

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT: GÉNIE MÉCANIQUE
N° :.....



DOMAINE : SCIENCE ET
TECHNOLOGIE
FILIERE : GÉNIE MÉCANIQUE
OPTION : ÉNERGÉTIQUE.

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : CHEIKH KHATRY AHMED

Intitulé

**Simulation d'un moteur à combustion interne
HCCI avec gazole**

Proposé et dirigé par :

Mr. Berkache Amar

Soutenu devant le jury composé de :

Ihaddadene. N	Université : M'sila	Présidente
Berkache. A	Université : M'sila	Encadreur
Belkhiri. K	Université : M'sila	Examinateur
Chine. A	Université : M'sila	Examinateur

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciement

Mes remerciements vont en tout premier lieu à Notre Dieu et Créateur,
pour la vie et pour toutes les grâces qu'Il m'a accordées.

Je tiens à remercier tout d'abord notre encadreur Mr. Berkache Amar
pour son encadrement tout au long de ce travail.

Je remercie également tous les membres de jury, qui nous ont fait
l'honneur d'être présents ce jour.

Je remercie tous les enseignants de département de Génie mécanique
et les personnels administratifs et techniques.

Toutes les personnes qui nous ont aidés.

Sans oublier nos collègues ; les étudiant de 2^{ème} année MASTER
Génie Mécanique .

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail, comme un geste de gratitude.

À celle qui m'a enfanté dans la douleur et la joie, mon symbole d'amour :

Ma très chère mère

À celui qui je chère et j'apprécie fort son soutien continu tout le long de mes études: Mon très cher père.

À Mon grand père et mes frères et sœurs ainsi que toute ma famille.

À mes amis et amies.

TABLE DE MATIÈRE :

Chapitre I : Généralités sur les moteurs à combustion internes	
I.1. Introduction :	1
I.2. Historique du moteur thermique à combustion interne :	1
I.3. Moteur à combustion interne :	2
I.3.1. Principaux éléments de moteur à combustion interne :	2
I.3.2. Le cycle du moteur 4 temps :	4
I.3.3. Principaux cycles du moteur à combustion interne :	5
I.4. Moteurs HCCI:	9
I.5. Conclusion :	11
Chapitre II : le moteur HCCI définition et fonctionnement	
II.1. Introduction :	12
II.2. Moteurs HCCI:	12
II.2.1. Les Avantages :	13
II.2.2. Les Inconvénients :	14
II.3. Contrôle de la combustion :	14
II.3.1. Taux de compression variable :	15
II.3.2. Température d'admission variable :	15
II.3.3. Recirculation des gaz d'échappement :	15
II.3.4. Ouverture variable des soupapes :	15
II.3.5. Puissance :	16
II.3.6. Émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures :	16
II.3.7. Différence avec le cliquetis :	17
II.4. Modélisation de moteur :	17
II.5. Prototypes :	19
II.6. Conclusion :	20
Chapitre III : Thermodynamique et équation de consommation du moteur HCCI	
III.1. Introduction :	21
III.2. Cycle théorique :	21

III.3. Cycle réel :	24
III .4. Le Comburant :	25
III.5. Les carburants :	26
III.5.1. Le gazole :	27
III.5. 2. Les essences :	28
III.5.3. Le GPL (Gaz de Propane Liquéfié) :	29
III.5.4. Le Méthane CH₄ :	29
III.6. Les équations de combustion :	30
II.6.1. La combustion du gazole :	30
III.6. 2. Combustion de l'essence :	31
III.6. 3. Combustion du GPL :	31
III.6. 4.La combustion de méthane :	32
III.7. La comparaison:	32
III.8.Conclusion :	33

Chapitre IV : Simulation d'un moteur HCCI

IV.1. Introduction :	34
IV.2.La combustion du gazole :	34
IV.3.Résultats et conclusions :	34
IV.4.Gambit :	35
IV.4.1. Construction de la géométrie :	35
IV.4.2. Maillage :	36
IV.4.2.1.Choix du type de maillage :	37
IV.4.2.2.Techniques générales de génération du maillage :	38
IV.4.3.Conditions aux limites et définition de domaines :	39
IV.4.4.Importation des coordonnées du modèle HCCI :	39
IV.5.FLUENT :	45
IV.5.1.Importation de la géométrie (.msh)	46
IV.5.2.Modèles:	48
IV.5.3.Les Matériaux :	50
IV.5.4.Solution initiale avec Constant Capacité de chaleur :	54
IV.5.5.Enregistrez le fichier de cas (projet.cas)	55

Chapitre V : Résultats et interprétations

IV.5.6. Contours de pressions :.....	57
IV.5.7. Contours de Température :.....	63

Liste des Figures :

N° de la Figure	Titre de la figure	N° Page
Figure I-1	Moteur HCCI	10
Figure II-1	Cycle quatre temps combustion HCCI	13
Figure III-1	Diagramme théorique (P, V) d'un moteur HCCI	21
Figure III-2	Diagramme réel (P, V) d'un moteur HCCI	25
Figure III-3	Composition détaillée de l'atmosphère	26
Figure IV-1	Lancement du Gambit	35
Figure IV-2	Les opérations pour construire une géométrie	36
Figure IV-3	Maillage structuré et non structuré	38
Figure IV-4	Construction de cylindre de combustion	40
Figure IV-5	Opérations de construction du domaine du calcul	41
Figure IV-6	Maillage de face	42
Figure IV-7	Les opérations pour conditions aux limites	43
Figure IV-8	Enregistrement du fichier dbs	44
Figure IV-9	Enregistrement du fichier mesh	45
Figure IV-10	Démarrage de la version 2ddp du fluent	46
Figure IV-11	Importation de la géométrie	46
Figure IV-12	Vérification du maillage sous fluent	47
Figure IV-13	Lissage du Maillage	48
Figure IV-14	Définition du modèle	49
Figure IV-15	Activer l'équation de l'énergie	49
Figure IV-16	Définition le modèle K-ε turbulence	50
Figure IV-17	Définitions des propriétés de matériaux	51
Figure IV-18	Définitions des propriétés pour l'entrée de l'air	51
Figure IV-19	Variation de vitesse de l'air d'entrée	52
Figure IV-20	Définitions des propriétés pour l'entrée de diesel	53
Figure IV-21	Variation de vitesse de diesel d'entrée	53
Figure IV-22	Initialiser les variables de champ	54
Figure IV-23	Activer le tracé des résidus lors du calcul	55
Figure IV-24	Définition du nombre d'itérations	56

Figure IV-25	Créations des lignes	56
Figure V -1	Définition les propriétés de contours	57
Figure V -2	Contours de pressions	57
Figure V -3	Détermination la variation de pression avec les courbes	58
Figure V -4	Variation de pression X04	58
Figure V -5	Variation de pression X12	59
Figure V -6	Variation de pression X24	60
Figure V -7	Variation de pression X28	60
Figure V -8	Variation de pression X36	61
Figure V -9	Variation de pression pour cinq courbes	62
Figure V -10	Contours de Température	63
Figure V -11	Variation de Température X24	63
Figure V -12	Variation de Température X36	64
Figure V -13	Variation de Température X04 , X24 , X36	64

Liste des tableaux :

Tableau	Titre du tableau	N° de Page
Tableau I.1	Comparatif entre le moteur essence et diesel	9
Tableau III.1	Comparaison entres les carburants	32

Introduction générale :

Depuis son invention et avec le progrès scientifique et technologique d'aujourd'hui l'automobile est devenue parmi les moyens de transport et de loisir les plus utilisés dans le monde.

Cette grande croissance en production d'automobiles suivie toujours d'une grande consommation des carburants pose un problème de l'augmentation de leurs prix, pour cela les constructeurs ont essayé de modifier soit la conception de moteur soit les caractéristiques des carburants.

Il est très connu que les moteurs à combustion interne classiques sont de deux types, à allumage commandé (essence) et à allumage par compression (Diesel),

L'objectif d'un futur concept de moteur est de bénéficier du rendement élevé du moteur à allumage par compression et des émissions polluantes très basses du moteur à allumage commandé, c'est la recherche actuelle avec les moteurs à combustion interne à autoallumage ou bien HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) qui sont le themes de recherche le plus récent.

Dans ce travail on va étudier quelques paramètres d'un moteur HCCI tels que la température et la pression nécessaires pour que l'allumage s'effectue en homogénéité, à l'aide du logiciel de simulation FLUENT.

Chapitre I :

Généralités sur *les moteurs à* *combustion internes*

I.1. Introduction :

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique, ils sont encore appelés les moteurs à combustion interne et sont généralement distingués en deux types . Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle, le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère), c'est le cas des moteurs à essence et diesel. Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors deux sources de chaleur, par exemple dans cette dernière catégorie on trouve les machines à vapeur, le moteur Stirling.

I.2. Historique du moteur thermique à combustion interne :

Le moteur thermique de combustion interne à pistons est très ancien, au moins dans ses principes, c'est une exception faite de la machine à vapeur, il est difficile de trouver actuellement des réalisations techniques aussi près des idées générales conçues il y a un siècle c'est effet en janvier 1862 que le français Alphonse Beau de Rochas, ingénieur de chemin de fer de Provence, obtient un brevet pour le cycle à quatre temps avec compression préalable, universellement appliqué de nos jours. Quelques années plus tard en 1876, l'Allemand N.A.Otto (Nikolaus otto) réalise le premier moteur thermique fonctionnant selon le cycle de Beau de Rochas .Avec les Français Hugon et Lenoir apparait en 1860 le moteur à deux temps à un seul cylindre fait naissance, mais la première application de la compression préalable au cycle deux temps sera due, en 1879, à « Dugald Clerk », les moteurs à combustion interne qui sont alors fabriqués fonctionnent aux gaz des hauts fourneaux ou à l'essence de pétrole avec allumage par étincelle. Un autre type de moteur va naitre des travaux R. Adolphe diesel qui essaie tout d'abord, d'appliquer le cycle de Carnot à la réalisation d'un moteur alimenté en poussière de charbon. Celui-ci est injecté dans une atmosphère portée à une température élevée par compression, et il doit s'enflammer spontanément au fur à mesure de son introduction. Les travaux entrepris par l'inventeur, avec la collaboration des ingénieurs de la « société Krupp », aboutiront en 1897 au moteur diesel tel' qu' on le connaît aujourd'hui , ainsi apparaissent les moteurs à combustion interne à deux temps et à quatre temps, à allumage commandé et à allumage par compression, dont les réalisations successives depuis un siècle, aboutiront aux machines perfectionnées que nous connaissons aujourd'hui.

I.3. Moteur à combustion interne :

Un moteur thermique à combustion interne est un organe transformateur d'énergie. Il permet de convertir l'énergie thermique (produite par la combustion d'un mélange composé d'un carburant associé à un comburant) en énergie mécanique motrice.

Un moteur est dit à combustion interne si la combustion se fait à l'intérieur du moteur. On parle de moteur à combustion externe si l'énergie est transportée par un fluide colporteur à l'extérieur de celle-ci, cas d'une turbine à vapeur par exemple [1].

La production de l'énergie thermique commence par l'injection du carburant pulvérisé très finement qui sera mélangé à l'air pour composer le mélange combustible dans le cylindre. Cette phase constitue l'opération d'admission.

A ce stade de l'introduction dans le cylindre, le mélange gazeux est à faible pression. Si on l'enflammait à ce moment, il ne pourrait fournir la pression nécessaire à produire un travail suffisant, pour cela, il faut au préalable le comprimer : c'est la phase de compression.

Puis, le mélange combustible comprimé est enflammé, ce qui en résulte une pression supplémentaire pouvant pousser le piston qui à son tour fournit transmet la pression en un effort moteur provoquant le mouvement de rotation de l'arbre moteur grâce au mécanisme bielle manivelle. Enfin, pour pouvoir commencer un nouveau cycle, les gaz brûlés sont évacués dans l'atmosphère avant qu'un nouveau mélange frais soit admis dans le cylindre : c'est l'opération d'échappement [2].

I.3.1. Principaux éléments de moteur à combustion interne :

Pour comprendre le fonctionnement d'un moteur "4 temps" il faut connaître les pièces qui le composent.

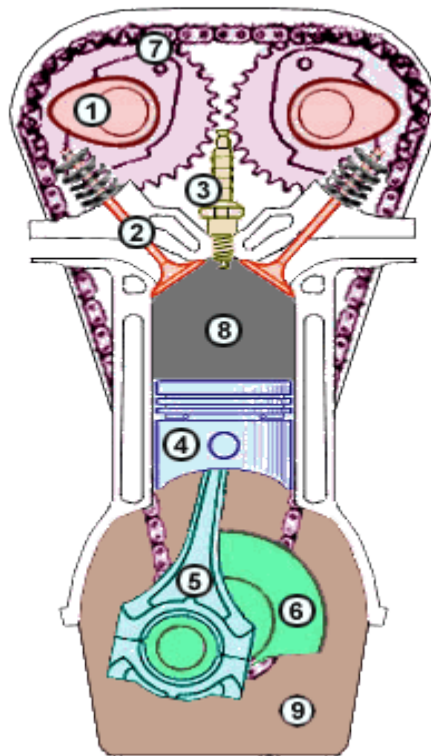


Fig.I.1 : Description du moteur à 4 temps

1. CAME: Monté sur un arbre, cette pièce non circulaire sert à transformer un mouvement rotatif en mouvement de poussé.
2. SOUPAPE: Obturateur mobile maintenu en position fermée par un ressort. Elle s'ouvre momentanément sous la pression de la came.
3. BOUGIE : Elle fait jaillir une étincelle qui met le feu au mélange air/essence, créant une explosion.
4. PISTON: Pièce cylindrique mobile, qui sert à comprimer les gaz en vue d'une explosion, et qui après l'explosion transforme un énergie thermique en énergie mécanique.
5. BIELLE: Tige rigide, articulée à ses deux extrémités. Elle transforme un mouvement linéaire en mouvement rotatif.
6. VILEBREQUIN: Arbre articulé en plusieurs paliers excentrés. Transmet indirectement L'énergie mécanique à la boîte.
7. DISTRIBUTION : Mécanisme de régulation d'entré et de sortie des gaz à travers la chambre de combustion.

8. CHAMBRE DE COMBUSTION: Chambre hermétique où est injecté le mélange air/essence pour y être comprimé, enflammé, et créer une énergie mécanique.

9. LUBRIFICATION : Les pièces situées sous le piston baignent dans l'huile. Cette huile n'est jamais en contact avec le dessus du piston. Elle lubrifie: Vilebrequin, Bielle, Piston, et parfois c'est la même qui lubrifie la boîte de vitesse.

I.3.2. Le cycle du moteur 4 temps :

On appelle cycle l'ensemble des phases qui se succèdent dans le moteur, dans notre cas le cycle comprend quatre phases ou temps :

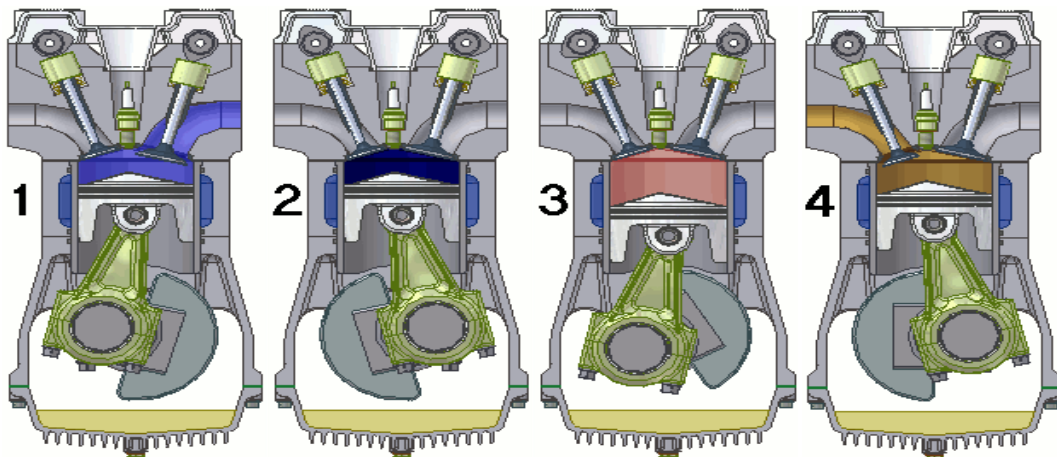


Fig.I.2 : Fonctionnement d'un moteur 4 temps

Etape 1 : L'admission Durant l'admission, la soupape d'échappement est fermée et la soupape d'admission est ouverte. Le piston descend donc il crée une dépression permettant d'aspirer l'air ou du mélange air et carburant .

Etape 2 : La compression : l'air ou du mélange.

Etape 3 : La détente (ou explosion) : inflammation rapide du mélange provoquant une brusque montée en pression des gaz puis leur détente.

Etape 4: L'échappement : La soupape d'échappement s'ouvre et le piston en remontant va pousser devant lui les gaz brûlés qui s'échappent par cet seul orifice.

I.3.3. Principaux cycles du moteur à combustion interne :

Les deux principaux cycles du moteur à combustion interne peuvent être résumés de la manière suivante:

- Cycle de BEAU DE ROCHAS (cycle à apport de chaleur à volume constant) utilisé dans les moteurs à allumage commandés (Moteurs à essence).
- Cycle diesel pur (cycle à apport de chaleur à pression constante) concerne les moteurs à allumage par compression.

I.3.3.1. Moteurs thermiques à explosion ou à allumage commandé (Moteurs à essence) :

Un moteur à allumage commandé, plus communément appelé moteur à essence en raison du type de carburant le plus fréquemment utilisé, est une famille de moteur à combustion interne, pouvant être à mouvement alternatif (à deux ou quatre temps) ou plus rarement à mouvement rotatif (comme le moteur Wankel).

L'ingénieur belge Étienne Lenoir fabrique en 1860 le premier moteur à allumage commandé. C'est un moteur à deux temps, de rendement très médiocre, mais qu'il fabriquera à quelque quatre cents exemplaires ce qui fera de lui le premier industriel de cette technique de l'allumage commandé. Le physicien Beau de Rochas théorise en 1862 la thermodynamique des moteurs à quatre temps, mais il faut attendre 1872 pour que l'Allemand Nikolaus Otto devienne le premier ingénieur à en concevoir un, commençant ainsi une longue série d'innovations.

Contrairement au moteur Diesel, le mélange combustible d'un moteur à allumage commandé n'est pas censé s'enflammer spontanément lors du fonctionnement, mais sous l'action d'une étincelle provoquée par la bougie d'allumage. Il est donc équipé d'un système complet d'allumage, composé d'une bougie, provoquant l'arc électrique enflammant les gaz dans la chambre de combustion, d'une bobine servant à produire les hautes tensions nécessaires à la création de l'étincelle et d'un système de commande de l'allumage (rupteur ou système électronique).

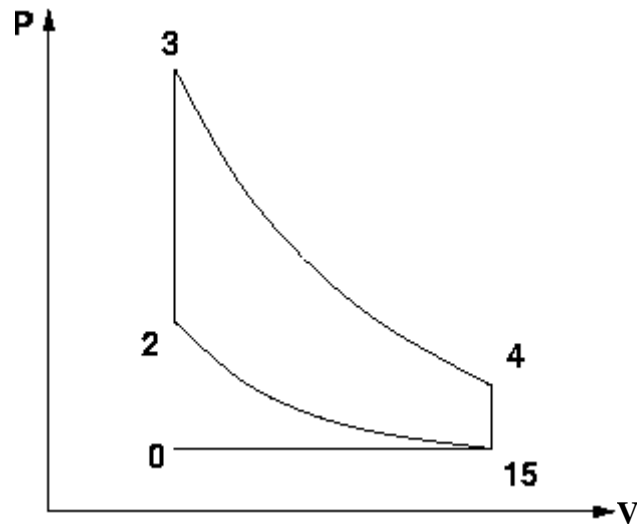


Fig. I.3: Cycle de BEAU DE ROCHAS (cycle à apport de chaleur à volume constant)

Ce cycle est caractérisé par quatre temps :

Admission : Le cycle commence au point mort haut. La soupape d'échappement est fermée, la soupape d'admission est ouverte, le piston descend, un mélange d'air et de carburant venant du carburateur ou de l'injection est aspiré dans le cylindre.

Compression : La soupape d'échappement reste fermée, la soupape d'admission se referme, le piston remonte comprimant le mélange admis.

Combustion-Détente : Les deux soupapes restent fermées. Aux environs du deuxième point mort haut, le mélange air-carburant est enflammé, habituellement par une bougie d'allumage. La combustion du mélange air-carburant provoque une forte augmentation de la pression dans le cylindre, ainsi l'expansion des gaz force le piston à descendre.

Échappement : La soupape d'échappement s'ouvre pour évacuer les gaz brûlés poussés par la remontée du piston.

- L'**admission** est modélisée par une isobare 0-1.
- La **compression** 1-2 est supposée adiabatique.
- La **combustion** se déroule à volume constant sur 2-3, la **détente** 3-4 est adiabatique.
- L'ouverture de la soupape est modélisée par l'isochore 4-5, et l'**échappement** par l'isobare 5-0.

I.3.3.2.Moteurs thermiques à allumage par compression (moteur diesel) :

Le moteur diesel est similaire au moteur à essence utilisé dans la plupart des voitures. Les deux moteurs sont des moteurs à combustion, ce qui signifie qu'ils brûlent le mélange carburant-oxygène à l'intérieur des cylindres. Ce sont tous les deux des moteurs alternatifs, entraînés par les pistons en mouvement latéral dans deux directions. La majorité de leurs pièces détachées sont similaires.

Bien qu'un moteur diesel et un moteur à essence fonctionnent avec des composants similaires, lorsque le moteur diesel est comparé au moteur carburant de puissance équivalente, il est plus lourd en raison des matériaux plus solides utilisés pour supporter des forces dynamiques plus importantes. La pression de combustion plus importante est le résultat du taux de compression plus élevé utilisé par les moteurs diesel. Le taux de compression mesure à quel point le moteur comprime les gaz dans le cylindre du moteur. Dans un moteur à essence, le taux de compression (qui contrôle la température de compression) est limité par le mélange air-essence pénétrant dans les cylindres. La température d'allumage plus basse du carburant allumera le moteur (brûler) à un taux de compression inférieur à 10,1. Le taux de compression d'une voiture moyenne est de 7,1. Dans un moteur diesel, les taux de compression sont généralement compris entre 14,1 et 24,1. Les taux de compression élevés sont possibles car seul l'air est comprimé et ensuite le carburant est injecté. C'est l'un des facteurs qui permet au moteur diesel d'être aussi efficace. Le taux de compression sera abordé plus en détail à la fin de cette section. La vitesse de rotation (RPM) du moteur diesel est limitée par la quantité de carburant injectée dans les cylindres du moteur. Par conséquent, le moteur aura toujours assez d'oxygène à brûler et le moteur essaiera d'accélérer pour respecter le nouveau taux d'injection du carburant. C'est pour cette raison qu'une régulation manuelle du carburant n'est pas possible, car ces moteurs peuvent accélérer au taux de plus de 2000 tours par seconde à vide. Les moteurs diesel exigent un limiteur de vitesse, communément appelé le régulateur, pour contrôler la quantité de carburant injectée dans le moteur [3].

Contrairement au moteur à essence, un moteur diesel ne nécessite pas de système d'allumage. En effet, dans un moteur diesel, le carburant est injecté dans le cylindre lorsque le piston arrive au maximum de sa course de compression. Lorsque le carburant est injecté, il s'évapore et s'enflamme en raison de la chaleur créée par la compression de l'air dans le cylindre.

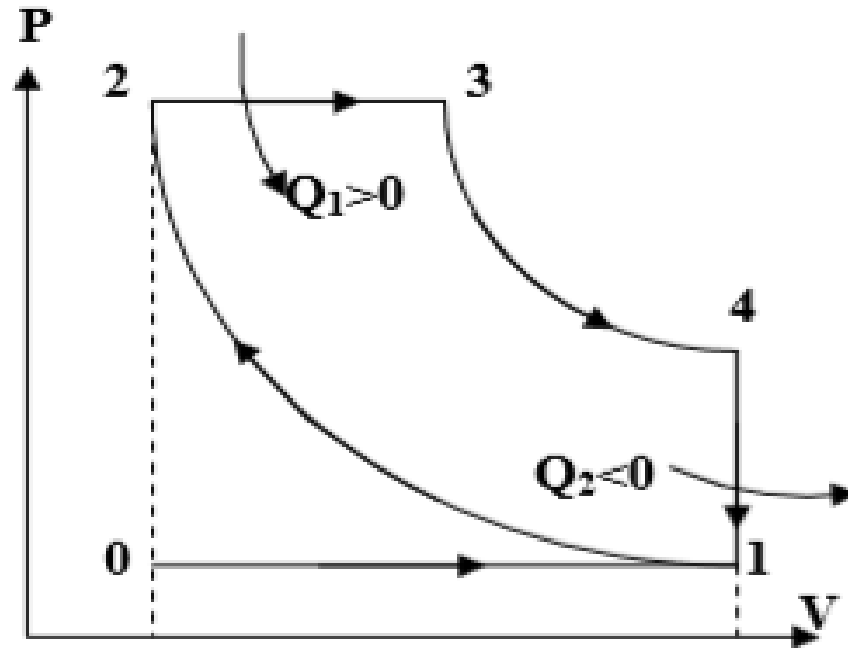


Fig.I.4 : Cycle diesel pur (combustion à pression constante)

le cycle Diesel se décompose aussi en quatre temps :

Admission d'air par l'ouverture de la soupape d'admission et la descente du piston

Compression de l'air par remontée du piston, la soupape d'admission étant fermée .

