

Table des matières	
Résumé	
Abstract	
الملخص	
Nomenclature	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

**Chapitre I : Technologie des moteurs à
combustion**

I.1	introduction :	3
I.2	historique – les différents types de moteurs :	3
I.3	classification des moteurs thermiques :	6
I.3.1	moteur à combustion externe:	6
I.3.1.1	sans changement de phase :	7
A.	Moteur stirling:	7
1.	Les types de moteur stirling:	8
B.	Moteur ericsson:	9
1.	Le principe:	9
2.	Utilisation du moteur ericsson:	9
I.3.1.2	avec changement de phase :	10
A.	Machine à vapeur :	10
1.	Le principe de fonctionnement :	10
2.	Fonction de machine à vapeur et leur utilisation :	11
I.3.2	moteurs à combustion interne :	11

TABLE DES MATIERES

I.3.2.1	moteur à combustion continue (turbomachines)	11
A.	Turbine à gaz :	11
I.3.2.2	moteur à cyclique :	12
A.	Moteur à piston rotatif (wankel)	12
1.	Cycle du moteur wankel.....	13
2.	Avantages :	14
3.	Inconvénients :	14
B.	Moteurs alternatifs :	14
1.	Les moteurs à allumage commandé : moteur à essence :	14
2.	Les moteurs à allumage par compression diesel :	14
3.	Classification selon le cycle thermodynamique :	15
•	les différentes étapes du cycle quatre temps	16

Chapitre II : la technologie de moteur essences

II.1	Introduction :	18
II.2	Histoire des moteurs allumages commandés :	18
II.3	Ensemble d'organe de moteur à essence :	19
II.4	Analyse fonctionnelle :	20
II.5	Présentation des organes fixes et mobiles d'un moteur à essence :	21
II.5.1	Description des éléments fixes:	21
A.	Le bloc-cylindres (bloc moteur) :	21
Fonction :	.....	21
Matière :	.....	21
Forme et réalisation :	.....	21
B.	La culasse:	22
Fonction :	.....	22
Matière :	.....	22
Forme et réalisation :	.....	22

TABLE DES MATIERES

C.Les carters :	23
D.Le carter d'huile :	23
E.Le carter de distribution :	23
F.Le carter cache culbuteur (cache soupapes) :	24
G.Les collecteurs :	24
H.Collecteur d'admission :	24
I. Collecteur d'échappement :	25
II.5.2Description des éléments mobiles :	25
A.Le piston :	26
Fonction :	26
Forme et réalisation :	26
3. La bielle :	27
Fonction :	27
Matière :	27
Forme et réalisation :	27
4. Le vilebrequin :	28
Fonction :	28
Matière :	28
Forme et réalisation :	28
5. Le volant moteur :	29
Fonction :	29
Matière :	29
Forme et réalisation :	29
II.5.3Les organes de distribution.	30
1. L'arbre à cames	30
Fonction :	30
Matière :	30
Entraînement de l'arbre à came :	31
2. Les soupapes	31
Fonction :	32
Matière :	32
Forme et réalisation :	32
3. Les ressorts de soupapes :	32
II.5.4Les éléments intermédiaires	33

TABLE DES MATIERES

1. Culbuteurs :.....	33
2. Tiges de culbuteur :	33
3. Poussoirs :.....	33
II.6 SYSTEME D'ALLUMAGE.....	33
1. Fonction de l'allumage :.....	33
2. Création de l'arc électrique :	33
3. Principe de fonctionnement :	34
4. Différents types d'allumage :	34
A.L'allumage classique par batterie :.....	34
Principe de fonctionnement :	34
Les organes de l'allumage :.....	35
l'allumeur :	35
La bobine :	36
La bougie d'allumage :	36
B.Allumage électronique :	37
Principe de l'allumage électronique :	37
II.7 SYSTEME D'ALIMENTATION :	37
II.7.1Les principes de carburation	38
Carburation :	38
Dosage :	38
Vaporisation :.....	39
Homogénéité :.....	39
II.7.2Alimentation en carburant :.....	39
II.7.3Le chemin itinéraire du carburant (essence)	40
Le réservoir :	40
Pompe à essence :.....	41
A.Mécanique :	41
B.Électrique :	42
Clapets anti-retour.....	43
Clapet de coupure de carburant	44
Séparateur de bulles de gaz	44
Clapets de réduction de pression (Le régulateur de pression)	45
Filtre à carburant (Filtre à tamis)	46
II.7.4Système à carburateur :	46

TABLE DES MATIERES

Carburateur (moteur essences anciens) :	46
Description du carburateur :	47
A.Circuit d'alimentation :	47
B.Circuit de ralenti :	47
C.Circuit principal :	48
D.Circuit de pompe de reprise	49
E.Circuit d'enrichissement de puissance :	49
II.8 Système d'injection.....	50
II.8.1Principe de fonctionnement.....	50
II.8.2Avantages du système d'injection	50
II.8.3Différents systèmes d'injection.....	50
A.Injection K-Jetronic	51
B.Injection L-Jetronic	52
II.9 Alimentation en comburant (air) :	53
II.9.1Les composants des installations d'alimentation en comburant (air) :	53
A.Filtre à air :	53
B.Débitmètre d'air :	54
C.Collecteur d'admission :	55
D.Soupape admission :	55
E.Boitier papillon (essence sans carburateur) :	55
F.Turbocompresseur :	56
Echangeur / Intercooler :	57
II.10Les étapes de l'évolution l'admission de comburant (Air) :	57
II.11Technologie pour améliorées performance des moteurs essences.....	59
II.11.1 Cylindrée variable	59
II.11.2 Calage variable des soupapes.....	60
II.11.3 Conclusion	60

Chapitre III : la suralimentation

III.1 Introduction :	61
----------------------------	----

TABLE DES MATIERES

III.2	Histoire de la suralimentation :.....	61
III.3	Modes de suralimentation.....	62
III.3.1	Suralimentation par générateur de gaz (ou compresseur) entraîné par le moteur:..	62
III.3.2	Machine volumétrique :	62
III.3.3	Les machines à transfert :.....	63
III.3.4	Le compresseur à vis :.....	63
III.3.5	Machine cinétique :	64
III.4	Suralimentation par procédé Hyperbare (applicable au diesel) :.....	65
III.5	Suralimentation par turbocompresseur libre :	65
III.5.1	Le turbo :	66
III.5.2	Le principe de fonctionnement du turbo :	67
III.5.3	Adaptation du turbocompresseur au moteur :	68
III.5.4	La technologie de turbo avec les moteur diesel	68
III.5.5	Le turbo de Moteur Diesel automobile :	69
III.5.6	Sensibilité du moteur Diesel à la suralimentation :	70
III.5.7	Moteur à essence automobile :	70
III.5.8	Types de turbocompresseurs :	71
III.5.8.1	Single-Turbo :	71
III.5.8.2	Twin-Turbo :	72
III.5.8.3	Twin-Scroll Turbo :	72
III.5.8.4	Turbo à géométrie variable :	72
III.5.8.5	Turbocompresseur électrique.....	73
III.5.9	Caractéristiques de la boucle de suralimentation :	73
III.5.10	Besoin en air du moteur :	74
III.5.11	Performances actuelles des moteurs suralimentés par turbocompresseur.....	75
III.5.11.1	Compression de l'air d'admission :	75
III.5.11.2	Refroidissement de l'air d'admission :	76
III.5.12	Utilisation de l'énergie des gaz d'échappement.....	76
III.5.13	Énergie récupérable dans les gaz d'échappement :	77
III.5.14	Caractéristiques fonctionnelles :	77
III.5.15	Compresseur centrifuge :	78
III.5.16	Courbes caractéristiques :	79
III.5.17	Limites d'utilisation :	80
III.5.18	Choix et adaptation du compresseur :	81

III.5.19 Turbine radiale centripète :	82
III.5.20 Courbes caractéristiques de la turbine :	83
III.5.21 Choix et adaptation de la turbine :	84
III.5.22 Technologie du turbocompresseur :	85
III.5.22.1 Matériaux	85
A. Roue de turbine :	85
B. Roue de compresseur	85

**Chapitre IV : Application sur la
suralimentation essence**

IV.1 Introduction :	86
IV.2 La modélisation de la combustion :	86
IV.2.1 Influence de la pression sur la combustion essence	86
IV.2.2 Modèle physique de chambre de combustion :	86
A) Propriétés du carburant (n-heptane) :	86
A) Propriétés du comburant (air) :	87
IV.2.3 Formulation mathématiques	88
IV.2.4 Équations de bilan pour un écoulement réactif laminaire :	88
A. Équations de conservation de la masse :	88
B. Équations de conservation de la quantité de mouvement :	88
C. Équations de conservation de l'énergie :	89
D. Moyenne de Reynolds et Favre	89
E. Equation de conservation de l'espèce chimique :	90
F. Equation de conservation de la quantité de mouvement :	90
G. Equation de conservation d'énergie totale :	90
H. Le modèle (k, ϵ) standard :	90
I. Modèle EDM pour la combustion turbulente	91
IV.2.5 Les conditions Initiale et aux limites :	92
IV.2.6 Simulation numérique :	93
A. Création de la géométrie de chambre :	93
IV.2.7 Résultat et discussion :	94
A. L'équation de la combustion de mélange n-heptane/air :	94

TABLE DES MATIERES

B.	Etude thermique pour différent pression d'air :.....	94
C.	L'influence de pression sur la zone de la réaction :.....	96
IV.3	Influence de la pression sur les performances du moteur :.....	97
IV.4	Description du cycle théorique beau-de-rochas (d'Otto) :	98
IV.5	Formules des caractéristiques de thermodynamique de cycle de beau de rochas : ...	99
IV.5.1	Travail - couple - puissance	100
IV.5.2	Le travail fourni.....	101
A.	La puissance est donc :	101
B.	Pressions moyennes	102
C.	Consommation spécifique.....	104
D.	Rendement :	104
IV.5.3	Application au moteur Audi A3 1.8 turbo essence :	105
IV.6	l'évolution de cycle de beau de rochas avec l'augmentation de la pression :	106
IV.7	Courbe caractéristique en fonction de la pression	108

Résumé :

L'évolution de la technologie, permet actuellement d'utiliser la suralimentation dans les moteurs essence suite aux perfectionnements des systèmes d'injection. Ainsi, les performances du moteur essence peuvent être améliorées en utilisant les turbocompresseurs pour augmenter la quantité d'air admise dans le cylindre. Cependant, la compréhension de l'influence de la pression sur la combustion essence reste très difficile à accéder. Pour cela, une simulation numérique a été réalisée en utilisant le code de calcul FLUENT. Cette simulation porte sur l'influence directe de l'augmentation de la pression sur la combustion de l'essence sans modification des paramètres d'écoulement. Les résultats obtenus présentent une modification importante des zones de réaction et des températures de fin de combustion pour différentes pressions dans la chambre de combustion.

Mots clés : Moteur essence ; Turbocompresseur ; Simulation numérique ; FLUENT.

Abstract :

The evolution of the technology, currently allows to use the supercharging in the gasoline engines following the improvements of the injection systems. Thus, the performance of the gasoline engine can be improved by using turbochargers to increase the amount of air admitted into the cylinder. However, understanding the influence of pressure on gasoline combustion remains very difficult to access. For this, a numerical simulation was carried out using the calculation code FLUENT. This simulation focuses on the direct influence of the increase in pressure on the combustion of gasoline without changing the flow parameters. The results obtained show a significant modification of the reaction zones and the end-of-combustion temperatures for different pressures in the combustion chamber.

Keywords: Petrol engine; Turbocharger; Numerical simulation; FLUENT.

الخلاصة :

يسمح التطور التكنولوجي حاليًا باستخدام الشحن الفائق في محركات البنزين بعد تحسين أنظمة الحقن. وبالتالي ، يمكن تحسين أداء محرك البنزين عن طريق استخدام الشاحن التوربيني لزيادة كمية الهواء المقبولة في الأسطوانة. ومع ذلك ، لا يزال من الصعب للغاية فهم تأثير الضغط على احتراق البنزين. لهذا ، تم إجراء محاكاة عددية باستخدام رمز الحساب FLUENT. تركز هذه المحاكاة على التأثير المباشر للزيادة في الضغط على احتراق البنزين دون تغيير معايير التدفق. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها تعديلاً كبيراً لمناطق التفاعل ودرجات حرارة نهاية الاحتراق لضغوط مختلفة في غرفة الاحتراق.

الكلمات المفتاحية : محرك البنزين. الشاحن التوربيني. محاكاة عددية . رمز الحساب فلونت .

Nomenclature

<i>Symboles</i>	<i>Not</i>	<i>Unités</i>
C	<i>Couple</i>	$[N.m]$
C_s	<i>Consommation spécifique</i>	$[g .(kW.h)^{-1}]$
C_p	<i>Chaleur spécifique à pression constant</i>	$[J.kg^{-1}K^{-1}]$
C_v	<i>Chaleur spécifique à volume constant</i>	$[J. Kg^{-1} . K^{-1}]$
D_k	<i>Coefficient de diffusion de l'espèce k</i>	$[m^2.s^{-1}]$
e_t	<i>Energie totale</i>	$[J.kg^{-1}]$
F	<i>La force</i>	$[N]$
g_0	<i>Accélération de la pesanteur prise dans les conditions standards</i>	$[m.s^{-2}]$
G_b	<i>Terme lié à l'effet de la gravité</i>	---
G_k	<i>Génération de l'énergie cinétique turbulente</i>	---
$h_{f,k}^0$	<i>Enthalpie de formation de l'espèce k</i>	$[J.kg^{-1}]$
h_t	<i>Enthalpie totale</i>	$[J.kg^{-1}]$
J_j^{et}	<i>Flux d'énergie totale</i>	$[Wm^{-2}]$
k	<i>Energie cinétique turbulente</i>	$[m^2.s^{-2}]$
M	<i>Masse molaire</i>	$[Kg .mol^{-1}]$
M	<i>La masse</i>	$[Kg]$
N	<i>Régime de rotation</i>	$[tr/min]$
P	<i>Puissance</i>	$[W]$
Q	<i>Débit de gaz éjecté</i>	$[Kg.s^{-1}]$
Sc_t	<i>Nombre de Schmidt turbulent</i>	---
S^{et}	<i>Terme source de d'énergie totale</i>	$[Jkg^{-1}]$
W	<i>Travail</i>	$[J]$
v	<i>Volume molaire</i>	$[m^3 .mole^{-1}]$
Y_k	<i>Fraction massique de l'espèce k</i>	---
Z	<i>Facteur de compressibilité Z</i>	---

Nomenclature

Symboles Grecque

γ	<i>Rapport de chaleur spécifique</i>	---
π	<i>Rapport de la masse de la structure du système à la masse d'ergols</i>	---
ρ	<i>Masse volumique</i>	$[\text{kg.m}^{-3}]$
ρ_r	<i>Masse volumique au point critique</i>	$[\text{kg.m}^{-1}]$
τ_{ij}	<i>Composantes i, j du tenseur des contraintes visqueuses</i>	$[\text{kg.m}^{-1}\text{s}^{-1}]$
$\dot{\omega}_k$	<i>Taux de production (ou de consommation) de l'espèce</i>	$[\text{kg.mole/m}^3\text{s}]$
$\nu_{i,r}$	<i>Coefficients stœchiométrique</i>	---
μ	<i>Viscosité dynamique</i>	$[\text{Pa.s}]$
δ	<i>Opérateur de kronecker</i>	---
λ	<i>Conductivité thermique du mélange</i>	$[\text{W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}]$
A_r	<i>Facteur d'air</i>	
φ	<i>Quantité extensive arbitraire</i>	---
Φ_s	<i>La réchess stœchiométrique</i>	
μ_t	<i>Viscosité dynamique turbulente</i>	$[\text{kg.m}^{-1}\text{.s}^{-1}]$
ϵ	<i>Dissipation d'énergie cinétique turbulente</i>	$[\text{m}^2\text{s}^{-3}]$
α	<i>Angle</i>	<i>Radian</i>

Nomenclature

Indice

<i>C</i>	<i>Compresseur</i>
<i>E</i>	<i>Effective</i>
<i>T</i>	<i>Turbin</i>
<i>f</i>	<i>Formation</i>
<i>t</i>	<i>Turbulent</i>
<i>R</i>	<i>Fluide refroidisseur</i>
<i>G</i>	<i>Gaz</i>
<i>A</i>	<i>Air</i>
\bar{a}	<i>Moyenne de Reynolds</i>
\tilde{a}	<i>Moyenne de Favre</i>
"	<i>Fluctuation</i>

Abréviation

<i>CFD</i>	<i>Computational Fluid dynamic</i>
<i>EBU</i>	<i>Eddy Break Up</i>
<i>EDM</i>	<i>Eddy Dissipation Model</i>
<i>MSL</i>	<i>Moteur soupapes latérales</i>
<i>MST</i>	<i>Moteur soupapes en tête</i>
<i>PCI</i>	<i>Pouvoir calorifique inférieur du carburant</i>
<i>PME</i>	<i>Pression moyenne effective</i>

La liste des figures

Figure I.1: Classification des moteurs thermiques.....	6
Figure I.2: Type des moteurs a' combustion externe.....	7
Figure I.3: Moteur Stirling.....	8
Figure I.4: Moteur d'Ericsson.....	9
Figure I.5: Machines à vapeur.....	10
Figure I.6: Turbin à gaz.....	11
Figure I.7: Moteur à piston rotatif Wankel	12
Figure I.8: Cycle du moteur Wankel.....	13
Figure I.9: Moteur à deux temps.....	16
Figure I.10: Moteurs à quatre temps.....	17
Figure II.1 : Vue éclatée d'un moteur à explosion.....	19
Figure II.2 : bloc moteur.....	22
Figure II.3 : culasses de moteur.....	23
Figure II.4 : le carter d'huile.....	23
Figure II.5 : le carter de distribution.....	24
Figure II.6 : carter cache culbuteur.....	24
Figure II.7 : collecteur d'admission.....	25
Figure II.8 : Collecteur d'échappement.....	25
Figure II.9 Le piston:	26
Figure II.10 : bielle.....	27
Figure II.11: Le vilebrequin.....	28
Figure II.12 : volât moteur.....	29
Figure II.13 : arbre à cames.....	30
Figure II.14 : Les soupapes.....	32
Figure II.15 : L'allumage par batterie.....	34
Figure II.16 : Allumeur classique.....	35
Figure II.17 : Bobine	35

