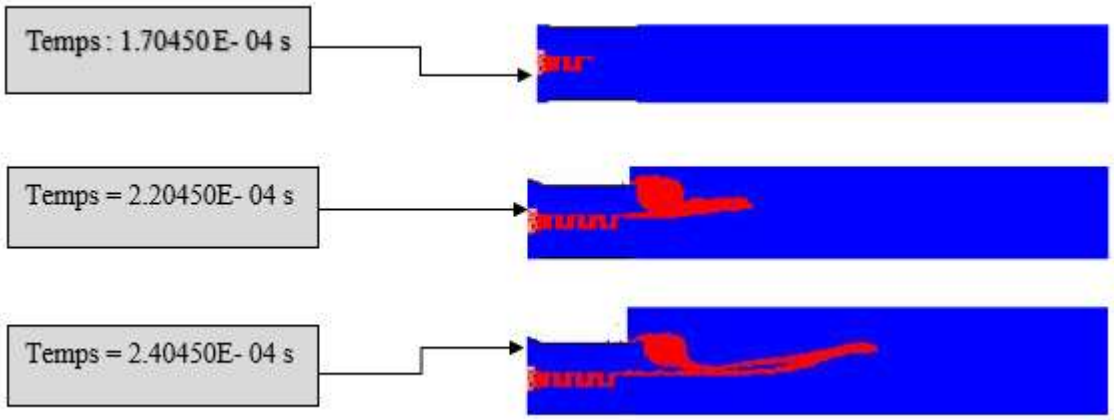


Figure IV.28 : représente les résultats de développement de la fraction volumique.

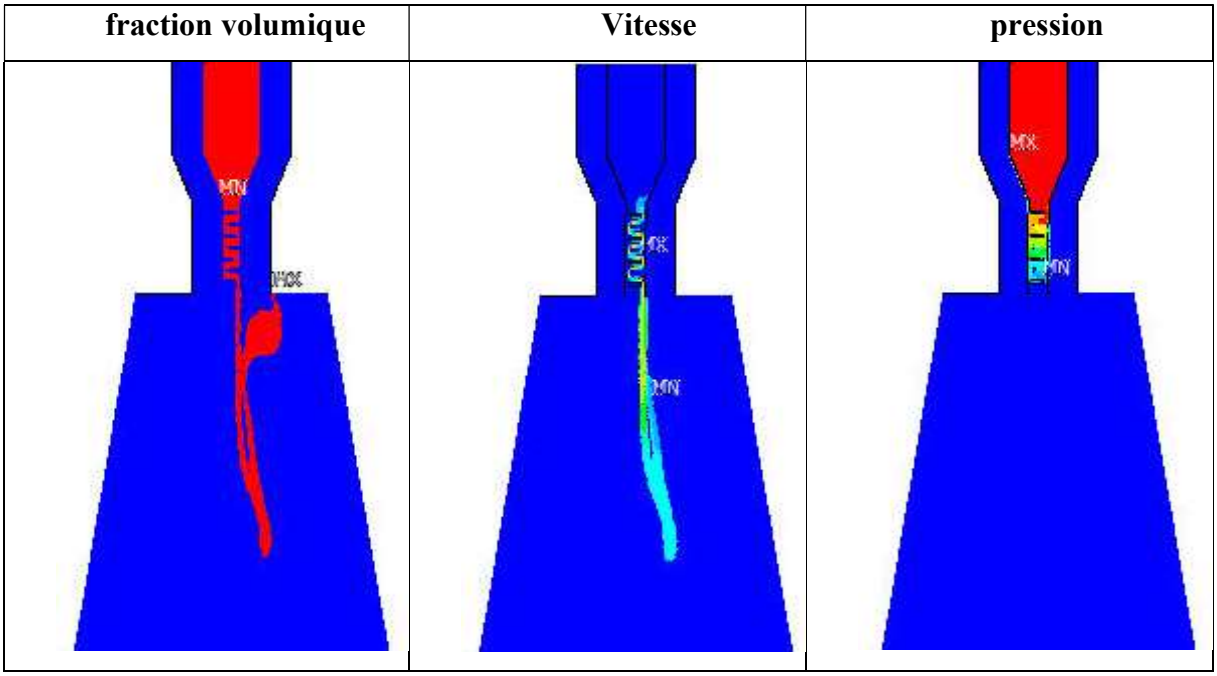


Figure IV.29 : Développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le quatrième cas.

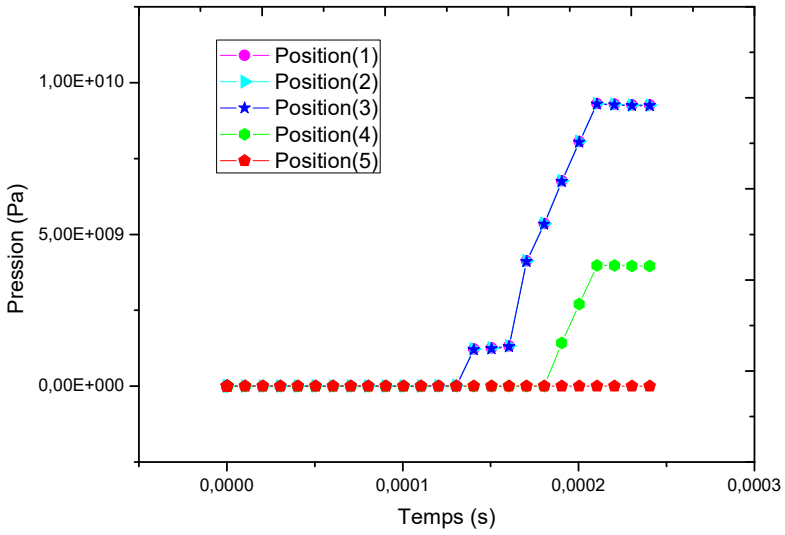


Figure IV.30 : la Variation de la pression axiale aux 5 pressions différentes 4ème cas.

La figure IV.30 montre la pression (Pa) en fonction du temps (S), où l'on remarque dans les positions (1, 2, 3) que la pression des capteurs étudiés suit le même rythme, et la pression augmente progressivement en secondes (0.00013 _ 0.00022) pour atteindre 10 , puis la pression se stabilise, et cela est dû à l'étouffement de l'avion dans la gorge, mais au centre de la gorge Il y a eu une augmentation de pression pendant des secondes (0.00015 _ 0.00022) jusqu'à ce que la pression atteigne 5.10^9. Alors que la position (5) à l'extrémité du col était constante, cela montre que les barrières dans le col affectent l'écoulement du matériau, bien que les barrières Cela affecte la pression, mais cela n'affecte pas la pression au début de le cou

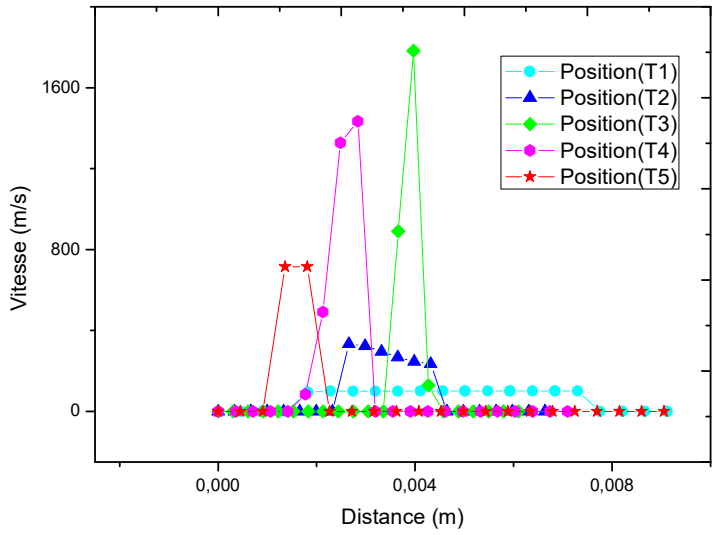


Figure IV.31 : la variation de la vitesse transversale pour **4ème** cas.