Combustion-Détente : peu avant le point mort haut on introduit, par une injection, le carburant qui se mêle à l'air comprimé. La combustion rapide qui s'ensuit constitue le temps moteur : les gaz chauds repoussent le piston, libérant une partie de leur énergie.

Échappement : des gaz brûlés par l'ouverture de la soupape d'échappement, poussés par la remontée du piston. La spécificité du Diesel tient à son auto-inflammation dans la chambre

- **Admission 0—1** d'air (descente du piston)
- **Compression 1—2** de l'air.
- **Combustion** se déroule à pression constant sur 2-3, la détente 3-4 est adiabatique.
- **Échappement 4—1** des gaz brûlés par l'ouverture de la soupape d'échappement [4].

I.3.3.3. Tableau comparatif entre le moteur essence et diesel :

Tableau. I.1 : comparatif entre le moteur essence et diesel

	DIESEL	ESSENCE
Taux de compression	30 à 1	12 à 1
Admission	Uniquement de l'AIR	Air + essence
Combustion/Détente	Auto inflammation	Provoquée par bougie d'allumage
Durée de la combustion	Durée de la combustion = durée de l'injection	La combustion ne dure que le temps où l'étincelle de la bougie enflamme le mélange et que ce mélange soit consommé
Volume de la combustion	Combustion à volume variable et à pression constante (l'injection continue pendant la poussée du piston)	Combustion à volume constant et à pression variable (qui s'estompe au fur et à mesure que le mélange brûle et que le piston descend)

I.4. Moteurs HCCI:

Le moteur (Homogeneous Charge Compression Ignition) ou HCCI, est un type de moteur à combustion interne dans lequel le mélange air-carburant est mélangé de la manière la plus homogène envisageable (comme dans les moteurs à essence) et est comprimé assez fortement pour atteindre le point d'auto-allumage.

Comme dans d'autres types de combustion, la réaction exothermique dégage de l'énergie transmise au moteur sous forme de travail et de chaleur. Le moteur HCCI a des Caractéristiques issues des deux types de combustion les plus connues : l'allumage commandé (par une ou plusieurs bougies) d'une charge homogène étant utilisée dans les moteurs à essence alors que l'auto-allumage d'une charge stratifiée est utilisée dans les moteurs Diesel. Comme dans les moteurs à allumage commandé d'une charge homogène, le carburant et l'oxydant (en général l'air) sont mélangés de manière homogène. Néanmoins, plutôt que d'utiliser une étincelle d'origine électrique pour enflammer un point du mélange, le mélange est comprimé pour atteindre une température et une densité assez haute pour que le mélange s'enflamme entièrement et spontanément. Les moteurs à charge stratifiée fonctionnent selon le même principe de compression mais la différence est que la combustion démarre aux frontières entre l'air et le carburant injecté mais non vaporisé. La combustion dans le moteur HCCI commence à plusieurs lieu à la fois, ce qui résulte en une

combustion de tout le mélange air-carburant presque simultanée, il n'y a pas d'initiateur direct de la combustion. Le moteur présente dans ce cas plus de difficulté de contrôle de la combustion. Pourtant, les progrès des microprocesseurs et la meilleure compréhension physique des phénomènes de combustion permettent ce contrôle au point d'arriver à des émissions polluantes semblables à un moteur à essence, tout en ayant l'efficacité plus élevée d'un moteur Diesel. En effet, les moteurs HCCI permettent d'arriver à des émissions de NO_x extrêmement faibles sans traitement post-combustion (par exemple grâce à un pot catalytique). Les hydrocarbures non-brûlés et le monoxyde de carbone émis restent à des niveaux élevés à cause du pic de température de combustion plus bas ; ces émissions doivent toujours être post-traitées pour garantir des émissions en-deça des normes en vigueur fixées par les autorités [5].

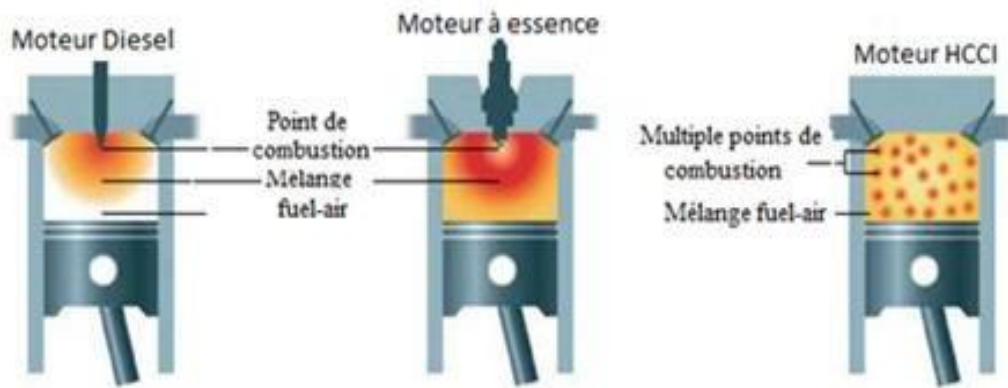


Fig.I.1 : Moteur HCCI

I.5. Conclusion :

De nos jours, la fabrication des moteurs à combustion interne doit satisfaire à plusieurs exigences techniques, principalement, le bon rendement et l'écologie.

Le moteur HCCI utilisant présente de nos jours la variante la plus écologique devant l'essence et le diesel, La combustion dans les moteurs HCCI est fortement contrôlée par des conditions initiales de pression et de température ainsi que de la cinétique chimique d'oxydation du carburant.

Chapitre II :

le moteur HCCI

définition et fonctionnement

II.1. Introduction :

Le moteur HCCI qui présente l'avantage d'être écologique par rapport aux deux types de moteurs conventionnels (à essence et à diesel), doit aussi réunir les meilleures qualités de fonctionnement. En effet, le moteur HCCI de principe la combustion interne du mélange carburant- air n'utilise pas d'électrode pour l'allumage mais il utilise le principe de la combustion du moteur diesel dont l'allumage aura lieu à la pression nécessaire obtenue lors de la compression du mélange gazeux.

II.2.Moteurs HCCI:

Le moteur (Homogeneous Charge Compression Ignition) ou HCCI, est un type de moteur à combustion interne dans lequel le mélange air-carburant est mélangé de la manière la plus homogène envisageable (comme dans les moteurs à essence) et est comprimé assez fortement pour atteindre le point d'auto-allumage. Comme dans d'autres types de combustion, la réaction exothermique dégage de l'énergie transmise au moteur sous forme de travail et de chaleur. Le moteur HCCI a des caractéristiques issues des deux types de combustion les plus connues : l'allumage commandé (par une ou plusieurs bougies) d'une charge homogène étant utilisée dans les moteurs à essence alors que l'auto-allumage d'une charge stratifiée est utilisée dans les moteurs Diesel. Comme dans les moteurs à allumage commandé d'une charge homogène, le carburant et l'oxydant (en général l'air) sont mélangés de manière homogène. Néanmoins, plutôt que d'utiliser une étincelle d'origine électrique pour enflammer un point du mélange, le mélange est comprimé pour atteindre une température et une densité assez haute pour que le mélange s'enflamme entièrement et spontanément. Les moteurs à charge stratifiée fonctionnent selon le même principe de compression mais la différence est que la combustion démarre aux frontières entre l'air et le carburant injecté mais non vaporisé. La combustion HCCI est un mode de combustion qui se développe rapidement. Les faibles taux d'émissions polluantes combinés à une économie en carburant, atouts indéniables pour faire face à une hausse du prix de l'énergie fossile et des normes antipollution de plus en plus sévères, ont rendu ce mode de combustion très prometteur. Le processus de combustion HCCI, comme l'a constaté Najt et Foster (1983), est un procédé de combustion où le carburant et l'air sont pré-mélangé et comprimé dans la chambre de combustion avant que l'inflammation se produise de manière relativement uniforme dans toute la chambre de combustion. Ceci diffère de l'allumage commandé du fait de l'absence d'un initiateur de la

combustion et diffère de l'allumage par compression car il n'y a pas d'injection de carburant dans la chambre de combustion.

II.3.Principe de fonctionnement du moteur HCCI :

Les moteurs HCCI fonctionnent selon le même cycle 4 temps des moteurs conventionnels à allumage commandé et à allumage par compression. Le temps d'admission est utilisé pour introduire de l'air frais et du carburant dans le cylindre pour obtenir un mélange homogène. Le temps de compression amorce la phase fermée du cycle. Le mélange commence sa compression par la montée du piston, ce qui augmente la température et la pression du mélange. Le mélange atteint les conditions d'auto-allumage quand le piston s'approche du point mort haut. Aux conditions d'auto-allumage, le carburant s'enflamme pour libérer son énergie chimique. L'inflammation du mélange augmente davantage la température et la pression dans le cylindre. Au cours de la détente, un travail est appliqué au piston pour produire un couple sur le vilebrequin. Le cycle se termine par une remontée du piston pour chasser les produits de combustion du cylindre, c'est le temps d'échappement.

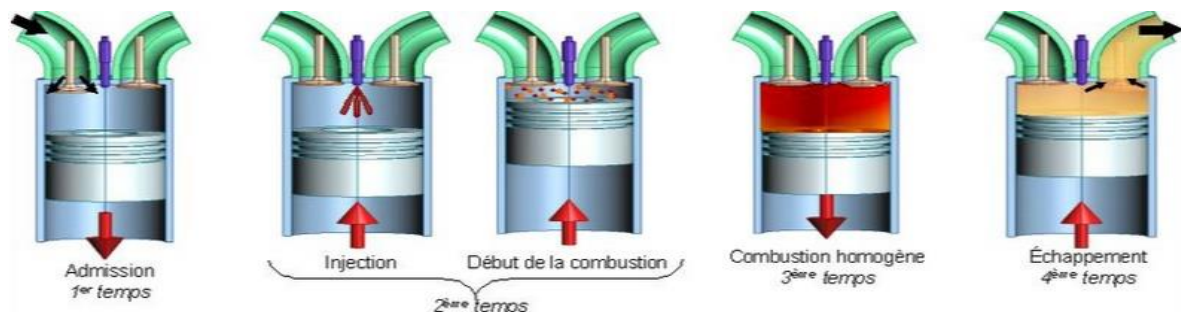


Fig.II.1 : Cycle quatre temps combustion HCCI

II.2.1.Les Avantages :

- Le moteur HCCI est plus proche du cycle de Beau de Rochas idéal que le moteur à allumage commandé.

- Le mélange pauvre implique un rendement plus élevé que dans le moteur à allumage commandé.
- La charge homogène mène à des émissions de polluants moins élevées, les émissions de NOx sont négligeables.
- L'absence de papillon évite les pertes de vannage (ou pertes par pompage).

II.2.2. Les Inconvénients :

- Les pics de pression sont élevés.
- il est difficile de contrôler la combustion.
- l'énergie est dissipée dans un temps très court.
- la puissance disponible est limitée.

II.3. Contrôle de la combustion :

Dans l'objectif d'une commercialisation, le contrôle précis de la combustion dans un moteur HCCI est d'une importance majeure mais ce contrôle est plus malaisé que celui d'une combustion classique.

Dans un moteur à essence, on utilise une étincelle pour enflammer le mélange air-carburant. Dans un moteur diesel, la combustion débute lorsque le carburant est injecté dans l'air comprimé. Dans les deux cas, la combustion est contrôlée précisément dans le temps. Au contraire, dans un moteur HCCI, la combustion débute lorsque les conditions de densité et de température du mélange sont atteintes et il n'y a pas d'évènement initiateur contrôlable précisément. La conception du moteur peut être faite avec pour objectif un début de combustion à un temps précis, mais ceci n'est possible que pour un point de fonctionnement particulier du moteur, ce qui n'est pas compatible avec la volonté d'un conducteur qui souhaiterait pouvoir choisir le couple développé par le moteur, au travers de son action sur la pédale d'accélérateur.

Afin d'arriver à contrôler le moteur HCCI de manière dynamique, c'est-à-dire de pouvoir choisir le couple développé par le moteur, le système de contrôle du moteur doit pouvoir changer les conditions qui initient la combustion ; cela se fait grâce au contrôle du taux de compression, de la température et de la pression des gaz admis et de la quantité de gaz recirculés.

Plusieurs approches ont été étudiées pour contrôler ces paramètres.

II.3.1. Taux de compression variable :

Plusieurs solutions existent pour faire varier le taux de compression géométrique et le taux de compression effectif. Le taux de compression géométrique peut être changé avec un piston mobile en tête de cylindre (le taux de compression devient variable, longueur bielle variable, mais la cylindrée reste constante, la course étant définie par la forme du vilebrequin). Tandis que le taux de compression effectif peut être réduit ou augmenté par rapport au taux de compression moyen en fermant plus tôt ou plus tard les soupapes d'admission grâce à des actionneurs de soupapes à calage et/ou à levée variable (distribution variable permettant entre autres un fonctionnement en cycle d'Atkinson). Ces deux solutions sont assez consommatrices en énergie et sont de plus assez chères à mettre en œuvre (ces deux inconvénients ayant disparu pour la seconde solution, la distribution variable étant désormais parfaitement au point). Une troisième solution développée depuis peu par la société lyonnaise MCE-5 (de l'anglais « Multi Cycle Engine - 5 parameters ») apporte une réponse élégante et efficace à ce problème (en outre, grâce à sa nouvelle bielle, plusieurs défauts inhérents à celle-ci disparaissent).

II.3.2. Température d'admission variable :

Cette technique est aussi appelée gestion thermique rapide (fast thermal management en anglais) et est réalisée en faisant varier la température des gaz admis d'un cycle à l'autre. Cette solution est aussi coûteuse.

II.3.3. Recirculation des gaz d'échappement :

Les gaz d'échappement peuvent être très chauds s'ils sont retenus à l'intérieur du cylindre ou refroidis s'ils passent par le collecteur d'admission comme dans les systèmes EGR conventionnels. Les gaz d'échappement ont deux effets majeurs sur la combustion dans un moteur HCCI : d'une part, ils diluent le mélange admis, retardant l'allumage, d'autre part, ils absorbent une partie de la chaleur émise lors de la combustion. Au contraire, une combustion avec des gaz non refroidis augmentera la température des gaz dans le cylindre et l'allumage se produira plus tôt.

II.3.4. Ouverture variable des soupapes :

Cette solution permet non seulement de contrôler le taux de compression mais aussi le taux

de gaz d'échappement recirculés.

Néanmoins, cette solution est techniquement complexe et matériellement coûteuse (cf. section Taux de compression variable précédent).

II.3.5.Puissance :

Dans un moteur à essence, la puissance peut être augmentée en admettant plus de mélange air-essence. Dans un moteur Diesel, l'augmentation du volume de gazole injecté a le même effet. Ces moteurs supportent une augmentation de puissance car la dissipation de chaleur est relativement lente. Dans un moteur HCCI, comme le mélange brûle d'un coup, augmenter la richesse aura pour effet de provoquer des pics de pression et de chaleur plus élevés. Augmenter la richesse offre aussi un risque plus élevé de cliquetis. De plus, la plupart des contrôles viables de ces moteurs nécessite le préchauffage du mélange, ce qui réduit sa densité et donc la masse de mélange dans le cylindre, ce qui réduit la puissance développée. Ces différents facteurs font que l'augmentation de la puissance dans les moteurs HCCI est difficile et l'objet de nombreuses études.

Une manière d'augmenter la puissance est d'utiliser plusieurs types de carburant. Cela a pour effet de diminuer le pic de chaleur et de pression et permet alors d'augmenter la richesse. Une autre solution est de stratifier la charge thermiquement afin que toutes les zones dans le cylindre n'aient pas la même température et donc ne s'enflamment pas au même instant. Cela permettrait de faire fonctionner le moteur à pleine charge ou presque comme les moteurs classiques. De nombreuses recherches ont lieu à ce sujet.

II.3.6.Émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures :

Du fait que les moteurs HCCI fonctionnent en mélange pauvre, le pic de température de combustion est plus faible que sur les moteurs classiques. Cela a pour avantage de diminuer la formation de NO_x mais mène aussi à une combustion incomplète du carburant, plus spécifiquement dans les zones proches des parois de la chambre de combustion et donc les émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures non-brûlés sont plus élevées. Une catalyse oxydante serait alors possible pour se débarrasser de ces polluants car le taux d'oxygène dans les gaz d'échappement est élevé (tout l'oxygène n'est pas consommé lors de la combustion en mélange pauvre).

II.3.7. Différence avec le cliquetis :

Le cliquetis est aussi appelé en des termes moins précis détonation, auto-allumage, cognement...

Le cliquetis est avant tout un phénomène de combustion anormale dans les moteurs à allumage commandé, perceptible extérieurement par un bruit métallique venant du moteur. Il résulte de l'apparition d'ondes de choc dans la chambre de combustion, très probablement initiées par une auto-inflammation des gaz non encore brûlés (gaz frais). Ce phénomène n'est pas une détonation au sens strict du terme mais il s'y apparente ce qui explique l'appellation « détonation » dans l'usage anglo-saxon. Ce phénomène est destructeur, surtout à haut régime moteur, et doit être évité par la conception du moteur, et doit être évité par la conception du moteur (limitation du taux de compression et de l'avance à l'allumage) et par le choix d'un carburant ayant un indice d'octane suffisant. Le cliquetis est le plus souvent évalué à l'oreille, ce qui permet de le qualifier de manière subjective. On parle de cliquetis naissant lorsque, en modifiant un paramètre (avance à l'allumage par exemple), on perçoit les premiers indices du cliquetis. Des méthodes plus objectives, basées par exemple sur l'analyse des fluctuations de la pression dans le cylindre du moteur, permettent de définir des intensités de cliquetis [7].

Dans les moteurs HCCI, le mélange étant homogène, les réactifs s'enflamment entièrement simultanément ; il n'y a donc pas de problème de cliquetis car il n'y a pas plusieurs ondes de choc dans la chambre de combustion. Ceci n'est pas nécessairement vrai à forte charge.

II.4. Modélisation de moteur :

Durant ces dernières années plusieurs travaux de recherches ont été menés pour prédire l'allumage dans les moteurs à charge homogène (HCCI) à différentes conditions de fonctionnement. Les modèles utilisés dans la simulation sont généralement zéro dimensionnel.

avec une ou plusieurs zones. Tandis que certains codes de calcul simulent seulement la phase de compression et de combustion sans tenir compte des échanges de chaleur à travers les parois, d'autres codes tiennent compte des échanges de chaleurs aux parois et les transferts de masse et chaleur à travers les orifices d'admission et d'échappement par l'utilisation combinée de plusieurs programmes de calcul tels que SENKIN et BOOST. Dans ce

programme de simulation du cycle de fonctionnement complet du moteur HCCI, tous les phénomènes se produisant dans un moteur à combustion interne sont pris en compte pour une meilleure compréhension de l'effet conjugué de ces phénomènes sur l'allumage et les performances des moteurs HCCI.

De plus, la simulation est réalisée sur plusieurs cycles de calcul pour vérifier la périodicité des paramètres thermodynamiques. En effet, une simulation faite sur un seul cycle ne peut plus reproduire des conditions à la fin du cycle similaires à celles prises au début du cycle. Dans certains cas extrêmes on peut observer un allumage au premier cycle et une extinction au second cycle à cause des conditions défavorables à l'allumage.

Le programme de calcul développé constitue un outil de simulation du cycle complet et de prédiction des performances du moteur HCCI à différentes conditions de fonctionnement. La simulation numérique basée sur un modèle à zéro dimension considère la variation de la masse, de l'énergie et des espèces durant les différentes phases du cycle. Le transfert de masse à travers les soupapes d'admission et d'échappement est modélisé en utilisant le modèle quasi stationnaire de vidange d'un réservoir. Pour tenir compte des particularités du moteur HCCI, le transfert de chaleur à travers les parois du cylindre est modélisé en utilisant la corrélation de Hohenberg.

La combustion dans les moteurs HCCI est fortement contrôlée par la cinétique chimique d'oxydation du carburant ainsi que des conditions initiales en début de compression et des conditions aux limites sur les parois du cylindre. Plusieurs modèles cinétiques de combustion des combustibles de référence existent dans la littérature scientifique, ces mécanismes réactionnels d'oxydation sont soit réduits ou complets. Les mécanismes réduits de cinétique chimique d'oxydation des combustibles primaires de référence sont les mieux adaptés pour la simulation numérique des cycles de fonctionnement des moteurs HCCI à cause des temps de calcul raisonnables obtenus sur les ordinateurs personnels. Le mécanisme réactionnel réduit d'oxydation des mélanges d'isooctane et d'heptane développé par TANAKA & al [2003] est très adapté pour la simulation numérique de la combustion d'une essence de remplacement ayant des caractéristiques proches de l'essence réelle. Ce mécanisme est composé de 60 réactions et de 40 espèces.

Bien que les moteurs HCCI regroupent les avantages des moteurs à allumage par compression et les moteurs à allumage commandés, il reste néanmoins certains problèmes à surmonter tel que le problème du contrôle de l'allumage et le démarrage à froid. La variation des de

fonctionnement du moteur influe grandement sur l'auto allumage de ce type de moteur. L'état thermodynamique du mélange (température, pression et composition du mélange) en début de compression et les températures de parois doivent être connus pour pouvoir déterminer avec exactitude le moment et la durée de l'auto inflammation ainsi que le taux de dégagement de chaleur. Le choix de certaines conditions initiales peut engendrer dans certains cas soit à des ratés d'allumage, soit un fonctionnement détonnant à forte charge ou soit à un mélange partiellement brûlé. Le contrôle des conditions initiales en début de compression et des conditions aux limites aux parois du cylindre et des conditions aux collecteurs d'admission et d'échappement peut engendrer un allumage au voisinage du PMH et des performances accrues du moteur. Le moteur à taux de compression variable et la distribution variable (croisement négatif de soupapes) constituent des techniques efficaces de contrôle de l'allumage [6].

II.5.Prototypes :

En 2017, aucun moteur HCCI n'avait été produit à l'échelle commerciale. Cependant, plusieurs constructeurs automobiles avaient des prototypes HCCI fonctionnels.

- La motocyclette Honda EXP-2 de 1994 utilisait "ARC-combustion". Cela a eu un moteur à deux temps utilise une soupape d'échappement pour imiter le mode HCCI. Honda a vendu un CRM 250 AR.
- Mercedes-Benz a mis au point un prototype de moteur appelé DiesOtto, à auto-allumage contrôlé. Il était exposé dans son concept car F 700 au salon de l'automobile de Francfort en 2007.
- En octobre 2005, le Wall Street Journal signalait que Honda développait un moteur HCCI dans le cadre de sa volonté de produire une voiture hybride de nouvelle génération.
- Le SkyActiv-G Generation 2 de Mazda a un taux de compression de 18: 1 pour permettre l'utilisation de la combustion HCCI. Un modèle de moteur appelé SKYACTIV-X a été annoncé par Mazda en août 2017 comme une avancée majeure dans la technologie moteur.
- En novembre 2011, Hyundai a annoncé le développement du moteur GDCI (allumage par compression-allumage par injection directe d'essence) en association avec Delphi Automotive.

À ce jour, peu de prototypes de moteurs fonctionnent en mode HCCI, mais les recherches menées par HCCI ont permis de faire progresser le développement des carburants et des moteurs.

II.6.Conclusion :

Le moteur HCCI sont des moteurs qui offrent la possibilité d'un réglage préalable pour limiter les températures de combustion, et prévoir les couples et puissance à obtenir à travers la combustion HCCI. En effet ce type de moteur permet la variation de la température et pression de combustion en agissant par exemple soit sur les températures initiales, ou le taux de compression ou la concentration du carburant en réglant le débit et la température du volume d'air en admission. Cependant, la combustion qui se fait en une seule fois et simultanément provoque souvent une forte pression qui implique une meilleur protection de la chambre de combustion dans les moteurs HCCI. C'est pourquoi les moteurs HCCI sont souvent plus lourds que leurs homologues à essence et diesel.

Chapitre III :

Thermodynamique

et équation

de consommation

du moteur HCCI

III.1. Introduction :

L'allumage sous haute pression du moteur HCCI est avantageux par rapport au diesel en matière de consommation avec un meilleur rendement. Ceci présente la conséquence directe d'une réduction des émissions nocives polluantes. Pour réduire les émissions en CO_2 , il faut plutôt agir sur le type de fuel qui assure par sa combustion le travail nécessaire.