La liste des figures

Figure II.18 : bougie d'allumage.....	36
Figure II.19 : Alimentation en carburant d'un moteur à carburateur (jusqu'à env. 1976)..	39
Figure II.20 : Structure d'une installation d'alimentation en carburant avec fonctionnalités étendues (environ 1976 à 1992).....	39
Figure II.21 : Alimentation en carburant d'un moteur à injection (à partir de 1985 env.)..	40
Figure II.22 : Le réservoir d'un véhicule.....	40
Figure II.23 : Pompe à membrane (aspiration).....	41
Figure II.24 : Pompe à membrane (refoulement).....	42
Figure II.25 : Pompe à essence électrique.....	43
Figure II.26 : clapet anti retour essence alu pour durite 6mm.....	43
Figure II.27 : Clapet de coupure de carburant.....	44
Figure II.28: Séparateur de bulles de gaz.....	45
Figure II.29 : Le régulateur de pression.....	45
Figure II.30 : Filtre à tamis.....	46
Figure II.31 : carburateur.....	46
Figure II.32 : Circuits internes du carburateur.....	47
Figure II.33 : Circuit de ralenti.....	48
Figure II.34: Circuit principal.....	48
Figure II.35 : Circuit de reprise.....	49
Figure II.36 : Circuit d'enrichissement de puissance.....	49
Figure II.37: injection directe et indirecte.....	51
Figure II.38: Schéma de l'installation du système K-Jetronic.....	52
Figure II.39 : Schéma du système L-Jetronic.....	53
Figure II.40 : filtre à air.....	54
Figure II.41 : débit maitre d'aire.....	54
Figure II.42 : Boitier papillon.....	56
Figure II.43 : Turbocompresseur.....	56
Figure II.44: Echangeur / Intercooler.....	57

La liste des figures

Figure II.45: circuit d'ancien moteur essence atmosphérique à carburateur.....	57
Figure II.46: Ancien moteur essence turbo à carburateur.....	58
Figure II.47: Moteur essence moderne atmosphérique injection indirecte.....	58
Figure II.48: Moteur essence moderne atmosphérique injection directe.....	58
Figure II.49: Moteur essence moderne turbo injection directe.....	59
FIGURE III.1: SCHEMAS D'INSTALLATION D'UN MOTEUR SURALIMENTÉ PAR COMPRESSEUR VOLUMÉTRIQUE.....	64
FIGURE III.2: SCHEMA D'INSTALLATION D'UN MOTEUR SURALIMENTÉ PAR COMPRESSEUR CENTRIFUGE.....	64
FIGURE III.3: SCHEMA D'INSTALLATION D'UN MOTEUR SURALIMENTÉ.....	65
FIGURE III.4: SCHEMAS D'INSTALLATION D'UN MOTEUR SURALIMENTÉ TURBOCOMPRESSEUR SURALIMENTATION A UN OU DEUX ETAGE.....	66
FIGURE III.5: LE TURBO SUR UN MOTEUR.....	67
FIGURE III.6: LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU TURBO.....	68
FIGURE III.7 : SINGLE-TURBO.....	71
FIGURE III.8 : TWIN-TURBO.....	72
FIGURE III.9 : TWIN-SCROLL TURBO.....	72
FIGURE III.10 : TURBO A GEOMETRIE VARIABLE.....	73
FIGURE III.11 : TURBOCOMPRESSEUR ELECTRIQUE.....	73
FIGURE III.12 : INSTALLATION D'UN TURBOCOMPRESSEUR SUR UN MOTEUR.....	74
FIGURE III.13: ÉCORCHE DE TURBOCOMPRESSEUR D'AUTOMOBILE.....	78
FIGURE III.14 : SCHEMA COMPRESSEUR CENTRIFUGE.....	79
FIGURE III.15 : CARACTERISTIQUE DEBIT-PRESSION D'UN COMPRESSEUR.....	80
FIGURE III.16 : LIMITES D'UTILISATION D'UN COMPRESSEUR.....	81
FIGURE III.17: POINTS DE FONCTIONNEMENT D'UN COMPRESSEUR.....	82
FIGURE III.18 : SCHEMA TURBINE RADIALE CENTRIPETE.....	83
FIGURE III.19: COURBES CARACTERISTIQUES D'UNE TURBINE CENTRIPETE.....	84
Figure IV.1 : Modèle physique de chambre de combustion.....	86
Figure IV.2 : maillage de la géométrie.....	93
Figure IV.3 : influence de pression sur la température de flamme.....	94
Figure IV.4 variation de température pour différentes pressions.....	95
Figure IV.5: influence de la pression sur la zone de réaction.....	96

La liste des figures

Figure IV.6: évolution de température pour la pression.....	97
Figure IV.7: cycle Le cycle théorique Beau de Rochas.....	98
Figure IV.8 : schéma de calcul.....	100
Figure IV.9 cycle de beau de rochas pour une pression $P=0.5$ bar.....	106
Figure IV.10 cycle de beau de rochas pour une pression $P=1$ bar.....	107
Figure IV.11 cycle de beau de rochas pour une pression $P=1.5$ bar.....	107
Figure IV.12 cycle de beau de rochas pour une pression $P=2.5$ bar.....	108
Figure IV.13 : Couple Moyen Effectif.....	108
Figure IV.14 : Puissance thermodynamique.....	109
Figure IV.15 : Pression moyenne effective.....	109
Figure IV.16 : La consommation spécifique.....	110
Figure IV.17 : Le rendement Thermodynamique.....	110

La liste des tableaux

Tableau II.1 : Les organes d'un moteur à explosionles.....	20
Tableau II. 2 l'installation du système K-Jetronic	52
Tableau IV.2 : Propriétés du comburant (air).....	87
Tableau IV.1 : Propriétés du carburant (n-heptane).....	87
Tableau VI.3 performance technique moteur Audi A3 1.8.....	106

Introduction générale

Parmi les axes de développement technologique dans le domaine des moteurs essence, la suralimentation est devenue un point primordial permettant d'améliorer le moteur en puissance et en consommation. Les véhicules modernes sont quasiment tous équipés de systèmes de suralimentation dans le but de diminuer les émissions de polluants, mais également de gagner en prestation (couple plus important). Ainsi, la technologie permet aujourd'hui de produire des puissances de plusieurs centaines de chevaux avec des moteurs d'à peine plus d'un litre de cylindrée.

Le principe de la suralimentation des moteurs a été proposé dès les développements des moteurs de courses (formule un). Avec l'émergence des droits à la protection de l'environnement et à la lutte contre la pollution, cette technique entre dans le monde des voitures diesel. Cette technique est maintenant très élargie et généralisée sur toutes les voitures diesel comme marque et symbole de puissance. La suralimentation est ensuite introduite dans le monde des voitures essence, où elle a réussi à augmenter la puissance des voitures ; réduire la consommation de carburant.

Actuellement, l'une des voies potentiellement envisagées pour augmenter le rendement, et donc par là-même diminuer la consommation en carburant, est de suralimenter massivement les motrices essences. Ainsi, tout en maintenant constante la puissance, l'augmentation du rendement est obtenue par la conjonction de deux effets : un remplissage optimum de la chambre de combustion grâce à l'utilisation d'un turbocompresseur permettant de suralimenter l'admission et la diminution des frottements mécaniques résultant de la diminution de la taille et de la masse des pièces mécaniques en mouvement.

L'objectif de ce travail est donc d'étudier l'influence de la pression d'admission sur un moteur à allumage commandé (essence) suralimenté. Le présent travail porte sur :

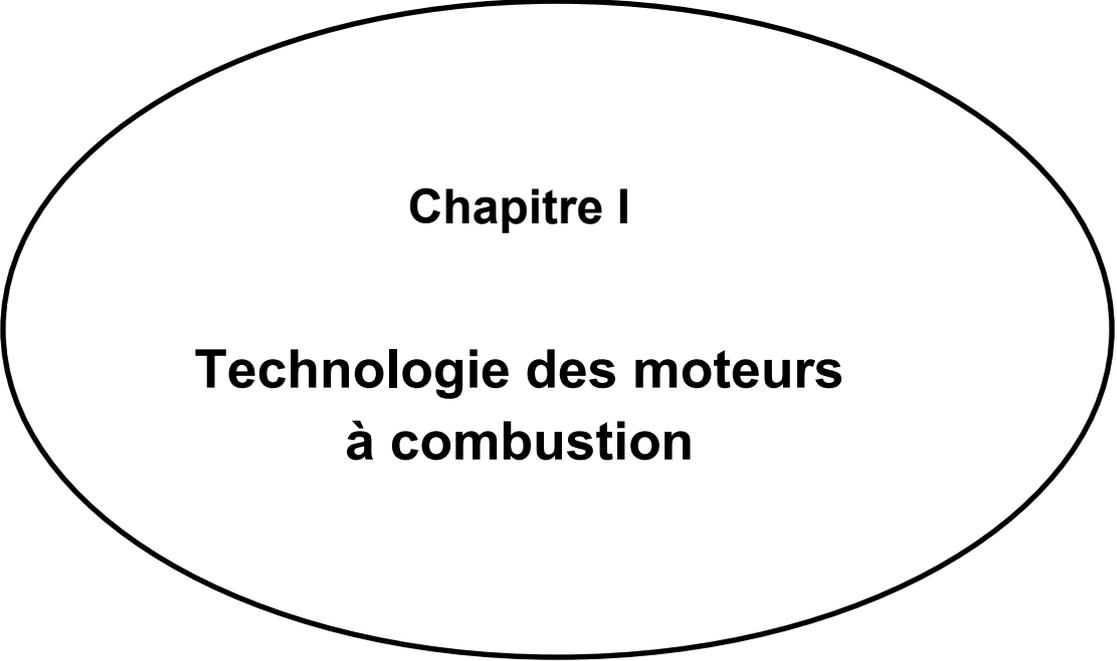
L'étude théorique et numérique de la suralimentation dans le but d'étudier l'influence de la pression sur une chambre de combustion simplifiée en utilisant le code de calcul « FLUENT ». En deuxième lieu, l'étude porte sur l'étude de l'influence de la suralimentation sur un cas réel, il s'agit du moteur (Audi ; A3 ; 1.8 turbo) en utilisant le programme calculateur Excel appliqué sur le cycle théorique de Beau de Rochas.

Le premier chapitre, présente une généralité sur les types des machines thermiques à combustion et leur classification selon le cycle thermodynamique.

Le deuxième chapitre, présente l'étude détaillée sur les moteurs à allumage commandé avec l'ensembles des organes circuits de fonctionnement du moteur essence.

Le troisième chapitre présente la suralimentation des moteurs à combustion interne par turbo compresseur et leur fonctionnement.

Le quatrième chapitre présente la modélisation de la chambre de combustion avec n-heptane comme carburant pour différentes pressions ainsi que le calcul théorique de l'influence des pressions d'admission sur les performances de moteur essence.



Chapitre I

**Technologie des moteurs
à combustion**

I.1 Introduction :

Une machine thermique est tous les types des machines qui permettent de transformer l'énergie thermique (forme de chaleur) à une énergie mécanique (forme de travail). Pratiquement, une machine thermique fonctionne à l'aide d'un agent thermique (qui constitue le système) subissant une transformation cyclique et échangeant avec l'extérieur du travail et de la chaleur. Les différentes machines motrices peuvent être classées selon le type de la combustion. Voir (figure I. 1), les transformations subies par le fluide et l'état du fluide.

I.2 Historique – les différents types de moteurs :

Le plus ancien moteur est la machine à vapeur : dès le 1er siècle après J.C, Héron d'Alexandrie construit l'éolipyle, une chaudière hermétique remplie en partie d'eau, placée sur le feu. Deux tubes creux relient cette chaudière à une sphère pouvant tourner autour d'un axe horizontal. Deux tubes perpendiculaires à l'axe laissent sortir la vapeur de la sphère, ce qui, par propulsion, la fait tourner.

En 1763, James Watt répare un moteur Newcomen (machine à balancier créée en 1712) et cherche un moyen d'augmenter son efficacité. Il crée une chambre de condensation pour la vapeur séparée par une valve. En 1781, il met au point le système mécanique permettant de créer un mouvement de rotation à partir du mouvement rectiligne du piston, ce qui lui permet ensuite de concevoir le cylindre à double action où la vapeur entraîne le piston lors de sa montée et de sa descente. La puissance de la machine en est fortement augmentée.

En 1784, il dépose un brevet sur une locomotive à vapeur et invente un indicateur de pression de la vapeur dans le cylindre. Il construit en 1788 une valve de puissance pour rendre la vitesse constante indépendamment des variations de la production de vapeur et des sollicitations de puissance de sortie et introduit une nouvelle unité de mesure de la puissance : le cheval vapeur.

En 1803, Edmund Cartwright invente un nouveau type de condenseur enveloppant le cylindre ; avec l'apparition de chaudières produisant de la vapeur à haute pression, des machines compactes et puissantes vont ainsi pouvoir être fabriquées. [1]

La machine à vapeur est un moteur à combustion externe qui transforme de l'énergie thermique en énergie mécanique. La vapeur d'eau produite grâce à une chaudière est utilisée pour mouvoir un piston dans un cylindre, puis ce mouvement de translation est transformé en rotation par des bielles. Le terme externe vient du fait qu'aucune combustion n'a lieu dans le moteur et que le fluide caloporteur demeure confiné dans celui-ci.

L'énergie thermique fournie par deux sources de température externes (une chaude et une froide) est convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire de ce fluide qui subit un cycle thermodynamique fermé. Le chauffage de l'eau peut se faire sans combustion, par chauffage solaire. par exemple : Ces moteurs sont aussi appelés moteurs à air chaud car à l'origine, le fluide de travail utilisé était l'air. Aujourd'hui, d'autres fluides étant utilisés, comme l'hydrogène, l'hélium ou l'azote, cette expression tend à disparaître. [1]

Ces moteurs avaient une consommation inférieure aux autres pour une puissance supérieure, dans les années 1970, mais ils ne furent pas exploités industriellement. Les moteurs à combustion externe les plus connus sont : le moteur Stirling (1816), le moteur Ericsson (1833) et bien sûr la machine à vapeur.

Apparus à la même époque que les premières machines à vapeur, les moteurs à combustion interne à pistons verront leur développement sommeiller pendant près de deux siècles, avant de s'affirmer comme les moteurs du XXe siècle. C'est le type de motorisation des véhicules le plus répandu de nos jours.

Dans de tels moteurs, l'énergie thermique dégagée par la combustion et la détente d'un gaz est transformée en énergie motrice mécanique directement à l'intérieur du moteur. La combustion a lieu dans la même partie du moteur que la production de travail. On retrouve cependant les mêmes principes que lors d'un cycle de moteur à combustion interne : énergie chimique du fluide de combustion, combustion chaleur, augmentation de la pression du fluide moteur, détente de ce fluide, travail mécanique.

L'explosion se produit dans un cylindre dont un des fonds est fixe, la culasse, l'autre mobile et le piston. Le déplacement rectiligne du piston est ensuite transformé en mouvement de rotation par un système bielle-manivelle, puis recueillie sur un arbre tournant appelé vilebrequin.

Il existe deux grands types de moteurs à combustion interne : les moteurs fournissant un couple sur un arbre et les moteurs à réaction. Dans le premier cas, un ensemble cylindre-piston permet le mouvement du véhicule, tandis qu'un moteur à réaction est destiné à propulser un véhicule en projetant un fluide (gaz ou liquide) vers l'arrière.

Parmi les moteurs fournissant un couple sur un arbre, on distingue :

- Les moteurs à allumage commandé, auxquels nous nous intéresserons particulièrement.
- Les moteurs Diesel.
- Les machines à pistons rotatifs à battement contrôlé (MPRBC), qui utilisent les rotations alternées d'un nombre pair de pistons.
- Les turbines à gaz, qui consistent à faire tourner un arbre grâce à l'énergie cinétique issue de la détente dans une turbine de gaz produits par la combustion d'un hydrocarbure.

Contrairement au moteur Diesel, le mélange combustible d'un moteur à allumage commandé ne s'enflamme pas spontanément lors d'une compression, mais nécessite l'action d'une étincelle provoquée par le système d'allumage. Une bougie provoque l'arc électrique enflammant les gaz dans la chambre de combustion, une bobine produit les hautes tensions nécessaires à la création de l'étincelle et il y a un système de commande de l'allumage (rupteur ou système électronique). Les principaux moteurs à allumage commandés sont :

- Le moteur Wankel, dit « à piston rotatif », qui utilise un cycle quatre temps avec un piston « triangulaire ».
- Le moteur à deux temps.
- Le moteur à quatre temps.

Les voitures électriques existent depuis 1881 mais ont rapidement été supplantées par les véhicules à essence, plus autonomes. Cependant, il est à noter que c'est une voiture électrique, l'ingénieur Belge Camille Jenatzy, qui dépasse pour la première fois les 100 km/h en atteignant 105,88 km/h le 1er mai 1899.