La vitesse d'extrusion radiale du quatrième cas (Fig. IV.31) est représentée pour les cinq sections d'injecteur, dans lesquelles l'effet de col est toujours certain et la vitesse au milieu du col de l'injecteur atteint 1800 m/s (supérieure à la deux cas précédents), ce qui est une augmentation significative par rapport au cas de référence, et il ressort des résultats présentés dans les figures IV.28 IV.29 qu'il existe toujours une instabilité de la surface qui est d'une grande importance dans la dissolution liquide.

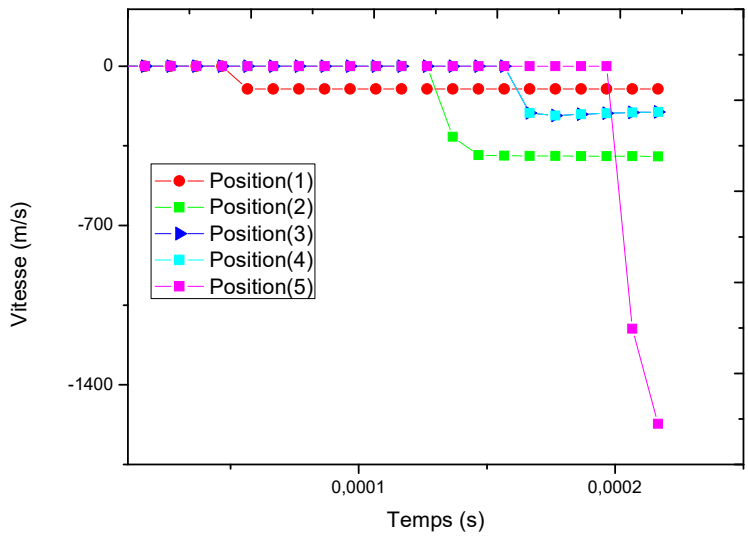


Figure IV.32 : la variation de la vitesse axiale dans le 4ème cas.

La courbe représente l'évolution de la vitesse (m/s) en fonction du temps (S), où au premier instant on observe une augmentation progressive de la vitesse jusqu'à atteindre 100 m/s. Cela

indique une augmentation du débit de carburant à travers l'injecteur et une augmentation de la pression de l'injecteur, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse du carburant injecté. Quant au cinquième moment dans la chambre de combustion, nous constatons une augmentation de vitesse de 1600 m/s. Cela est dû à la modification du débit et de la distribution du carburant dans cette région et aux réactions chimiques qui se produisent lors de la combustion.

La présence de cloisons dans le col de l'injecteur affecte le débit et la distribution du carburant dans l'injecteur, entraînant des modifications de la vitesse du carburant.

Cinquième cas : Nous plaçons le tube à l'intérieur de la chambre de combustion.

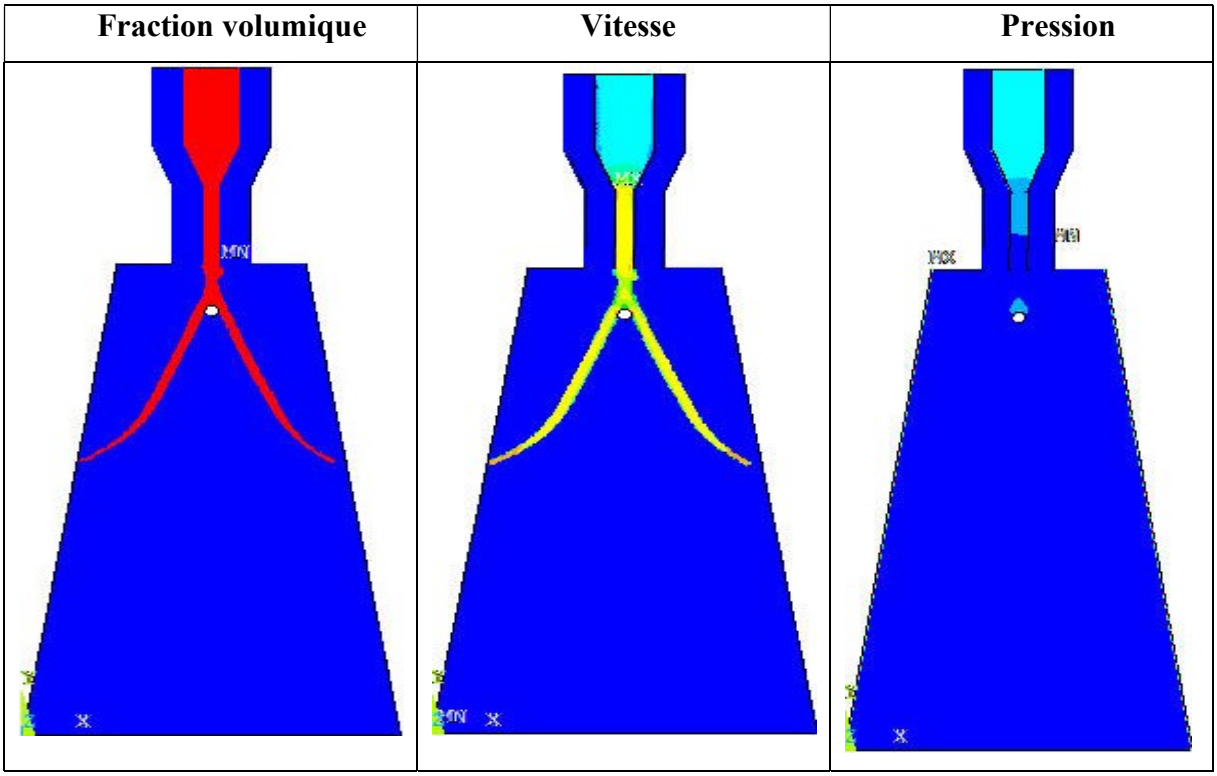


Figure IV.33 : Développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le 5ème cas.