III.2. Cycle théorique :

L'évolution des pressions dans la chambre de combustion en fonction du volume du cycle Beau de Rochas se représente dans un diagramme (p, v) (Fig.III.3).

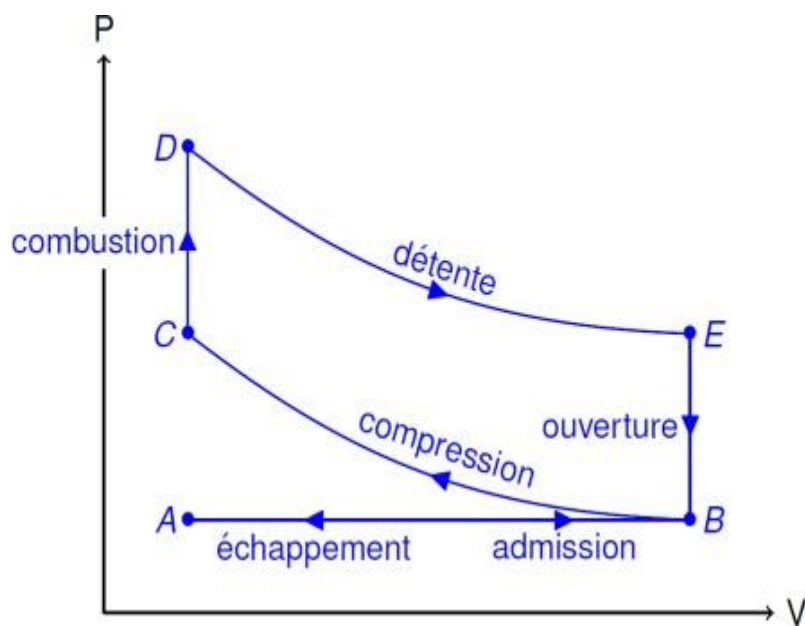


Fig.III.1 : diagramme théorique (P, V) d'un moteur HCCI

A→B: Aspiration du gaz à la pression atmosphérique dans le cylindre le long de la droite isobare. AB ($P_A = P_B$).

B→C : Compression adiabatique (sans échange de chaleur avec les parois du moteur) BC jusqu'au volume minimal V_1 , la pression devenant : P_1 .

C→D : Combustion instantanée du gaz à volume constant le long de la droite isochore CD

avec une forte élévation de température jusqu'à T_2 et de la pression jusqu'à P_2 .

D→E : Détente du gaz chaud le long de l'adiabatique DE qui ramène le volume à V_2 , mais à une pression P_3 supérieure à celle de l'atmosphère.

E→B : Détente théorique des gaz dans le cylindre donc la pression tombe instantanément à la pression atmosphérique le long de l'isochore EB, la température redescend.

B→A : Echappement des gaz brûlés en décrivant l'isobare BA Retour au point de départ A.

Le cycle Beau de Rochas a été conçu pour un moteur tel que l'entrée et la sortie des gaz se fassent par des orifices à soupapes placés à l'extrémité fermée d'un cylindre dont l'autre extrémité est constituée par la tête du piston.

Toutefois, il est appliqué dans d'autres configurations géométriques de moteurs, par exemple le moteur rotatif [8].

$$PV^\gamma = Cte \Rightarrow P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = \left(\frac{V_1 + v}{v} \right)^\gamma \quad (\text{III. 1})$$

On pose : rapport volumétrique de compression

$$\varepsilon = \frac{V_1 + v}{v}$$

$$TV^{\gamma-1} = Cte \Rightarrow T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \varepsilon^{\gamma-1} \quad (\text{III. 2})$$

Soit :

$$\begin{cases} \frac{P_2}{P_1} = \varepsilon^\gamma \\ \frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{\gamma-1} \end{cases}$$

C→D : Combustion à volume constant (explosion).

Apport de chaleur par combustion de la masse m_c en présence de l'oxygène de masse m_a .

$$Q_1 = (m_a + m_c) c_v (T_3 - T_2) = m_c \cdot p_{ci} \quad (\text{III. 3})$$

Avec :

m_a : Masse d'air.

m_c : Masse du carburant.

P_{ci} : Pouvoir calorifique du carburant.

D → E : Détente adiabatique des gaz. (Temps moteur)

Les gaz chauds à une pression de (40 à 60) bars repoussent le piston, vers le point mort bas (**PMB**) initiant le mouvement :

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \varepsilon^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \varepsilon^{\gamma-1} \quad (\text{III. 4})$$

E → B : Echappement des gaz brûlés, Remontée du piston vers le point mort haut (PMH) en chassant les gaz brûlés détendus dans le collecteur d'échappement avec dégagement de chaleur **Q₂**.

$$Q_2 = (m_a + m_c) c_v (T_1 - T_4) = m_c \cdot p_{ci} \quad (\text{III. 5})$$

Rendement théorique du cycle de Beau de Rochas :

$$\eta_{th} = \frac{W_e}{Q_1} = -\frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{(m_a + m_c) c_v (T_1 - T_4)}{(m_a + m_c) c_v (T_3 - T_2)}$$

Soit :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \text{Or} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow T_4 = \frac{T_1 T_3}{T_2}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\frac{T_1 T_3}{T_2} - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 T_3 - T_1 T_2}{T_2 (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 (T_3 - T_2)}{T_2 (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Donc :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \quad (\text{III. 6})$$

III.3. Cycle réel :

La première réalisation pratique d'un moteur à piston a été réussie par Otto chez Deutz a Cologne en 1876. Sur ce moteur, l'évolution de la pression relevée ne correspondait pas exactement au cycle théorique et le rendement en était très inférieur (Fig.III.4) et cela pour les raisons suivantes :

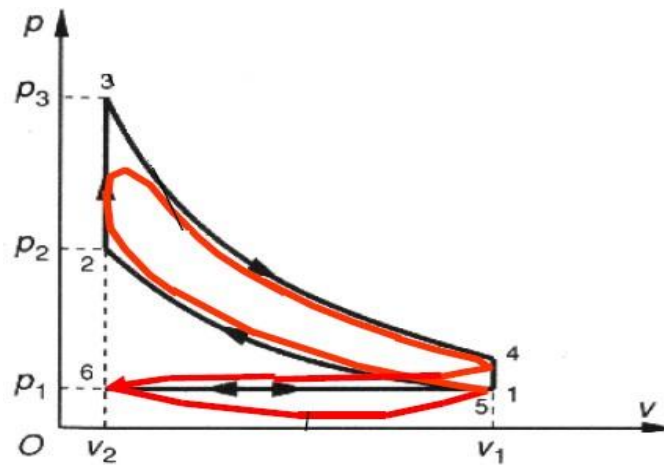


Fig.III.2 : diagramme réel (P, V) d'un moteur HCCI

Admission :

l'inertie des gaz augmentant avec la vitesse de rotation du moteur est responsable du remplissage incomplet du cylindre.

Compression :

La compression n'est pas adiabatique. Du fait de la communication de la chaleur aux parois, la pression des gaz s'élève moins vite que dans la loi adiabatique.

Combustion :

La combustion du mélange air/essence n'est pas instantanée au PMH d'où une zone de combustion arrondie sur le diagramme.

Détente :

La détente des gaz brulés n'est pas adiabatique car les gaz cèdent une partie de leur chaleur aux parois.

Echappement :

En fin de détente, la pression des gaz est nettement supérieure à la pression atmosphérique.

III .4. Le Comburant :

Un comburant est une substance chimique qui a pour propriété de permettre la combustion

d'un combustible. Un mélange approprié de comburant et de combustible peut entraîner une combustion, un incendie en présence d'une source d'ignition (étincelle, point chaud, flamme, etc.), le comburant étant l'un des trois éléments du triangle du feu.

L'air est un mélange de gaz : ce n'est pas un corps pur, L'air est composé de 21% de dioxygène, de 78% de diazote et de 1% d'autres gaz .

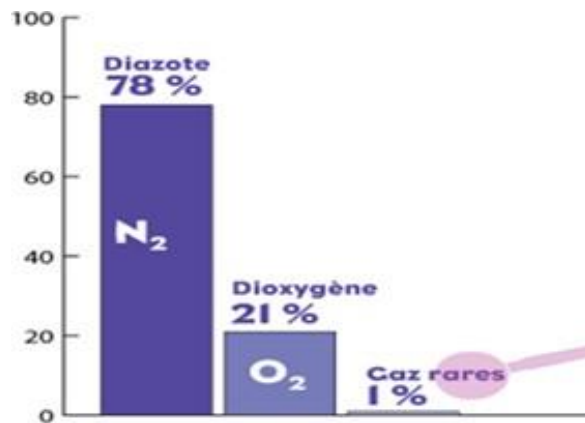


Fig.III.3 : composition détaillée de l'atmosphère

Formule chimique de l'air pur :

Composition massique de l'air : dioxygène (O₂) 23 % ; diazote (N₂) 77 %

- masse molaire du dioxygène : $16 \times 2 = 32$ kg
- masse d'air contenant une kilomole de dioxygène : $(32 / 23) \times 100 = 139$ kg
- masse de diazote correspondante : $139 - 32 = 107$ kg
- masse molaire du diazote : $14 \times 2 = 28$ kg
- coefficient du diazote : $107 / 28 = 3,8$

III.5. Les carburants :

Un carburant est un combustible qui alimente un moteur thermique. Celui-ci transforme l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique .

Le moteur à essence et le moteur diesel sont des types de moteur à combustion interne, alors que la machine à vapeur est un moteur à décompression. Leur principal avantage est d'avoir une grande densité énergétique, c'est-à-dire qu'ils peuvent fournir beaucoup d'énergie pour une masse ou un volume donné (c'est ce qui permet à un véhicule d'avoir une grande autonomie). Comme son nom l'indique, un carburant contient du carbone. Dans le cas de l'hydrogène par exemple on parlera de combustible. Le carburant est souvent un liquide et parfois un gaz. Il est stocké dans le réservoir des véhicules. Un réservoir de voiture peut généralement contenir 50 litres. Les carburants peuvent être classés de différentes manières. On peut par exemple distinguer les carburants fossiles des biocarburants.

Le carburant est une substance dont la combustion fournit l'énergie nécessaire au thermique (moteurs à allumage commandé, moteurs diesel). Un carburant est un mélange de plus d'hydrocarbures différents issus du raffinage. On peut distinguer deux grandes catégories de carburants historiques pour les moteurs de voiture : le gazole et les essences. Il faut aujourd'hui ajouter les carburants moins polluants, tel que le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) et le méthane CH_4 et d'autres produits en cours d'étude ou de développement).

III.5.1. Le gazole :

Le gazole est destiné à être utilisé dans les moteurs diesel. La densité du gazole est supérieure à celle des essences : 0,845 contre 0,755.

L'indice de cétane caractérise l'aptitude à l'allumage du gazole. On utilise le même principe d'essai que pour mesurer l'indice d'octane d'un carburant : on fait fonctionner un moteur d'essai normalisé avec le gazole étudié, puis avec un mélange de deux carburants de référence.

Le gazole contient des paraffines qui se transforment en cristaux lorsque la température s'abaisse. Le gazole se trouble vers $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$: c'est le point de trouble. Par la suite, si la température s'abaisse encore, les cristaux de paraffine bloquent le filtre empêchant le gazole d'arriver à la pompe d'injection. La température à laquelle se produit ce phénomène est la température limite de filtrabilité (TLF), fixée en hiver à $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Puis on atteint la température à laquelle le gazole se fige : c'est le point d'écoulement ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Formule chimique du gazole :

Composition massique du gazole : carbone (C) 87 % ; hydrogène (H) 13 %
Indice du carbone : $87 / 12 = 7,25$; indice de l'hydrogène : $13 / 1 = 13$
Formule chimique : **C7,25 H13**

III.5. 2. Les essences :

Les essences sont destinées aux moteurs à allumage commandé, moteurs dans lesquels l'explosion du mélange air / essence dans le cylindre est déclenchée par l'étincelle de la bougie. Autrefois, on pouvait distinguer les essences ordinaires et les supercarburants qui comportaient du plomb comme additif. Aujourd'hui, seuls les supercarburants sans plomb sont distribués sur le marché : sans Plomb 98 (SP 98) et sans Plomb 95 (SP 95). Cette absence de plomb est indispensable à la durée de vie des pots catalytiques utilisés pour diminuer la pollution des véhicules.

Le taux de compression détermine le rendement du moteur : c'est le rapport entre le volume du cylindre lorsque le piston a été repoussé vers le bas par la détente des gaz, et le volume lorsque le piston est en haut du cylindre. Plus le taux de compression du moteur est élevé, plus celui-ci est performant. Toutefois, le phénomène de cliquetis ou autoallumage du carburant limite le taux de compression, et sa manifestation peut fortement endommager les différents éléments du moteur. Une solution consiste à augmenter l'indice d'octane du carburant. L'indice d'octane est déterminé par la composition du mélange d'un produit détonant résistant à la détonation (indice 100). Pour accroître l'indice d'octane d'un carburant, on peut utiliser le supercarburant plombé. Pour les supercarburants sans plomb, on utilise des additifs de composés organiques.

Un supercarburant est caractérisé par l'indice d'octane recherche (RON), mesuré dans des conditions de vitesse et d'accélération faibles, et l'indice d'octane moteur (MON), déterminé dans des conditions d'essais plus sévères.

Formule chimique de l'essence :

Composition massique de l'essence : carbone (C) 84 % ; hydrogène (H) 16 %

Indice du carbone : $84 / 12 = 7$;

indice de l'hydrogène : $16/1 = 16$

Formule chimique : **C7 H16**

III.5.3. Le GPL (Gaz de Propane Liquéfié) :

Le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) carburant est un mélange de 50% de butane et 50% de propane, provenant du raffinage de pétrole ou de gisements de gaz naturel. La composition de ce mélange (GPL carburant) est régie par la norme européenne EN589 qui spécifie notamment un indice d'octane minimal de 89 MON. En fin d'année 2007, près de 150 000 véhicules en France sont équipés d'une carburation au GPL. Le GPL fait partie des carburants alternatifs soutenus par l'Europe et en particulier la France, destinés à prendre une part de plus en plus importante dans la consommation d'énergie pour l'automobile. En effet, le GPL, par ses vertus écologiques et sa disponibilité est la meilleure alternative aujourd'hui possible pour limiter les phénomènes de pollution dans nos villes.

Ci-dessous sont mentionnées quelques spécificités indispensables à l'utilisation du carburant GPL.

Formule chimique du GPL :

Composition du GPL : butane (**C₄H₁₀**) 50 % ; propane (**C₃H₈**) 50 % Formule chimique approchée : **C₃, 5 H₉**

III.5.4. Le Méthane CH₄ :

Dans les conditions normales de température et de pression, le méthane est un gaz incolore et inodore. Environ deux fois plus léger que l'air, il est explosif en milieu confiné (grisou). En milieu non confiné il se dilue dans l'air et s'échappe vers la haute atmosphère, où il a moins tendance à former des nuages explosifs que les gaz plus lourds que l'air (propane, butane) ; par contre c'est un gaz à effet de serre.

La solubilité du méthane dans l'eau dépend beaucoup de la température et de la pression (il diminue avec l'une et augmente avec l'autre).

Ainsi le grisou minier peut être en partie solubilisé et transporté par de l'eau (qui contient alors aussi du radon ainsi que du dioxyde de carbone et du dioxyde de soufre qui l'acidifient). Selon l'Ineris, une eau à 10 °C initialement saturée en gaz de mine sous une pression de 10 bars (équivalente à 100 m de charge hydraulique), va perdre lors de sa détente environ 0,5 m³

de méthane et 12 de CO₂ par m³ d'eau. .

Le méthane est un combustible qui compose jusqu'à 90 % le gaz naturel. Sa température d'auto-inflammation dans l'air est de 540 °C [9].

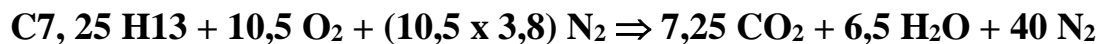
Formule chimique de méthane :

Formule chimique : **CH₄**

III.6. Les équations de combustion :

La combustion du carburant étant la source de la motricité dans le moteur. L'origine de cette cinétique étant la combustion du carburant qui se traduit par une réaction chimique. Cette réaction chimique permet de d'estimer d'abord les quantités de produits toxiques émis dans l'atmosphère et aussi entre autre le calcul pouvant mener à la détermination du rendement du moteur.

II.6.1. La combustion du gazole :



C_{7,25} H₁₃ : gazole

O₂ : dioxygène

N₂ : diazote

CO₂ : dioxyde de carbone

H₂O : eau

À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 kg de gazole + 3,36 kg de dioxygène + 11,2 kg de diazote \Rightarrow **3,19 kg de**

CO₂ + 1,17 kg d'eau + 11,2 kg de diazote

À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 litre de gazole + 1 985 litres de dioxygène + 7 570 litres de diazote \Rightarrow

1 375 litres de CO₂ + 1 litre d'eau + 7 570 litres de diazote.

III.6. 2. Combustion de l'essence :



C₇ H₁₆ : essence

O₂ : dioxygène

N₂ : diazote

CO₂ : dioxyde de carbone

H₂O : eau

À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 kg d'essence + 3,52 kg de dioxygène + 11,76 kg de diazote \Rightarrow **3,08 kg de CO₂** + 1,44 kg d'eau + 11,76 kg de diazote

À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 litre d'essence + 1 870 litres de dioxygène + 7 150 litres de diazote \Rightarrow **1 195 litres de CO₂** + 1,1 litre d'eau + 7 150 litres de diazote

III.6. 3. Combustion du GPL :



C_{3,5} H₉ : GPL; **O₂** :dioxygène ;**N₂** : diazote ;**CO₂** : dioxyde de carbone

H₂O : eau

À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 kg de GPL + 3,6 kg de dioxygène + 12 kg de diazote \Rightarrow 3 kg de CO₂ + 1,6 kg d'eau + 12 kg de diazote

À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 litre de GPL + 1 390 litres de dioxygène + 5 320 litres de diazote \Rightarrow 850 litres de CO_2 + 0,875 litre d'eau + 5 320 litres de diazote .

III.6. 4.La combustion de méthane :



III.7. La comparaison :

Tableau. III .1 : comparaison entre les carburants

Type de Carburant	Densité spécifique (MJ/kg)	Densité énergétique volumétrique (MJ/L)
Carburant gazeux		
Méthane (CH₄)	55 – 55,7	(liquéfié) 23,0 – 23,3
Carburants fossiles (comparaison)		
Pétrole	41,868	28 – 31,4
Essence	45 – 48,3	32 – 34,8
Gazole (Diesel)	48,1	40,3

III.8.Conclusion :

A partir des réactions chimiques, on peut facilement opter pour le choix nécessaire en fonction des critères fixés. Point de vue économique

Le méthane permet de diminuer les émissions de CO₂ par rapport à l'essence, GPL, gasoil. Il limite les rejets de particules dangereuses pour notre santé et diminue les oxydes d'azote qui menacent la couche d'ozone dans des conditions d'utilisation comparables à celles d'une autre voiture.

Si le méthane est issu du biogaz, c'est encore plus écologique, on présente même un bilan de CO₂ neutre. On parle alors d'un agro-carburant qui est produit à partir de sources renouvelables et plus respectueuses de l'environnement. Selon des études effectuées en Allemagne, le biométhane est actuellement le biocarburant le plus efficace.

C'est aussi un carburant économique : Méthane est mesuré et compté en kg. En comparaison avec 1 Litre d'essence ou de diesel ou GPL, un kilogramme méthane permet de parcourir une distance plus grande.

Chapitre IV :

Simulation d'un

Moteur HCCI

IV.1. Introduction :

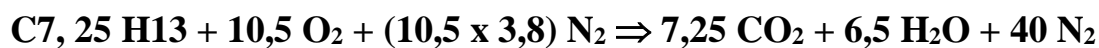
Des moteurs à allumage par compression homogènes (HCCI) de charge sont considérés comme une alternative aux moteurs traditionnels d'allumage par étincelle et par compression. Comme son nom l'indique, le mélange homogène carburant/air est mis à feu automatiquement par compression telle que la combustion simultanée se produisant dans tout le volume de cylindre. Les températures de combustion sous l'opération à mélange pauvre sont relativement basses, ayant pour résultat les niveaux bas de l'émission de NOx.

En outre, la nature homogène du carburant, comme le processus de combustion lui-même, mènent aux niveaux bas des particules étant produits.

Bien que la combustion de HCCI se montre prometteuse, la méthode a plusieurs problèmes périodiques :

Important à adresser est synchronisation d'allumage. Cet exemple examine le HCCI du diesel, étudiant des tendances d'allumage en fonction de la température , pression , et additifs de carburant.

IV.2.La combustion du gazole :



$\text{C}_{7,25} \text{H}_{13}$: gazole

O_2 : dioxygène

N_2 : diazote

CO_2 : dioxyde de carbone

H_2O : eau

IV.3.Résultats et conclusions :

Pour effectuer le calcul des paramètres de combustion HCCI,on va utiliser le deux logiciels gambit et fluent.

La simulation que nous allons aborder pour aboutir aux résultats souhaités sont principalement :

- Définition géométrique du modèle de calcul
- Introduction des propriétés mécaniques

-Maillage et fixation des conditions

-Calcul et affichage des résultats

IV.4.Gambit :

Le logiciel Gambit est un mailleur 2D/3D, cest un préprocesseur qui permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de CFD (Computational Fluid Dynamics). Il génère des fichiers.msh pour Fluent. Fluent est un logiciel qui permet de résoudre et simuler des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques par la méthode des volumes finis.

Gambit regroupe trois fonctions :

1. Définition de la géométrie du problème.
2. Le maillage et sa vérification.
3. La définition des frontières (des conditions aux limites) et définitions des domaines de calculs.

IV.4.1. Construction de la géométrie :

Démarrage de Gambit

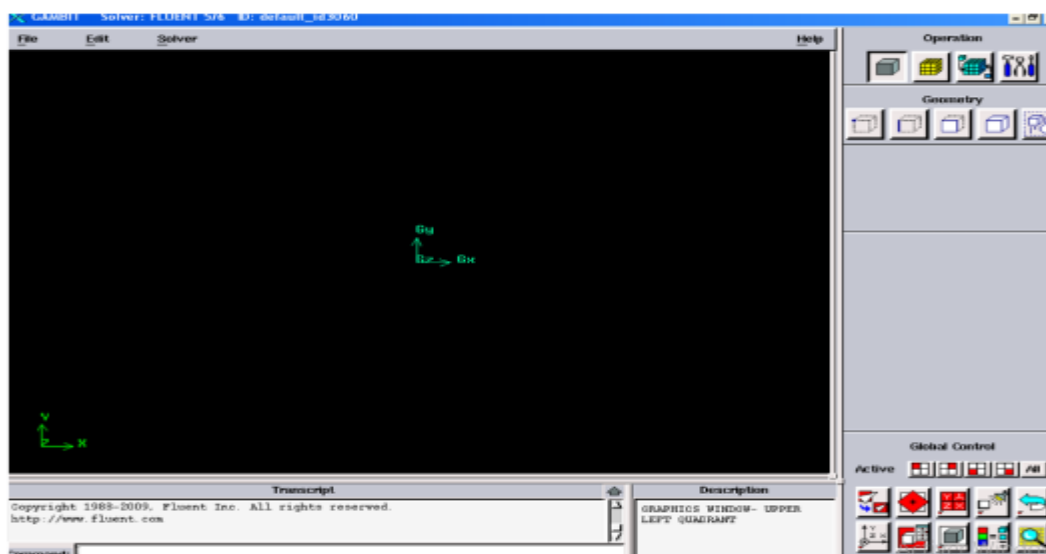


Fig IV.1 : Lancement du Gambit

La finalité de la construction de la géométrie est de définir les domaines de calcul qui seront des faces dans un problème 2D et des volumes dans un problème 3D.