Depuis une dizaine d'années, ces véhicules sont l'objet de nombreuses recherches visant à augmenter l'autonomie de leurs batteries et à faciliter leur recharge, ce qui leur assurerait une utilisation potentielle par un plus large public. Ces automobiles sont mues par la force électromotrice de moteurs électriques, et alimentées soit par une batterie d'accumulateurs, soit par une pile à combustible (hydrogène ou méthanol), soit par un moteur thermique générateur (Wankel, Stirling, ou classique). Elles fonctionnent grâce à la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique par ces moteurs. Les voitures à moteur hybride associent plusieurs sources d'énergie, généralement un moteur thermique et un moteur électrique. Elles comportent deux moteurs distincts, contrairement aux véhicules électriques. Le premier modèle, la Toyota Prius, a été commercialisé en 1997 au Japon uniquement. [1]

I.3 Classification des moteurs thermiques :

Les moteurs thermiques sont représentés par le synoptique ci-après:

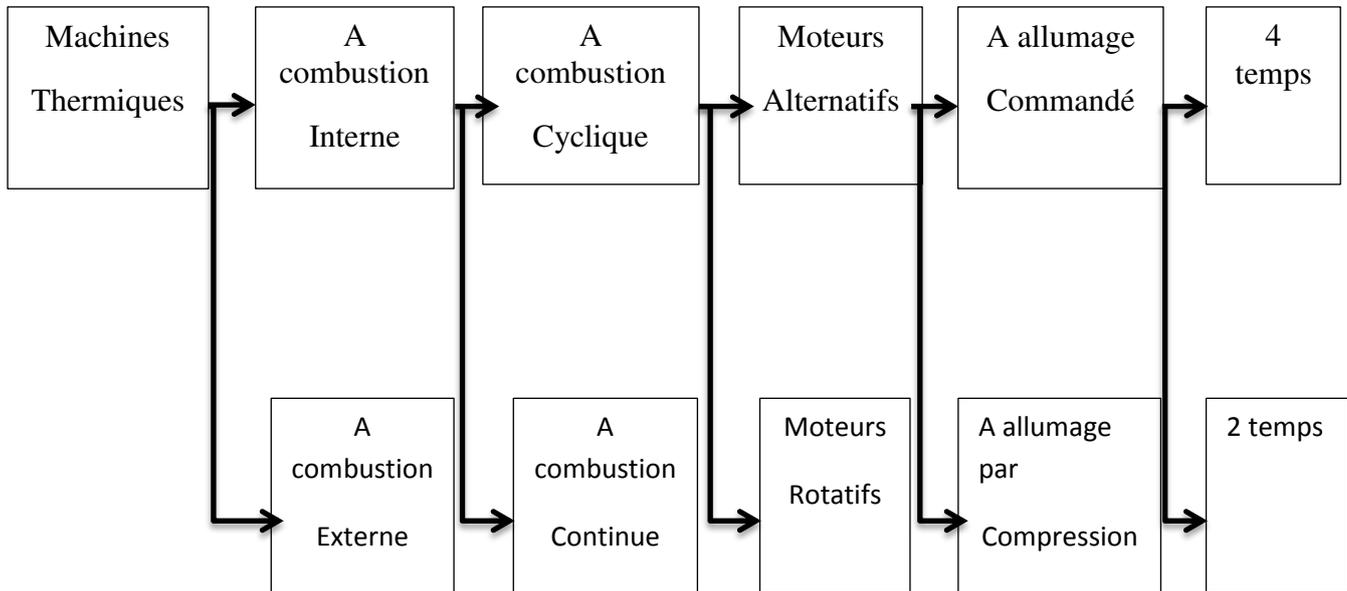


Figure I.1: Classification des moteurs thermiques [2]

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique à l'énergie mécanique.

Ils sont généralement distingués en deux types :

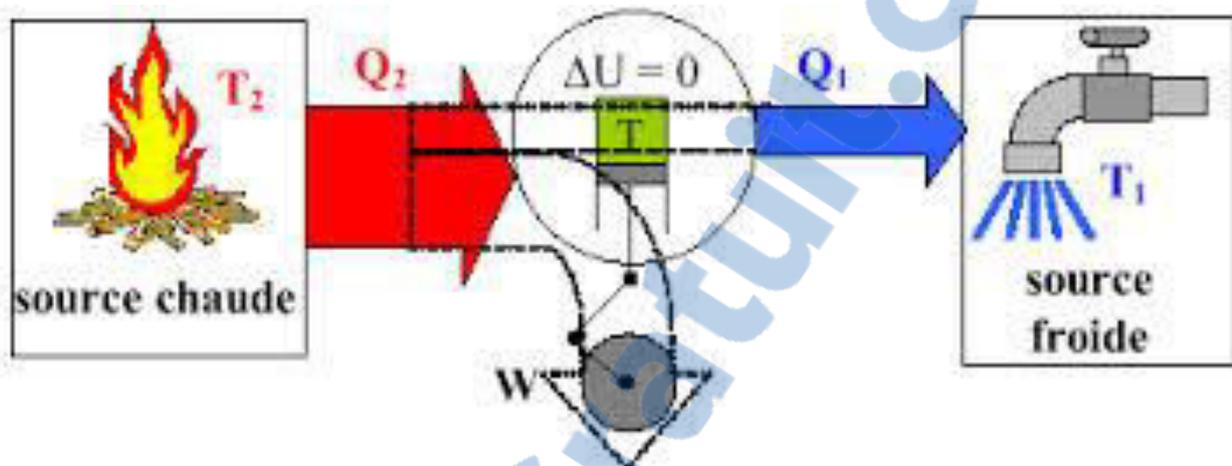
- Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors 2 sources de chaleur, entrent par exemple dans cette dernière catégorie : les machines à vapeur, le moteur Stirling... .
- Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle.

Le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère).

I.3.1 Moteur à combustion externe:

Le moteur à combustion externe est une machine thermique où l'énergie est fournie par deux sources de température externes (une chaude et une froide) et convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur subissant un cycle thermodynamique fermé. Aucune combustion n'a lieu à l'intérieur du moteur et le fluide demeure confiné dans le moteur. Ces moteurs sont aussi connus sous le nom de « moteurs à air chaud » car ils utilisaient l'air comme fluide de travail.

Aujourd'hui, d'autres fluides sont plus largement utilisés comme l'hydrogène, l'hélium ou l'azote, ce qui fait que l'expression « moteur à air chaud » tend à disparaître. Contrairement au moteur Stirling le gaz utilisé n'est pas nécessairement en circuit fermé et peut être, tout simplement, de l'air.



Combustion externe

Sans changement de phase

Avec changement de phase

Stirling
Ericsson

machine à vapeur
(Rankine)

Figure I.2: les type des moteurs a' combustion externe

I.3.1.1 Sans changement de phase :

Une machine à combustion externe sans changement de phase transforme l'énergie thermique en l'énergie mécanique sans modification des propriétés physiques du fluide.

A. Moteur Stirling:

Découvert en 1816 par le pasteur et l'ingénieur Robert Stirling, ce moteur pourrait remplacer le traditionnel moteur à explosion, source de bruit et de pollution. Contrairement à ce dernier, le moteur Stirling utilise un gaz contenu dans une enceinte fermée, chauffé par une source de chaleur extérieure à l'enceinte. C'est donc un moteur à « combustion externe ».

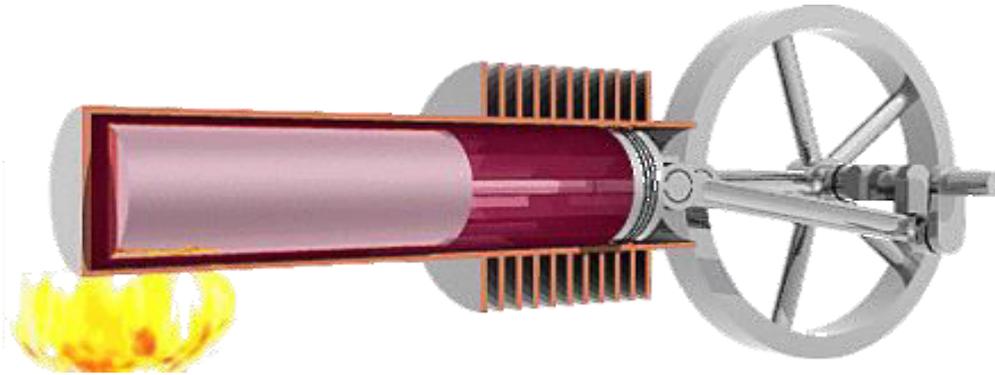


Figure I.3: *Moteur Stirling*

Le moteur Stirling peut fonctionner avec plusieurs sources de chaleur :

- L'énergie solaire, qui fonctionne bien avec le moteur tout en étant écologique, ce qui complète le moteur.
- L'énergie nucléaire, avec un grand rendement de chaleur, mais qui produit des déchets hautement toxiques.
- La combustion d'un carburant comme des gaz divers, du bois, et même des déchets.
- L'énergie géothermique, qui produit de la chaleur tout en étant renouvelable.

1. Les types de moteur Stirling:

- ❖ Le moteur Stirling « alpha ».
- ❖ Le moteur Stirling « BETA ».
- ❖ Le moteur Stirling « GAMA ».

Les applications de moteur Stirling :

- Utiles pour la recherche et le monde universitaire.
- Utiles pour les militaires.
- Utiles pour le domaine spatial (les satellites).
- Utiles pour le domaine solaire (parabole solaire).
- Les industries : la cryogénie (produit froid).

- Pour les automobiles : De 1940 à 1980, la société Philips a étudié les applications du moteur Stirling. Ils ont équipés une Ford Torino d'un moteur Stirling mais sans résultat et ils ont abandonnés le projet.

B. Moteur Ericsson:

Un moteur Ericsson est un moteur alternatif à cycle de Joule Baryton, à apport de chaleur externe et à fluide de travail gazeux monophasique.

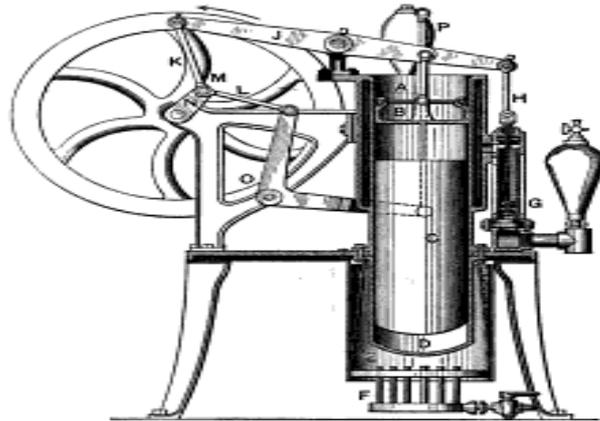


Figure I.4: moteur d'Ericsson

John Ericsson inventa en 1833 un moteur thermique à air constitué de :

- Un cylindre de compression muni de soupapes.
- Un échangeur de chaleur récupérateur à contre-courant.
- Un échangeur de chaleur pour la source chaude.
- Un cylindre de détente, lui aussi muni de soupapes.

1. Le principe:

Le moteur Ericsson fonctionne en 4 temps :

- Aspiration de l'air frais et évacuation de l'air chaud.
- Mise en pression de l'air frais à température constante.
- Chauffage de l'air frais.
- L'air chauffé fait monter la pression et le piston monte.

2. Utilisation du moteur Ericsson:

Le problème de moteur Ericsson qui n'est pas très connu, sa notoriété est à construire. De plus, on trouve d'autres moyens plus connus, moins onéreux remplissant ce genre de fonction. La concurrence est sérieuse compris avec un autre moteur à air chaud : le moteur

Stirling qui présente des avantages sérieux par rapport au moteur Ericsson. Et ce n'est pas nouveau; John Ericsson lui-même en a fait la dure expérience à son époque. [3]

I.3.1.2 Avec changement de phase :

Une machine de combustion externe avec changement de phase transformé énergie thermique à énergie mécanique avec modification de la propriété physique du fluide.

A. Machine à vapeur :

Les machines à vapeur appartiennent à la famille des convertisseurs d'énergie, qui convertissent l'énergie chimique en chaleur, puis la chaleur en énergie mécanique.

Les machines à vapeur utilisent la vapeur d'eau pour véhiculer l'énergie calorifique produite. La transformation en énergie mécanique se fait en deux étapes:

1. Dans la chaudière, l'énergie calorifique provoque la dilatation du gaz (vapeur d'eau)
2. La partie mécanique transforme la dilatation en énergie mécanique en provoquant une baisse de pression.

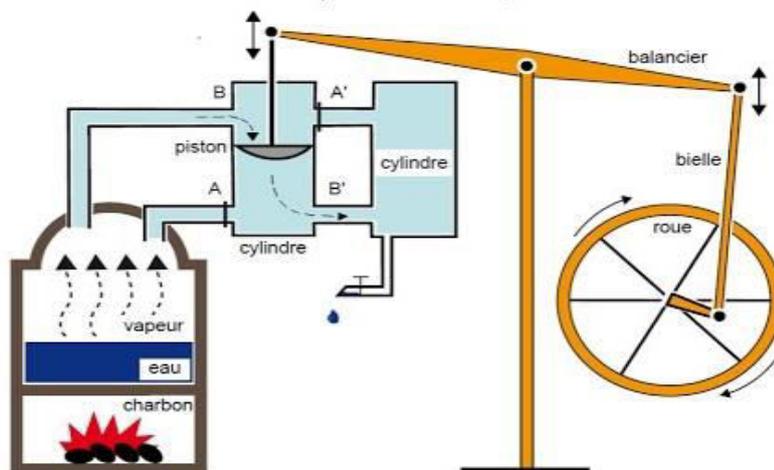


Figure I.5: machines à vapeur

1. Le principe de fonctionnement :

La machine à vapeur utilise la force dégagée par la vapeur. Cette dernière est dirigée grâce à des tuyaux vers un cylindre où peut se déplacer un piston. Celui-ci est relié à une roue grâce à une bielle. Le déplacement du piston, qui se fait dans un aller et retour continu provoqué par l'admission de la vapeur sur les deux faces du piston, permet à la bielle de mettre en action la roue. Si elle est reliée à une machine, par des courroies ou des chaînes, celle-ci se met en mouvement.

2. Fonction de machine à vapeur et leur utilisation :

Cette technologie fut particulièrement importante dans les applications navales et ferroviaires, car elle permettait de réutiliser la plupart de l'eau contenue dans la vapeur, évitant d'avoir à emporter de grandes réserves d'eau, comme les réservoirs qui existaient sur des installations fixes.

I.3.2 Moteurs à combustion interne :

Les moteurs à combustion sont des machines thermiques émises par l'énergie utile développée par la combustion de carburant. Le carburant, sous forme gazeuse ou pulvérisé préalablement, doit être bien mélangé à l'air afin de permettre une combustion aussi complète que possible. On distingue les moteurs à pistons alternatifs, les moteurs à pistons rotatifs et les moteurs à turbine.

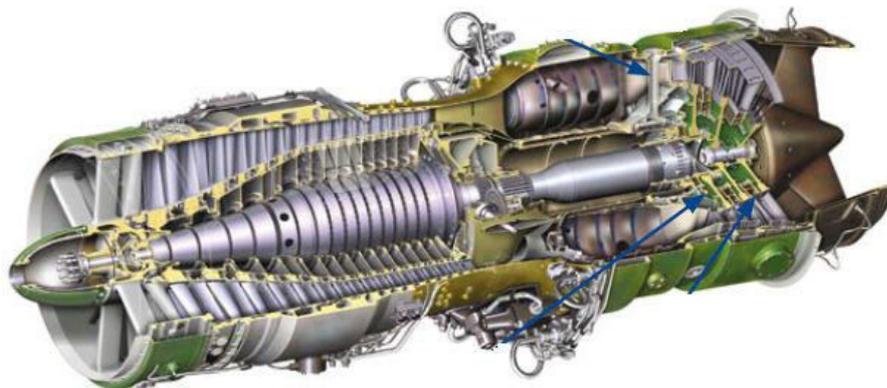
I.3.2.1 Moteur à combustion continue (Turbomachines)**A. Turbine à gaz :**

Figure I.6: Turbin à gaz

Les turbomachines sont des machines à écoulement continu. Dans ces dernières machines, les évolutions des fluides moteurs ont lieu dans des enceintes successives et juxtaposées, contrairement aux moteurs alternatifs où ces transformations s'opèrent dans le même espace, le cylindre.

La chaleur est produite par une combustion dans une chambre de combustion d'un combustible généralement liquide (kérosène par exemple). Cette combustion augmente la pression du gaz (air + combustible). Ce gaz sous pression traverse une chambre de détente à volume constant constituée d'un arbre moteur doté d'ailettes (turbine de détente).

De l'énergie est alors fournie à cet arbre sous forme d'un couple moteur qui sera utilisé d'une part vers les consommateurs, d'autre part vers un compresseur (turbine de compression) qui permet la puissance fournie. En effet la pression de l'air augmentant, la masse d'air aspirée augmente, on peut brûler davantage de kérosène, et la puissance disponible est donc augmentée (par rapport à une turbine qui ne disposerait pas d'étage compresseur en entrée). [4]

I.3.2.2 Moteur cyclique :

A. Moteur à piston rotatif (WANKEL)

Les premières recherches expérimentales sur le moteur rotatif mené par l'ingénieur Wankel entre 1945 et 1954 elle est effectuée sur le plan industriel à partir des brevets Wankel à cause des études qui donne des résultats importantes et des différentes solutions de moteur rotatif.

Applications de ce type de moteur ont été faites plus tard par les constructeurs de véhicules Citroën, Mercedes, Mazda, Sachs, etc.

Un piston rotatif appelé rotor, ayant la forme d'un triangle équilatéral curviligne, se déplace en rotation dans un stator ou trochoïde de profil particulier appelé épi trochoïde.

Le rotor roule sans glissement sur un pignon tournant dont l'axe est solidaire du carter moteur. Le rotor entraîne en rotation un arbre excentré (vilebrequin) solidaire de l'arbre moteur.