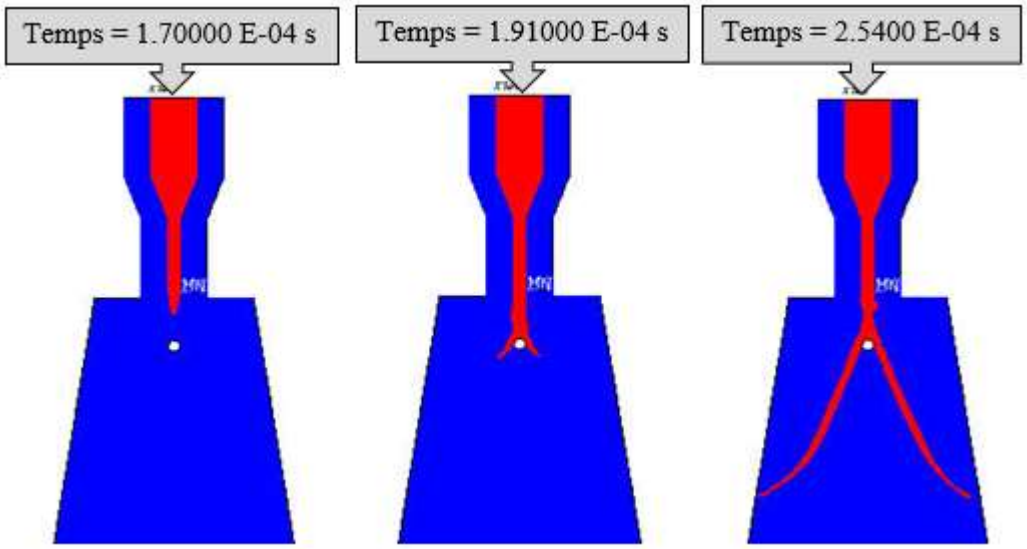


Figure IV. 34 **:** représente les résultats de développement de la fraction volumique

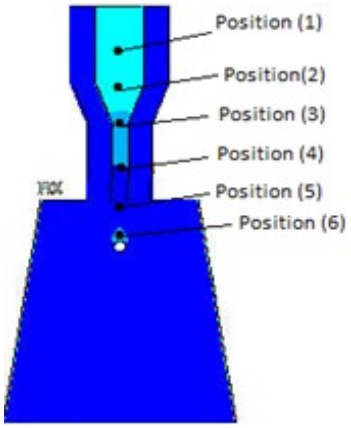


Figure IV.35 : Représentation de l'emplacement des capteurs axiale

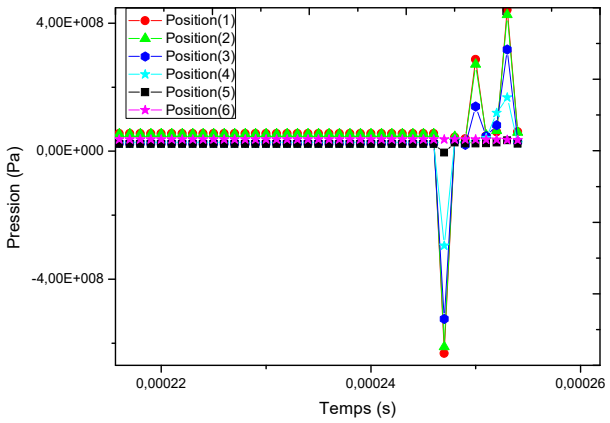


Figure IV. 36 : la Variation de la pression axiale 5 pressions différentes 5ème cas.

La courbe représente les changements de pression en termes de temps, où l'on note que la pression en sixième position est constante dans la pression primaire, tandis qu'aux positions (1.2.3.4 et 5) il y a eu une perturbation de pression dans la période (0,000247 _ 0,000255)

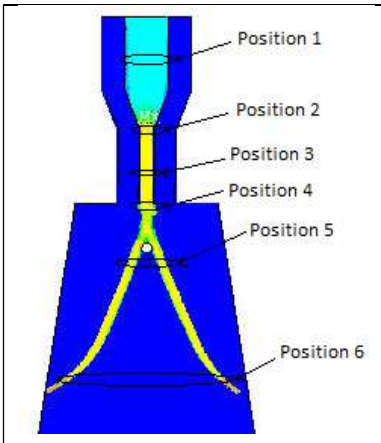


Figure IV.37 : Représentation des sections transversale pour les capteurs de vitesse

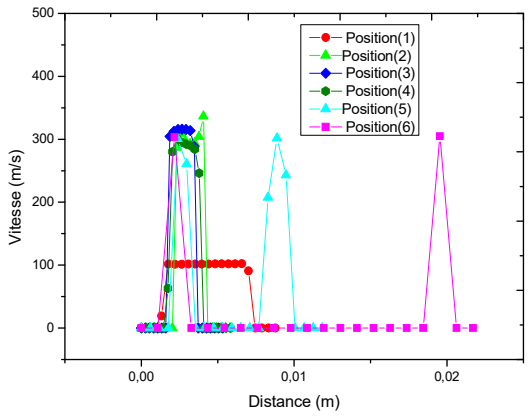


Figure IV.38 : la variation de la vitesse transversale pour **5ème** cas.

Nous notons sur la courbe que la vitesse au début de l'injection était de 100 m/s et a atteint sa valeur maximale après quelques fluctuations à la deuxième position, où elle a atteint une valeur de 350 m/s. Dans ce cas, nous remarquons le fractionnement du carburant après celui-ci est entré en collision avec le ballon, mais il ne s'est pas propagé comme prévu, en collectant du carburant dans des zones spécifiques au lieu de le répartir uniformément dans la pièce.

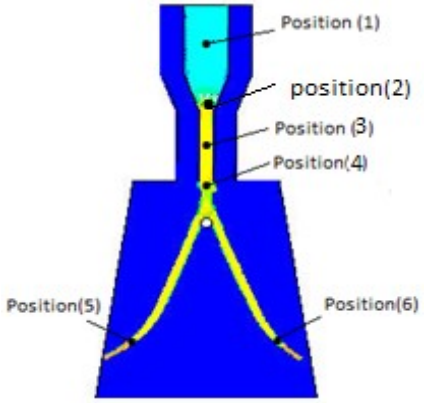


Figure IV.39 : Représentation du point axial.

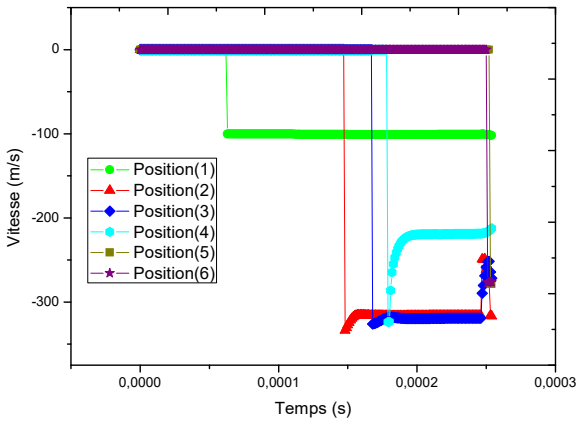


Figure IV.40 : la variation de la vitesse du point axial dans le 5ème cas.

La courbe représente l'évolution de la vitesse en fonction du temps, où au premier instant on observe une augmentation progressive de la vitesse jusqu'à atteindre 100 m/s. Dans la deuxième position (au milieu du col de l'injecteur) la montée en régime progressive se poursuit jusqu'à atteindre une valeur maximale de 340 m/s, puis elle commence à décroître pour se stabiliser à une vitesse de 310 m/s.

A l'intérieur de la chambre de combustion, la vitesse était enregistrée à 300 m/s, puis descendue à 220 m/s, pour être stable. Cela peut s'expliquer par la présence de l'effet d'impact à l'intérieur de la chambre de combustion, où le liquide (diesel) frappe la bille placée à l'intérieur.

Sixième cas : Nous mettons le tube dans le col de l'injecteur.