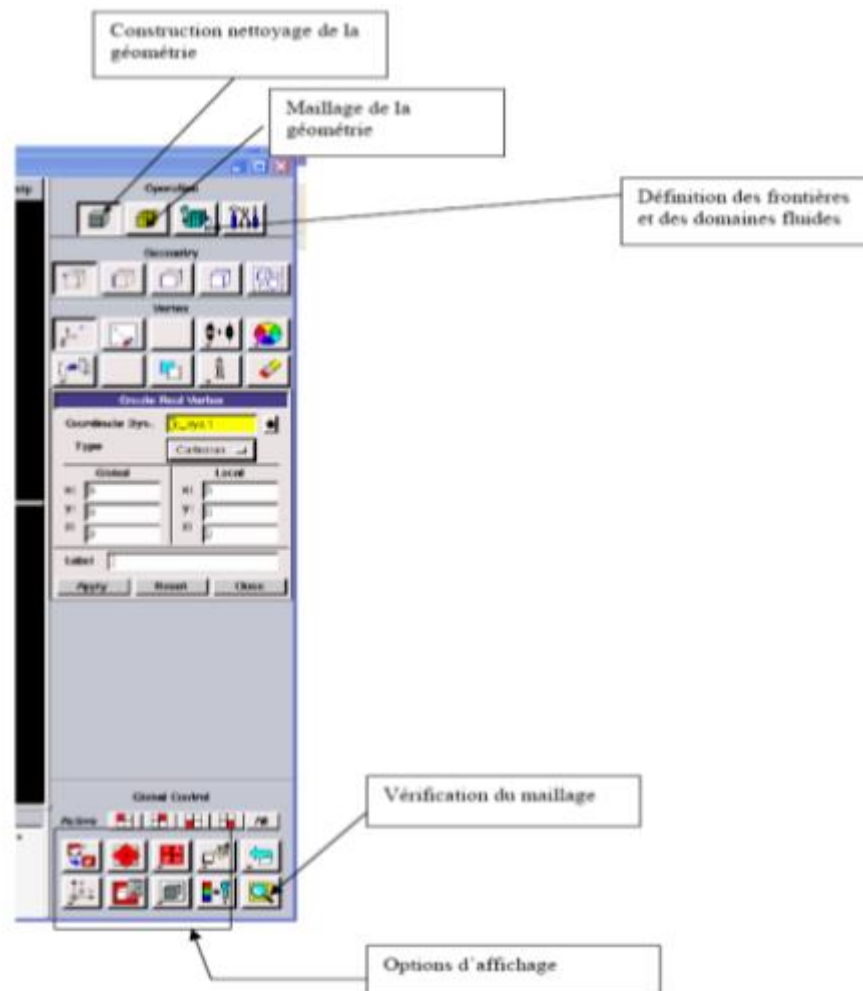


Fig IV.2 : Les opérations pour construire une géométrie

IV.4.2. Maillage :

La génération du maillage (2D ou 3D) est une phase très importante dans une analyse CFD, vu l'influence de ses paramètres sur la solution calculée. Ce menu permet de mailler en particulier une ligne de la géométrie, à savoir disposer les nœuds avec des conditions

particulières (utilisation d'un ratio pour modifier la pondération du maillage, application de formes différentes de maillage).

IV.4.2.1.Choix du type de maillage :

Maillage structuré (quadra/hexa)

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie à multi bloc.

Ses avantages :

- Economique en nombre d'éléments, présente un nombre inférieur de mailles par rapport à un maillage non structuré équivalent.
- Réduit les risques d'erreurs numériques car l'écoulement est aligné avec le maillage.

Ses inconvénients :

- Difficile à le générer dans le cas d'une géométrie complexe
- Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes

Maillage non structuré (tri/tétra.)

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition.

Ses avantages :

- Peut-être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des
Eléments
- Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tétra) sont très automatisés

Ses inconvénients :

- Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré.
- Engendre des erreurs numériques (fausse diffusion) qui peuvent être plus importante si l'on compare avec le maillage structuré.

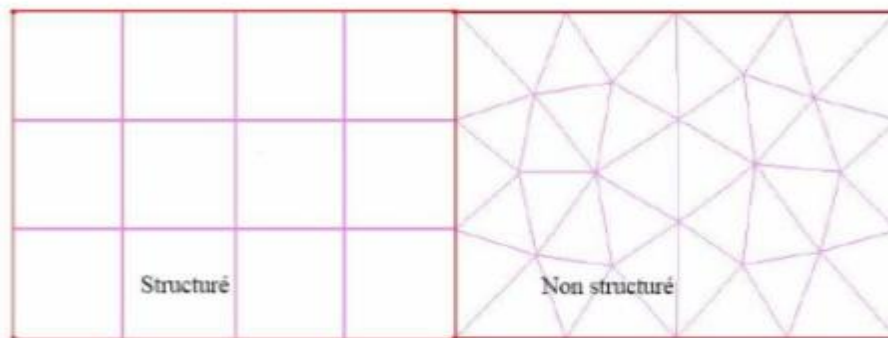


Fig IV.3 : Maillage structuré et non structuré

Maillage hybride :

Maillage généré par un mélange d'éléments de différents types, triangulaires ou quadrilatéraux en 2D, tétraédriques, prismatiques, ou pyramidaux en 3D.

Ses avantages :

Combine entre les avantages du maillage structuré et ceux du maillage non structuré

IV.4.2.2. Techniques générales de génération du maillage :

Pratiquement, il n'existe pas de règle précise pour la création d'un maillage valable, cependant il existe différentes approches qui permettent d'obtenir une grille acceptable.

Nous pouvons résumer ces règles ainsi :

- Maintenir une bonne qualité des éléments
- Assurer une bonne résolution dans les régions à fort gradient

- Assurer un bon lissage dans les zones de transition entre les parties à maillage fin et les parties à maillage grossier
- Minimiser le nombre total des éléments (temps de calcul raisonnable)

IV.4.3. Conditions aux limites et définition de domaines :

Le meilleur Gambit peut générer des maillages que beaucoup de solveurs peuvent utiliser, ainsi nous devons spécifier le logiciel solveur avec lequel on veut traiter le fichier maillage. Comme conditions aux limites, on peut imposer un débit massique à l'entrée de la machine, en utilisant la condition Mass flow Inlet ou une Velocity inlet, la pression à la sortie en utilisant la condition Pressure Outlet ou Outflow.

IV.4.4. Importation des coordonnées du modèle HCCI :

Ce modèle représente le cylindre de combustion dans lequel se déplace le piston.

La méthode de traçage est facile :

-Premièrement on a créé des points en cliquant création de point



-On va construire ces points en donnant valeur pour x et y.

après ces étapes on va relier entre ces points en cliquant création de ligne



pour trouver la forme suivant :

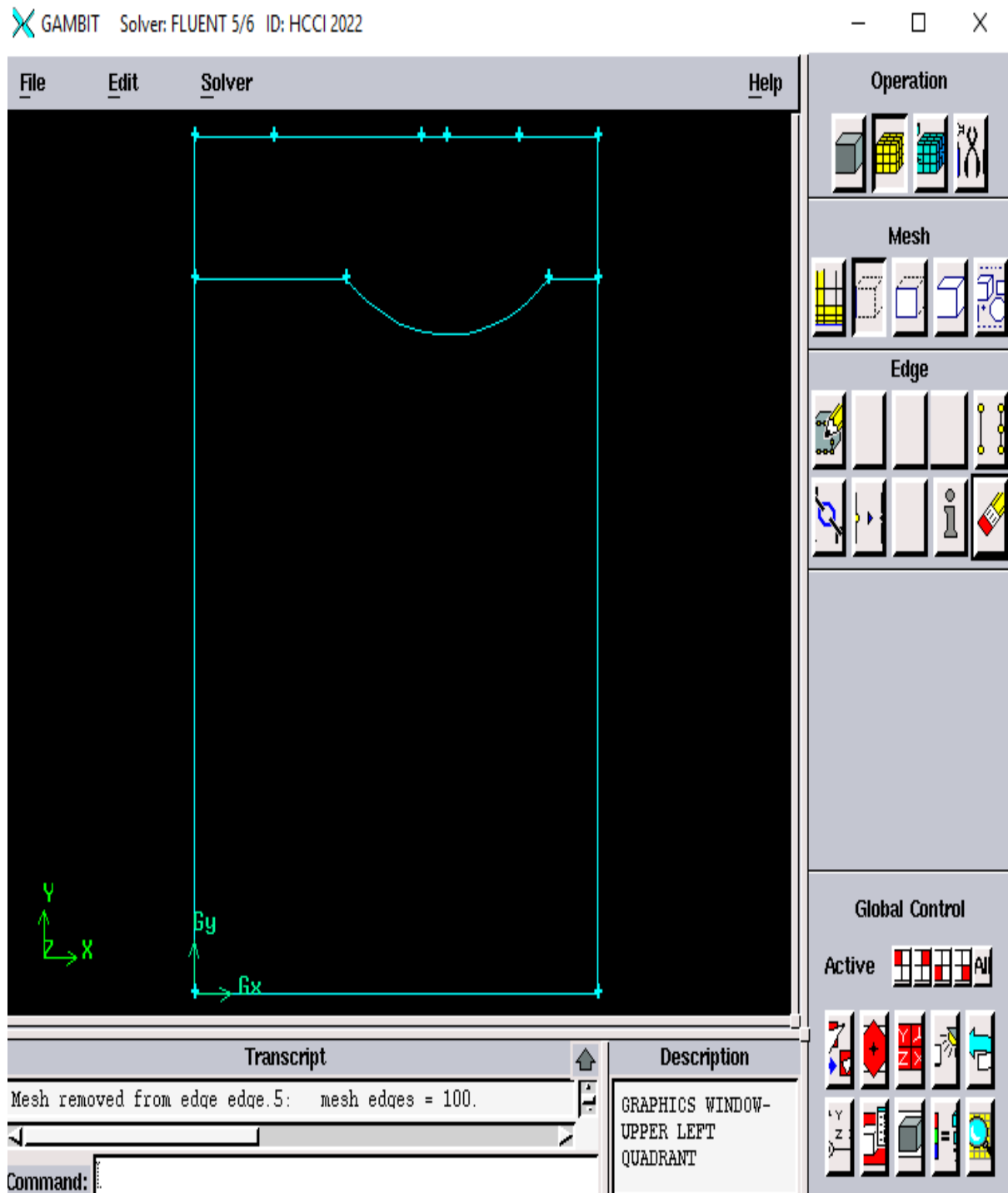


Fig IV.4 : construction de cylindre de combustion

Traçage du domaine de calcul

Cliquez maillage de face pour sélectionner le domaine de calcul.

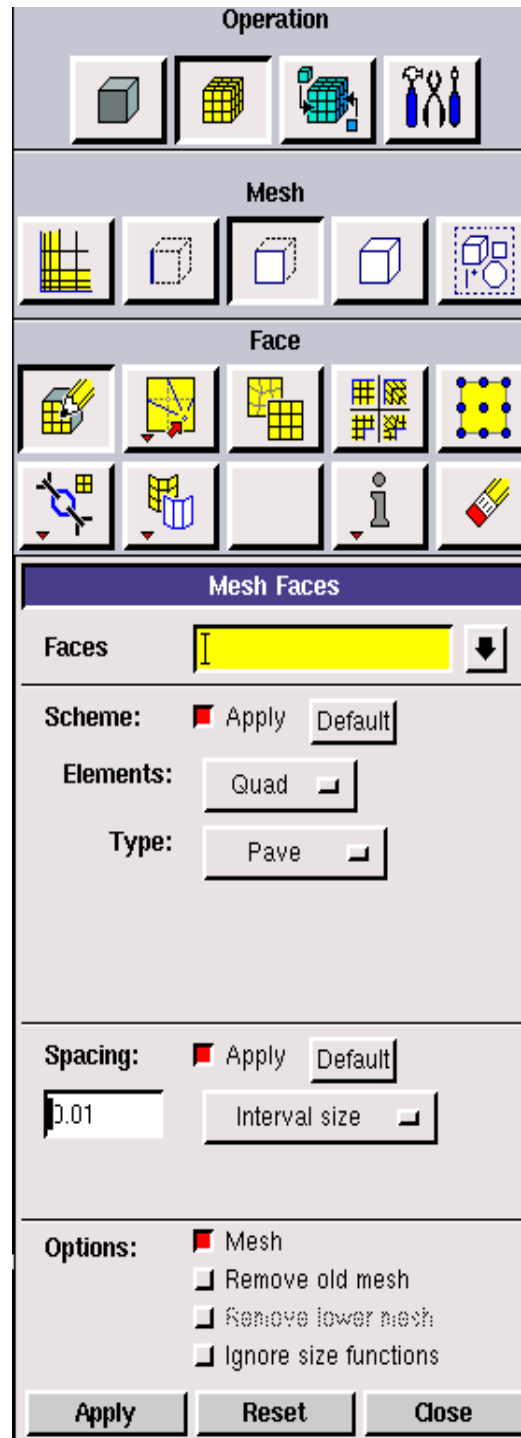


Fig. IV.5: Opérations de construction du domaine du calcul

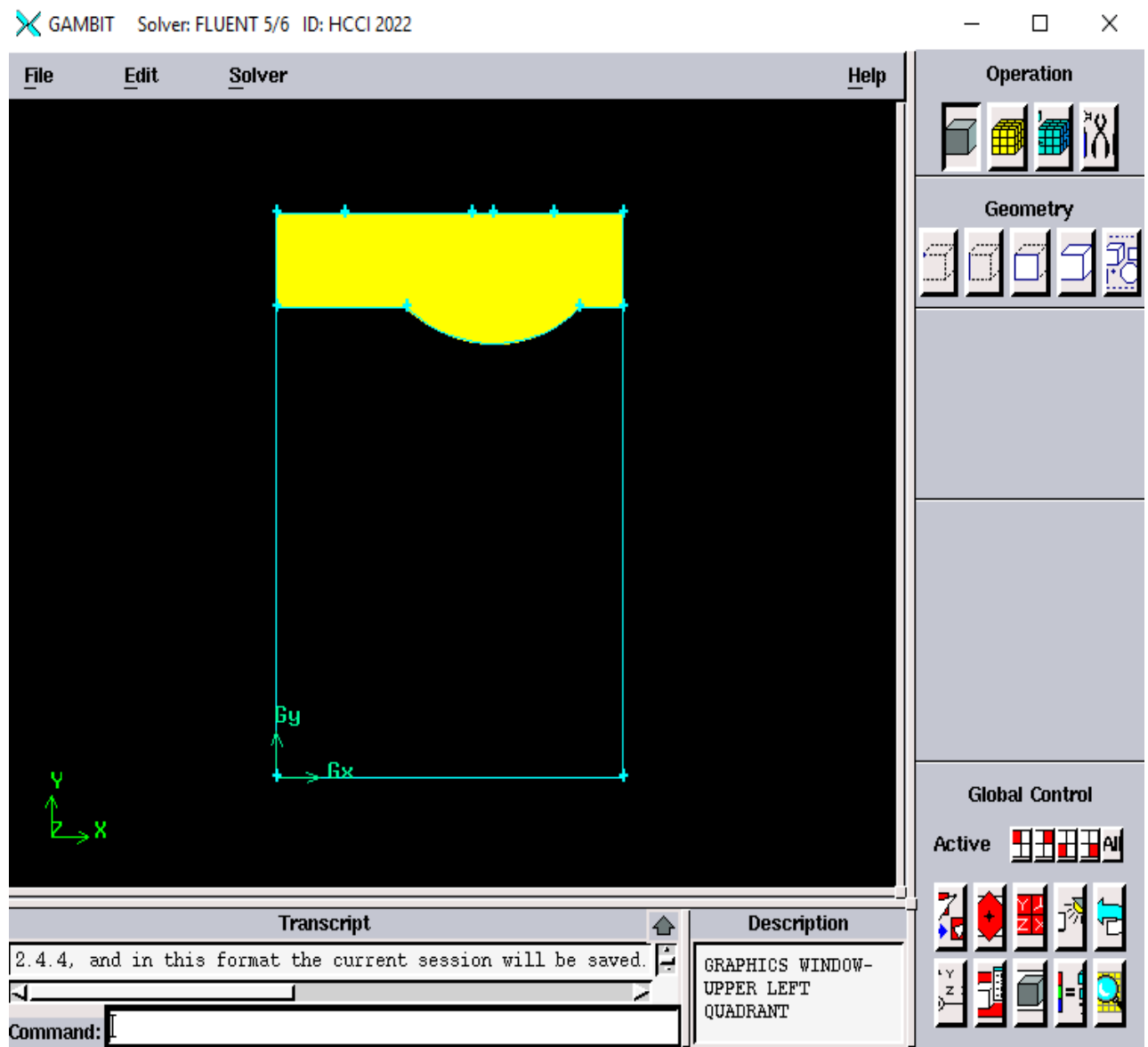


Fig. IV.6: Maillage de face

Définition des conditions aux limites



Fig. IV.7: Les opérations pour conditions aux limites

Enregistrement du fichier dbs

File → Save AS...

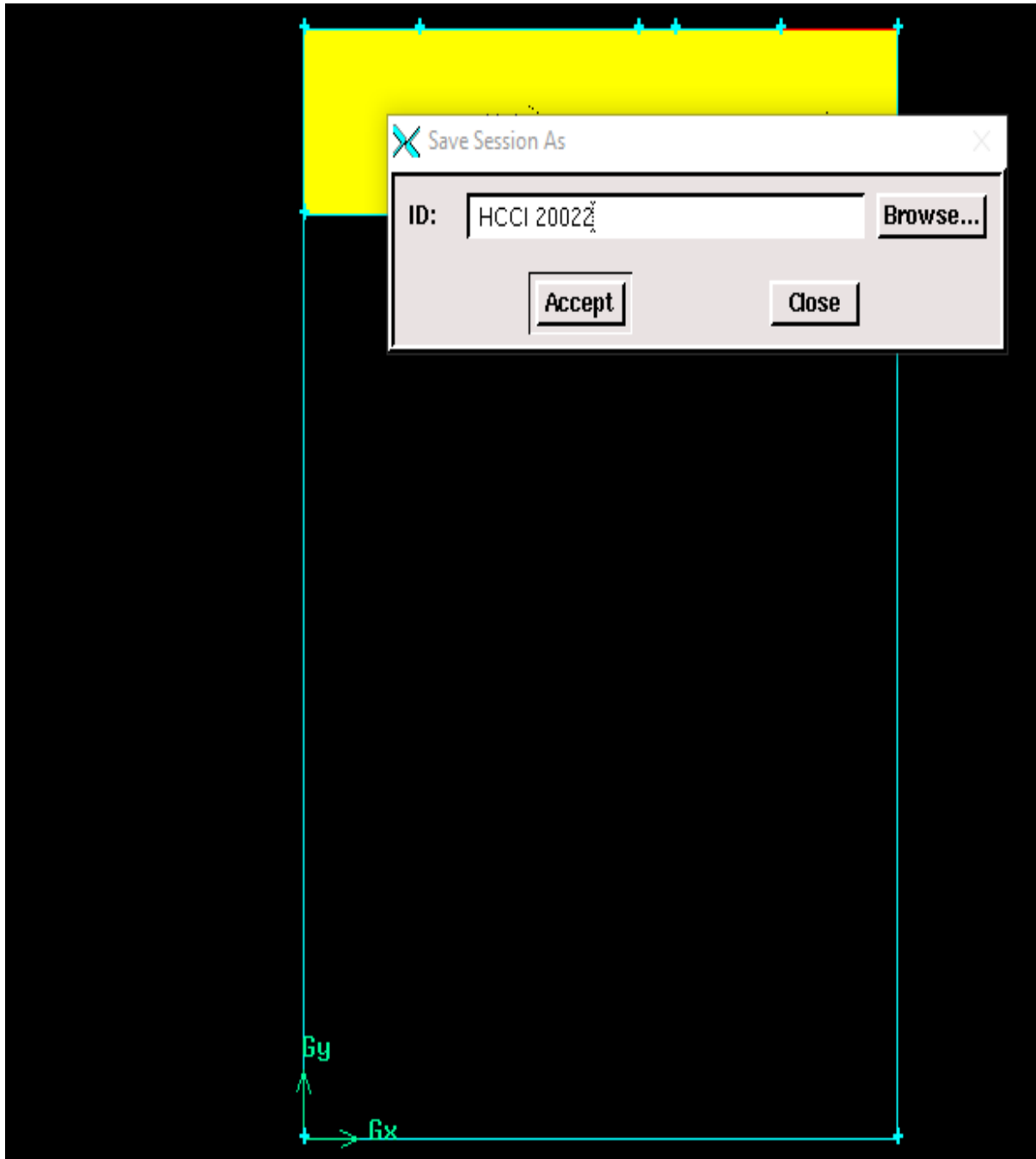


Fig IV.8: Enregistrement du fichier dbs

Exportation en fichier mesh pour Fluent

File → Export → Mesh

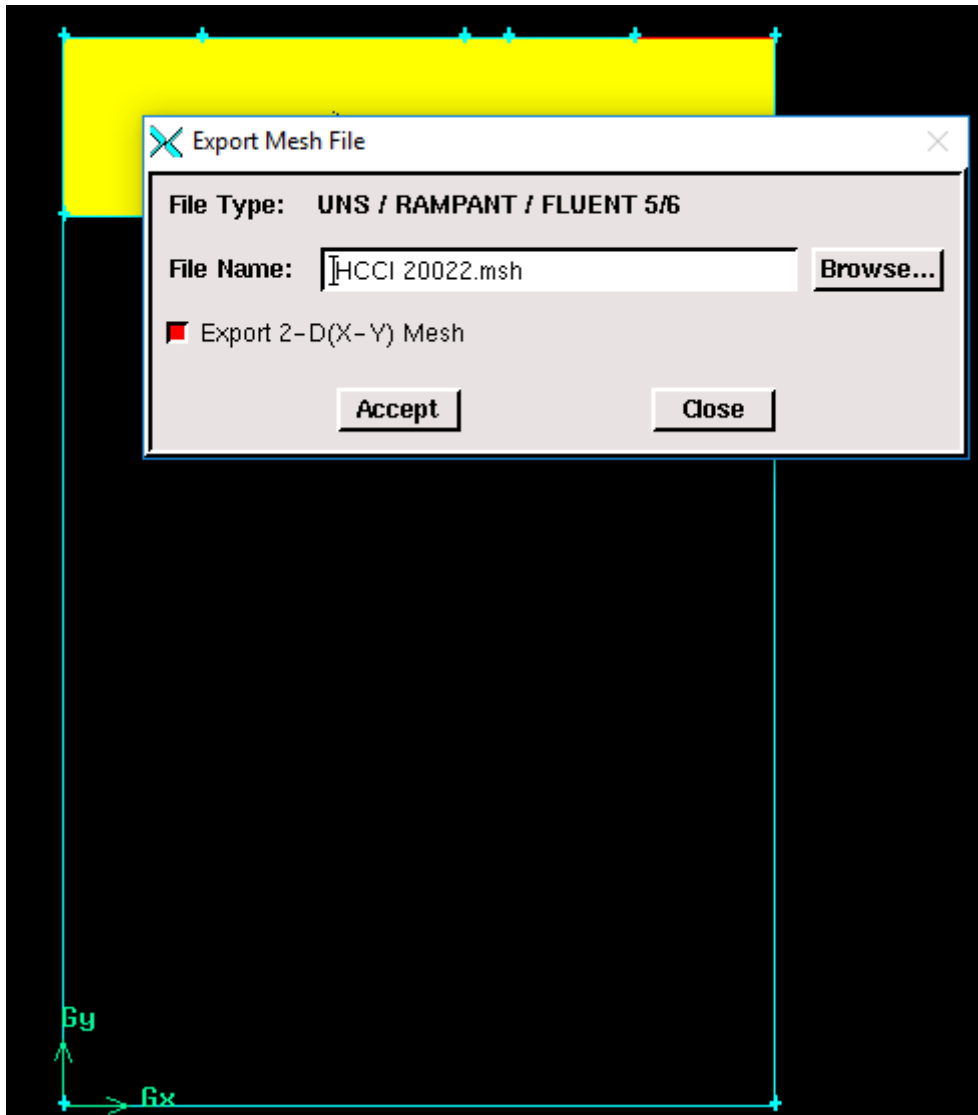


Fig. IV.9: Enregistrement du fichier mesh

IV.5.FLUENT :

Ce paragraphe fournit une introduction à FLUENT, une explication de ses aptitudes, et des instructions pour paramétrer le solveur. Il explicite les étapes nécessaires pour réussir une simulation d'un problème en mécanique des fluides.

Une attention particulière est donnée aux écoulements internes.

Star Programs Fluent 6.3 FLUENT :

Sélectionnez 2ddp dans la liste des options, puis cliquez sur Run.

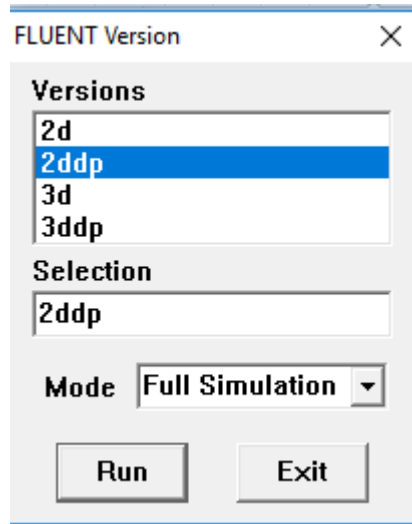


Fig. IV.10: Démarrage de la version 2ddp du fluent

IV.5.1.Importation de la géométrie (.msh)

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (*.msh) généré sous Gambit.

File →Read →Case...