Grâce à cette disposition, la poussée des gaz sur chaque face du rotor est transformée en couple sur l'arbre moteur.[5]



Figure I.7: Moteur à piston rotatif Wankel

1. Cycle du moteur Wankel

Le moteur à piston rotatif Wankel est un véritable moteur à 4 temps, réalisant comme n'importe quel moteur à pistons classiques les 4 temps : aspiration, compression, explosion-détente, échappement. Une différence essentielle avec le moteur à pistons classiques réside dans le fait que ce moteur réalise toujours trois temps simultanément.

➤ **Premier temps :**

Lorsque la première chambre du moteur s'agrandit, elle aspire le mélange essence/air.

➤ **Deuxième temps :**

La même chambre pousse par la rotation du rotor, le mélange aspiré vers la chambre de combustion. Là, la chambre se rétrécit (par le mouvement excentrique du rotor) et comprime ainsi le mélange.

➤ **Troisième temps :**

La bougie allume le mélange comprimé; l'explosion continue à pousser le rotor dans son mouvement circulaire. Ceci constitue le véritable temps moteur.

➤ **Quatrième temps :**

Le bord du rotor découvre la lumière d'échappement et expulse les gaz brûlés comme dans un 2 temps. La dimension de la chambre est variable de même que la cylindrée d'un moteur à pistons classiques, varie avec le mouvement du piston. Comme le plus grand volume possible indique la cylindrée nominale du moteur classique, le volume nominal de la chambre correspond au plus grand volume possible de la chambre d'explosion du moteur rotatif.

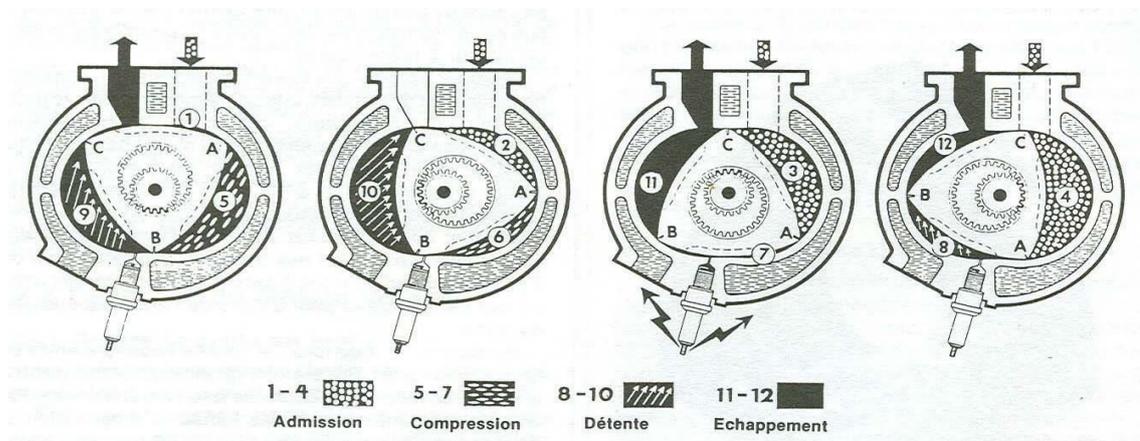


Figure I.8: Cycle du moteur Wankel

2. *Avantage :*

- Faible encombrement à cylindrée égale à un moteur conventionnel.
- Du fait qu'il ne transforme pas de mouvement linéaire en rotation, il déplace moins de pièces, donc moins d'inertie, ce qui lui permet d'atteindre des régimes très élevés. (En théorie max. 18000 tr/min)
- Moins de pièces permettent de faire des montées en régimes très rapide.
- Moins de pièces est égale à moins de poids.
- La plage d'utilisation commence dès les premiers tours et s'étend jusqu' à la rupture.

3. *Inconvénients :*

- Consommation en essence excessive.
- Frein moteur pratiquement inexistant.
- Techniquement perfectible.
- La conception des segments d'arrête.
- Problème de refroidissement à eau .
- La forme des pièces (rotor – stator) sont compliquée problème d'usinage . [5]

B. **Moteurs alternatifs :**

Le moteur est appelé alternatif Lorsque le travail se fait par le déplacement linéaire d'un piston et d'un système bielle-manivelle, Il existe principalement deux grandes catégories de moteurs alternatifs à combustion interne :

1. **Les moteurs à allumage commandé : moteur à essence :**

Quand on dits un Moteur à explosion, le principe a été défini par le français Beau de Rochas en 1860, et la première réalisation effectuée par l'allemand Otto en 1876. Bien que certains de ces moteurs brûlent des combustibles gazeux.

Le moteur à essence dans lequel la combustion de l'essence est amorcée par l'étincelle d'une bougie, possède un système d'allumage commandé, le mélange d'air et d'essence se fait en deux phases, soit par carburateur, soit par injection. Depuis 1993, tous les véhicules neufs vendus en Europe sont équipés d'un système d'injection [6]

2. **Les moteurs à allumage par compression diesel :**

Un moteur Diesel du nom de leur inventeur allemand le phénomène d'autoallumage qui les a brevetés en 1892, c'est moteur à explosion dont l'allumage n'est pas commandé, mais spontané, et n'a donc pas besoin de bougies d'allumage. habituellement, fonctionnent au

gazole, au fuel lourd ou aux huiles végétales. Ils peuvent aussi bien être à deux temps qu'à quatre temps.

Ce type de moteur se caractérise par l'utilisation d'un carburant de forte réactivité comme le diesel. Lorsque le piston est arrivé au Point Mort Haut (PMH), le carburant (Diesel) est injecté dans le cylindre : les valeurs importantes de la pression et la température régnant dans la chambre de combustion. A cet instant-là conduisent à une auto-inflammation quasi-immédiate du carburant (moyennant le délai d'auto inflammation), poussant le piston vers le bas (détente) et produisant ainsi un travail mécanique. La combustion peut être considérée comme se déroulant en quatre étapes. [6 ; 7]

3. Classification Selon le cycle thermodynamique :

➤ **Moteur à deux temps :**

Le cycle à deux temps ayant seulement deux mouvements linéaires du piston au lieu de quatre, bien que les mêmes opérations (admission, compression, combustion/détente et échappement) soient toujours effectuées et le cycle moteur se réalise en un tour au lieu de deux tours du vilebrequin.

✓ ***Les différentes étapes du cycle deux temps :***

Dans un premier temps (Détente), le piston est au point mort haut. La bougie initie la combustion et le piston descend en comprimant, en même temps le mélange présent dans le carter sous le piston. C'est la partie motrice du cycle, le reste du parcours sera dû à l'inertie créée par cette détente. Lors de cette descente du piston, l'entrée du mélange dans le carter se ferme arrivé à proximité point mort bas (Admission et échappement), le piston débouche les lumières d'échappement et d'arrivée de mélange dans le cylindre : le mélange en pénétrant dans le cylindre chasse les gaz de la combustion. Il s'agit de l'étape d'admission - échappement.

En remontant (Compression), le piston comprime le mélange dans le cylindre. Au passage, il rebouche l'échappement et l'entrée de mélange dans le cylindre, tout en créant une dépression dans le carter qui va permettre l'arrivée du mélange air-essence par la soupape d'arrivée, dont l'entrée a été libérée par la position du piston proche du point mort haut.

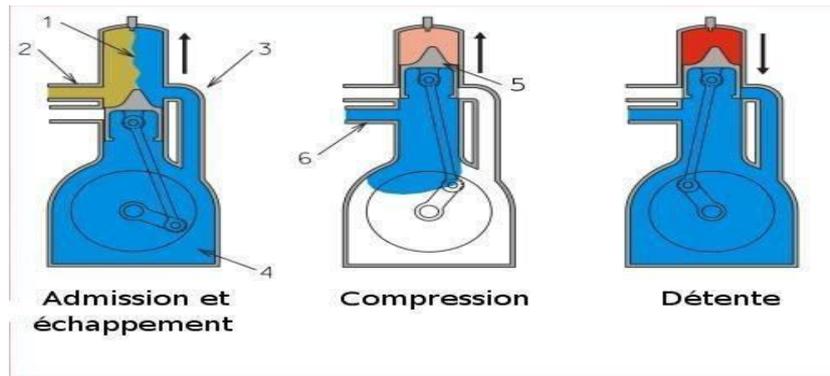


Figure I.9: Moteur à deux temps

- **Principe de fonctionnement :**

Au cœur du moteur se trouve un *cylindre* (ou plusieurs) à l'intérieur duquel s'élève et s'abaisse un *piston*. Le sommet du *cylindre* est scellé par une *culasse* et le *piston* est relié au vilebrequin par une *bielle*.

Des *soupapes* installées dans la *culasse* permettent d'acheminer de l'air et du carburant dans le *cylindre* et d'en extraire ensuite les gaz d'échappement.

Dans un moteur deux-temps, les soupapes peuvent se trouver dans les parois du cylindre plutôt que dans la culasse Comme son nom l'indique, [8]

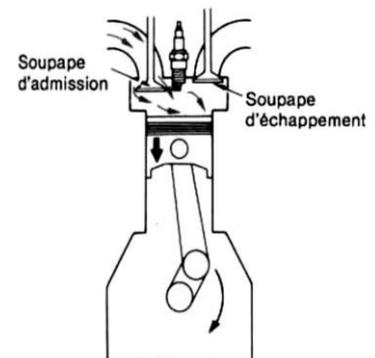
- **Moteurs à quatre temps :**

Un moteur est fonctionné en quatre étapes distinctes (chacune de ces étapes représente un mouvement ascendant ou descendant du piston) et ces quatre étapes sont complétées sur deux tours complets du vilebrequin.

- **Les différentes étapes du cycle quatre temps**

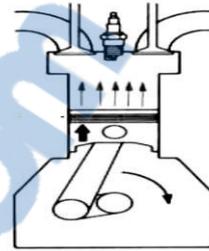
1er temps : l'admission

- le piston décrit une course descendante du PMH au PMB ;
- a soupape d'admission est ouverte ;
- le mélange air + carburant préalablement dosé pénètre dans le cylindre ;
- l'énergie nécessaire pour effectuer ce temps est fournie au piston par le vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle.



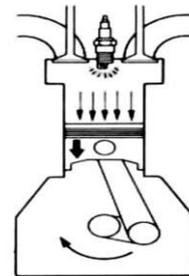
2ème temps: la compression

- les 2 soupapes sont fermées .
- le piston est repoussé par vers le PMH par la bielle.
- la pression et la température du mélange croissent.



3ème temps : la combustion, détente

- Un peu avant le PMH, une étincelle électrique déclenche le processus de combustion .
- l'accroissement de la pression qui s'exerce sur le piston engendre un effort sur la bielle et donc un moment moteur sur le vilebrequin.
- le piston redescend au PMB.



4ème temps : l'échappement

- la soupape d'échappement s'ouvre
- Le piston remonte vers le PMH en expulsant les gaz brûlés. [9]

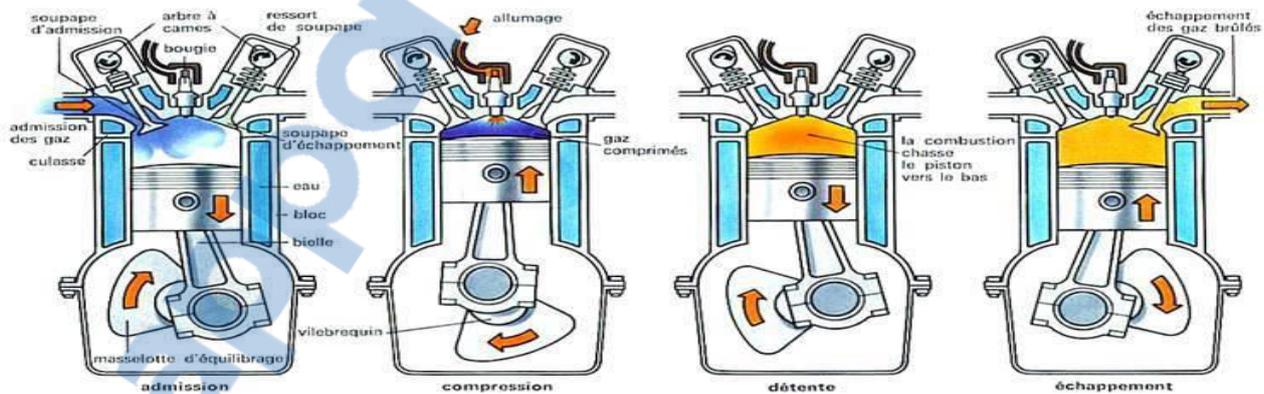


Figure I.10: Moteurs à quatre temps

Chapitre II

La technologie de moteur essence

II.1 Introduction :

De la grande famille des moteurs alternatifs à combustion interne on a le moteur à allumage commandé (AC) ; c'est l'un des moteurs qui produisent du travail par action directe sur un piston de la pression provenant de l'inflammation d'un mélange combustible, avec transformation du mouvement alternatif en rotation par l'intermédiaire d'un système bielle-manivelle. [10]

Le terme « allumage commandé » vient de ce que l'inflammation est initiée au moyen d'une étincelle, généralement d'origine électrique, en un moment bien déterminé du cycle. L'alimentation avec des mélanges homogènes d'air et de vapeur de carburant est indispensable pour assurer un bon allumage, ce qui impose des carburants de bonne volatilité, telles les essences de pétrole, d'où son appellation, plus familière, de « moteur à essence ». Son omniprésence dans le domaine de la traction routière, et particulièrement dans celui de l'automobile et à l'origine de sa grande popularité ; rares sont les propulseurs capables actuellement de le concurrencer dans cette utilisation.

II.2 Histoire des moteurs allumages commandés :

Dès la fin du XVIIe siècle, les précurseurs Haute feuille et Huygens avaient conçu le principe du moteur alternatif à combustion interne et réalisé des applications. Ils furent suivis par les Français Lebon et Lenoir en 1860, qui construisirent les premiers moteurs à allumage commandé, alimentés au gaz et fonctionnant selon un cycle à 2 temps. Le principe du moteur à 4 temps est énoncé pour la première fois en 1862 par Beau de Rochas ; en 1876 l'allemand Otto construit un premier moteur selon ce principe. Les besoins de l'automobile et de l'aéronautique naissantes, ainsi que la disponibilité de carburants nouveaux issus du pétrole, se conjuguent ensuite pour accélérer l'évolution des moteurs thermiques alternatifs, marquée par les noms de Benz, Daimler, De Dion, Bouton, Wright, Le vavasseur, Seguin, Renault, etc.

D'une technologie commune à l'origine, les moteurs d'aviation et d'automobile se différencient dès la première décennie du XXe siècle, ces derniers profitant ensuite des acquis de la formidable course à la puissance et à la fiabilité qui marque le domaine aéronautique entre les deux guerres.



La Seconde Guerre mondiale correspond à une apogée de la technologie du moteur à allumage commandé, avec des réalisations qui tendent au gigantisme pour les besoins de puissance sans cesse accrus de l'aviation.

Un rapide déclin s'amorcera dans les années 1950 lorsqu'apparaîtront les propulseurs à turbine, qui depuis ont relégué définitivement les « moteurs à pistons » dans le domaine des faibles puissances (moins de 400 kW). Désormais, le moteur à allumage commandé est surtout un propulseur pour l'automobile et dans cette utilisation, ses niveaux de fiabilité et de rapport performances/coût sont devenus tels que son remplacement définitif en faveur de systèmes plus évolués, c'est-à-dire plus économes et moins polluants (moteur électrique, turbine...), n'est pas envisagé avant la deuxième moitié du XXI^e siècle.

II.3 Ensemble d'organe de moteur à essence :

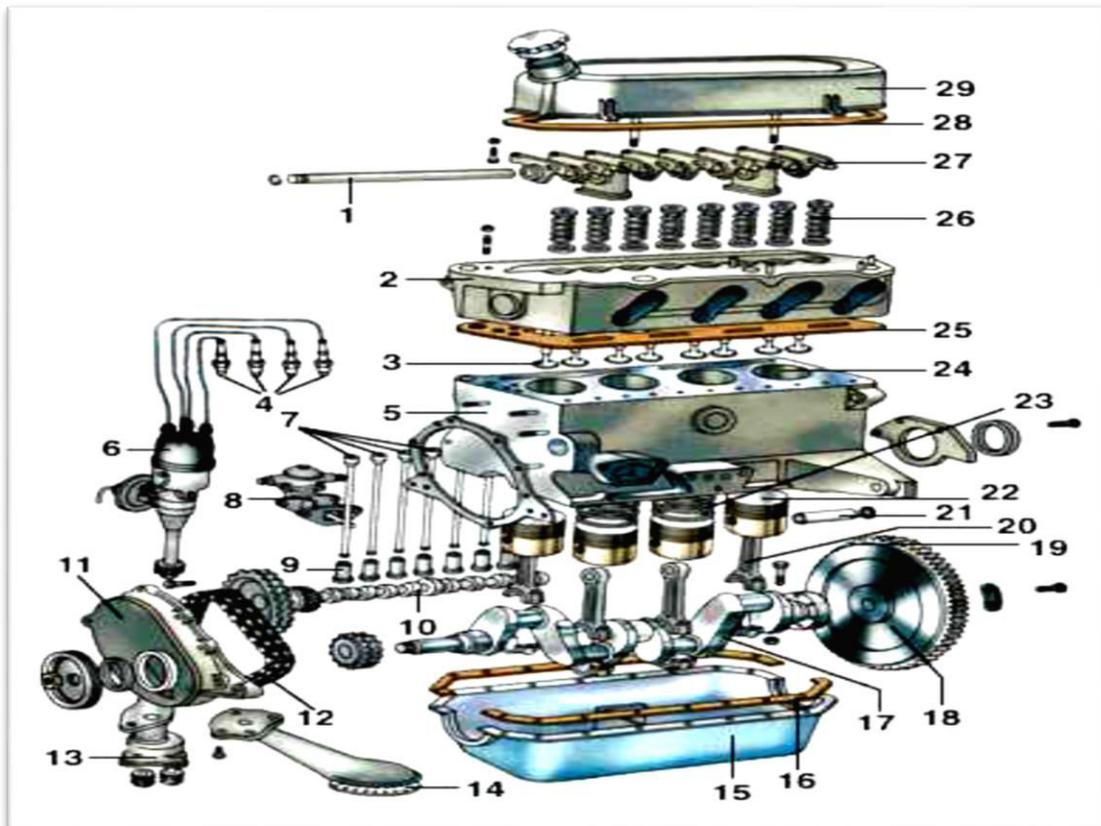


Figure II.1 : Vue éclatée d'un moteur à explosion.