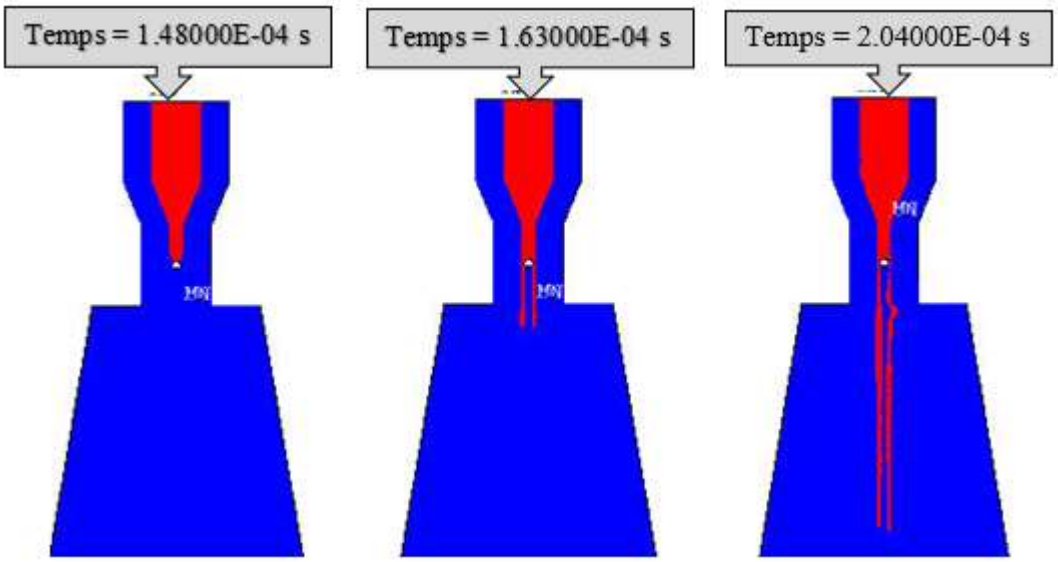


Figure IV.41 : représente les résultats de développement de la fraction volumique

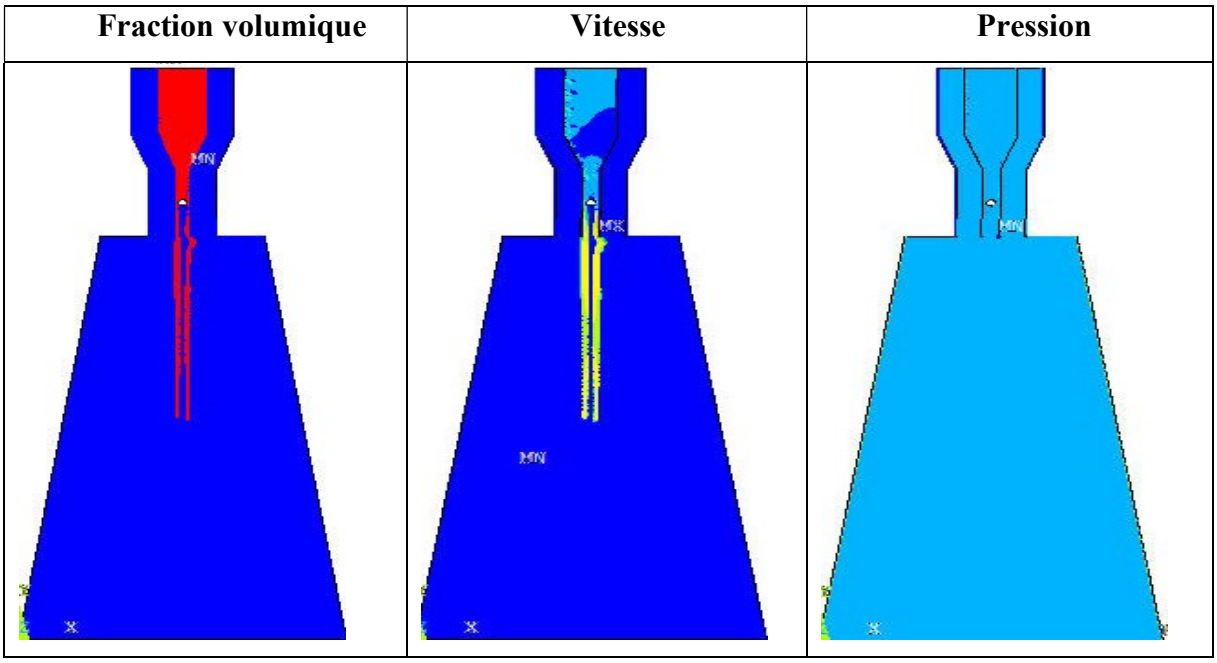


Figure IV.42 : Développement de la fraction volumique, vitesse et la pression pour le 6ème cas.

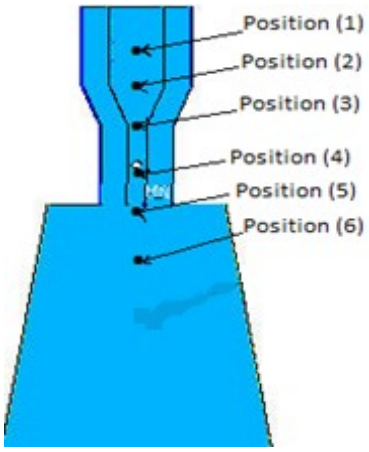


Figure IV.43 : Représentation de l'emplacement des capteurs axiale

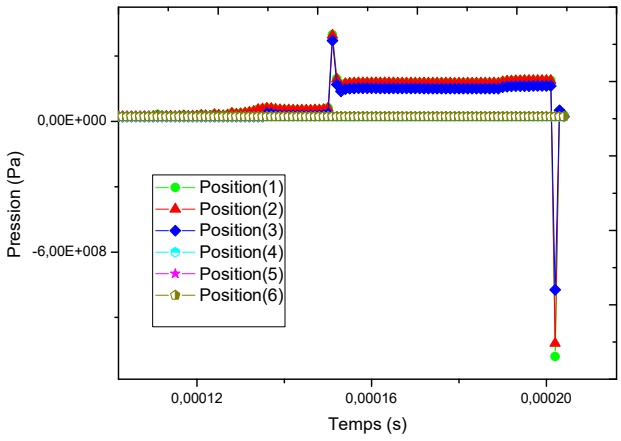


Figure IV.44 : la Variation de la pression axiale 5 pressions différentes 6ème cas.

La courbe représente l'évolution de la pression en fonction du temps. On remarque que la pression est constante dans les cinquième et sixième positions. Quant à la position (1 2 3 4), on remarque une certaine fluctuation de la pression entre les deux instants (0.00014 et 0,00022).

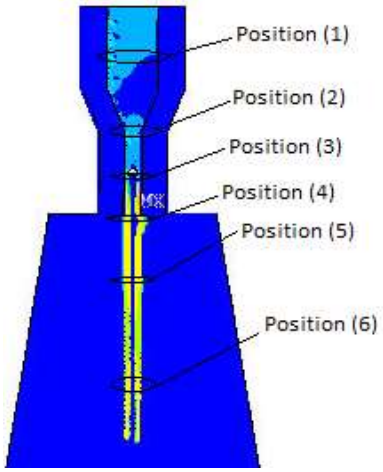


Figure IV.45 : Représentation des sections transversale pour les capteurs de vitesse

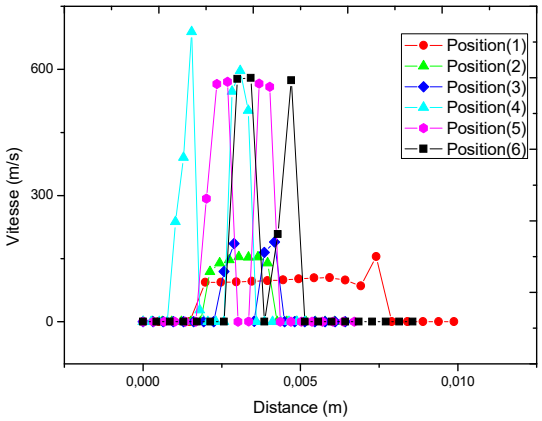
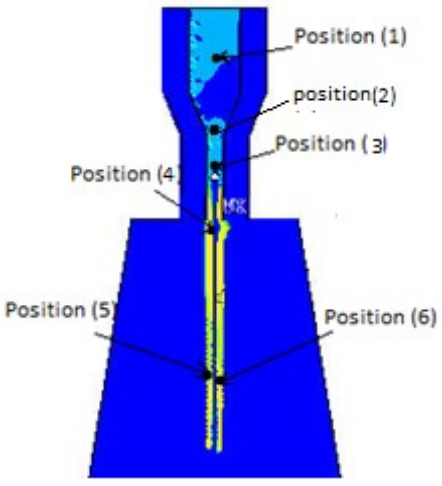


Figure IV. 46 : la variation de la vitesse transversale pour **6ème** cas.