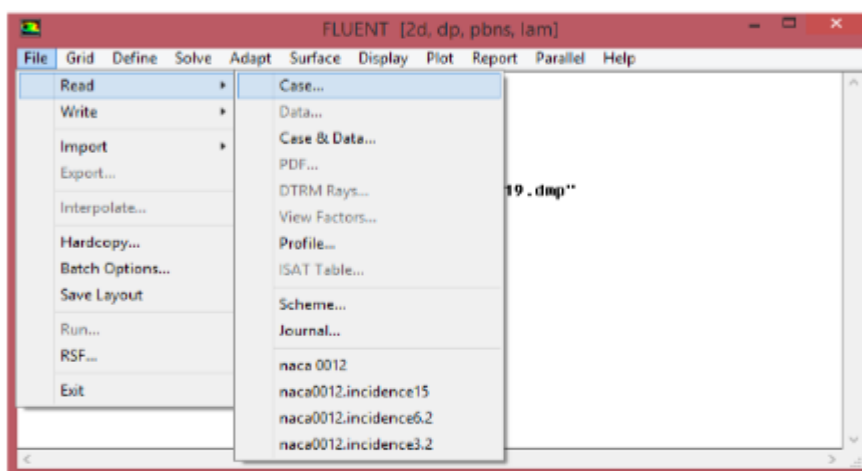


Fig. IV.11: Importation de la géométrie

Vérification du maillage importé

Grid → Check

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.

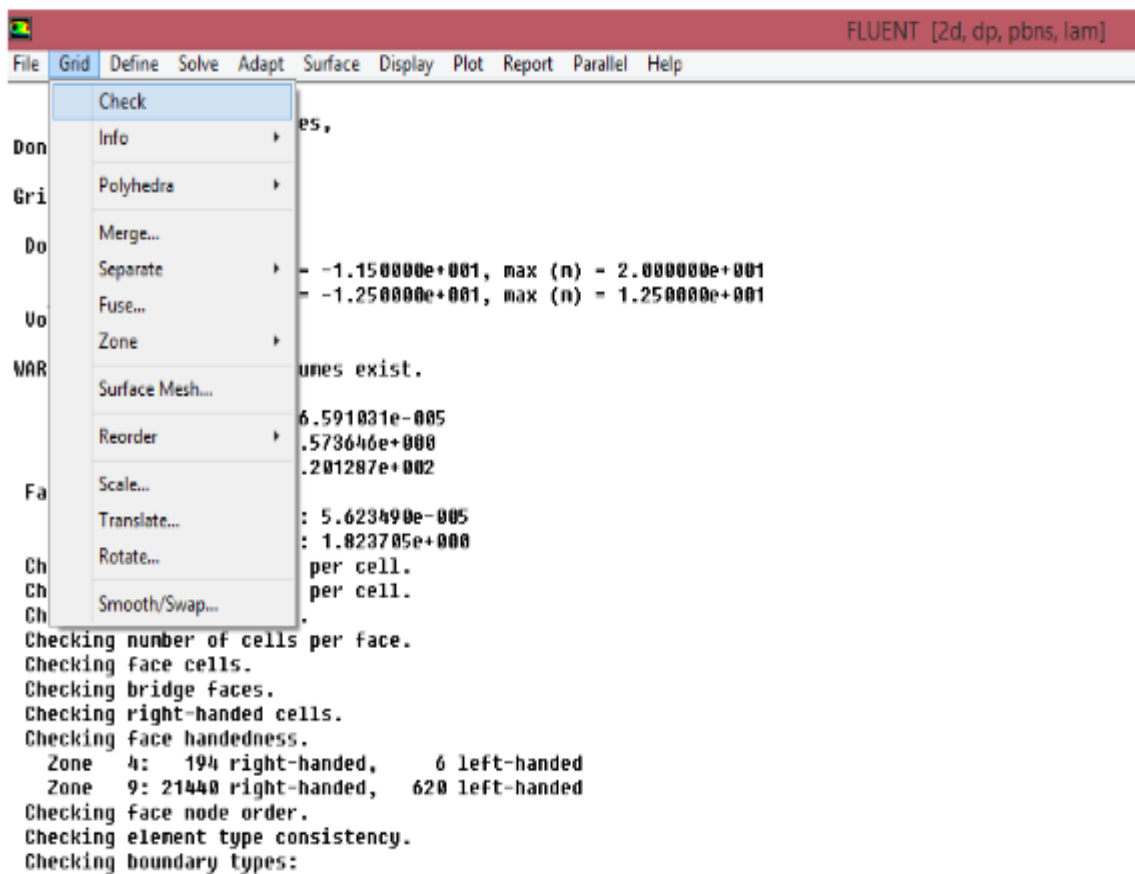


Fig IV.12: Vérification du maillage sous fluent

Lissage du maillage (Smooth and swap the grid)

Grid → Smooth/Swap...

Pour s'assurer de la qualité du maillage, il est pratique de lisser le maillage, cliquez sur le bouton Smooth puis sur le bouton Swap. Répétez jusqu'à ce que FLUENT affiche que zéro faces sont swappées.

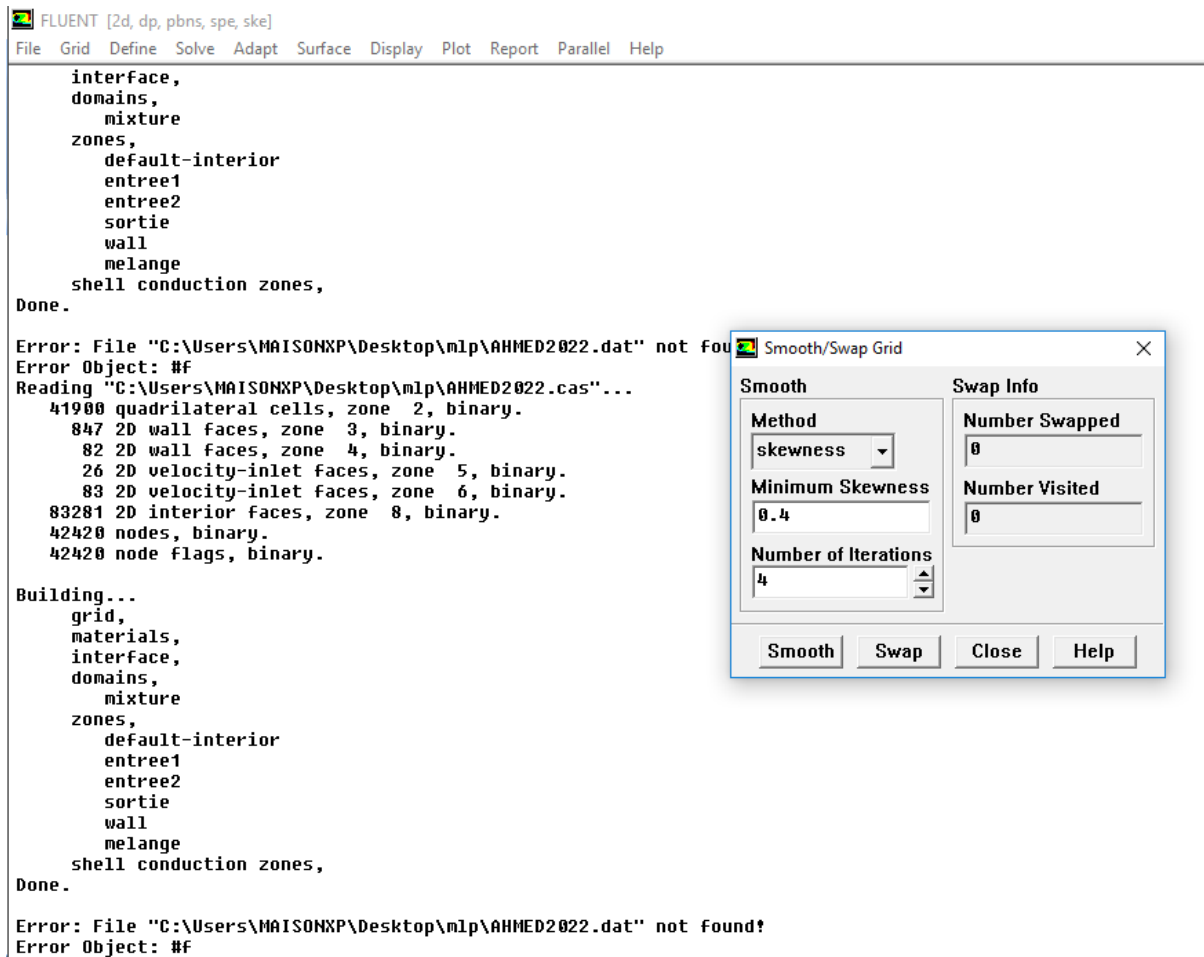


Fig IV.13: Lissage du Maillage

IV.5.2.Modèles:

Define →Models →Solver...

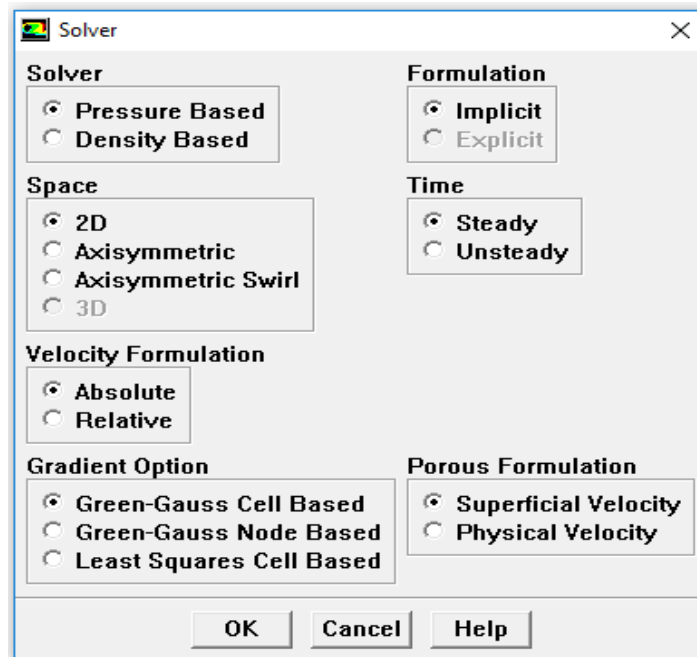


Fig IV.14: définition du modèle

(a) Conservez les paramètres par défaut pour les paramètres du solveur basé pression restants.

(b) Cliquez sur OK pour fermer le panneau de Solver.

Activer le transfert thermique en activant l'équation de l'énergie.

Define → Models → Energy...

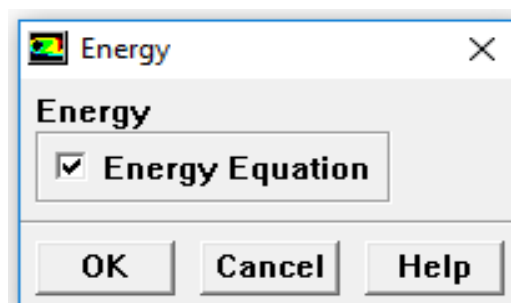


Fig IV.15: activer l'équation de l'énergie

Activer le modèle K- ϵ turbulence.

Define → Models → Viscous...

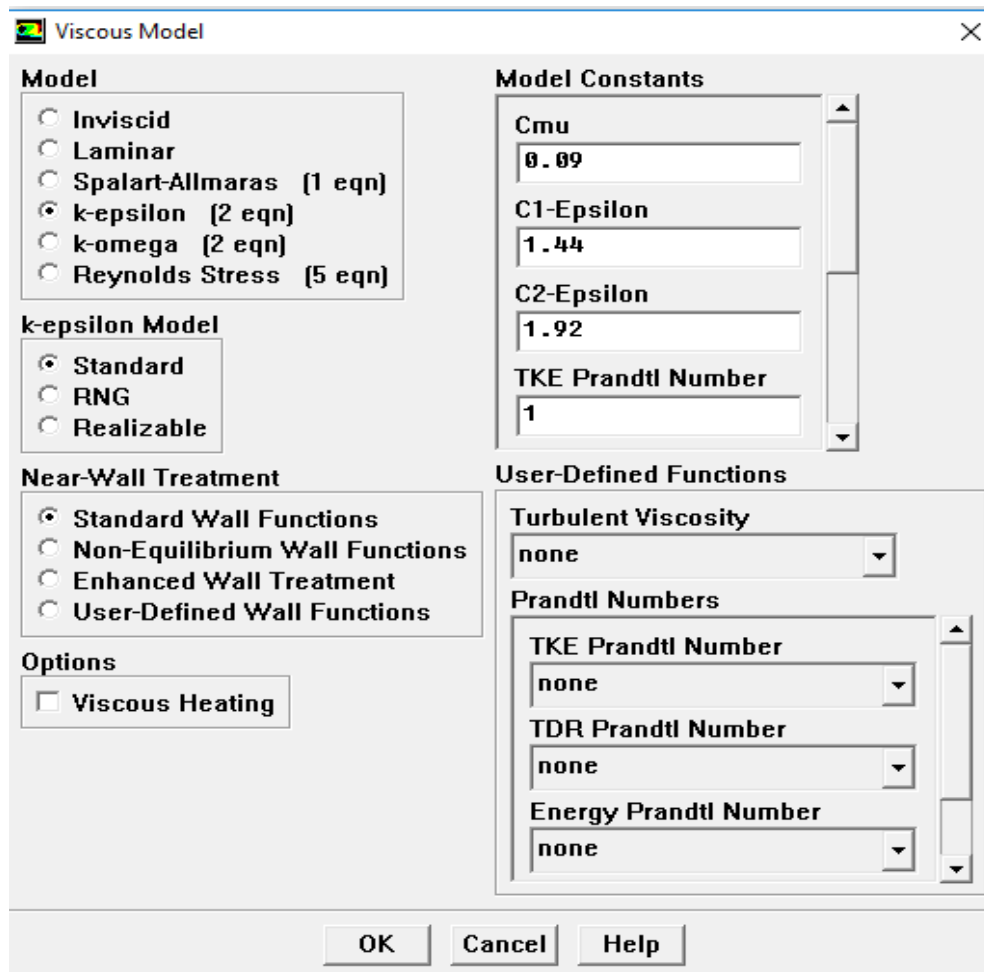


Fig IV.16 : Définition le modèle K- ϵ turbulence.

- Sélectionner k-epsilon dans la liste Model.
- Conservez les paramètres par défaut pour le modèle k-epsilon.
- Cliquez sur OK pour fermer le panneau de Viscous Model.

IV.5.3.Les Matériaux :

Define → Materials...

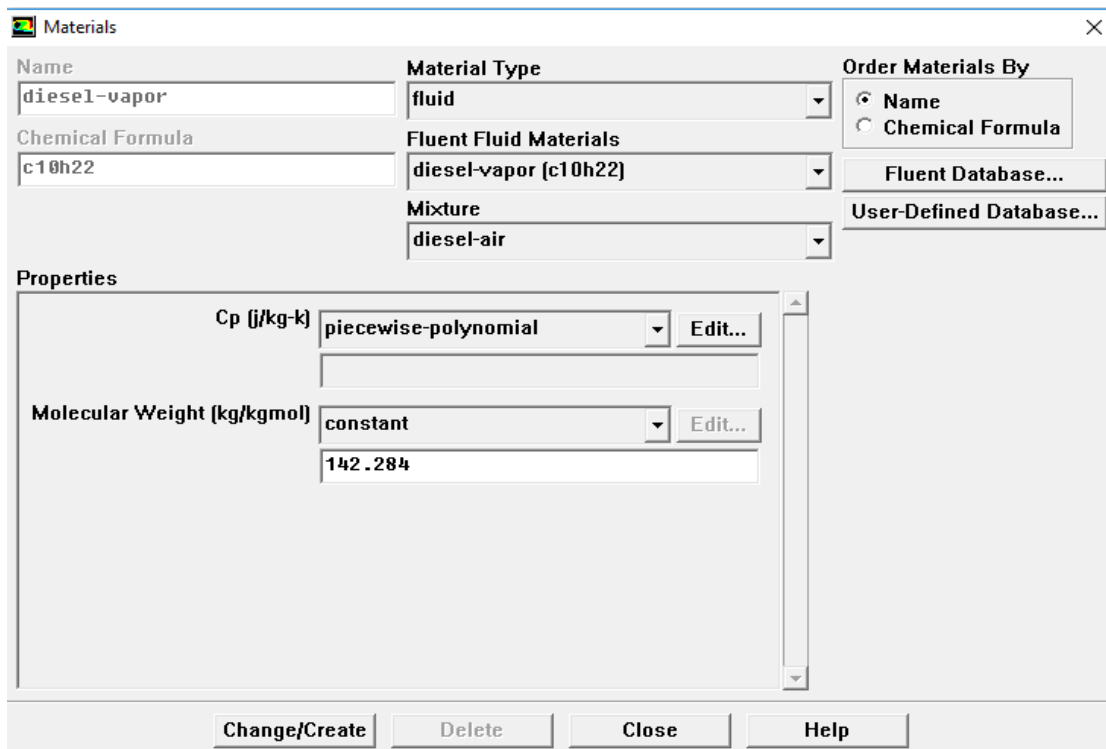


Fig IV.17: définitions des propriétés de matériaux

IV.5.4. Conditions aux limites :

Define → boundary condition...

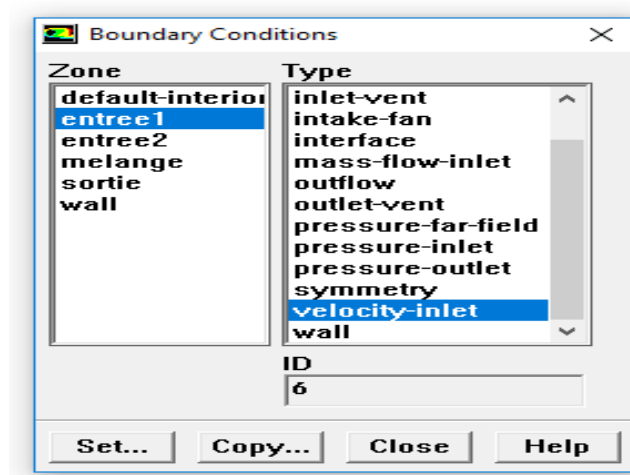


Fig IV.18: définitions des propriétés pour l'entrée de l'air

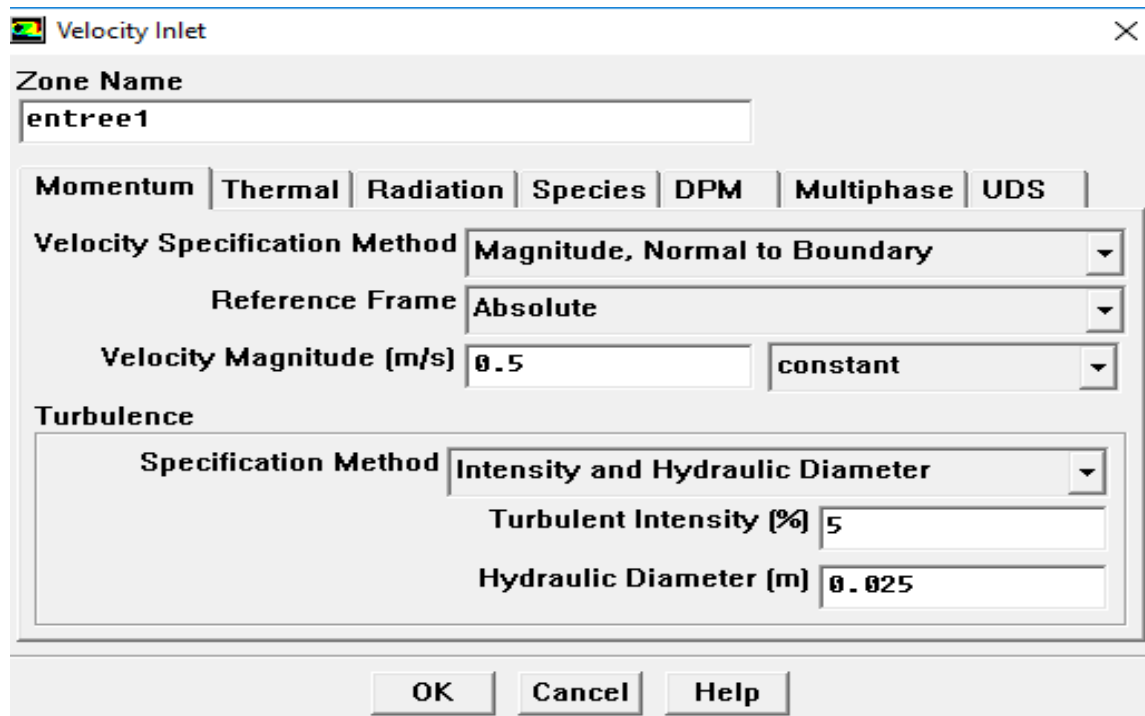


Fig IV.19: Variation de vitesse de l'air d'entrée

(a) Entrez l'entrée pour Zone Name.

Ce nom est plus descriptif pour la zone de velocity-inlet.

(b) Sélectionnez Magnitude, Normal to boundary dans la liste Velocity Specification Method.

(c) Sélectionnez Intensity and Hydraulic Diameter dans la liste déroulante Specification Méthode dans la boîte de groupe de Turbulence.

(d) Entrez 5% pour Turbulent Intensity.

(e) Entrez 0.025(m) pour Hydraulic Diameter.

(f) Cliquez sur l'onglet Thermal et entrer la valeur 900 (K) pour Température.

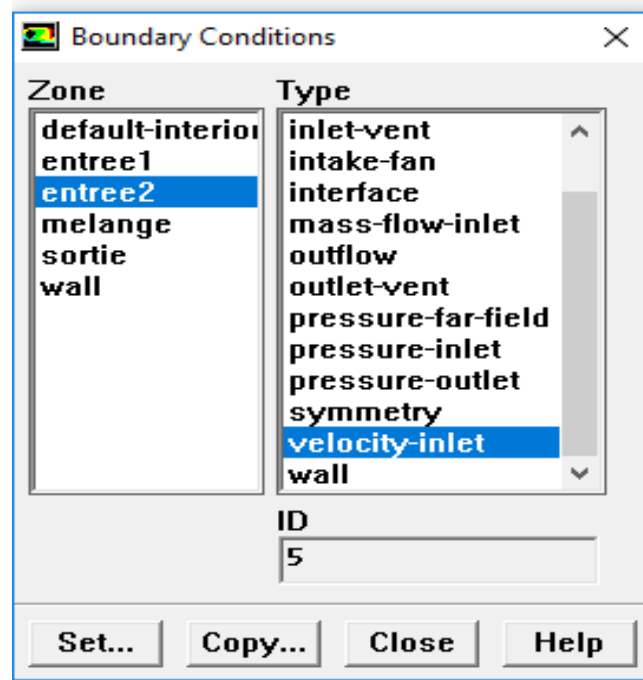


Fig IV.20: définitions des propriétés pour l'entrée de diesel

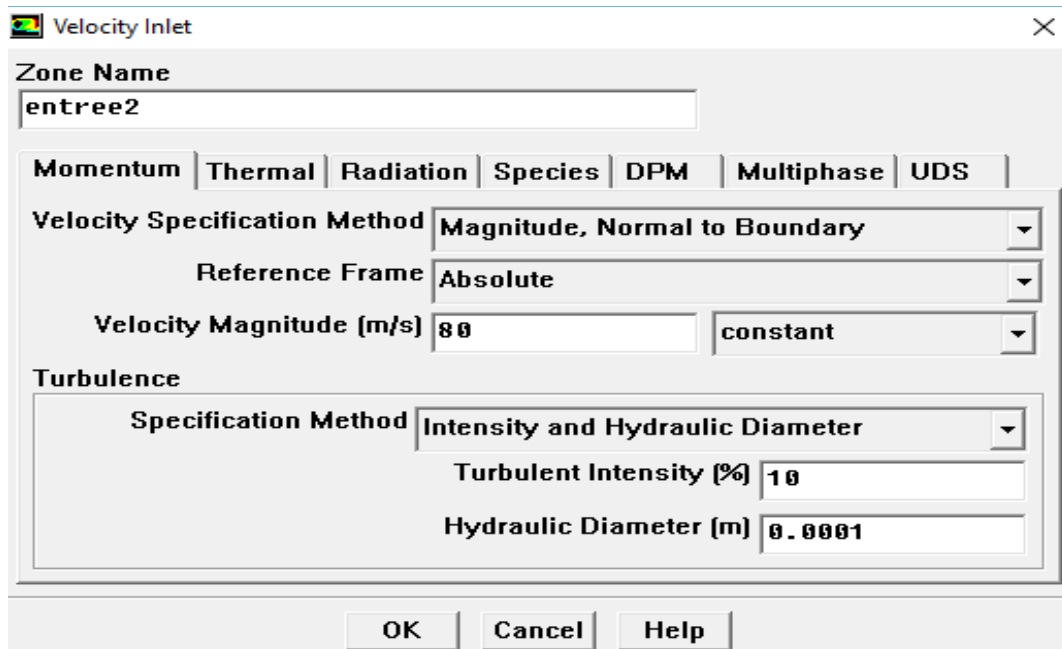


Fig IV.21: Variation de vitesse de diesel d'entrée

(a) Entrez l'entrée pour Zone Name.