1) Axe des culbuteurs	11) carter de distribution	21) axe de piston
2) culasse	12) chaîne de distribution	22) piston
3) soupapes	13) pompe à huile	23) segments
4) bougies	14) crépine de pompe à huile	24) cylindre
5) bloc cylindres	15) carter	25) joint de culasse
6) allumeur	16) joint de carter	26) ressorts de soupapes
7) tiges de commande des culbuteurs	17) vilebrequin	27) culbuteurs
8) pompe à essence	18) volant moteur	28) joint de cache culbuteurs
9) poussoirs	19) couronne dentée entraînée par le démarreur	29) cache culbuteurs
10) arbre à cames	20) bielle	

Tableau II.1 : Les organes d'un moteur à explosionles [11]

II.4 Analyse fonctionnelle :

Le fonctionnement du moteur thermique est assuré par l'association de quatre grands groupes fonctionnels.

Le système regroupe tous les systèmes à fonctions mécanique. Il se divise en deux parties :

- Partie fixe
- Partie mobile
- Eléments de distribution

II.5 Présentation des organes fixes et mobiles d'un moteur à essence :**II.5.1 Description des éléments fixes:****A. Le bloc-cylindres (bloc moteur) :**

C'est la partie centrale du moteur, considérée parmi les organes principaux et qui supporte les autres constituants.

Fonction :

Le bloc-cylindres permet, de guider en translation les pistons tout en résistant aux différentes contraintes de pression et de température, de contenir l'eau de refroidissement et d'évacuer la chaleur produite par la combustion des gaz.

Matière :

Le matériau constituant le bloc-cylindres doit satisfaire un compromis des conditions de bonne résistance aux pressions élevées et à l'usure, de bonne résistance au frottement dans le cas de cylindres alésés, une meilleure aptitude au moulage et une bonne conductibilité de la chaleur pour un refroidissement rapide. La fonte grise et les alliages légers à base d'aluminium et de silicium (Alpax) sont les plus favorisés par les constructeurs automobiles.

Forme et réalisation :

Le bloc-cylindres est d'une forme très compliquée fonction du nombre des pistons (multicylindres) et de leur disposition (en ligne, en V..), sa partie supérieure qui enveloppe les cylindres comporte des chambres de circulation d'eau de refroidissement et recevant sur sa face supérieure la culasse. Sur sa partie inférieure on distingue les paliers de vilebrequin et une face inférieure sur laquelle doit se fixer le carter à huile. Selon le constructeur on peut rencontrer des blocs-cylindres conçus avec des cylindres alésés difficiles à remplacer et des blocs-cylindres conçus pour recevoir des chemises ajustées faciles à remplacer, sèches ou humides. Selon la conception du moteur, le bloc-cylindres peut comporter l'emplacement d'arbre à cames et des alésages de commande d'ouverture de soupapes ainsi que l'entraînement et la fixation de la pompe à huile. [4]

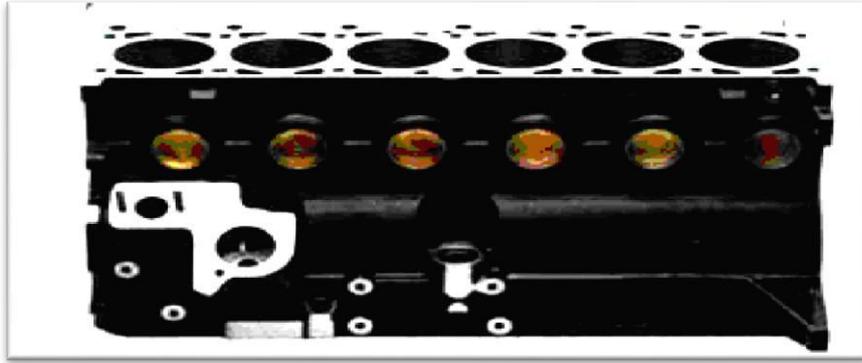


Figure II.2 : bloc moteur

B. La culasse:

Elle se trouve sur le bloc-cylindres et sous le cache-culbuteurs (cache soupapes), avec le joint de culasse elle assure l'étanchéité de la chambre de combustion au-dessus des têtes des cylindres.

Fonction :

C'est de contenir la chambre de combustion ou de compression et des organes de distribution, d'admission et d'échappement. A travers des chambres de circulation d'eau, selon le moyen de refroidissement, elle permet également l'évacuation de la chaleur produite par la combustion.

Matière :

Pour les mêmes raisons que le bloc-cylindres, on peut employer les alliages légers, l'aluminium ou la fonte.

Forme et réalisation :

De forme aussi compliquée que le bloc-cylindres mais de taille inférieure, la culasse comporte le plan de joint, une face rectifiée pour l'assemblage étanche avec le bloc-cylindres. Sa forme doit permettre les meilleures conditions d'une combustion complète et étanche pour une plus grande puissance et un bon rendement du moteur à explosion.

La réalisation dépend principalement des difficultés du moulage et des usinages, du mode de refroidissement (conduction, convection..), de la position et du nombre des soupapes (soupapes latérales MSL, soupapes en tête MST), de la forme de la chambre de combustion, du nombre et de l'emplacement de l'arbre à came.



Figure II.3 : culasses de moteur

C. Les carters :

On Distingue le carter d'huile, le carter de distribution et le carter cache culbuteurs (cache soupapes) ou couvre culbuteurs.

D. Le carter d'huile :

C'est le carter inférieur, en dessous du bloc-cylindres, servant de réservoir contenant l'huile de graissage et de lubrification des organes mobiles du moteur.



Figure II.4 : le carter d'huile

E. Le carter de distribution :

C'est un organe qui couvre la chaîne de distribution, jouant le rôle de couvercle de protection des éléments mobiles de la distribution (roues dentées, chaîne, tendeurs).



Figure II.5 : le carter de distribution

F. Le carter cache culbuteur (cache soupapes) :

C'est le carter supérieur, en tôle emboutie juste au-dessus de la culasse, il couvre les culbuteurs, il comporte le bouchon de remplissage de l'huile moteur et forme à l'aide de ses joints une enceinte étanche avec la culasse.

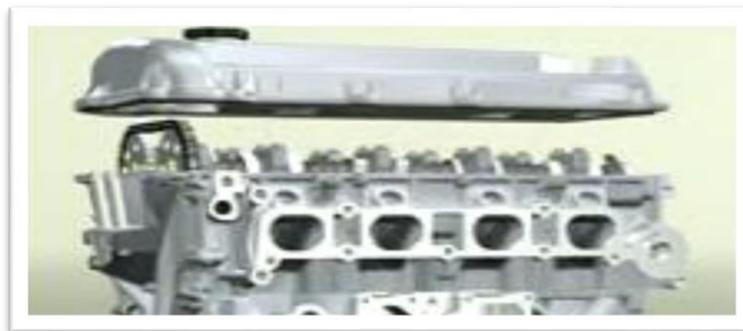


Figure II.6 : carter cache culbuteur

G. Les collecteurs :

Les collecteurs sont des tubulures qui ont pour rôle pour certains de conduire les gaz frais aux soupapes d'admission, et pour certains autres d'évacuer les gaz brûlés vers le silencieux d'échappement. Le nombre des cylindres et leur disposition ainsi que la position des soupapes influent sur la forme de ces collecteurs.

H. Collecteur d'admission :

Ce collecteur est une tubulure en alliage léger placée entre le carburateur et la face latérale de la culasse. Grâce à un plan de joint recevant des joints métalloplastiques ou

graphités, on réalise ainsi un conduit étanche du carburant vers les soupapes d'admission. Selon le constructeur, les sections adoptées pour ce collecteur doivent être suffisamment larges et ne doivent pas présenter de coudes brusques pour garantir un mélange gazeux plus homogène et un remplissage correct.



Figure II.7 : collecteur d'admission

I. Collecteur d'échappement :

Ce collecteur est une tubulure reliant la face latérale de la culasse, comportant les orifices d'échappement des gaz brulés, avec le silencieux d'échappement.

Les gaz brulés s'échappent à température et vitesse importantes, ce qui conduit à mettre un contact suffisant entre le collecteur d'admission et celui d'échappement pour réchauffer le gaz d'admission avant de le mettre dans la chambre à combustion.



Figure II.8 : Collecteur d'échappement

II.5.2 Description des éléments mobiles :

C'est un système bielle manivelle qui transforme le mouvement linéaire alternatif des pistons dans les cylindres en un mouvement de rotation continue d'un volant moteur.

A. Le piston :

Bien que tous les pistons aient la même fonction, il existe beaucoup de paramètres pour les définir.

Les plus courants sont : jupe droite ou échancrées, jupe fendue ou non, trous de graissage en fond de gorge du (des) segment (s) racleur (s), trou de passage de clavette de pied de bielle, tête plate, tête creuse, tête bombée, empreintes des soupapes sur la tête.

Fonction :

Transmettre l'effort presseur des gaz brûlés sur le fond du piston à la bielle à travers l'axe d'articulation. Il véhicule l'énergie créée par l'explosion jusqu'au vilebrequin en passant par la bielle.

Matière :

Le piston est généralement en alliage léger d'aluminium, aluminium coulé ou forgé, mais aussi exceptionnellement en fonte.

Il doit résister aux conditions sévères de fonctionnement dues à une variation des contraintes mécaniques et thermiques.

Le piston doit être de faible inertie, de petite masse, bon conducteur thermique, facile à mouler, facile à usiner .

Forme et réalisation :

Le piston est de forme cylindrique obtenu par un moulage sous pression pour avoir une structure compacte et une taille précise.

La partie supérieure, à parois épaisses, qui est la tête du piston, est formée par une face généralement plate, c'est le fond qui est en contact avec la flamme du combustible et une portion cylindrique de plusieurs gorges, c'est le porte-segments.

La partie inférieure, qui est la jupe du piston, peut être droite ou décollée, fondue ou non, de hauteur et diamètre bien adaptés à un guidage précis et étanche.

L'intérieur du piston est, un brut de fonderie, renforcé par des nervures qui confient au piston plus de résistance et une meilleure conduction thermique.



Figure II.9 : Le piston

3. La bielle :

Élément fondamental de l'équipage mobile, articulé par le pied sur l'axe du piston et par la tête sur le maneton du vilebrequin.

Fonction :

Transmettre l'effort important et variable, au cours du cycle de fonctionnement, du piston au vilebrequin.

Matière :

En acier spécial matricé, en titane ou en duralumin (alliage léger aluminium + cuivre + magnésium + manganèse) mais de haute résistance.

Forme et réalisation :

La bielle comporte, le pied (articulé avec le piston), le corps au milieu et la tête (articulé avec le vilebrequin). La bielle est en deux parties, la tête dispose d'un "chapeau" qui sera maintenu par des vis ou des boulons.

Une bielle assemblée permet l'utilisation d'un vilebrequin monobloc. Sa longueur est limitée par des considérations de résistance au flambage.

Elle va subir de la compressions et des contraintes thermiques : le pied, au niveau du piston, subi de très fortes températures alors que la tête se trouve lubrifiée et donc refroidie par le bain d'huile au niveau du vilebrequin.

La tête de bielle est montée avec deux demi-coussinets sur le maneton du vilebrequin alors que le pied de bielle est monté avec une bague sur l'axe du piston.

[12]



Figure II.10 : bielle

4. Le vilebrequin :

A l'intérieur du bloc moteur, animé de mouvement de rotation continue par les bielles, il transmet la rotation continue indispensable au mouvement du véhicule.

Fonction :

Elément robuste, il permet :

- De communiquer le couple utile au volant moteur.
- De distribuer les couples utiles pour, l'entraînement des pompes (essence, huile, eau), l'alternateur, le système d'allumage et de distribution.
- De permettre la compression des gaz ainsi que l'admission et l'échappement.

Matière :

En acier au nickel chrome, forgé ou matricé, ou en acier moulé ou en fonte spéciale de haute résistance.

Forme et réalisation :

Les vilebrequins sont construits en les forgeant par des opérations successives de matriçage à chaud. L'ébavurage, le tournage des portées et manetons sont effectués sur machine. Ils sont suivis d'une rectification à la meule, et d'un équilibrage statique et dynamique par enlèvement de matériau.

Les parties flottantes, tourillons (palier) et manetons, sont usinées avec précision en accordant une grande importance à leur état de surface et sont munis de canaux (perçages) de graissage. Elles subissent ensuite un traitement thermique superficiel afin d'en augmenter la dureté et ainsi de réduire la vitesse d'usure.



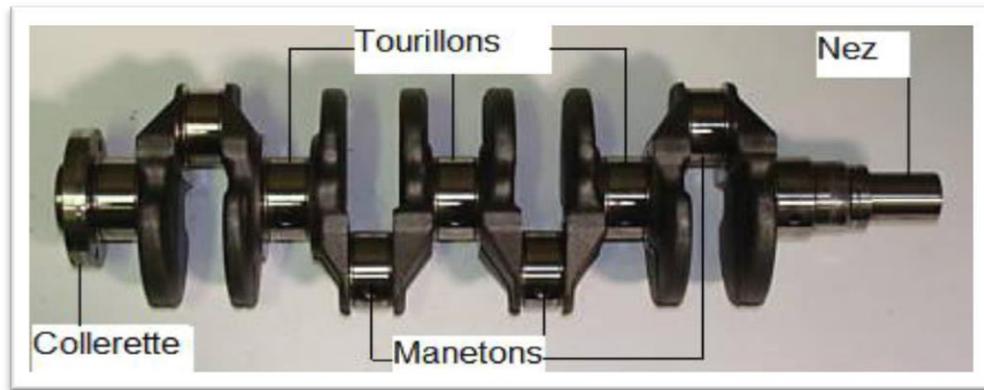


Figure II.11: Le vilebrequin

5. Le volant moteur :

Fixé sur la collerette du vilebrequin (côté opposé au nez), le volant moteur à travers cet encastrement communique l'énergie indispensable à l'entraînement de la roue motrice du véhicule.

Fonction :

Élément de liaison entre le vilebrequin et les organes de transmission de l'automobile (embrayage, démarreur), il réalise la régularisation du couple des phases motrice et résistante.

La couronne dentée qui engrène avec le pignon du démarreur permet le démarrage de l'arbre moteur (vilebrequin).

Matière :

Le volant moteur est en général en fonte ou en acier de bonnes caractéristiques mécaniques.

Forme et réalisation :

Il est constitué par une jante épaisse et une toile mince. La jante a une inertie importante (volant d'inertie) et reçoit une couronne dentée par frettage. La toile comporte les trous de fixation avec le vilebrequin. [12]

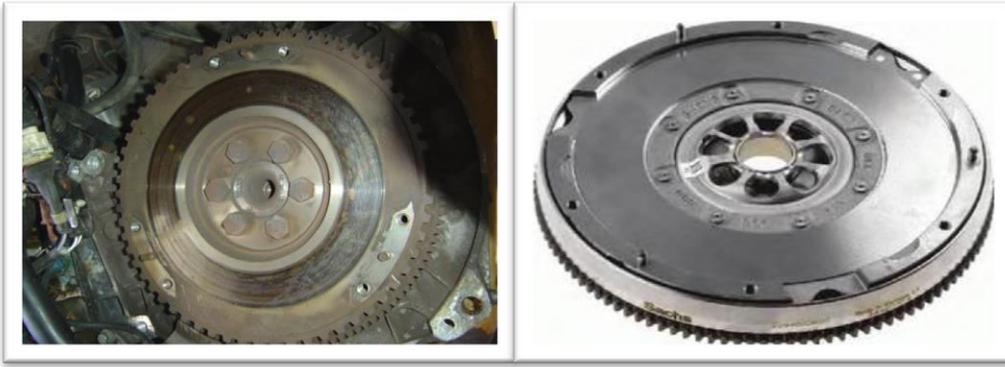


Figure II.12 : volât moteur

II.5.3 Les organes de distribution.

On appelle "distribution" l'ensemble des organes qui réalisent l'ouverture et la fermeture des conduits d'admission et d'échappement, et des éléments qui effectuent leur commande.

Ce sont les soupapes ainsi que les organes réalisant l'entraînement et la commande de leurs ouvertures et fermetures synchronisées avec la rotation du vilebrequin.

1. L'arbre à cames

Il est placé à l'intérieur du bloc moteur ou en tête de culasse et muni d'autant de cames que de soupapes à commander.

Fonction :

Sa rotation synchronisée avec celle du vilebrequin doit permettre la commande directe ou indirecte des soupapes d'admission et d'échappement pour la circulation correcte des gaz et une combustion étanche.

Matière :

Moulé en fonte ou estampé en acier trempé.

Forme et réalisation :

C'est un arbre qui contient les cames qui actionnent la levée progressive des soupapes par les lobes (partie excentrée de la came).

L'arbre à cames contient aussi les tourillons de guidage et peut contenir des pignons taillés directement pour commander le distributeur d'allumage et la pompe à huile.



Figure II.13 : arbre à came

Entraînement de l'arbre à came :

Dans tous cas c'est le vilebrequin qui assure l'entraînement de l'arbre à cames. L'arbre à cames doit tourner deux fois moins vite que le vilebrequin car les soupapes ne doivent s'ouvrir qu'une fois par cycle. Trois modes de distributions sont utilisées :

- **Distribution par courroies crantées :**

Système de plus en plus répandu dans les moteurs à arbre à cames en tête. Son fonctionnement est plus silencieux et ne nécessite pas de système de lubrification.