La courbe représente le changement de vitesse en termes de temps, où la vitesse initiale au début de l'injection était de 100 m/s et a atteint son pic au quatrième emplacement, atteignant une valeur de 675 m/s. Cela s'est produit après la fragmentation du carburant due à la collision avec la balle. L'augmentation de la vitesse du carburant au quatrième emplacement a contribué à une bonne dispersion



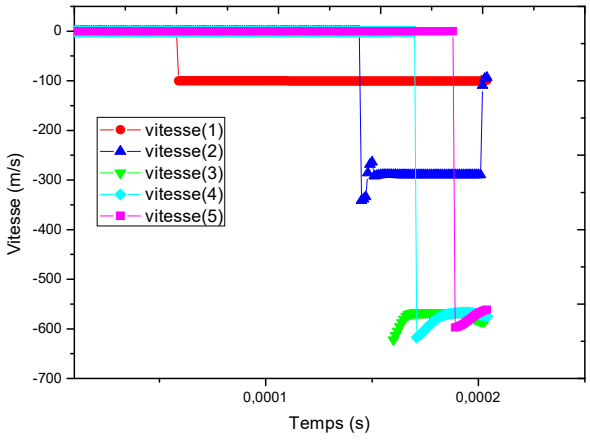
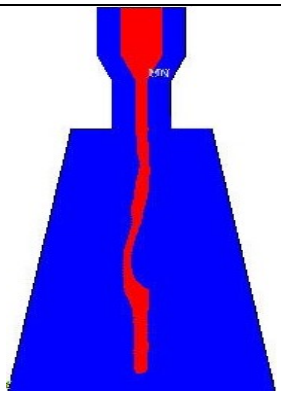
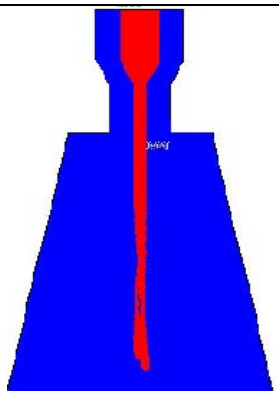
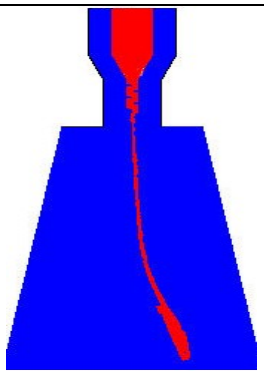


Figure IV.47 : Représentation du point axial.	**Figure IV.48 :** la variation de la vitesse du point axial dans le 6ème cas.

La courbe représente l'évolution de la vitesse en fonction du temps, car la vitesse initiale au premier instant était de 100 m/s, et on remarque l'augmentation de la vitesse au fil du temps, car elle a atteint sa valeur maximale en troisième position avec une valeur de 625 m/s, la raison en est le rétrécissement du diamètre du col lorsque le rétrécissement du diamètre de la gorge La sortie de fluide (carburant d'injection) est accéléré. Étant donné que la boule que nous plaçons au centre a un diamètre inférieur au diamètre du col, elle agit comme un obstacle qui augmente la vitesse d'écoulement du carburant dans l'espace étroit entre la boule et le col.

En fait, ce principe suit le principe de Bernoulli, qui stipule que lorsqu'un liquide traverse un espace étroit, la vitesse du liquide augmente et la pression diminue. Ce phénomène est obtenu lorsque le diamètre du col se rétrécit et que la boule est au milieu.

IV.6- Comparaison entre le cas (0) et les 6 cas :

CAS 0	CAS 1	CAS 2
		

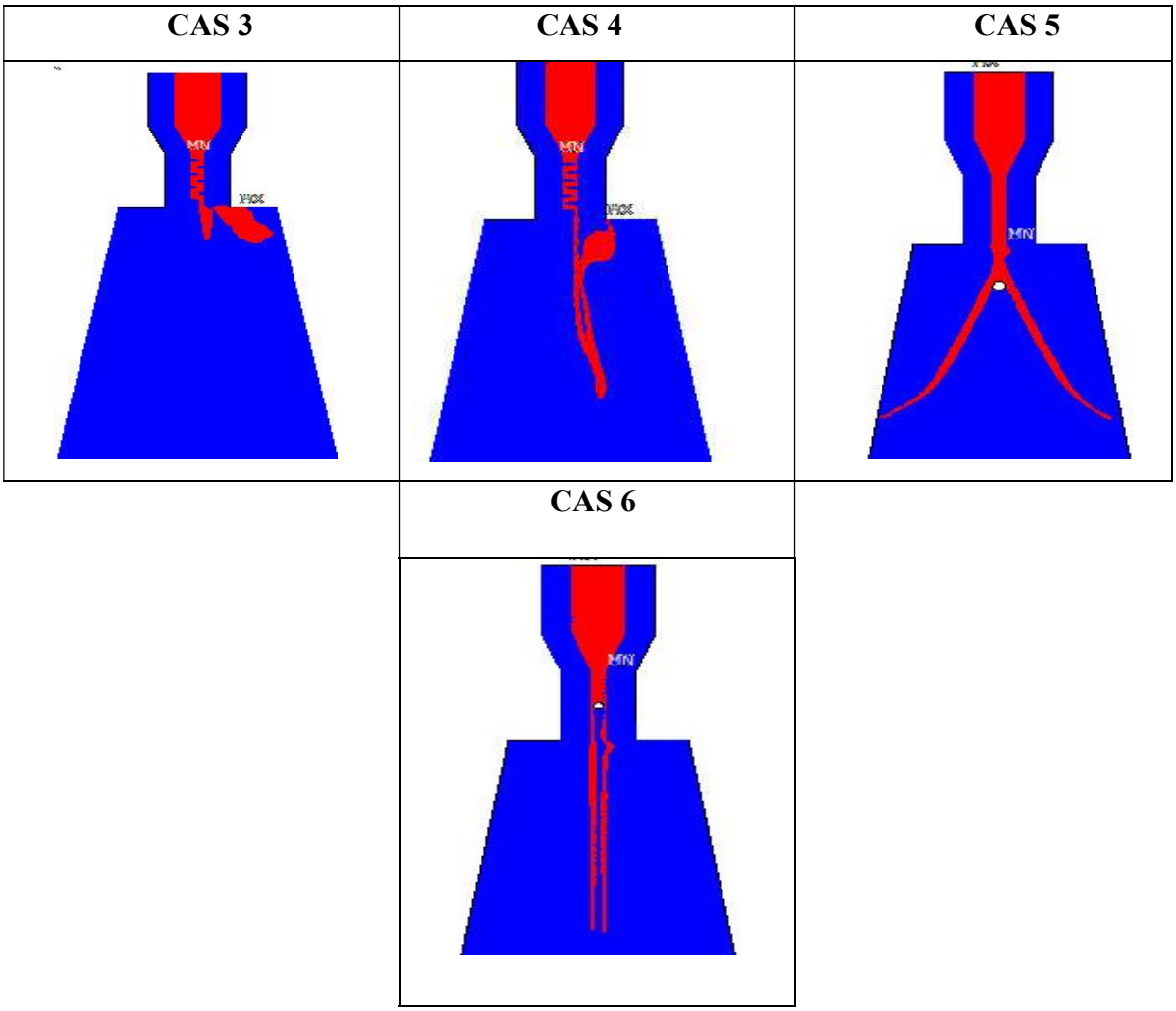
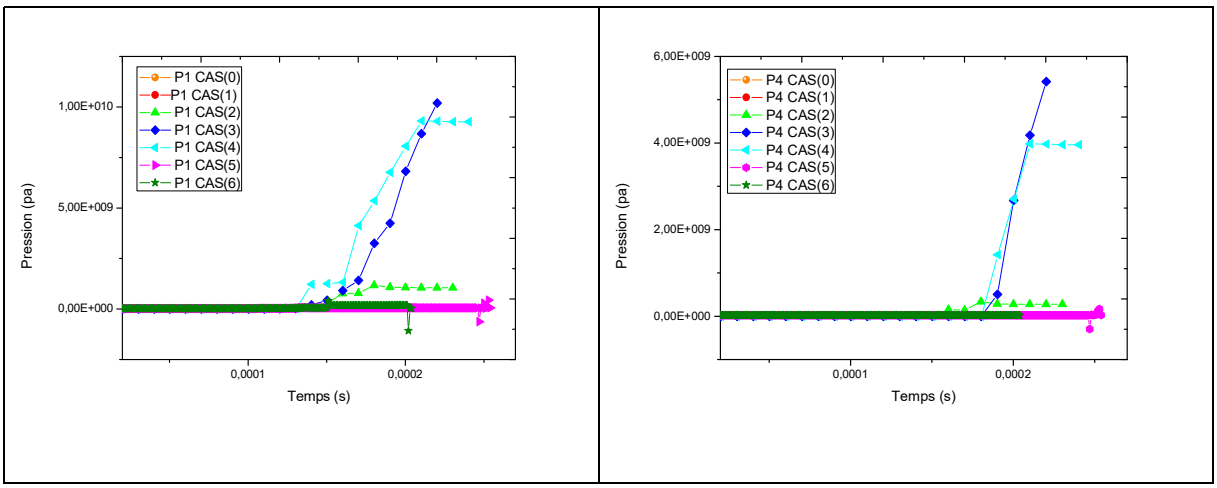