Ce nom est plus descriptif pour la zone de velocity-inlet.

(b) Sélectionnez Magnitude, Normal to boundary dans la liste Velocity Specification Method.

(c) Sélectionnez Intensity and Hydraulic Diameter dans la liste déroulante Specification Méthode dans la boîte de groupe de Turbulence.

(d) Entrez 10% pour Turbulent Intensity.

(e) Entrez 0.0001(m) pour Hydraulic Diameter.

(f) Cliquez sur l'onglet Thermal et entrer la valeur 300 (K) pour Température.

IV.5.4.Solution initiale avec Constant Capacité de chaleur :

Initialiser les variables de champ.

Solve → Initialize → Initialize...

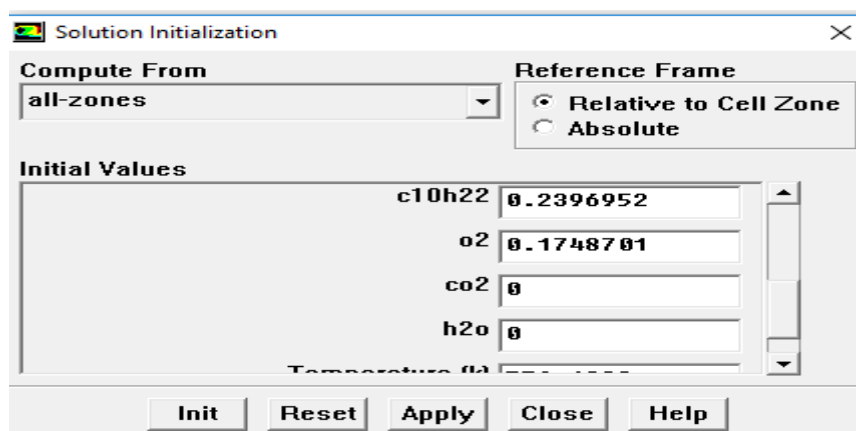


Fig IV.22: Initialiser les variables de champ.

(a) Sélectionnez all-zones dans la liste déroulante Compute From.

- (b) Cliquez Init pour initialiser les variables.
- (c) Fermez le panneau Solution Initialization.

Activer le tracé des résidus lors du calcul.

Solve → Monitors → Résiduel...

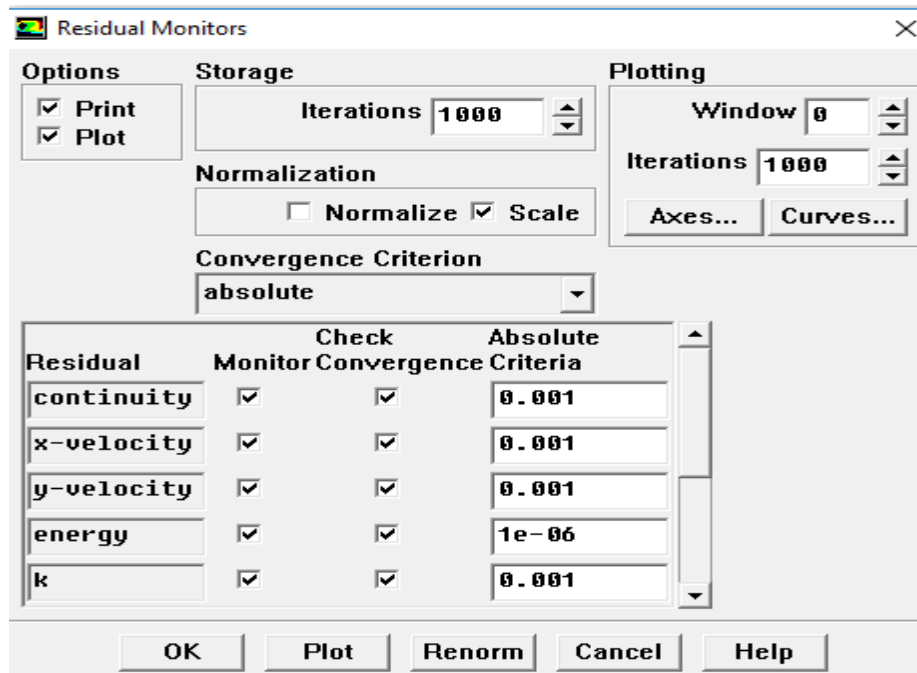


Fig IV.23: Activer le tracé des résidus lors du calcul

- (a) Activer Plot dans la zone de groupe Options.
- (b) Cliquez sur OK pour fermer le panneau Résiduel Monitors

IV.5.5. Enregistrez le fichier de cas (projet.cas)

File → Write → Case...

- (a) Entrez projet. Cas pour Case File.
- (b) Assurez-vous que l'option Write Binary Files est activée pour produire un fichier binaire plus petit, non formaté.

(c) Cliquez sur OK fermer la boîte de dialogue Select File.

Lancer le calcul en demandant 1000 itérations

Solve → Iterate...

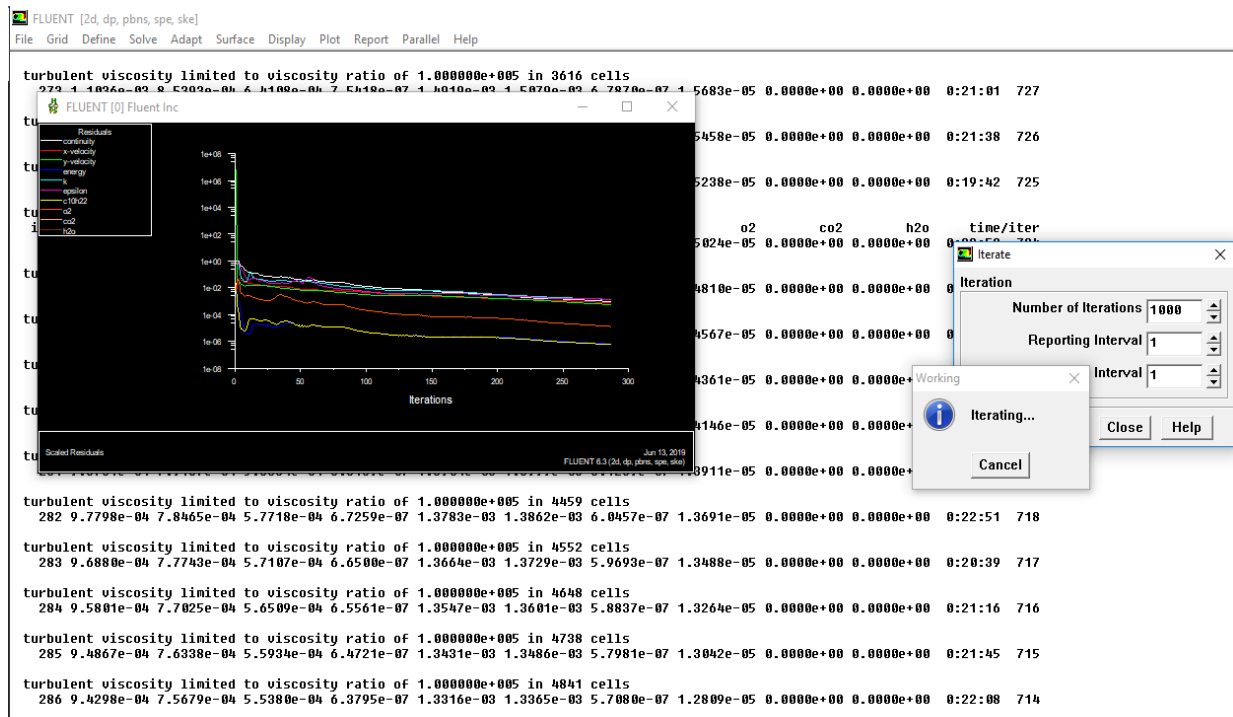


Fig IV.24: définition du nombre d'itérations

Traçage des contours

Créations des lignes

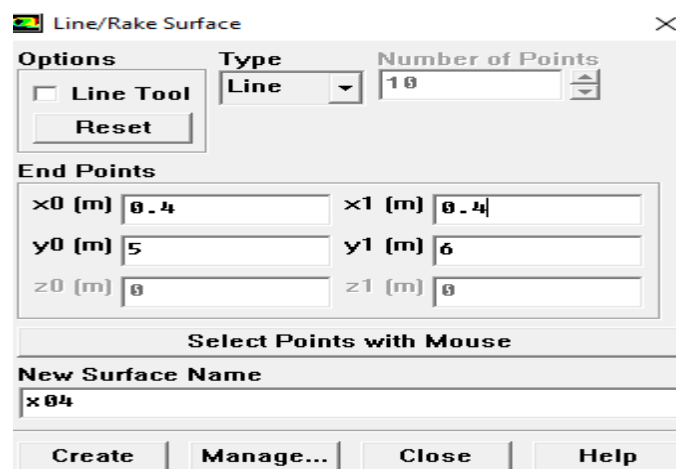


Fig IV.25: Créations des lignes

On a crée les lignes :

X04, X08 , X12 , X16 , X20 , X24 , X28 , X32 , X36

IV.5.6. Contours de pressions :

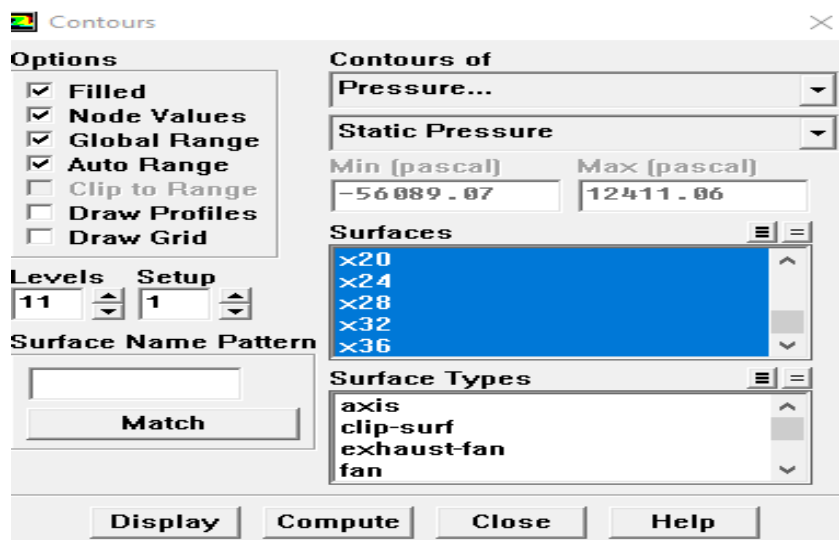


Fig IV.26: définition les propriétés de contours

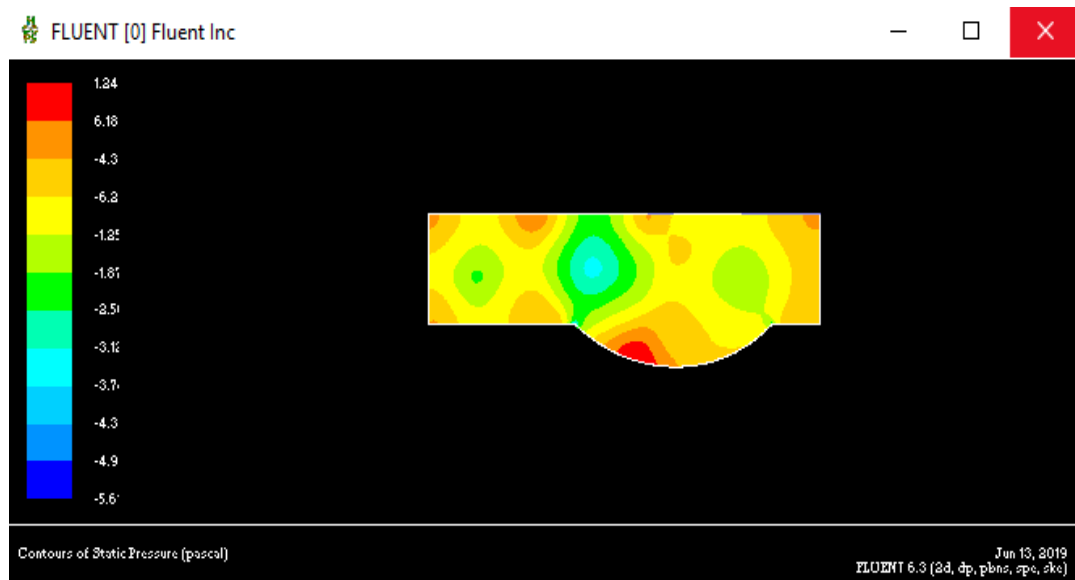


Fig IV.27: Contours de pressions

Tracer la variation de pression

Plot → XY Plot...

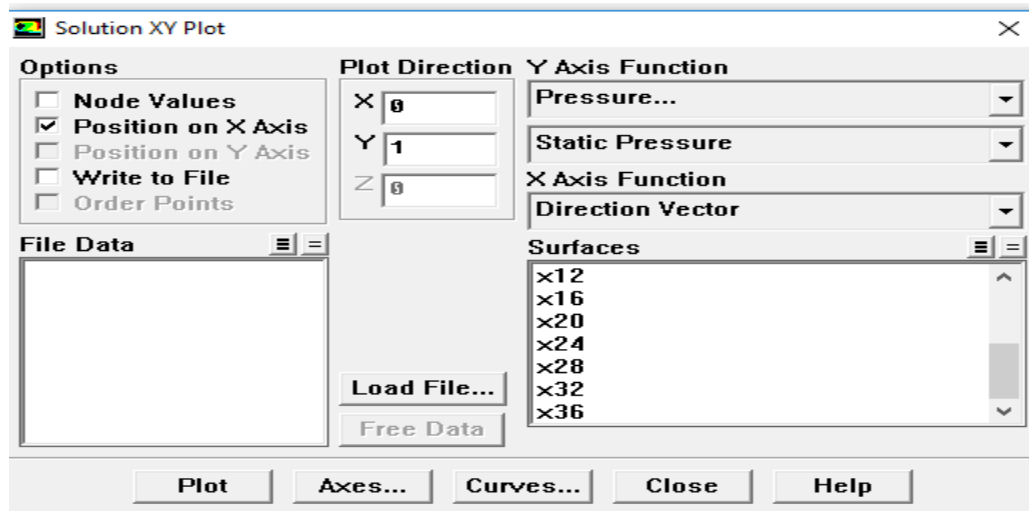


Fig IV.28: détermination la variation de pression avec les courbes

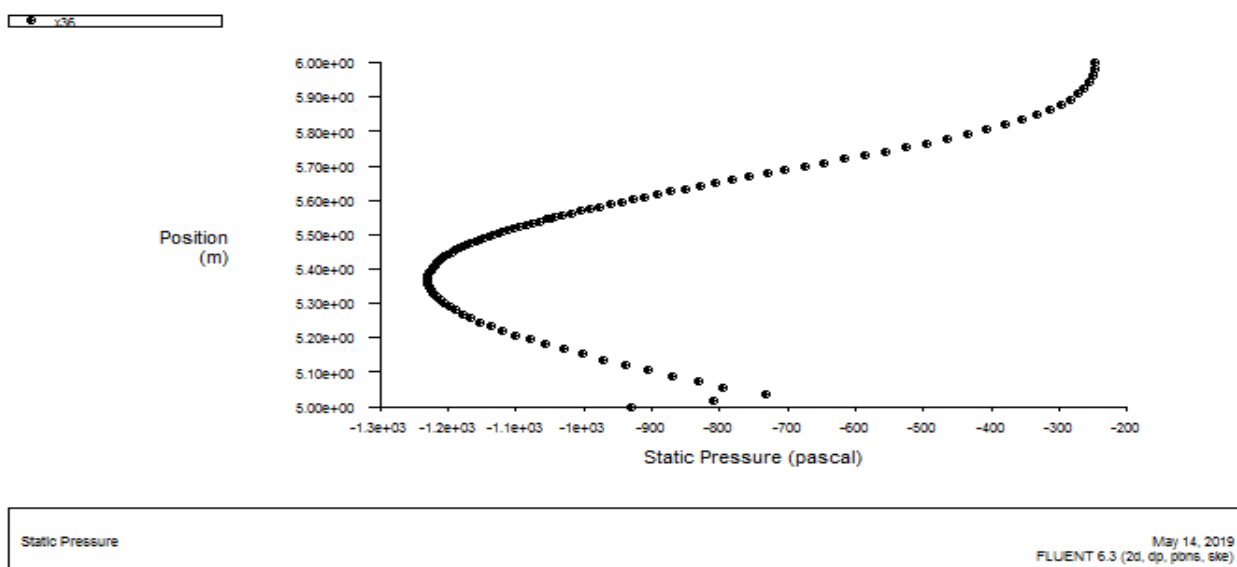


Fig IV.29: Variation de pression X04

Dans ce graphe .On remarque que la dépression varie rapidement de (-940) à (-740) pour une lente augmentation de y de 5 à 5.04.

La réduction de pression commence de (-740) à (-1240) avec une augmentation de $y(5.04)$ à (5.4), après cette diminution, la pression augmente fortement de (-1240) jusqu'à (-260) pour une augmentation de $y(5.4)$ à (6).

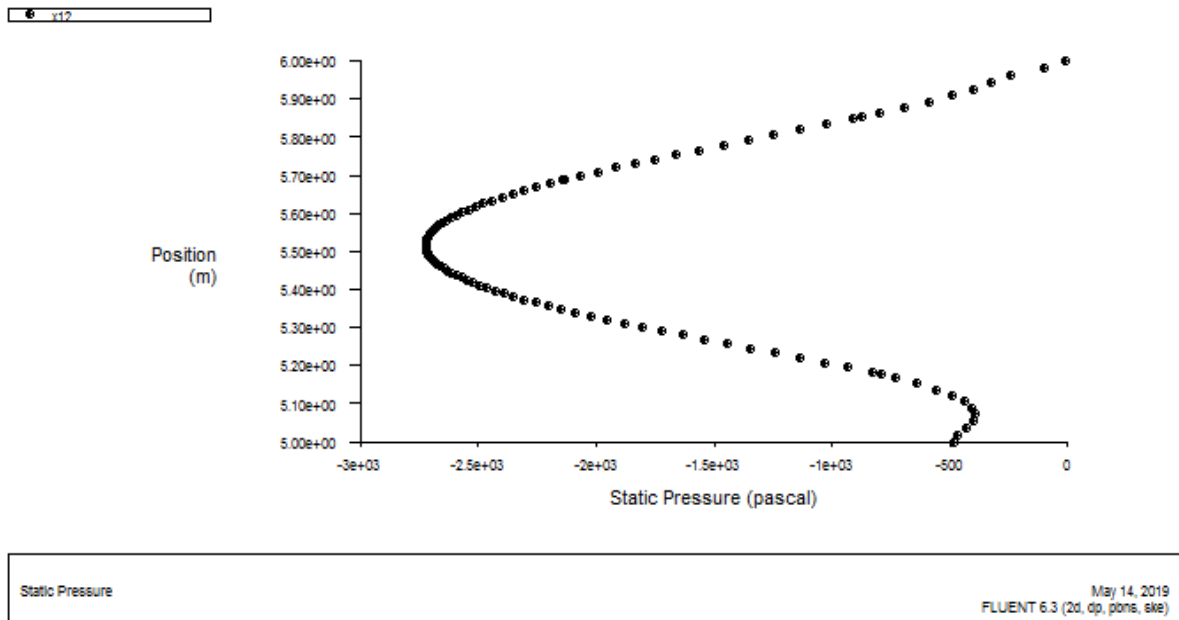


Fig IV.30: Variation de pression X12

Dans ce graphe. On remarque que la pression augmente rapidement de (-500) à (-400) pour une lente augmentation de $y(5)$ à (5.08).

La diminution commence de (-400) à (-2700) avec une augmentation de $y(5.08)$ à (5.5).

La pression s'augmente encore de (-2700) jusqu'à (-100) pour une augmentation de $y(5.5)$ à (6).

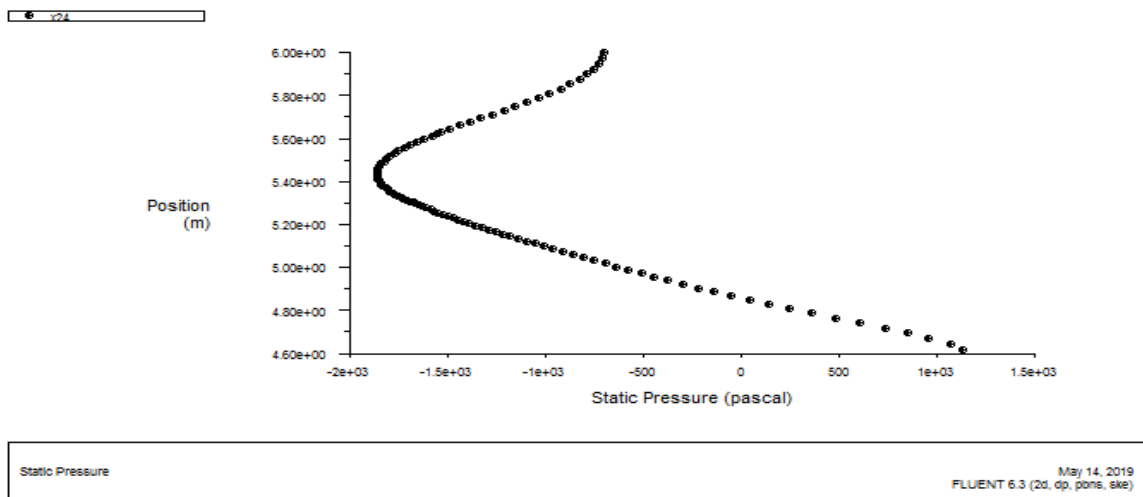


Fig IV.31: Variation de pression X24

Dans ce graphe. On remarque que la pression diminue rapidement de (1200) au (-1700) avec une augmentation de y (4.6) à (5.4).

Après cette réduction, la pression s'augmente encore de (-1900) jusqu'à (-600) pour une augmentation de y(5.4) à (6).

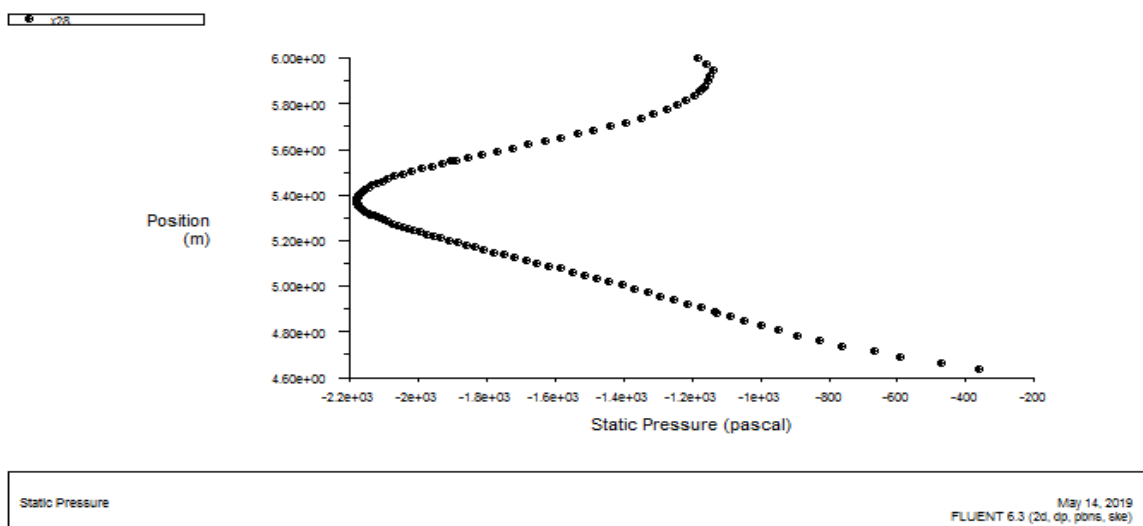


Fig IV.32: Variation de pression X28

Dans ce graphe. On remarque que la pression diminue rapidement de (-350) jusqu'à (-2200) pour une augmentation de y (4.62) à (5.4).

La pression augmente de (-2200) à (-1100) avec une augmentation de y(5.4) à (5.9).

Après cette augmentation, la pression diminue faiblement de (-1100) à (-1200) pour une lente augmentation de y (5.9) à (6).