- **Distribution par chaîne :**

Ce système est couramment utilisé dans les moteurs à arbre à cames latéral et dans certains arbres à cames en tête.

- **Distribution par engrenages :**

Les engrenages utilisés particulièrement dans les moteurs Diesel

2. Les soupapes

On peut remarquer le classement des moteurs selon la disposition des soupapes :

- M.S.L. moteur à soupapes latérales

- M.S.T. moteur à soupapes en tête

- Avec arbre à cames au centre, culbuteurs et tiges
- Avec arbre à cames en tête et attaque directe
- Avec arbre à cames en tête et culbuteurs

Fonction :

La régulation des échanges gazeux par, l'ouverture pour l'admission du mélange combustible, l'ouverture pour l'échappement des gaz brûlés et la fermeture étanche de l'enceinte thermique durant la phase compression explosion.

Matière :

Les contraintes thermiques différentes pour les côtés admission et échappement imposent l'emploi d'un alliage d'acier au Nickel, chrome et tungstène pour la soupape d'échappement qui est sollicitée encore à un phénomène de corrosion par les gaz d'échappement.

Forme et réalisation :

La tête de forme bombée ou plate s'appuie sur un siège serré sur la culasse, le contact s'établit sur une portée suffisante (de l'ordre de 2mm) et est maintenu par des ressorts en acier au silicium.

3. Les ressorts de soupapes :

Autour de la tige de chaque soupape, on monte un ressort hélicoïdal comprimé entre une face usinée du carter fixe et une cuvette en acier solidaire de la queue de soupape. Lorsqu'on comprime un ressort à une fréquence élevée celui-ci risque d'entrer en résonance. On dit qu'il y a "affolement des soupapes". Pour éviter l'affolement des soupapes les constructeurs utilisent notamment : - des ressorts à pas variable; - deux ressorts antagonistes (sens d'hélice opposé; le diamètre de l'un n'est que de 0.5 mm supérieur au diamètre extérieur de l'autre, de sorte qu'il y a frottement entre eux et étouffement des vibrations).



Figure II.14 : Les soupapes

II.5.4 Les éléments intermédiaires**1. Culbuteurs :**

Un culbuteur est un levier basculant qui fait partie de la transmission secondaire alternative de la commande de distribution.

Le culbuteur reçoit en un point la poussée de la came, soit directement soit par l'intermédiaire d'une tige, et par un autre point pousse la soupape en ouverture.

Le culbuteur peut être en fonte.

2. Tiges de culbuteur :

La tige de culbuteur est un élément de la commande de distribution qui transmet le mouvement de la came au culbuteur dans un moteur culbuté.

Elle comporte une extrémité de forme sphérique qui appuie au fond du poussoir et l'autre extrémité en forme de cuvette dans laquelle s'articule la vis de réglage portée par le culbuteur.

3. Poussoirs :

Des poussoirs sont interposés entre les cames et les soupapes. Ils servent d'intermédiaire entre le mouvement de rotation des cames et le mouvement rectiligne des soupapes.

Selon la position de l'arbre à cames par rapport aux soupapes, il est nécessaire d'interposer des culbuteurs et des tiges de culbuteurs. [4]

II.6 SYSTEME D'ALLUMAGE**1. Fonction de l'allumage :**

La fonction de l'allumage est de produire un apport de chaleur dont l'énergie soit suffisante pour déclencher l'inflammation du mélange gazeux en fin de compression. Cette inflammation est obtenue par la création d'un arc électrique.

2. Création de l'arc électrique :

La tension minimale nécessaire à l'amorçage de l'arc est d'environ 15 000 V, pour obtenir une telle tension on fait appel à un transformateur de tension : la bobine d'allumage.

3. Principe de fonctionnement :

Le courant circule dans le bobinage primaire et crée un champ magnétique dans l'enroulement secondaire. Lorsque le rupteur est fermé, C'est la phase induction.

A l'ouverture du rupteur, le courant primaire est brusquement coupé, ceci provoque une variation rapide du champ magnétique et la création d'un courant induit à haute tension dans l'enroulement secondaire.

L'enroulement secondaire est lié à la bougie qui déclenche l'étincelle désirée.

Le condensateur placé en dérivation du rupteur absorbe le courant de self induit dans le primaire lors de la coupure et évite la détérioration des contacts du rupteur.

4. Différents types d'allumage :

On rencontre deux systèmes d'allumage :

- L'allumage autonome par volant magnétique.
- L'allumage par batterie.

Pour chacun de ces systèmes deux solutions technologiques sont utilisées pour l'ouverture du circuit primaire :

- Ouverture par rupteur mécanique : allumage classique.
- Ouverture par interrupteur électronique : allumage électronique.

A. L'allumage classique par batterie :

L'allumage par batterie est encore utilisé à l'heure actuelle, mais il est de plus en plus remplacé par l'allumage électronique plus performant et plus fiable.

Principe de fonctionnement :

L'allumage commandé classique par rupteur, bobine haute tension et batterie se présente sous la forme de la figure ci-dessous. Un enroulement primaire est couplé électro magnétiquement, pour constituer un transformateur de tension appelé bobine, à un enroulement secondaire placé dans un circuit haute tension comportant un entrefer d'éclatement porté généralement par une bougie.

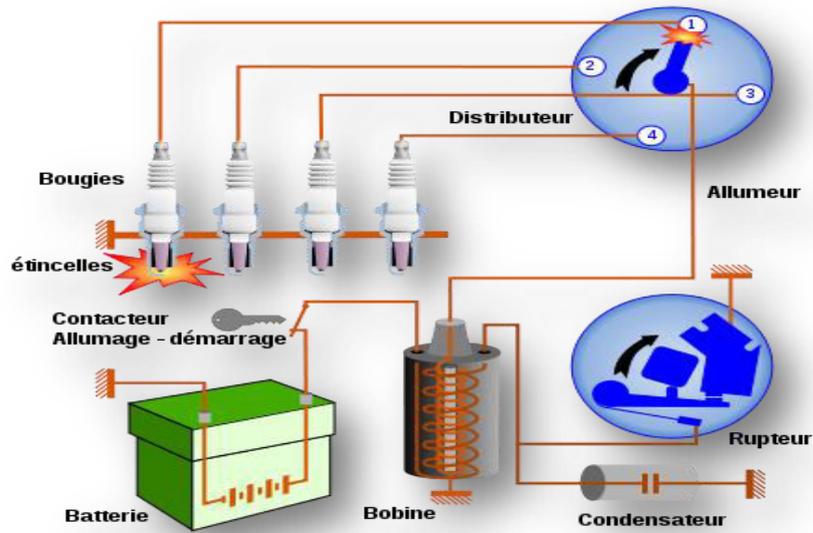


Figure II.15 : L'allumage par batterie

Les organes de l'allumage :

La source d'électricité étant la batterie accumulateur, le dispositif d'allumage classique mécanique est constituée de trois organes distincts :

➤ **L'allumeur :**

Il se compose de quatre parties essentielles : l'entraînement, le circuit basse tension, les systèmes d'avance centrifuge et à dépression, le circuit haute tension.

Mécaniquement à partir de l'arbre à cames du moteur. Le mouvement de rotation de l'arbre de l'allumeur est réalisé

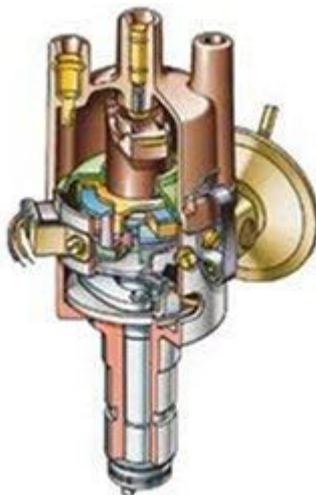


Figure II.16 : Allumeur classique

➤ **La bobine :**

La bobine possède à transformateur-élévateur de tension comprenant un noyau magnétique en tôles feuilletées autour duquel on trouve l'enroulement secondaire et l'enroulement primaire. La bobine la plus répandue a la forme d'une boîte cylindrique en tôle emboutie.



Figure II.17 : la Bobine

➤ **La bougie d'allumage :**

La bougie est produit l'étincelle dans la chambre de combustion. La haute tension est amenée par l'électrode centrale, l'arc se produit au passage du courant entre les deux électrodes (écartement des électrodes : 0.5 à 1 mm). La bougie doit être parfaitement isolante et doit évacuer rapidement la chaleur afin d'éviter les phénomènes d'auto-allumage.

Le degré thermique de la bougie caractérise sa capacité de transférer la chaleur du bec de l'isolateur au système de refroidissement du moteur. La bougie "chaude" transmet la chaleur moins rapidement. Son long bec d'isolateur oblige les calories de la pointe à parcourir un long chemin avant d'atteindre la partie de l'isolateur en contact avec le culot, puis la culasse. La bougie "froide" transmet la chaleur plus rapidement grâce à son bec court.



Figure II.18 : bougie d'allumage

B. Allumage électronique :

L'allumage classique présente quelques inconvénients essentiellement liés à la rupture mécanique du circuit primaire :

- Intensité primaire limitée pour éviter la détérioration des contacts.
- Problème de rebondissement du linguet mobile à haute vitesse.
- Déréglage du point d'avance lors de l'usure des contacts.

La solution à ces inconvénients est de remplacer le rupteur mécanique par un rupteur électronique commandé par un très faible courant permettant un courant primaire plus important.

Principe de l'allumage électronique :

Le système comprend :

- Une bobine d'allumage dont les caractéristiques sont : - Intensité primaire augmentée. - Rapport du nombre de spires augmenté d'où l'obtention d'une tension secondaire d'environ 50 000 V (meilleur étincelle).
- Un distributeur identique à celui d'un allumage classique.
- Un boîtier électronique qui amplifie le courant, en fonction des paramètres de vitesse et de charge, le point d'allumage.
- Un capteur de position et de vitesse qui provoque la commande du boîtier électronique et lui fournit le paramètre vitesse de rotation.
- Un capteur de dépression qui fournit le paramètre charge du moteur au boîtier électronique. Un tel système ne présente plus de pièces mécaniques en contact et ne nécessite aucun réglage. [4]

II.7 SYSTEME D'ALIMENTATION :

Le rôle de système d'alimentation est de mener l'air et l'essence nécessaires au moteur à une bonne combustion.

Le circuit d'alimentation comprend deux circuits différents :

- circuit d'alimentation en air;
- circuit d'alimentation en essence.

Pour réaliser le mélange deux solutions sont utilisées :

- Système à carburateur : le mélange air-essence est obtenu dans le carburateur puis introduit dans le cylindre de moteur.
- Système d'injection : le mélange est réalisé dans la pipe d'admission, l'air est acheminé par voie classique et l'essence est injectée sous pression par des injecteurs (un par cylindre). [4]

II.7.1 Les principes de carburation

➤ Carburation :

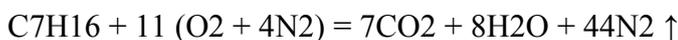
La carburation est l'ensemble des opérations réalisant le mélange intime du carburant avec l'air dans des proportions précises afin d'obtenir une combustion rapide et complète.

Pour réaliser la carburation, il est nécessaire d'effectuer des opérations suivantes : dosage, vaporisation et homogénéité.

➤ Dosage :

C'est la proportion de la quantité de carburant par rapport à l'air.

Prenons le cas de la combustion de l'essence C_7H_{16} (*Heptane hydrocarbure*) et reportons-nous à l'équation chimique de combustion de ce carburant, nous trouvons :



Si nous admettons que l'essence utilisée est uniquement composée d'heptane et que l'air ambiant contient en masse 23% d'oxygène.

Connaissant la masse atomique de chaque corps : carbone = 12, hydrogène = 1 et oxygène = 16,

On a : $(12 \times 7) + 16 = 100$ g d'heptane brûlent dans $(22 \times 16) = 352$ g d'oxygène. Ces 352 g d'oxygène étant contenus dans $35 \times 100/23$ g d'air.

Nous constatons qu'il faut 15.3 g d'air pour faire brûler 1 g d'essence. Ce dosage constitue le dosage parfait. Un mélange comportant un dosage de moins de 15.3 g d'air pour un gramme d'essence est appelé mélange riche; s'il comporte plus de 15.3 g d'air nous le nommerons mélange pauvre. Le mélange est incombustible si le dosage essence/air est en dessous de 1/28 ainsi qu'au-dessus de 1/8. La puissance maximale de moteur est obtenue avec un dosage de 1/12.5. [4]



➤ **Vaporisation :**

C'est le processus de transformation de carburant de l'état liquide en état gazeux pour mélanger avec l'oxygène de l'air.

➤ **Homogénéité :**

Chaque molécule de carburant devant, pour brûler, être entourée des molécules d'oxygène. L'homogénéité est réalisée par un brassage du mélange dans les tubulures d'admission et se terminant dans la chambre de combustion au moment de la compression. [4]

II.7.2 Alimentation en carburant :

Les installations d'alimentation en carburant sont construites pour répondre aux cas d'utilisation. Les illustrations des figures (II.1, II.2 et II.3) présentent la structure d'installation d'alimentation en carburant pour les applications les plus courantes dans le domaine des véhicules individuels. Outre ces applications, il existe un grand nombre de cas qui rendent nécessaires des structures et des compositions différentes.

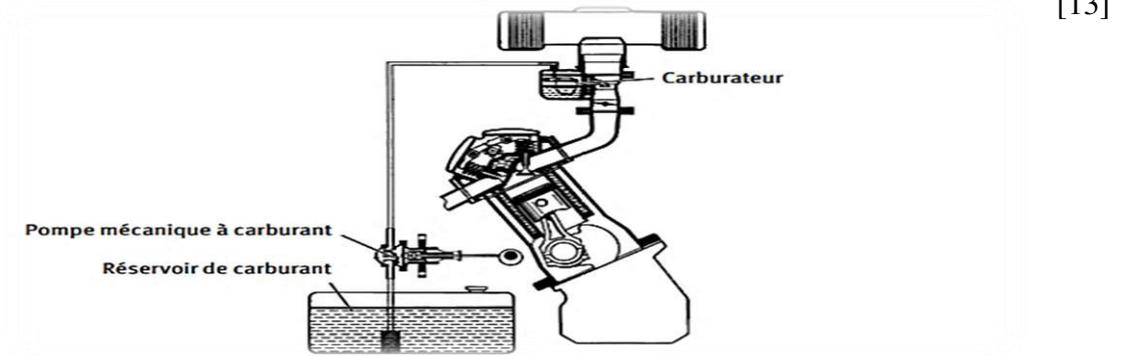


Figure II.19 : Alimentation en carburant d'un moteur à carburateur (jusqu'à env. 1976)

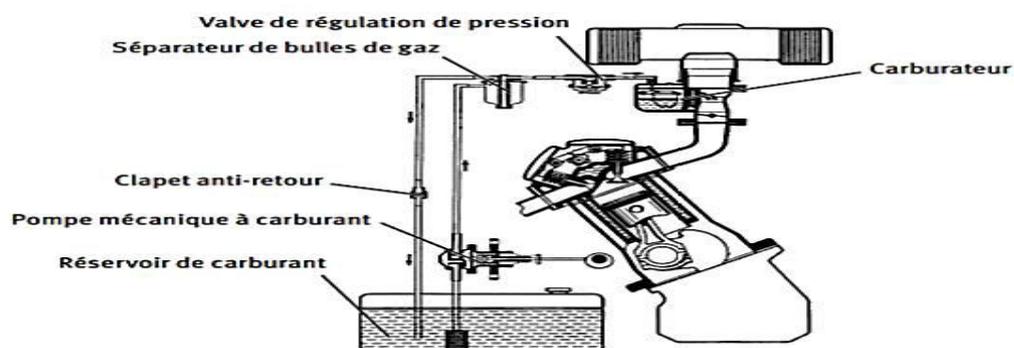


Figure II.20 : Structure d'une installation d'alimentation en carburant avec fonctionnalités étendues (environ 1976 à 1992)

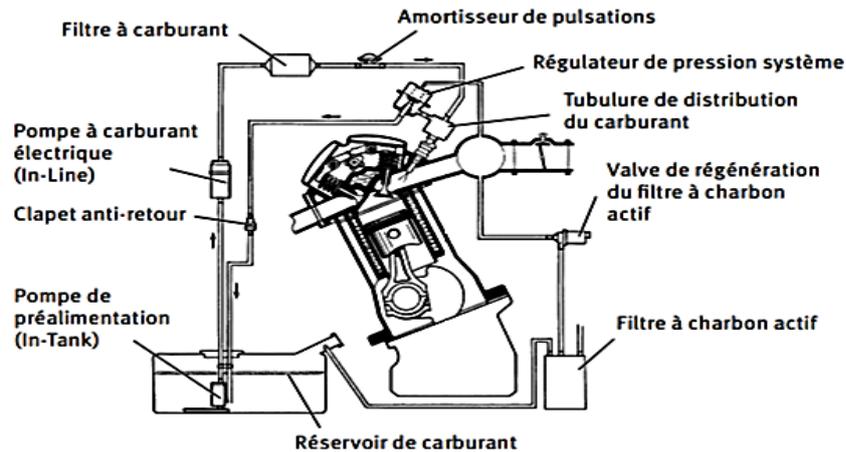


Figure II.21 : Alimentation en carburant d'un moteur à injection (à partir de 1985 env.). [13]

II.7.3 Le chemin itinéraire du carburant (essence)

Le réservoir :

Jusque dans les années 1930, le réservoir d'essence était placé sur la cloison pare-feu au-dessus du moteur, à proximité immédiate de celui-ci. L'essence descendait par gravité jusqu'au carburateur. Un robinet situé à la base du réservoir devait être fermé après chaque arrêt, sinon le réservoir se serait lentement vidé dans le carburateur, puis par le trop-plein de celui-ci au cas où le pointeau n'aurait pas été étanche. Jusque les années 1930,

Aujourd'hui, le réservoir est placé à l'arrière de la voiture pour éliminer au maximum les risques d'incendie et les odeurs d'essence dans la voiture. Cependant, tout à l'arrière, le réservoir est exposé aux chocs ; c'est pourquoi il est maintenant le plus souvent situé entre les roues arrière, sous la banquette ou derrière le dossier du siège arrière. Une pompe est donc nécessaire pour remonter l'essence vers le carburateur. [14]



Figure II.22 : Le réservoir d'un véhicule

Pompe à essence :

Il existe deux types de pompes :

- La pompe à entraînement mécanique : très répandue sur les moteurs à carburateur.
- La pompe électrique : sur les véhicules à injection et haut de gamme.