Figure IV.49 : Comparaison entre le cas (0) et les (6) cas de développement de la fraction volumique.



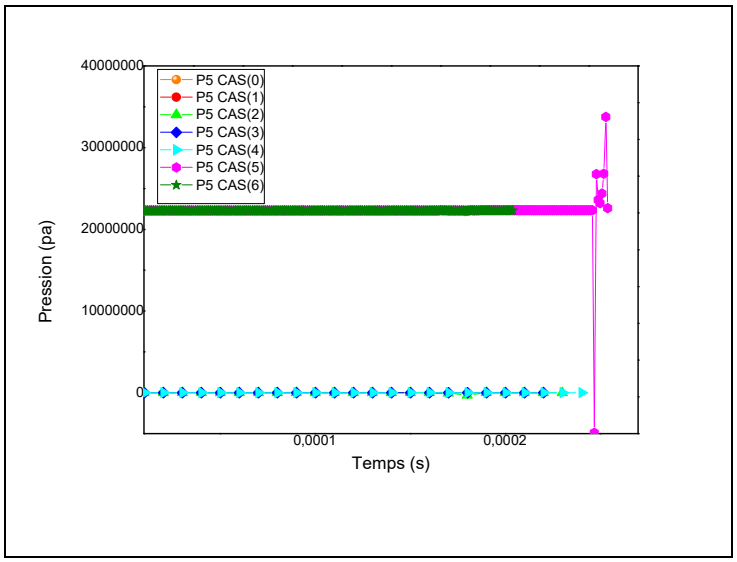


Figure IV.50 : Comparaison de l'évolution de la pression au point pivot entre le cas (0) et les cas 6

La première courbe représente l'évolution de la pression dans la première position dans tous les cas au cours du temps, car on note que la plus grande valeur enregistrée pour la pression était dans le troisième cas avec une valeur de 1×10^{10}

Ensuite, il est suivi du quatrième cas avec une valeur de 8×10^{10}

Quant au changement de pression en deuxième et troisième position, dans tous les cas il est le même qu'en première position

La deuxième courbe modifie la pression en quatrième position dans tous les cas au fil du temps, car nous remarquons que la plus grande valeur de pression était dans le troisième cas avec une valeur de 7×10^{9}

Après comparaison avec le même cas avec la première position, on remarque une diminution de la valeur de la pression

La troisième courbe représente le changement de pression en cinquième position dans tous les cas au fil du temps, où nous remarquons que la pression est constante dans tous les cas sauf pour le cinquième cas, où nous avons remarqué une certaine bértulpation de la pression