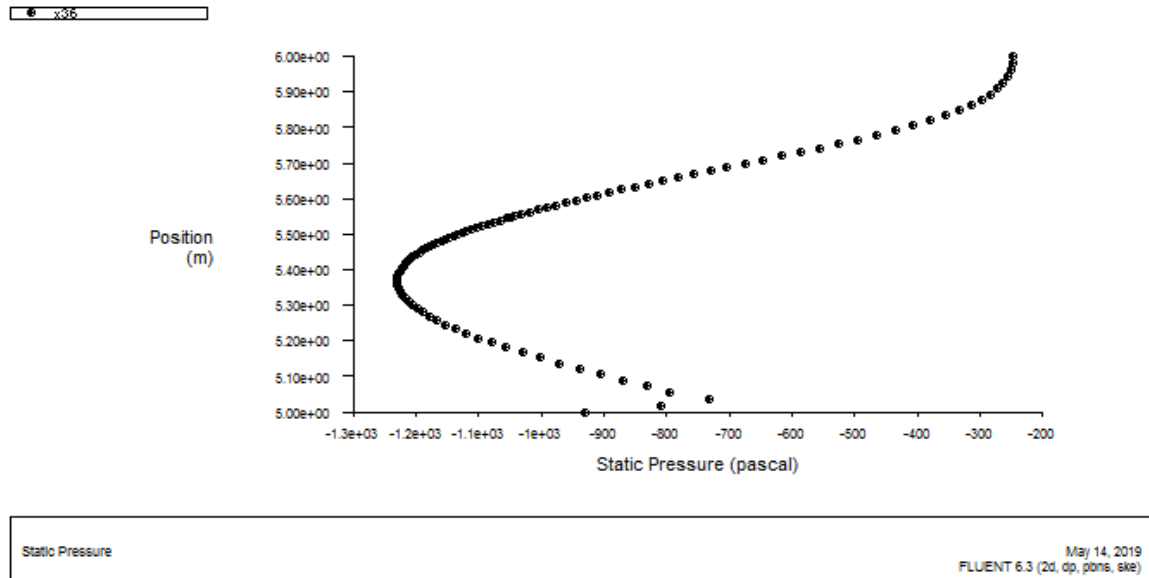


Fig IV.33: Variation de pression X36

Dans ce graphe. On remarque que la pression augmente rapidement de (-940) à (-740) pour une lente augmentation de y (5) à (5.04).

La diminution de pression commence de (-740) à (-1240) avec une augmentation de y (5.04) à (5.4), après cette diminution, la pression augmente fortement de (-1240) jusqu'à (-260) pour une augmentation de y (5.4) à (6).

On constate aussi que ce graphe ressemble au premier graphe X04.

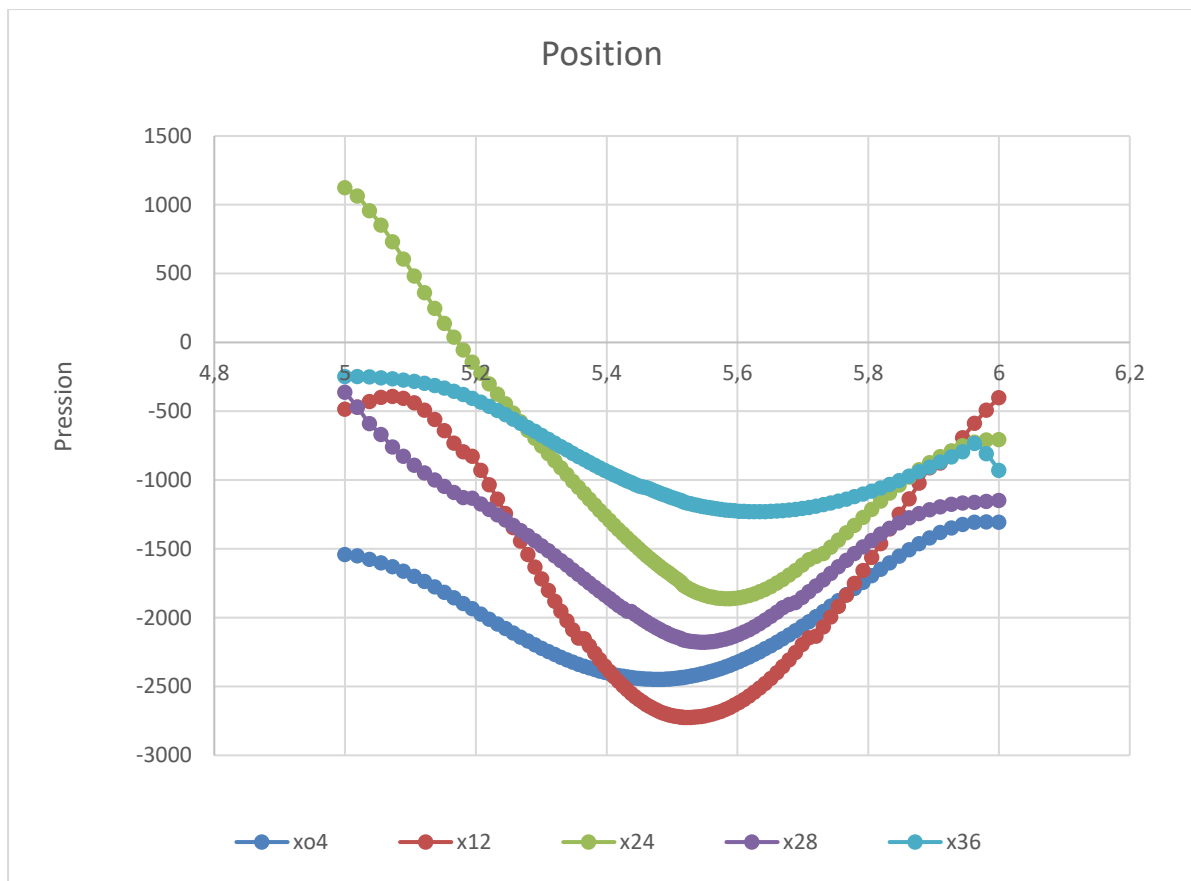


Fig IV.34: Variation de pression pour cinq courbes

On remarque que la pression diminue jusqu'à (-2750) en X12 c'est la plus grande réduction de pression dans ce graphique, au contraire en X24 on a la plus grande augmentation de pression (1000).

La courbe X24 a une intersection avec X04 pour la pression (-500) et la position (5.25), la courbe X24 a aussi une autre intersection avec X12, X36 pour la pression (-750) et la position (5.95).

X12 a deux intersections avec X04. L'une à la pression (-2500) et position (5.4) et une autre à la pression (-1750) et à la position (5.8).

X12 a aussi deux intersections avec X28. L'une à la pression (-1250) et à la position (5.25) et une autre à la même pression mais à la position (5.85).

IV.5.7. Contours de Température :

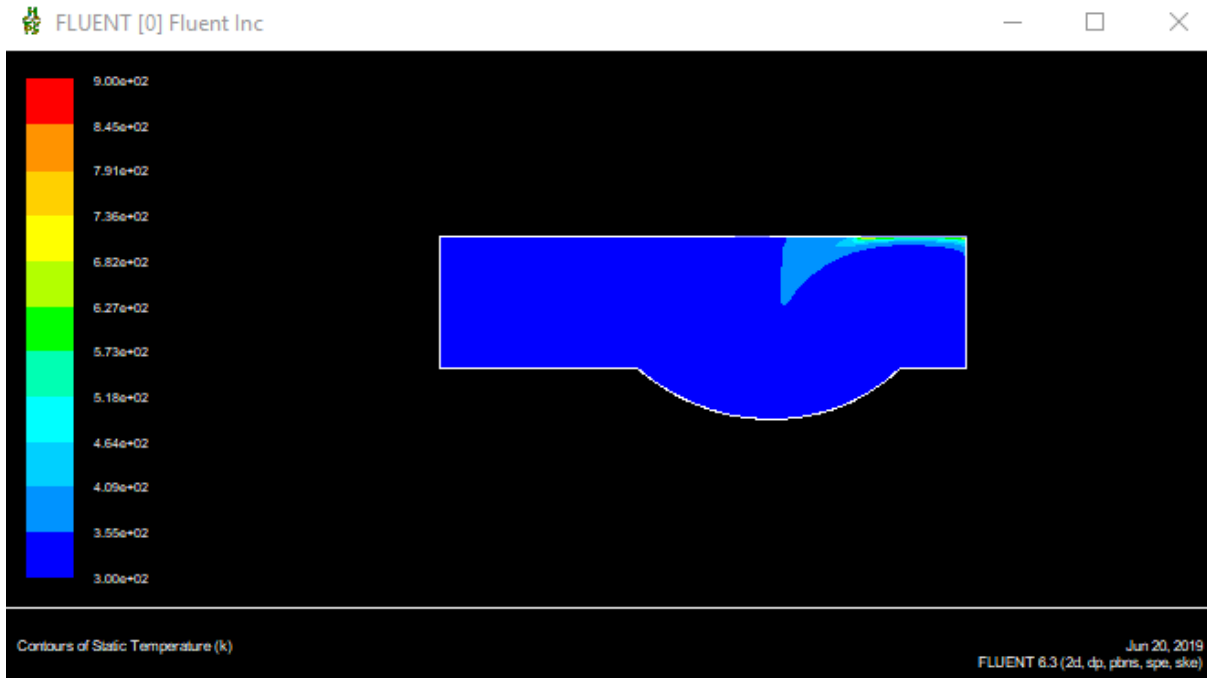


Fig IV.35: Contours de Température

Tracer la variation de température

Plot → XY Plot...

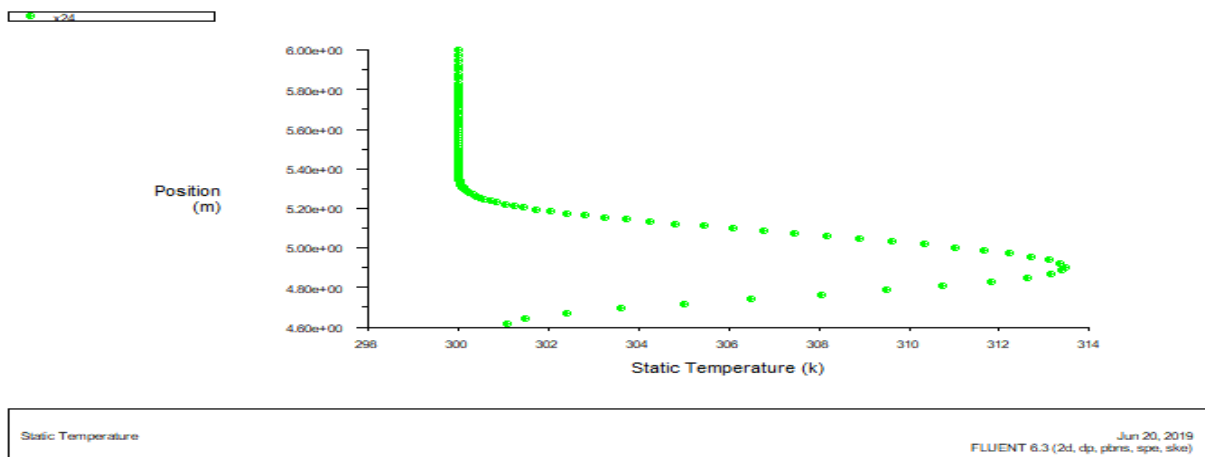


Fig IV.36: Variation de Température X24

On remarque que dans les positions [4.6 à 4.9] et [4.9 à 5.2] il y'a une augmentation plutôt rapide de la température. Tandis que dans les positions [5.3 à 6] la température reste stable.

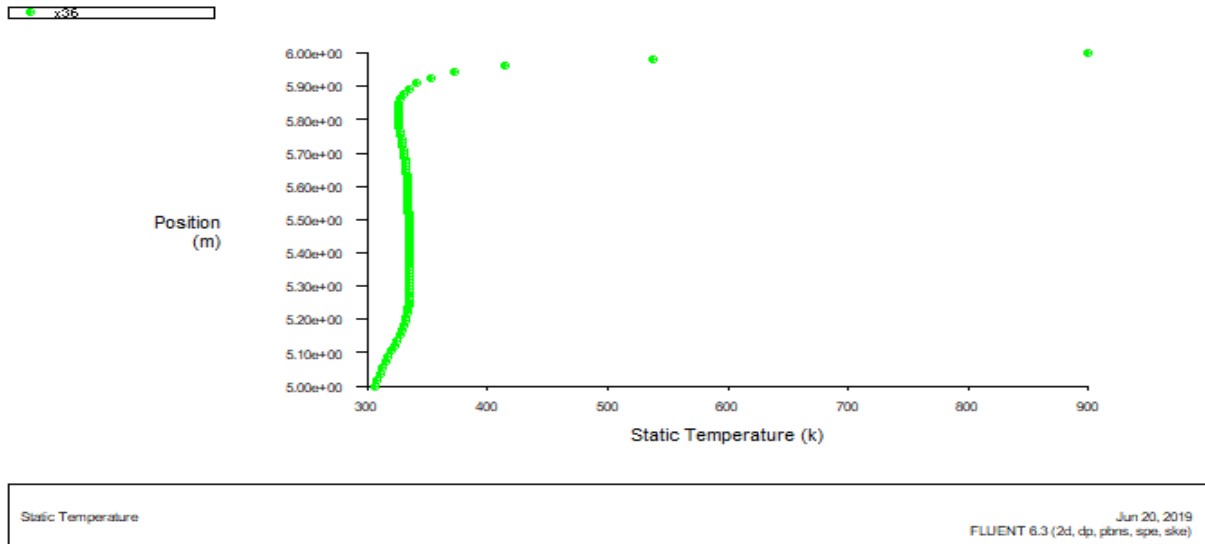


Fig IV.37: Variation de Température X36

Dans les positions [5 jusqu'à 5.9] la température varie légèrement avant d'augmenter rapidement de 350 jusqu'à 900 degré .

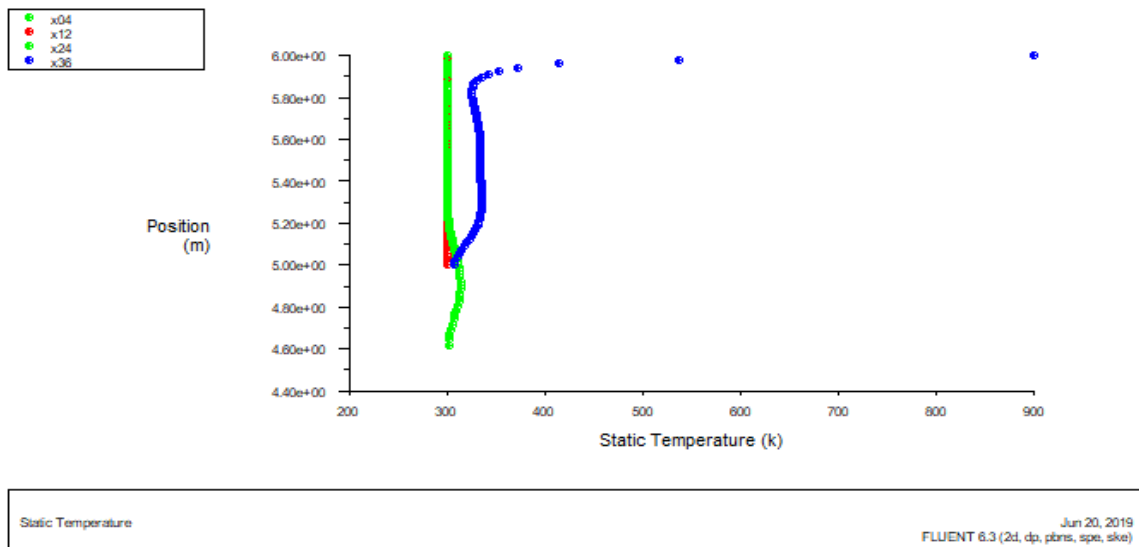


Fig IV.38: Variation de Température X04 , X24 , X36

Pour x04 et x24 : on a une légère variation de la température pour [4.6 à 5.2]. Ensuite de [5.2 jusqu'à 6] la température reste constante et est confondue avec la température dans x12. Dans la position X36 : [5 à 5.9] la température connaît une variation légère, et pour [5.9 à 6] la température augmente rapidement de 300 environ 900.

Chapitre V :

Résultats et *interprétations*

V.1. Contours de pressions :

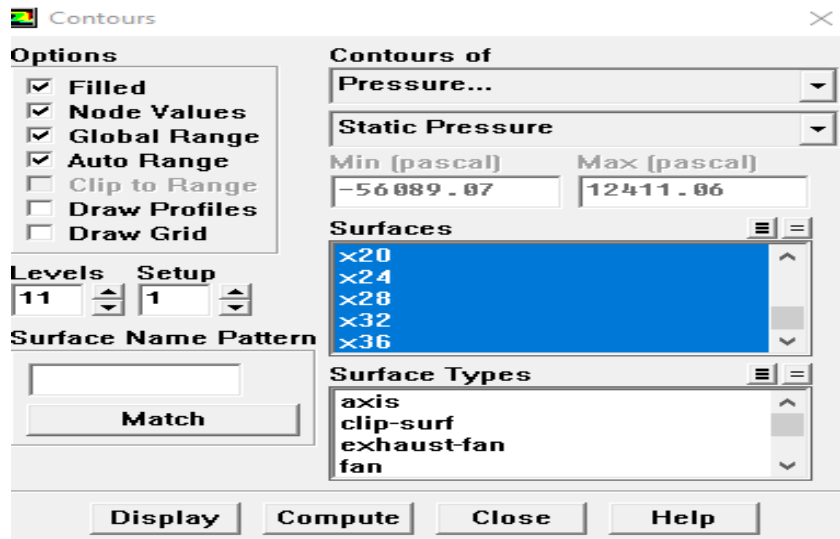


Fig V.1: définition les propriétés de contours

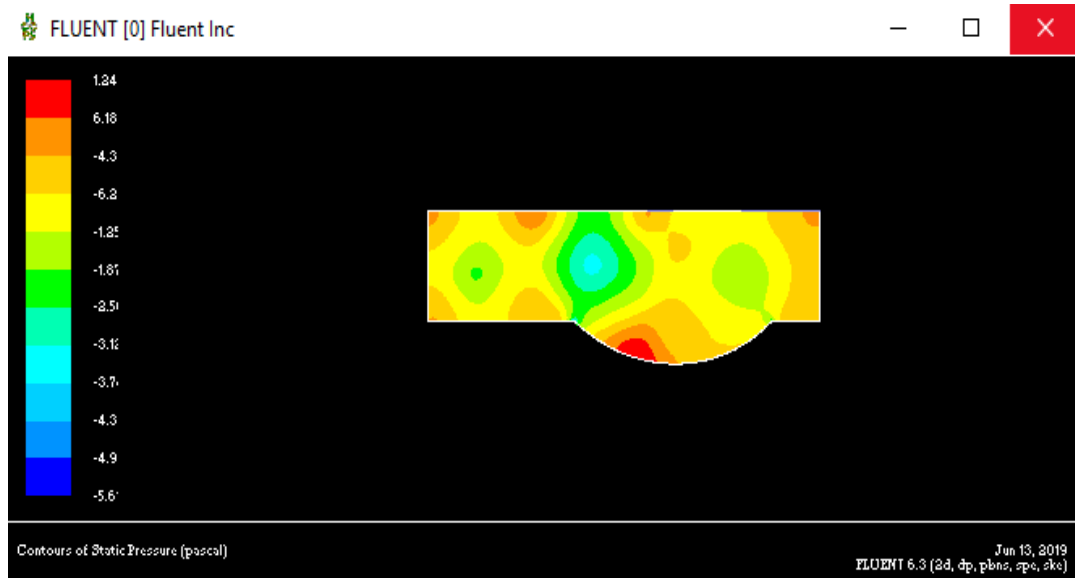


Fig V.2: Contours de pressions

Tracer la variation de pression

Plot → XY Plot...

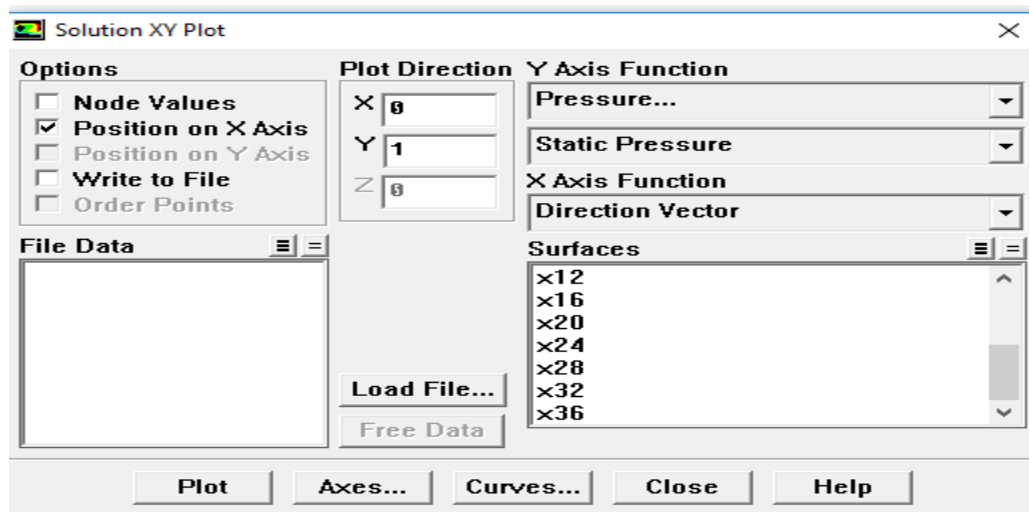


Fig V.3: détermination la variation de pression avec les courbes

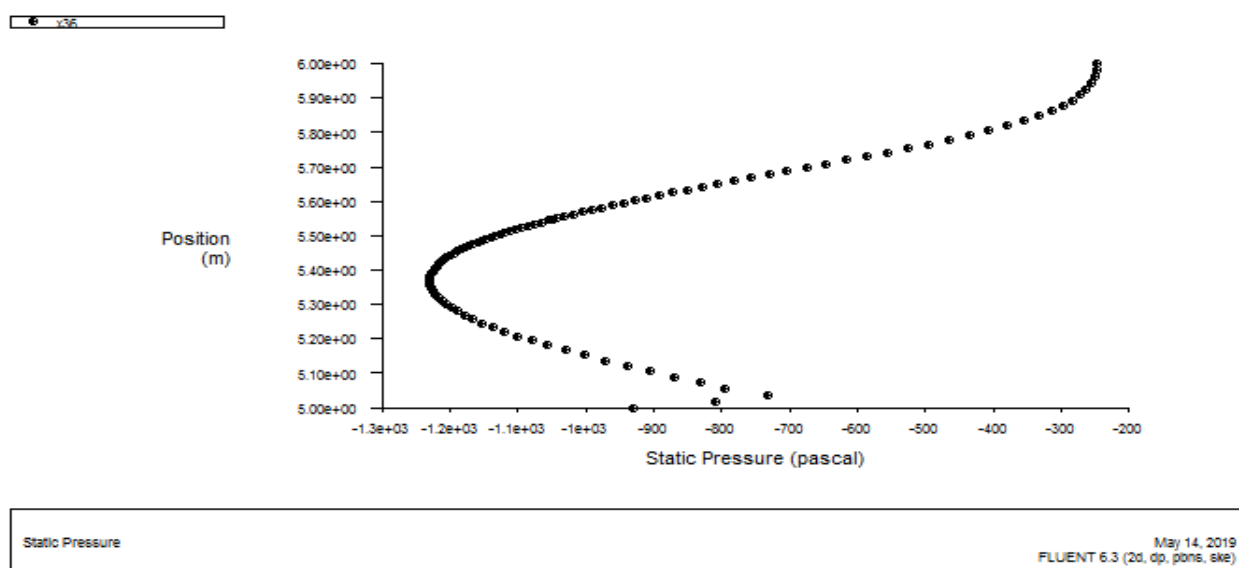


Fig V.4: Variation de pression X04

Dans ce graphe .On remarque que la dépression varie rapidement de (-940) à (-740) pour une lente augmentation de y de 5 à 5.04.

La réduction de pression commence de (-740) à (-1240) avec une augmentation de y(5.04) à (5.4), après cette diminution , la pression augmente fortement de (-1240) jusqu'à (-260) pour une augmentation de y (5.4) à (6).