A. Mécanique :

C'est une pompe aspirante-refoulant très généralement commandée par une came spéciale de l'arbre à cames, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un poussoir. Elle comporte : une membrane (M), un clapet d'aspiration (1), un clapet de refoulement (2), un levier de commande (L) actionné par la came et maintenu contre elle par un ressort (r), un ressort taré (R) de pression d'essence et un filtre (F) tamis métallique.

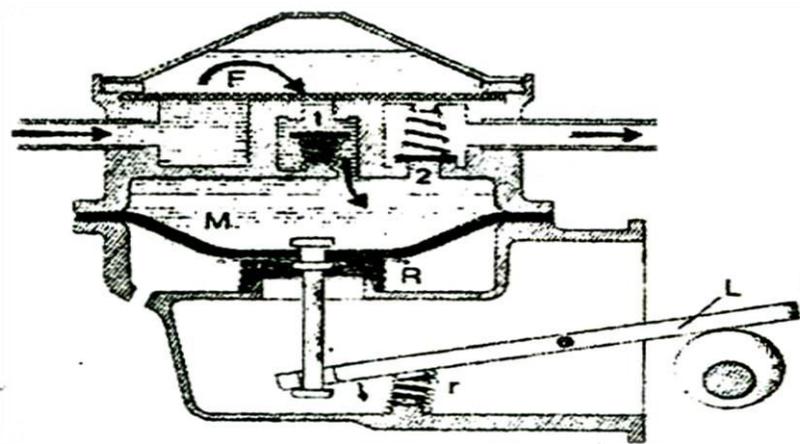


Figure II.23 : Pompe à membrane (aspiration)

➤ Aspiration :

La membrane (M) est tirée vers le bas par le levier de commande (L) actionné par la came. La descente de la membrane (M) crée une dépression qui ouvre le clapet d'aspiration (1) et aspire l'essence. Le ressort taré (R) est comprimé

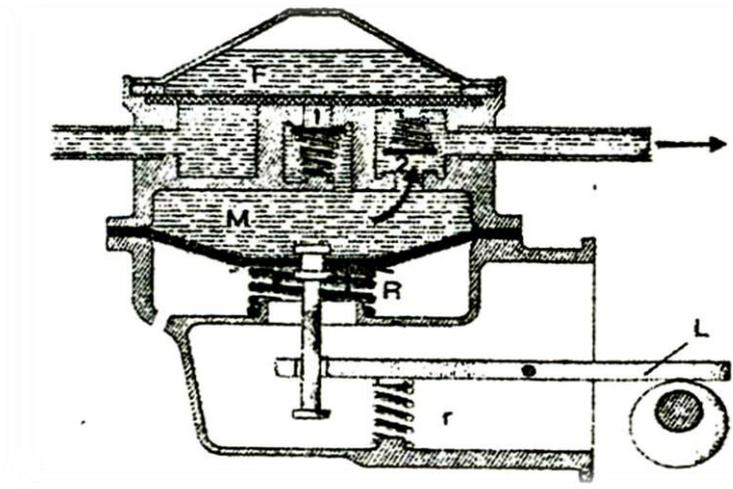


Figure II.24 : Pompe à membrane (refoulement)

➤ Refoulement :

La came ayant tourné, le refoulement est alors réalisé grâce au ressort taré (R) qui appuie avec une force déterminée sur la membrane (M), engendrant la pression de refoulement à *pression d'essence*.

Cette dernière ouvre le clapet de refoulement.

B. Électrique :

On a rencontré plusieurs types de pompe à essence électrique :

- Pompe à membrane : la commande mécanique est remplacée par un système magnétique de bobinage.
- Pompe à engrenage entraînée par un moteur électrique à courant de batterie.
- Pompe rotative à galets entraînée également par un moteur électrique à aimants permanents.
 1. Aspiration
 2. Limiteur de pression
 3. Pompe multicellulaire à rouleaux
 4. Induit du moteur
 5. Clapet de non-retour
 6. Refoulement
 7. Rotor
 8. Rouleau
 9. Surface de guidage des rouleaux

➤ *Avantages de la pompe électrique*

- On peut la placer où l'on veut sur le moteur.
- Elle entre en action dès l'établissement du contact avec la clé.
- Située dans un endroit frais (par exemple dans le réservoir) elle évite les phénomènes de percolation. [3]

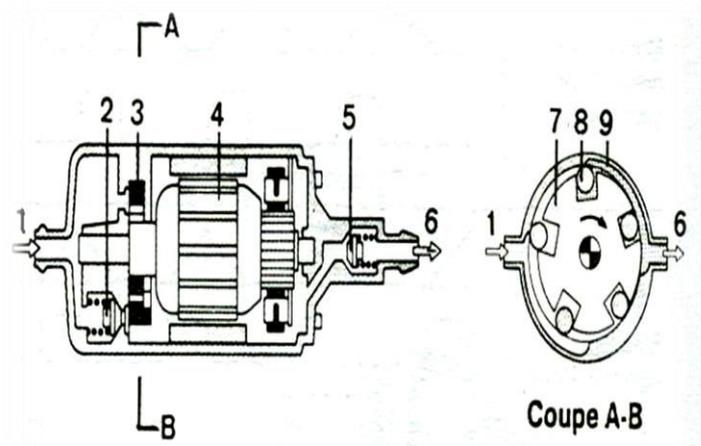


Figure II.25 : Pompe à essence électrique

Clapets anti-retour

Des clapets anti-retour sont mis en œuvre à différents endroits des circuits d'alimentation en carburant, Installés sur les moteurs à carburateur, mais également sur les moteurs à injection et les moteurs diesel, ils empêchent le vidage de la conduite. Leur installation (entre le réservoir et la pompe, à proximité des réservoirs), même réalisée à posteriori, améliore les problèmes de démarrage, car la conduite de carburant est déjà remplie lors du démarrage du moteur.



Figure II.26 : clapet anti retour essence alu pour durite 6mm

Clapet de coupure de carburant

Les clapets de coupure de carburant sont installés sur la conduite de réalimentations

Ils sont utilisés de la manière suivante, selon l'objectif visé:

- Protection anti-écoulement, lorsque le moteur est arrêté, l'évite l'écoulement du carburant.
- Relais de sécurité
- Anti-démarrage



Figure II.27 : Clapet de coupure de carburant

Séparateur de bulles de gaz

En présence de températures Élevées dans le compartiment moteur, il est fréquent que des bulles de gaz se forment dans le carburateur, les conduites et la pompe à carburant sur les systèmes d'alimentation ouverts.

Ces bulles de gaz se forment essentiellement par surchauffe lorsque le moteur est arrêté, mais également au ralenti lorsque le refroidissement est insuffisant. IL s'ensuit des problèmes de ralenti et de démarrage, aussi bien à froid qu'à chaud. Les séparateurs de bulles de gaz sont un moyen très efficace pour lutter contre ces problèmes et sont faciles à monter a posteriori. Les séparateurs de bulles de gaz doivent être montés aussi près que possible du carburateur. Monter le séparateur de bulles de gaz au niveau du carburateur . Les séparateurs de bulles de gaz sont de petits réservoirs de carburant dotés de trois raccords. [13]

- Alimentation (entrée), sortie (vers le carburateur) et retour vers le réservoir

Les séparateurs de bulles de gaz présentent quatre différences importantes.

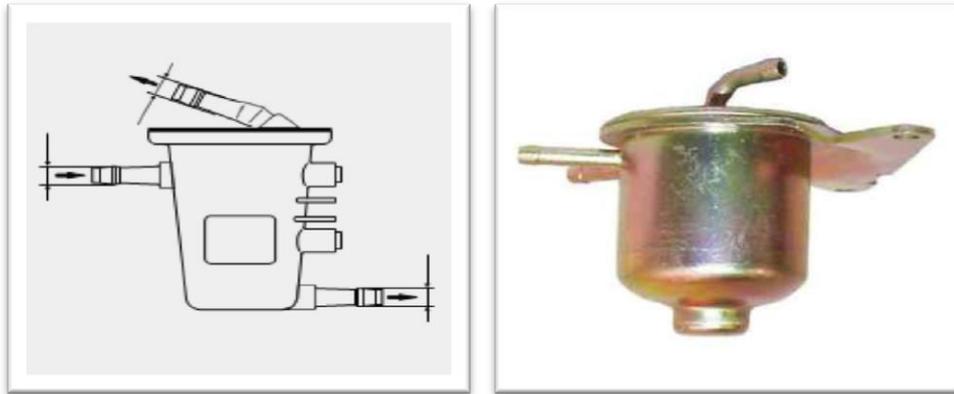


Figure II.28: Séparateur de bulles de gaz

Clapets de réduction de pression (Le régulateur de pression)

Les clapets de réduction de pression réduisent la pression du carburant à environ 35...45% de la pression d'entrée.

Ils s'installent sur la conduite d'alimentation, avant le carburateur.

L'utilisation d'un clapet de réduction de pression apporte 3 avantages.

- Le niveau dans la cuve du flotteur reste pratiquement constant.
- La formation de mousse dans le carburant lors d'un départ à chaud est évitée.
- Il est possible d'utiliser des pompes à carburant présentant une pression et un débit plus élevés.

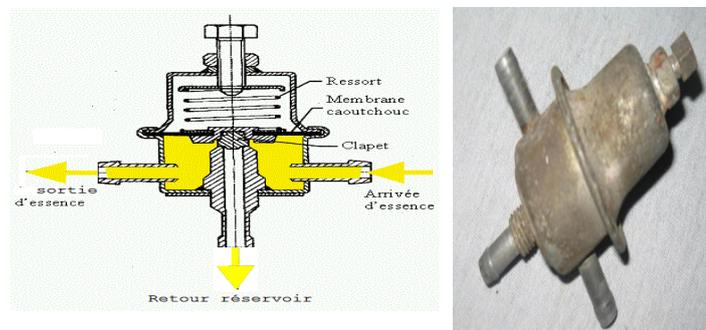


Figure II.29 : Le régulateur de pression

Filtre à carburant (Filtre à tamis)

A pour rôle d'éliminer ces particules et de les empêcher de se répandre dans le circuit d'alimentation (carburateurs, injecteurs...) de votre moteur. Pour une pureté de carburant optimale, il est donc important d'installer un filtre à essence et de le remplacer régulièrement. Le filtre à essence est en général situé après la pompe à essence. [13]

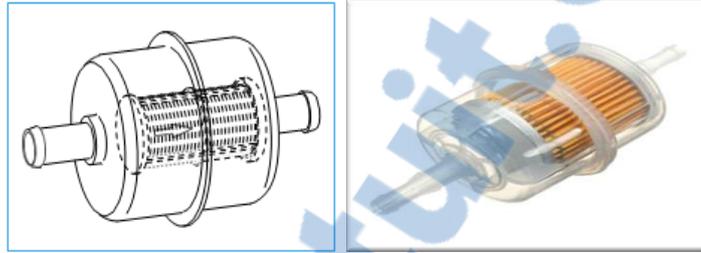


Figure II.30 : Filtre à tamis

II.7.4 Système à carburateur :**Carburateur (moteur essences anciens) :**

Sur les moteurs essences plus anciennes (jusque dans les années 90), on trouve un carburateur qui cumule deux fonctions : mélanger le carburant à l'air et moduler le débit d'air qui entre dans le moteur (le fait d'accélérer). Son réglage pouvait parfois être fastidieux. Aujourd'hui c'est le calculateur qui dose lui-même le mélange air/carburant (votre moteur s'adapte donc désormais tout seul aux changements de conditions atmosphériques : montagne, plaine etc..). [15]

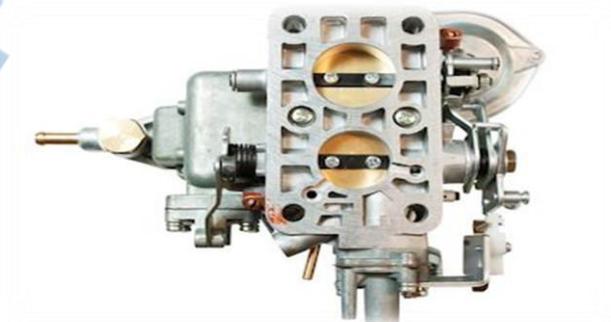


Figure II.31 : carburateur

Description du carburateur :

Le rôle de carburateur est de réaliser le mélange de l'air et de l'essence dans de conditions permettant une carburation correcte à tous les régimes du moteur.

A. Circuit d'alimentation :

Pour réaliser le mélange l'air circule dans le corps du carburateur de l'amont vers l'aval. Le mélange s'effectue dans une zone appelée chambre de carburation (venturi). Le giclage de l'essence est limité par un gicleur principal.

Une réserve appelée cuve à niveau constant est munie d'un dispositif constitué d'un robinet pointeau actionné par un flotteur.

L'essence est amenée du réservoir par une pompe sous une légère pression.

Lorsque l'essence est au niveau désiré dans la cuve, le flotteur en montant actionne le pointeau qui obture l'arrivée. Dès qu'il y a consommation de carburant, le pointeau s'ouvre jusqu'à obtention du niveau requis.

Un trou de mise à l'air libre de la cuve permet à l'essence de s'écouler grâce à l'action de la pression atmosphérique.

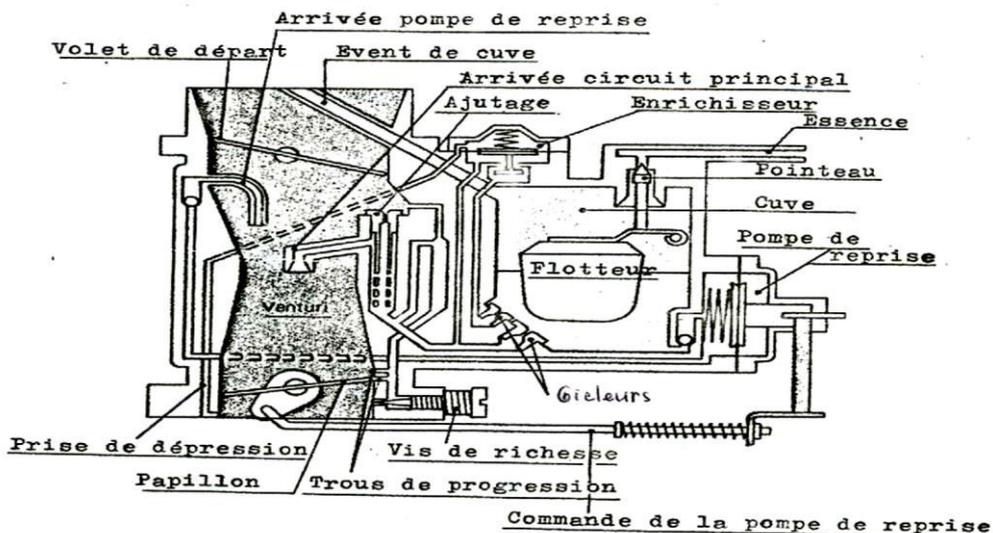


Figure II.32 : Circuits internes du carburateur

B. Circuit de ralenti :

Au ralenti le papillon est quasiment fermé, la dépression dans le venturi est insuffisante pour amorcer le circuit principal.

Le circuit de ralenti débouche sous le papillon, le dosage est réalisé par un gicleur de ralenti (non présenté) pour l'essence et par l'entrebâillement du papillon pour l'air.

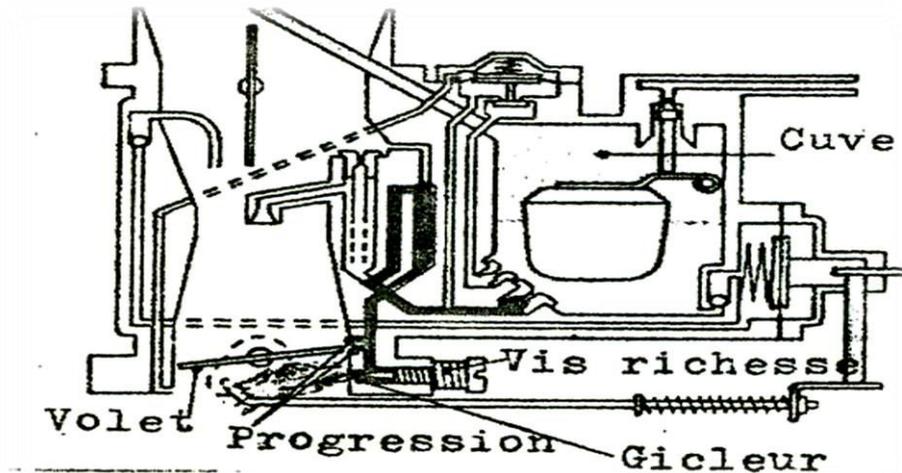


Figure II.33 : Circuit de ralenti

C. Circuit principal :

A une certaine ouverture de papillon, dans le diffuseur on a une augmentation de la dépression qui amorce le circuit principal.

L'essence passe des cuves aux puits à travers le gicleur principal qui en contrôlent le débit.

Dans les puits on a un premier mélange, réalisé dans les tubes d'émulseurs, avec l'air contrôlé par le gicleur d'air.

Des puits le mélange arrive au venturi où commence la carburation avec l'air aspiré par les conduits d'admission.