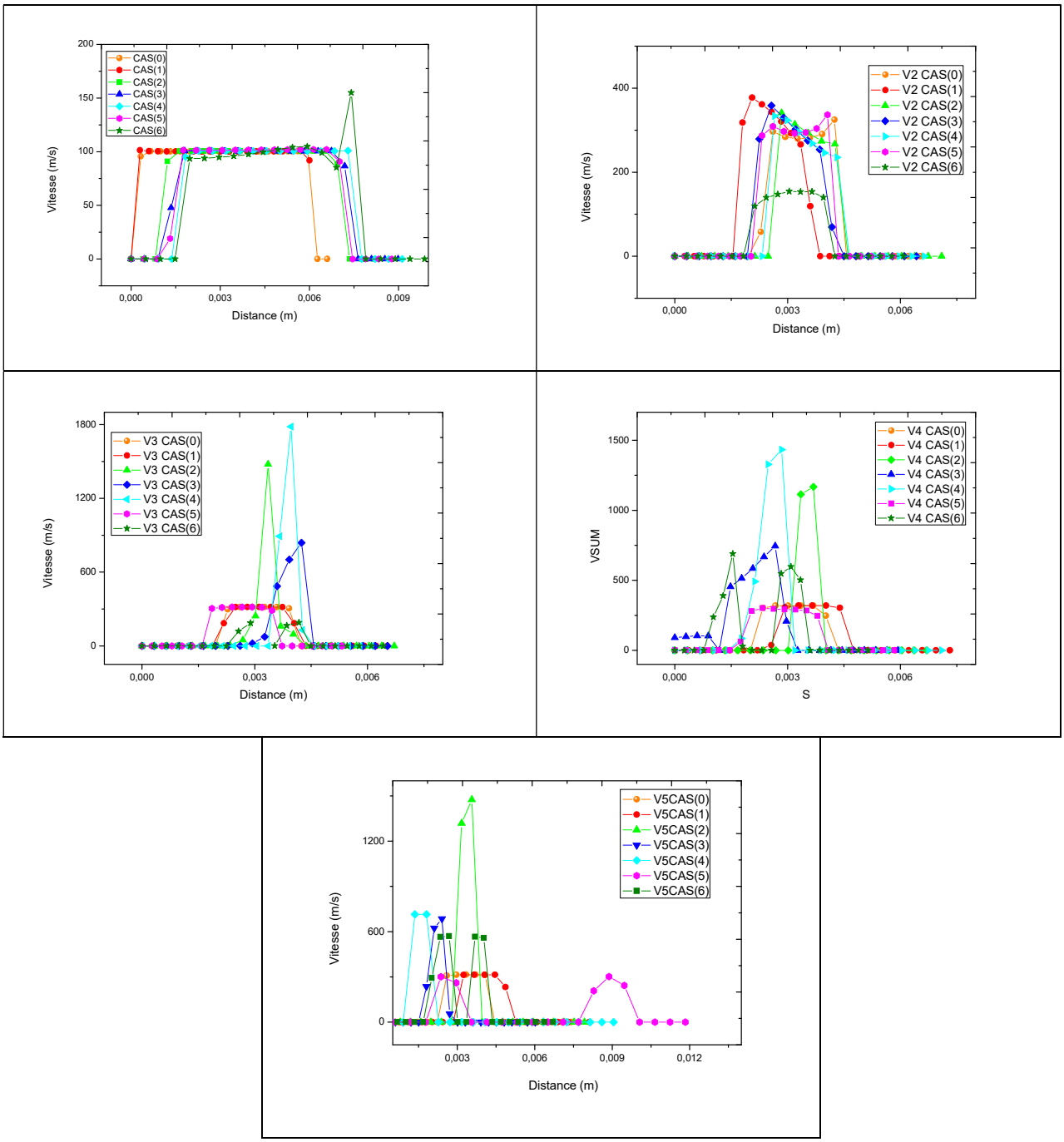


Figure IV.51 : Comparaison de développement de la vitesse transversale dans le cas (0) et 6 cas.

On remarque à travers les courbes présentées ci-dessus que les courbes diffèrent par le mode de diffusion du diesel, où l'on remarque la quatrième position à l'extrémité du col.Dans le quatrième cas, la vitesse atteint 1500 m/s, et la diffusion était meilleure, ainsi comme dans les deuxième et sixième cas, jusqu'à ce que la vitesse soit plus faible.

Quant à la cinquième position que nous avons choisie à l'intérieur de la chambre de combustion dans les cas (1.2.4.6), l'étalement était meilleur, mais la vitesse était plus grande dans le second cas, avec une valeur de 1500 m/s.

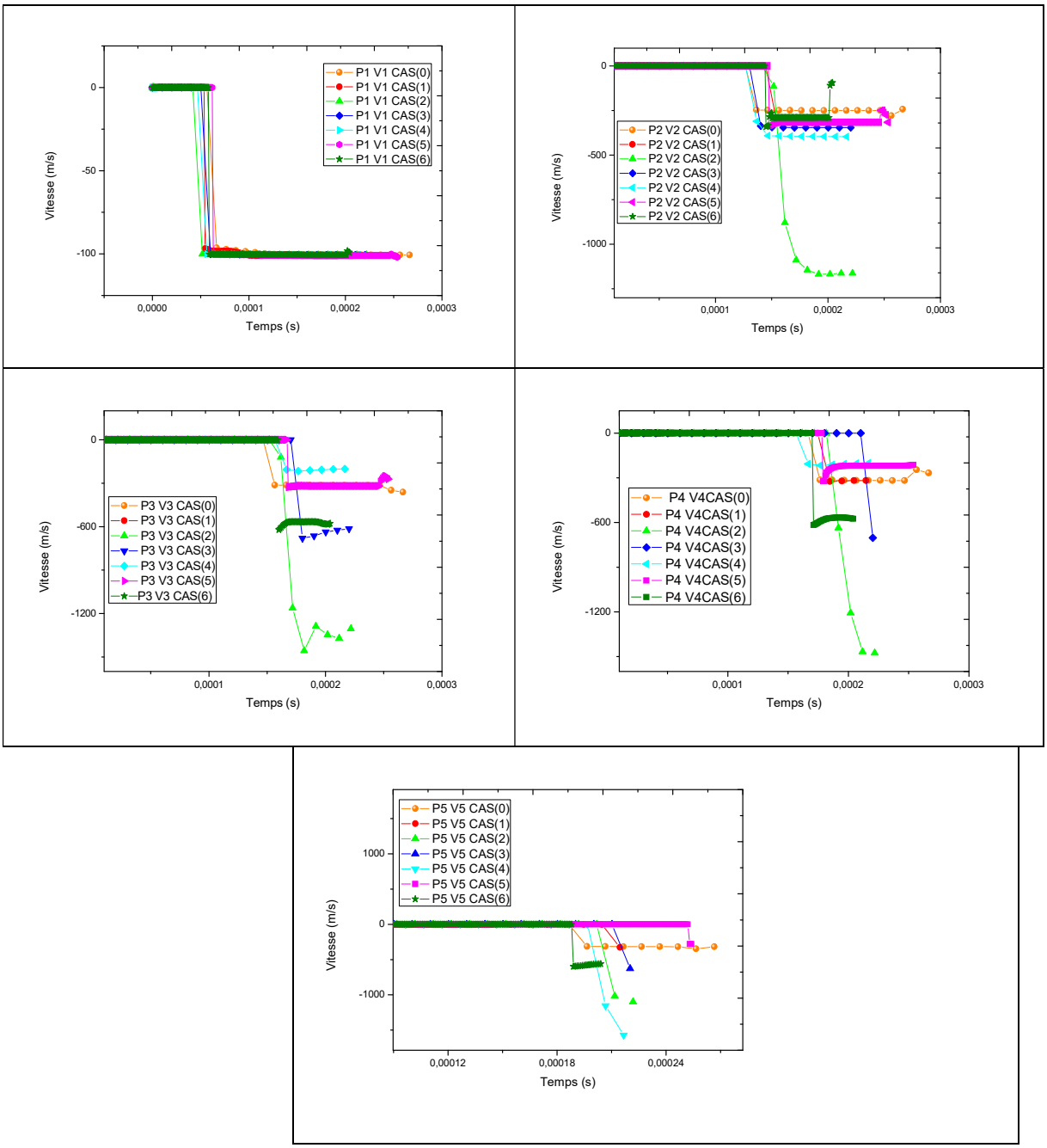


Figure IV.52 : Comparaison de développement de la vitesse du point axial (cas 0) et 6 cas.

La courbe représente les changements de vitesse instantanés dans tous les cas en fonction du temps

On remarque sur la première courbe que la vitesse instantanée dans tous les cas à la première position a la même valeur de 100 m/s

Dans la deuxième courbe, nous remarquons que la valeur maximale de la vitesse dans la deuxième position était dans le deuxième cas, où la valeur de la vitesse dans le cas était de 1300

m/s Dans la troisième courbe, nous notons que la valeur de vitesse maximale en troisième position au début du cou était dans le deuxième cas, où la valeur de vitesse dans le cas était de 1500 m/s, et de même pour la quatrième courbe au centre du cou.

Dans la cinquième courbe, nous remarquons une augmentation de la vitesse dans les deuxième et quatrième cas, où nous avons enregistré la valeur maximale de la vitesse dans le quatrième cas avec une valeur de 1600 m/s.

Conclusion :

Dans ce chapitre, après s'être assuré de l'indépendance solution maillage et avoir validé le modèle utilisé, nous avons spécifiquement analysé les résultats numériques du problème combiné d'écoulement diphasique, de dispersion et d'atomisation du gazole avec modification de la géométrie du col de l'injecteur et du cylindre. Ces analyses ont été réalisées en utilisant la méthode eulérienne EF/VOF.