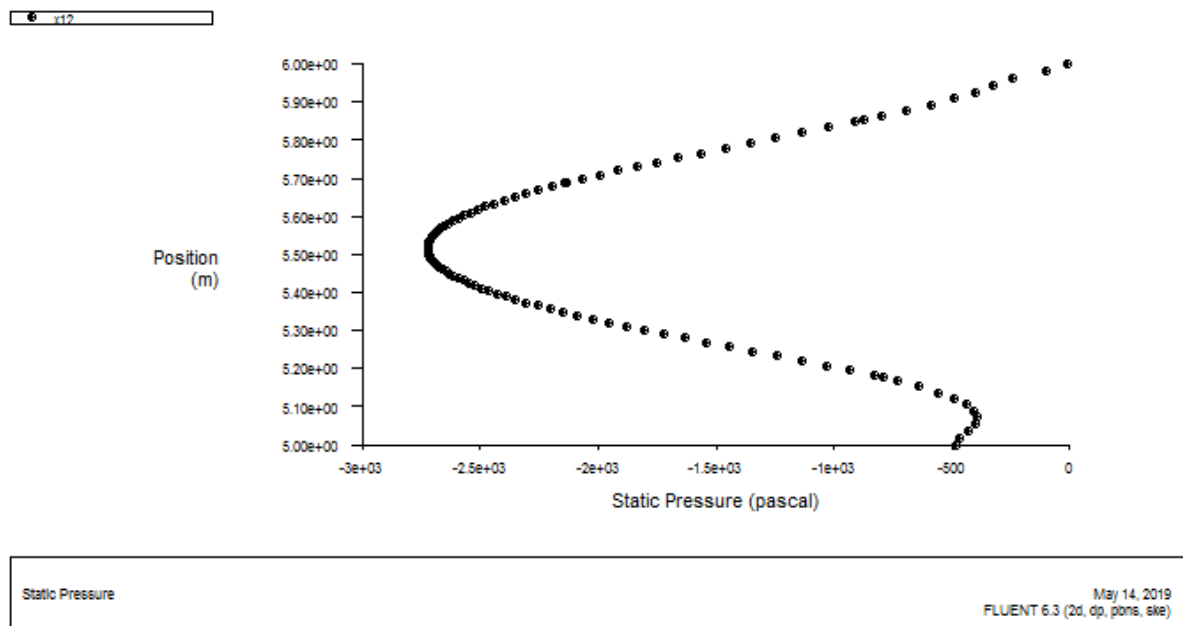


Fig V.5: Variation de pression X12

Dans ce graphe. On remarque que la pression augmente rapidement de (-500) à (-400) pour une lente augmentation de y(5) à (5.08).

La diminution commence de (-400) à (-2700) avec une augmentation de y (5.08) à (5.5).

La pression s’augmente encore de (-2700) jusqu’à (-100) pour une augmentation de y (5.5) à (6).

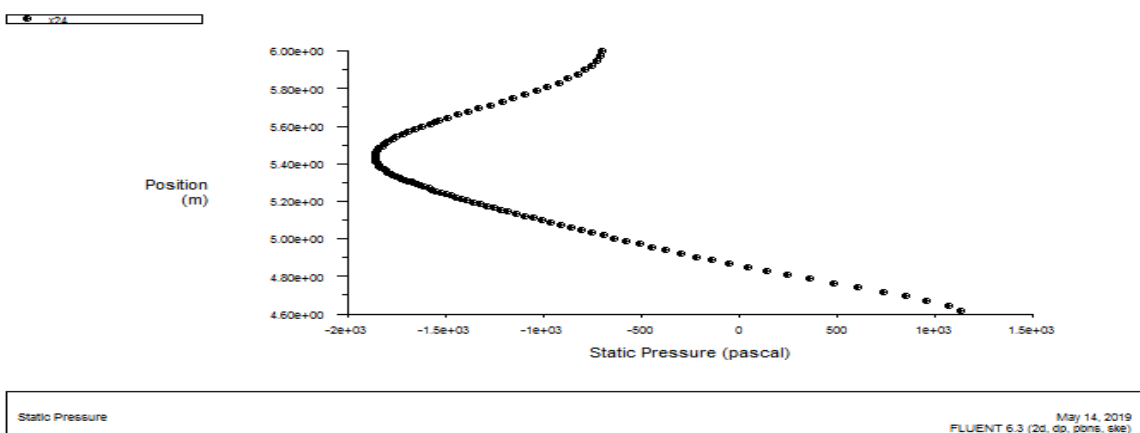


Fig V.6: Variation de pression X24

Dans ce graphe. On remarque que la pression diminue rapidement de (1200) au (-1700) avec une augmentation de y (4.6) à (5.4).

Après cette réduction, la pression s'augmente encore de (-1900) jusqu'à (-600) pour une augmentation de y (5.4) à (6).

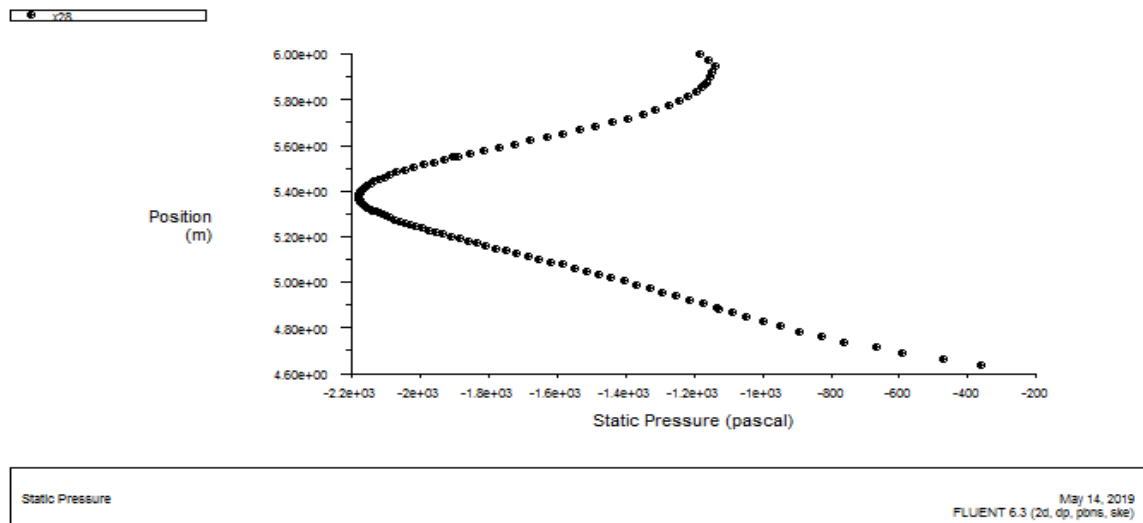


Fig V.7: Variation de pression X28

Dans ce graphe. On remarque que la pression diminue rapidement de (-350) jusqu'à (-2200) pour une augmentation de y (4.62) à (5.4).

La pression augmente de (-2200) à (-1100) avec une augmentation de y (5.4) à (5.9).

Après cette augmentation, la pression diminue faiblement de (-1100) à (-1200) pour une lente augmentation de y (5.9) à (6).

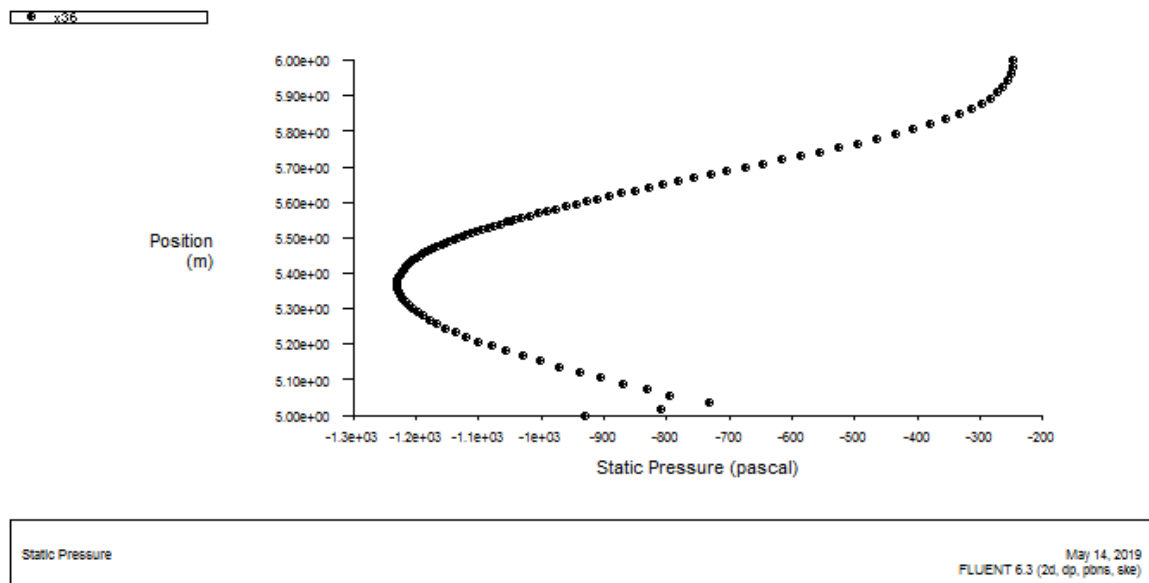


Fig V.8: Variation de pression X36

Dans ce graphe. On remarque que la pression augmente rapidement de (-940) à (-740) pour une lente augmentation de $y(5)$ à (5.04).

La diminution de pression commence de (-740) à (-1240) avec une augmentation de $y(5.04)$ à (5.4), après cette diminution, la pression augmente fortement de (-1240) jusqu'à (-260) pour une augmentation de $y(5.4)$ à (6).

On constate aussi que ce graphe ressemble au premier graphe X04.

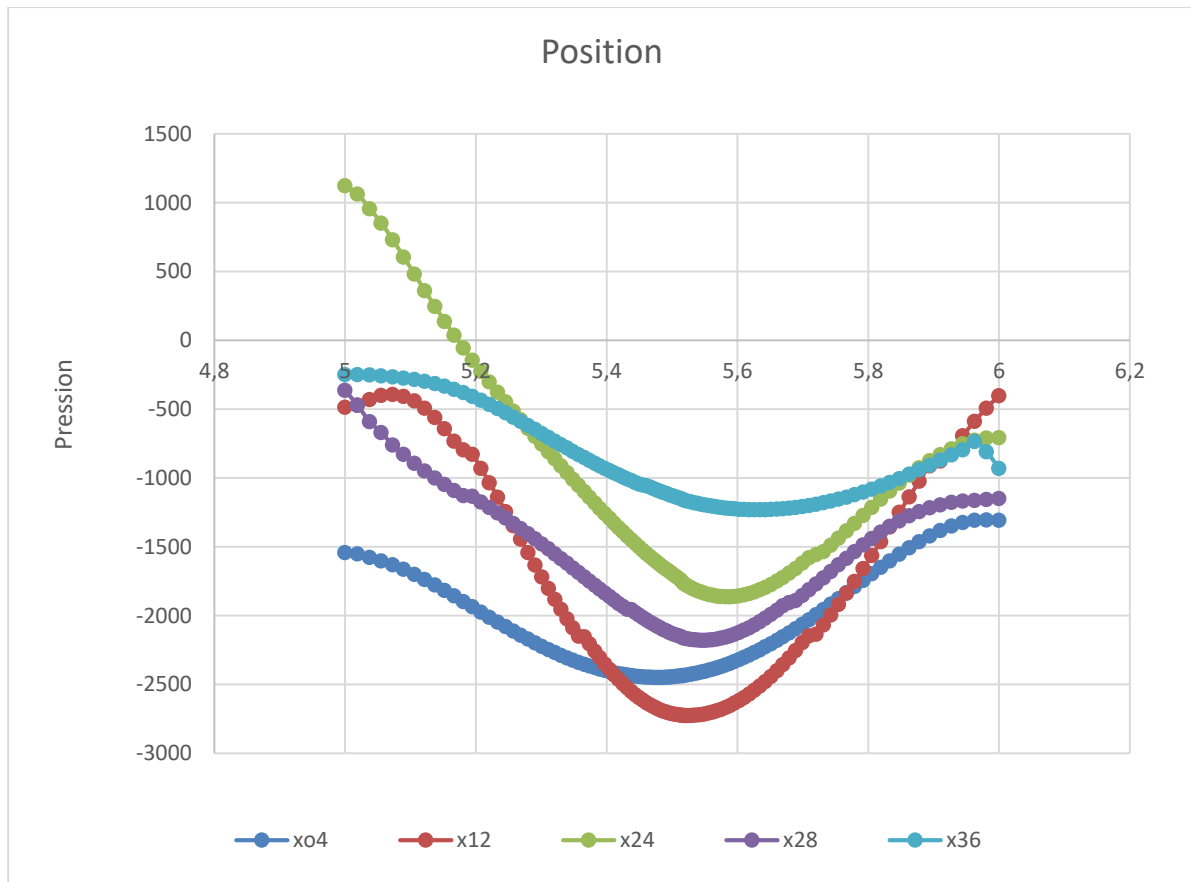


Fig V.9: Variation de pression pour cinq courbes

On remarque que pression diminue jusqu'à (-2750) en X12 c'est la plus grande réduction de pression dans ce graphe, au contraire en X24 on a la plus grande augmentation de pression (1000).

La courbe X24 a une intersection avec X04 pour la pression (-500) et la position (5.25), la courbe X24 a aussi une autre intersection avec X12, X36 pour la pression (-750) et la position (5.95).

X12 a deux intersections avec X04. L'une à la pression (-2500) et position (5.4) et une autre à la pression (-1750) et à la position (5.8).

X12 aussi a deux intersections avec X28. L'une à la pression (-1250) et à la position (5.25) et une autre à la même pression mais à la position (5.85).

V.2.Contours de Température :

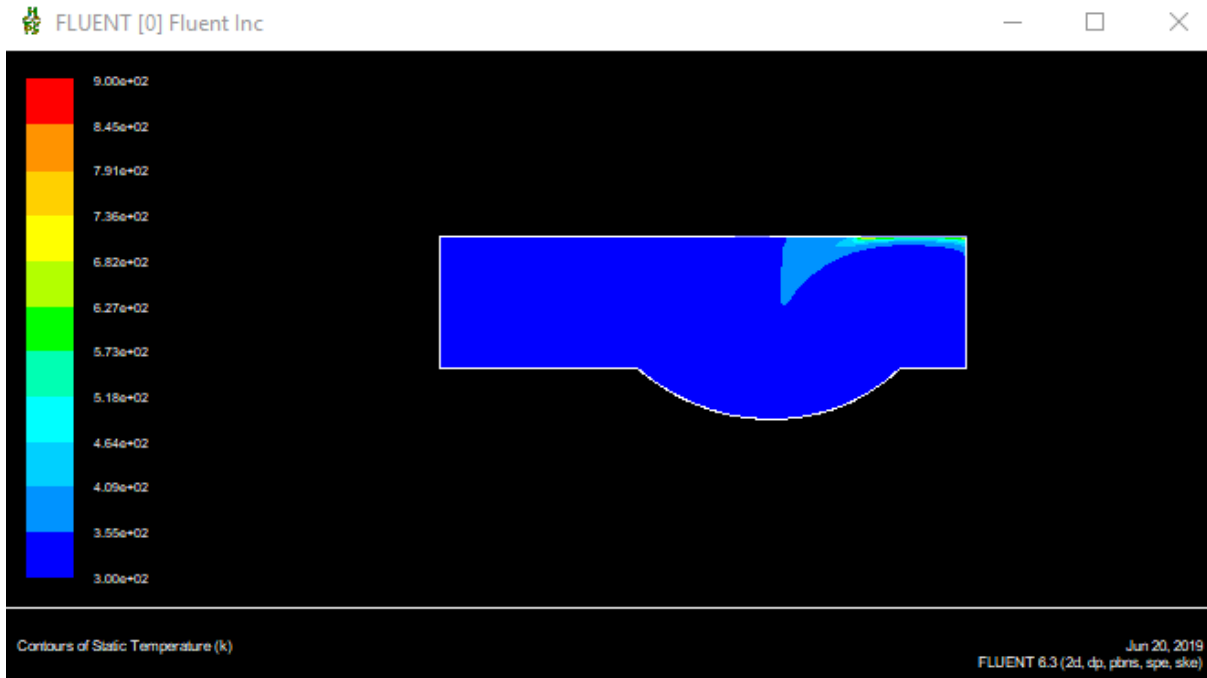


Fig V.10: Contours de Température

Tracer la variation de température

Plot → XY Plot...

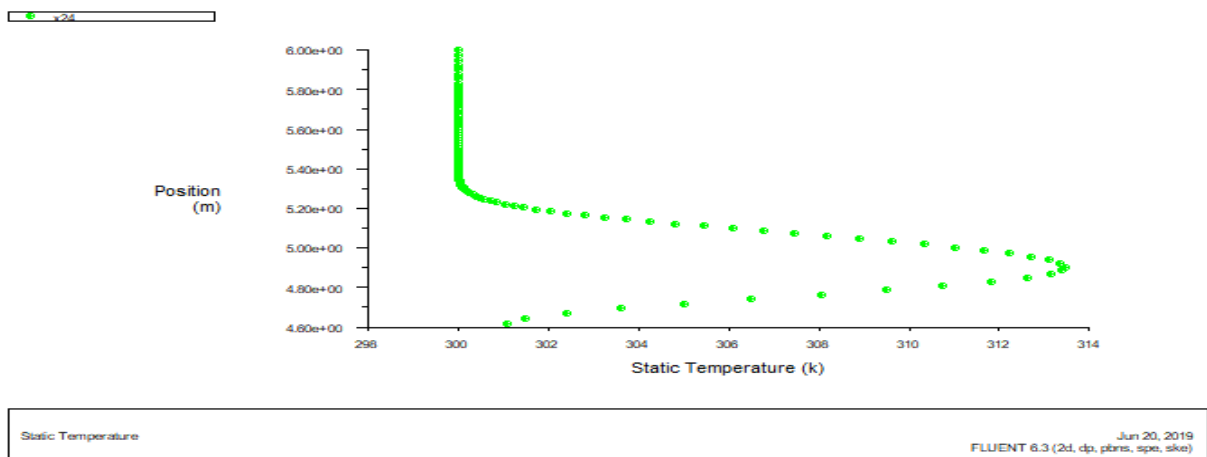


Fig V.11: Variation de Température X24

On remarque que dans les positions [4.6 à 4.9] et [4.9 à 5.2] il y'a une augmentation plutôt rapide de la température. Tandis que dans les positions [5.3 à 6] la température reste stable.

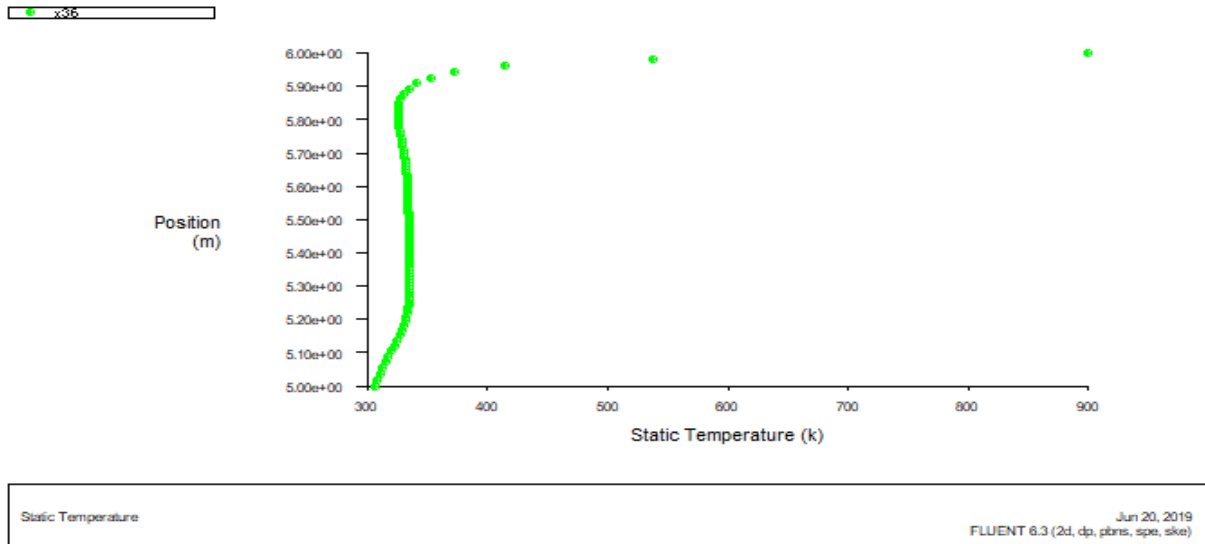


Fig V.12: Variation de Température X36

Dans les positions [5 jusqu'à 5.9] la température varie légèrement avant d'augmenter rapidement de 350 jusqu'à 900 degré .

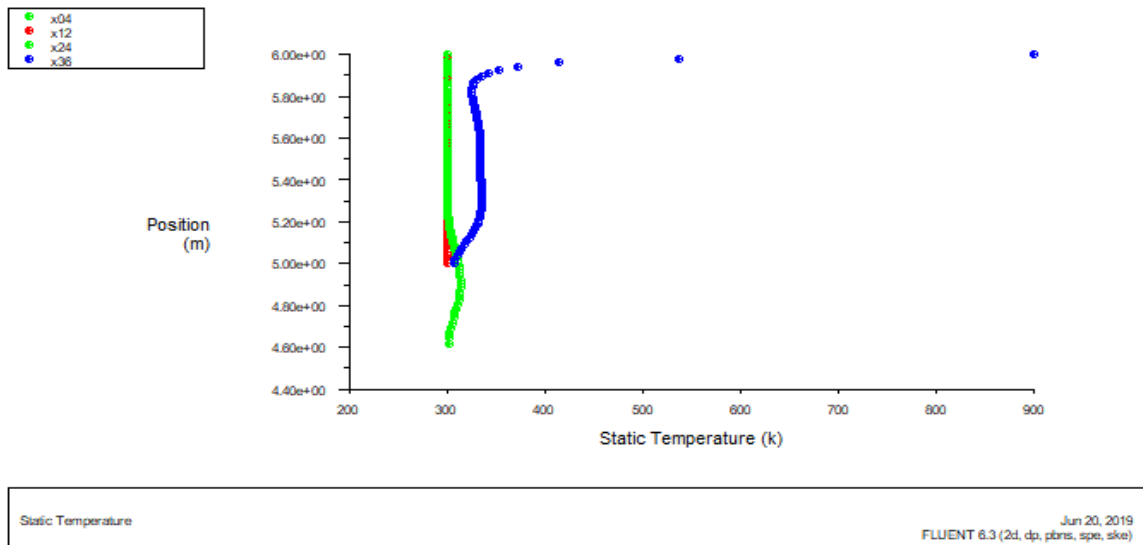


Fig V.13: Variation de Température X04 , X24 , X36

Pour x04 et x24 : on a une légère variation de la température pour [4.6 à 5.2]. Ensuite de [5.2 jusqu'à 6] la température reste constante et est confondue avec la température dans x12. Dans la position X36 : [5 à 5.9] la température connaît une variation légère, et pour [5.9 à 6] la température augmente rapidement de 300 environ 900.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études de master en Génie Mécanique, option énergétique, m'a permis de faire une étude sur le moteur HCCI :

Les résultats obtenus nous montrent une augmentation de la pression signifiant une augmentation de la concentration des différents composants du mélange fuel-air qui résulte peut-être en l'avance prévue du temps d'allumage.

La combustion démarre aux frontières de la chambre de combustion entre l'air et le carburant injecté mais non vaporisé.

La combustion dans le moteur HCCI commence à plusieurs lieux à la fois, ce qui provoque la combustion de tout le mélange air-carburant presque simultanément.

On a essayé de trouver les meilleurs résultats mais on a rencontré des difficultés sur cette simulation à cause de la complexité de la combustion .

Références bibliographique:

- [1] Dr. HENNI. MANSOUR. Z, Thermo propulsion I. chapitre III- Moteurs thermiques.tiré de l'internet.
- [2] P. Arques, Moteurs alternatifs à combustion interne, Edition Masson, février 1987
- [3] Orville L. Adams, Traité élémentaire du moteur Diesel, Traduit Par Ch.Schimpf, Editeur Dunod, 1960
- [4] Didier Jolivet, Le moteur Diesel, Editeurs Chotard Et Associés, 1986
- [5] Repair Manual, Nissan Diesel Engine, Model Pd6, Ltd .Tokyo, Japan, 1990
- [6] S. Tanaka, F. Ayala, J.C. Keck, A reduced chemical kinetic model for HCCI combustion of primary reference fuels in a rapid compression machine. Combust Flame 133 (2003) 467
- [7] S. Tanaka, F. Ayala, J.C. Keck, J.B. Heywood, Two-stage ignition in HCCI combustion and HCCI control by fuels and additives, Combust Flame 132 (2003) 219–239
- [8] A. Bhave, M. Kraft, F. Mauss, A. Oakley, H. Zhao, Evaluating the EGR-AFR Operating Range of a HCCI Engine SAE paper no 2005-01-0161
- [9] Jean-Claude Guibet, Carburants et moteurs, Technip, Paris, 1997.

Résumé

Le travail présenté dans cette thèse consiste en une étude de moteur à combustion HCCI qui répond à de nombreuses exigences techniques, en particulier de bonnes performances et de l'environnement, Le moteur HCCI offre des possibilités en raison de ses propriétés de combustion.

Malgré tout ce que nous avons, il reste des problèmes et ce moteur doit encore être développé.

Mots Clés : Combustion, Moteur HCCI.

Abstract

The work presented in this thesis consists of a study of the HCCI combustion engine meeting many technical requirements, including good performance and environment. The HCCI engine offers possibilities because of the combustion properties.

Nevertheless, there are still problems and this engine still needs to be developed.

Keywords: Combustion, HCCI engine.