Les résultats que nous avons obtenus dans les cas (1,2,4 et 6) il y avait une meilleure dispersion du brouillard comme les résultats numériques, tandis que les deux cas (3 et 5) n'étaient pas propices à la dispersion et à la dissolution

Conclusion générale :

Dans cette étude, nous avons abordé les défis environnementaux et économiques auxquels sont confrontés les constructeurs automobiles, qui les ont contraints à réduire la consommation et la pollution des moteurs diesel. Les normes de pollution de plus en plus strictes nécessitent de nouvelles approches pour comprendre et contrôler la dispersion et la dissolution du carburant dans la chambre de combustion. Nous avons utilisé des simulations numériques pour modéliser ces phénomènes et améliorer les performances des moteurs diesel.

Dans le premier chapitre de l'étude, nous avons donné une description détaillée de l'injection de carburant diesel liquide. Nous avons ensuite formulé les équations mathématiques qui régissent les écoulements de fluides, en tenant compte de la dynamique et de la chaleur, ainsi que des différents modes de transfert de chaleur tels que la conduction, la convection et le rayonnement.

La résolution de ces équations nécessite l'utilisation de deux méthodes principales : la méthode des éléments finis et la méthode VOF (volume des fluides). Dans le dernier chapitre, nous présentons les résultats de la simulation. Nous avons commencé à valider nos résultats en le comparant avec les résultats de Ménard [43] mis en œuvre en 2006. Après avoir réalisé une simulation numérique pour étudier et comprendre le phénomène de dispersion et de décroissance dans les moteurs diesel à injection. Ces simulations nous ont permis d'analyser les performances de différentes configurations d'injecteurs, de déterminer les meilleurs paramètres d'ingénierie pour une atomisation optimale du carburant et une optimisation de la combustion.

En conclusion, 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.

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

[2] Dr. BERKACHE, A. MOTEURS À COMBUSTION MOTEURS À COMBUSTION INTERNE APPROFONDI, Février 2018

[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

[4] 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

[5] Livre, Cours de combustion 2*ième* partie combustion réel, combustible complexes, écrie par CHRISTIAN GUILI*E*, 2012.

[6] 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

[7] 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.

[8] Moneib, H. A., Mahfouz, A., El-Fatih, A., & Emara, A. (2021). Near-field spray characterization of a spill return atomizer using a PIV laser sheet. Fuel, 289, 119792.

[9] Grosshans, H., Movaghar, A., Cao, L., Oevermann, M., Szász, R. Z., & Fuchs, L. (2016). Sensitivity of VOF simulations of the liquid jet breakup to physical and numerical parameters. Computers & Fluids, 136, 312-323

[10] 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

[11] Pandal A, Payri R, Garcı´a-Oliver JM and Pastor JM. Optimization of spray break-up CFD simulations by combining S–Y Eulerian atomization model with a response surface methodology under diesel engine-like conditions (ECN Spray A). Comput Fluid 2017; 156: 9–

[12] Pandal, A., García-Oliver, J. M., Novella, R., & Pastor, J. M. (2018). A computational analysis of local flow for reacting Diesel sprays by means of an Eulerian CFD model. International Journal of Multiphase Flow, 99, 257-27220.

[13] Kumar A, Sahu S.Liquid jet breakup unsteadiness in a coaxial air-blast atomizer. Int J Spray Combust Dyn2018; 10

[14] 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.

[15] Müller T ,Kadel K ,Habisreuther P ,Trimis D ,Zarzalis N,Sänger A,Jakobs T, Kolb T.Influence of reactor pressure on theprimary jet breakup of high-viscosity fuels:basic research for simulation-assisted design of low-gradefuelburner.In: ProceedingsofASMETurboExpo.2018.p.GT2018–75950.

[16] 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.

[17] PANDAL, Adrian; GARCIA-OLIVER, Jose M.; PASTOR, Jose M. Eulerian CFD modeling of nozzle geometry effects on ECN Sprays A and D: assessment and analysis. International Journal of Engine Research, 2020, 21.1: 73-88.

[18] 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 Multiph Flow2020;125

[19] Ahmed, A., Duret, B., Reveillon, J., & Demoulin, F. X. (2020). Numerical simulation of cavitation for liquid injection in non-condensable gas. International Journal of Multiphase Flow, 127, 103269

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

[21] Ibrahim, I. A., Farag, T. M., Abdel-baky, M. E., Abd El-samed, A. K., & Gad, H. M. (2020). Experimental study of spray combustion characteristics of air-blast atomizer. Energy Reports, 6, 209-215.

[22] Zhang, Y., Kang, C., GAO, K., & Zhao, H. (2020). Flow and atomization characteristics of a twin-fluid nozzle with internal swirling and self-priming effects. International Journal of Heat and Fluid Flow, 85, 108632.23]] Piscaglia,

[23] Piscaglia, F., Giussani, F., Hèlie, J., Lamarque, N., & Aithal, S. M. (2021). Vortex flow and cavitation in liquid injection: a comparison between high-fidelity CFD simulations and experimental visualizations on transparent nozzle replicas. International Journal of Multiphase Flow, 138, 103605

[24] Sun, H., Luo, Y., Ding, H., Li, J., Song, C., & Liu, X. (2021). Experimental investigation on atomization properties of impaction-pin nozzle using imaging method analysis. Experimental Thermal and Fluid Science, 122, 110322.

[25] 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.

[26] Jin, W., Xiao, J., Ren, H., Li, C., Zheng, Q., & Tong, Z. (2022). Three-dimensional simulation o impinging jet atomization of soft mist inhalers using the hybrid VOF-DPM model. Powder Technology, 407, 117622.

[27] VANKESWARAM, S. K., et al. Evaluation of spray characteristics of aviation biofuels and Jet A-1 from a hybrid airblast atomizer. Experimental Thermal and Fluid Science, 2023, 142: 110820

[28] Ménard ; T, S. Tanguy, and A. BERLEMONT. Coupling level set / VOF / ghost fluid Method Validation 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.

[29] Suhas V. Patankar, « Numerical heat transfer and fluid flow » Edition series in computational methods in mechanics and thermal sciences, 1980.

[30] 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

[31] PHILIPE MARTY cours de transferts thermique cunduction et rayonnement" Université Joseph fourier Grenoble septembre 2001.

[32] YVESJANNOT transfert thermique ecole des mines Nancy 2009

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

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

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

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

[37] Chandra, P. Fauchai Formation of solids platsduring thermal spray deposition.Journal. **[38]** M.Vardelle, A.Vardelle, A.C.Léger, P.Fauchais, D. GobinInfluence of Particle Parameters atImpacton Splat Formationand Solidificationin Plasma Spraying Processes.Journal of Thermal Spray Technology, 4(1), 1995, pp.50-58.

[39] C. W Hirt, B.D. Nichols, « volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free
Référence et bibliographique
boundaries » Journal of Computational Physics 39, 1 (1981), p201-225.
[40] F. Harlow and J.E. Welch, « Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surface » Physics of Fluids 8, 1965, p 2182- 2189,

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

[42] J.E. Pilliod, E.G. Puckett « Calculation of two-phase Navier-stokes flows using phase-field modelling » J. COMPUT. Phys., 199, 2004, p 465-502.

[43] Ménard T. et al. 2006, Numerical jet atomisation. Part I: DNS simulation

of primary breakup, Proceedings of ASME FEDSM, Miami