Le circuit principal assure un dosage économique de l'ordre 1/18 aux moyens régimes.

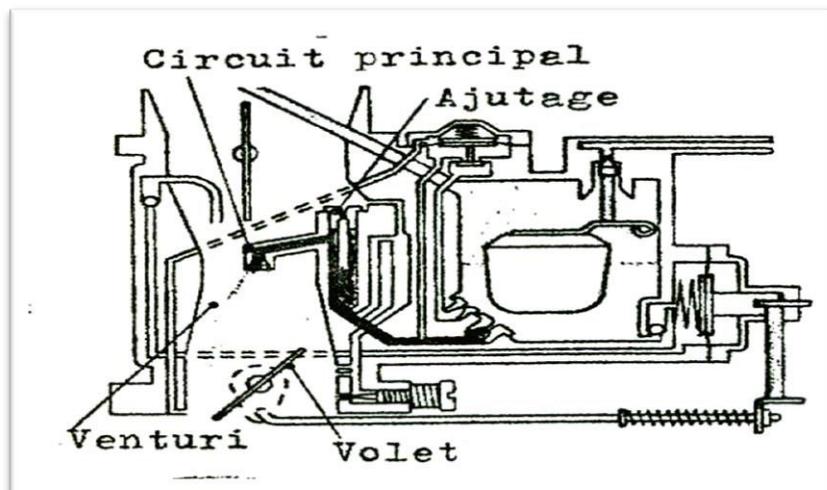


Figure II.34: Circuit principal

D. Circuit de pompe de reprise

Lors d'une brusque accélération, le papillon s'ouvre très rapidement ce qui provoque un fort appel d'air et d'essence, mais du fait de la différence de densité l'arrivée d'essence est retardée. Le mélange risque de devenir pauvre, il faut l'enrichir. C'est le rôle de la pompe de reprise; actionnée mécaniquement par la commande du papillon elle envoie un surplus d'essence à chaque accélération

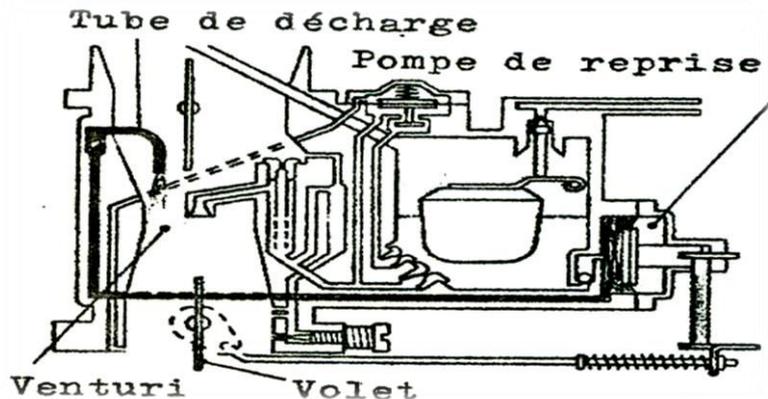


Figure II.35 : Circuit de reprise

E. Circuit d'enrichissement de puissance :

Ce système qui entre en action pour les grandes ouvertures de papillon permet d'avoir un gain en puissance.

Dans des conditions bien déterminées de charge et régime (effet du ressort > effet de la dépression) le gicleur d'enrichissement ajoute son débit à celui du circuit principal.

L'ouverture de ce gicleur est commandée par un clapet à membrane actionné par la dépression régnant dans la tubulure d'admission. [4]

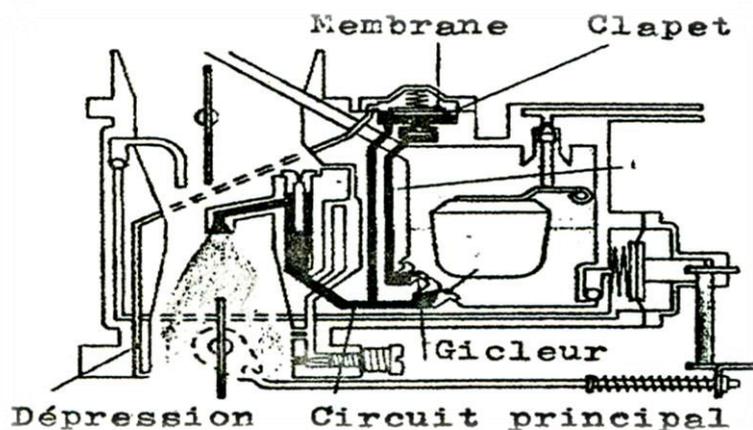


Figure II.36 : Circuit d'enrichissement de puissance

II.8 Système d'injection

II.8.1 Principe de fonctionnement

L'injection d'essence consiste à introduire l'air par une tubulure d'admission de forte section et à injecter le carburant en amont plus près de la soupape d'admission (injection indirecte) ou directement dans le cylindre (injection directe). L'injection peut être continue ou discontinue, mécanique ou électronique.

II.8.2 Avantages du système d'injection

- L'augmentation des performances du moteur (couple, puissance,...).
- Economie de carburant grâce au dosage très précis.
- Diminution des émissions toxiques (meilleure combustion).
- Meilleur remplissage en carburant des cylindres donc souplesse accrue.

II.8.3 Différents systèmes d'injection

On peut classer les systèmes d'injection selon l'endroit où se fait l'injection du carburant dans l'air aspiré par le moteur :

- L'injection est directe si elle s'effectue dans la chambre de combustion du cylindre.
- L'injection est indirecte si elle a lieu dans la tubulure d'admission, plus ou moins près de la soupape d'admission, le jet d'essence étant dirigé vers la soupape.
- L'injection centralisée si elle se fait dans la partie du collecteur commune à tous les cylindres, à l'endroit qu'occuperait un carburateur.

On peut également différencier les systèmes d'injection par le dispositif de régulation :

Dans l'injection mécanique, la pompe entraînée mécaniquement par le moteur, effectue la mise en pression du carburant et dose le volume injecté.

Dans l'injection électronique, la pompe électrique, effectue l'alimentation du carburant sous pression; les fonctions de dosage, régulation, injection sont totalement ou partiellement pilotées par une centrale électronique.

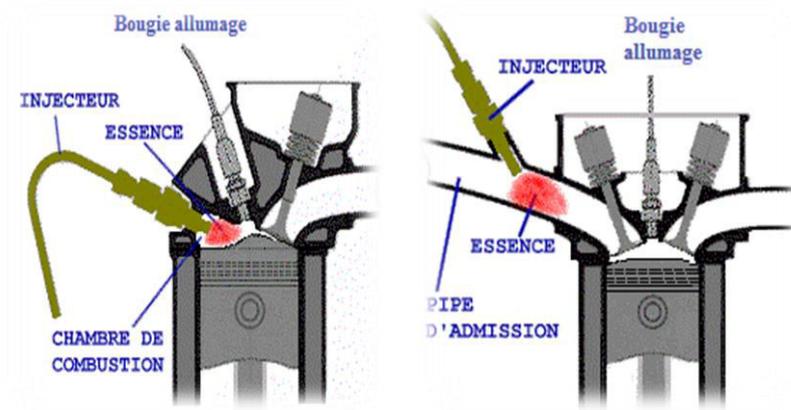


Figure II.37: injection directe et indirecte

Les plus répandus actuellement sont les systèmes Bosch :

- K-Jetronic : injection mécanique continue indirecte.
- L ou D-Jetronic : injection électronique discontinue indirecte.

A. Injection K-Jetronic

L'air est dosé par un papillon placé dans la tubulure d'admission. Le carburant est calibré par un doseur dont le tiroir est commandé par le déplacement du débitmètre d'air placé dans la tubulure d'admission.

Le doseur reçoit le carburant d'une pompe électrique par l'intermédiaire d'un régulateur de pression.

Les injecteurs débitent en permanence un carburant dont la pression et le débit sont déterminés par le débit de l'air et sa pression absolue (≈ 4.6 bars).

Pour le départ à froid, un électro-injecteur unique injecte un supplément de carburant à l'entrée du collecteur d'admission.

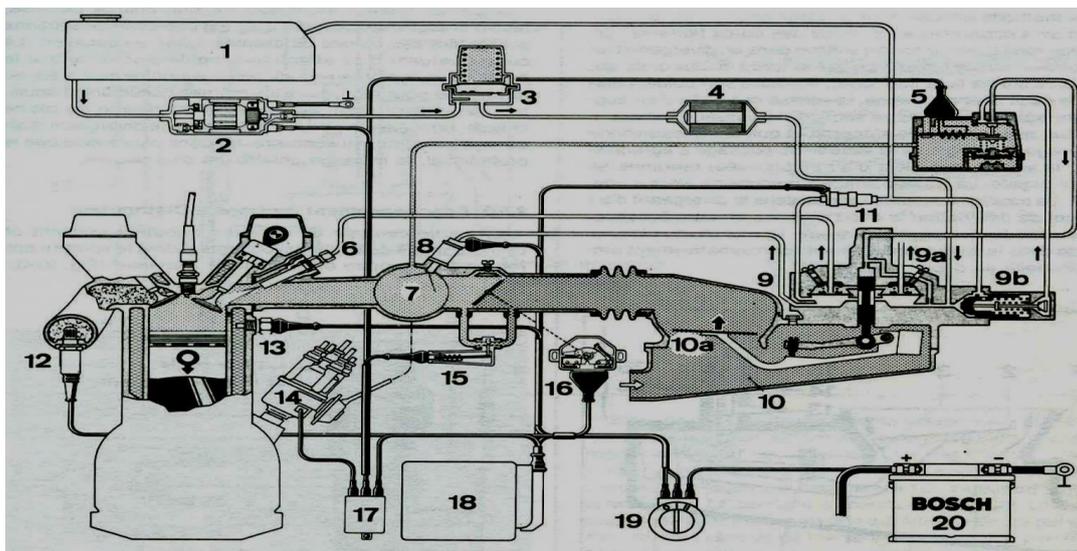


Figure II.38: Schéma de l'installation du système K-Jetronic

1. Réservoir à carburant	10. Débitmètre d'air
2. Pompe électrique à carburant	10a. Plateau-sonde
3. Accumulateur de carburant	11. Electrovanne de cadence
4. Filtre à carburant	12. Sonde Lambda
5. Correcteur de réchauffage	13. Thermo contact temporisé
6. Injecteur	14. Allumeur
7. Collecteur d'admission	15. Commande d'air additionnel
8. Injecteur de départ à froid	16. Contacteur de papillon
9. Régulateur de mélange	17. Relais de commande
9a. Doseur-distributeur de carburant	18. Centrale de commande électronique
9b. Régulateur de pression d'alimentation	19. Commutateur d'allumage-démarrage
	20. Batterie

Tableau II. 2 l'installation du système K-Jetronic

B. Injection L-Jetronic

Le débit de l'air est dosé par un papillon et mesuré par un débitmètre à potentiomètre placé dans la tubulure d'admission.

Le calculateur reçoit des informations sous forme de signaux électriques sur : le débit, la pression et la température de l'air, la température de l'eau, le déclenchement de l'allumage, la vitesse d'ouverture du papillon, la vitesse de rotation du moteur.

Il transforme ces informations en une tension de commande des injecteurs électromagnétiques, dont le début, la durée et la fin d'injection sont fonction des paramètres d'entrée. [4]

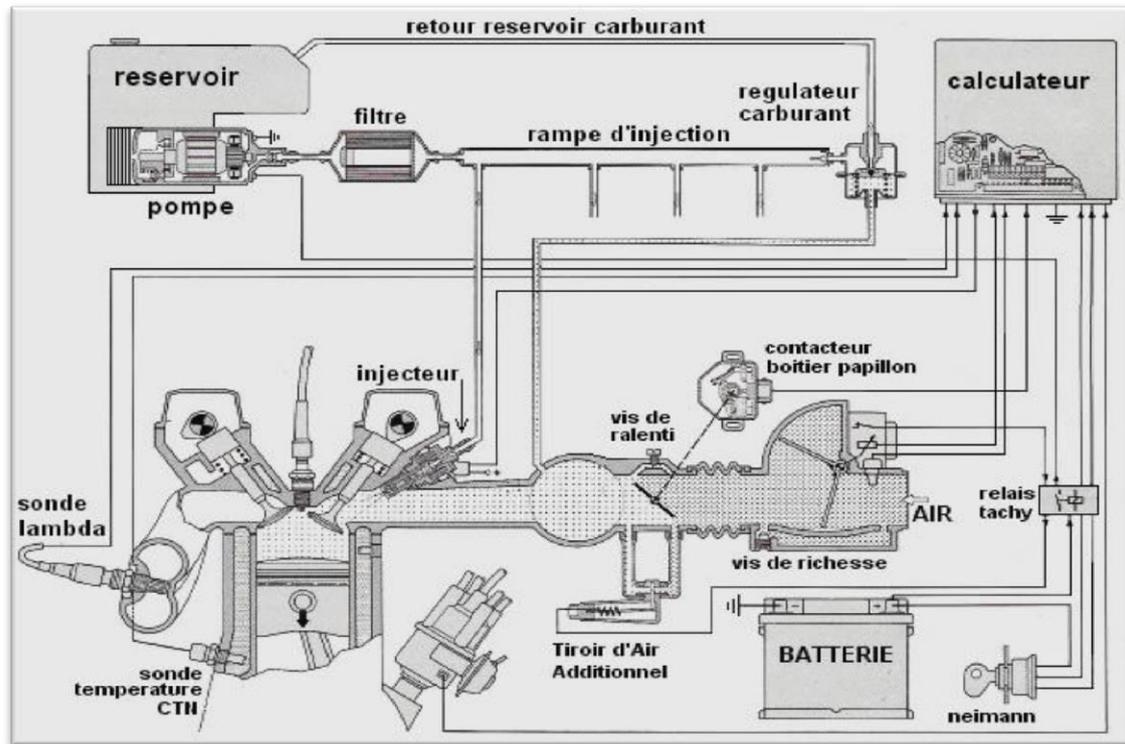


Figure II.39 : Schéma du système L-Jetronic

II.9 Alimentation en carburant (air) :

L'air qui est envoyé jusqu'à la chambre de combustion doit passer dans un circuit sur lequel se trouve plusieurs éléments déterminants.

II.9.1 Les composants des installations d'alimentation en carburant (air) :

A. Filtre à air :

La première chose que croisera le carburant admis dans un moteur sera le filtre à air. Ce dernier a la charge de coincer et retenir le plus de particules possibles afin d'éviter qu'elles n'aillent pas abîmer les entrailles du moteur (chambre de combustion). Cependant il existe plusieurs réglages / calibres de filtres à air.

Plus un filtre retiendra de particules, moins il laissera l'air passer facilement : cela réduira un peu la puissance du moteur (qui respire alors un peu moins bien) mais cela améliorera la qualité de l'air qui entrera dans le moteur (moins de particules parasites). A l'inverse, un filtre qui laisse passer beaucoup d'air (débit important) améliorera les performances mais laissera entrer plus de particules. Il doit être changé régulièrement car il finit par se colmater. [15]



Figure II.40 : filtre à air

B. Débitmètre d'air :

Sur les moteurs modernes, ce capteur permet d'indiquer au calculateur moteur la masse d'air qui arrive dans le moteur ainsi que sa température. Avec ces paramètres en poche, le calculateur saura comment piloter l'injection et le papillon (essence) pour que la combustion soit parfaitement réglée (richesse du mélange air/carburant). En s'encrassant il n'envoie plus les bonnes données au calculateur : perte de puissance à la clé.

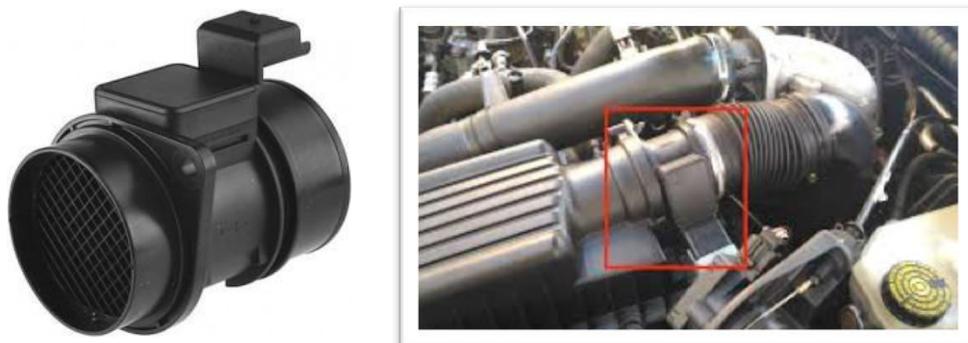


Figure II.41 : débit maitre d'aire

C. Collecteur d'admission :

Le collecteur d'admission est l'une des toutes dernières étapes du chemin parcouru par l'air admis. Il s'agit ici de répartir l'air qui arrive dans chaque cylindre : le chemin se divise alors en plusieurs voies (dépend du nombre de cylindres dans le moteur).

Un capteur de pression et de température permet au calculateur de piloter plus finement le moteur. La pression dans le collecteur est basse sur les essences à faible charge (papillon pas totalement ouvert, faible accélération) tandis qu'elle est toujours positive (> 1 bar) sur les diesels. Voir plus dans l'article bas pour comprendre. Sur les essences à injections indirectes, les injecteurs sont placés sur le collecteur pour vaporiser le carburant à cet endroit. Il existe alors des versions mono point (plus vieux) et multipoint.

Certains éléments sont reliés à la tubulure d'admission :

- **Vanne EGR** : une vanne EGR est présente sur les moteurs modernes, elle permet de renvoyer une partie des gaz vers le collecteur d'admission pour qu'ils passent de nouveau dans les cylindres (permet de réduire la pollution : NOx grâce au refroidissement de la combustion. Moins d'oxygène).
- **Reniflard** : les vapeurs d'huile émanant du carter sont renvoyées vers l'admission

D. Soupape admission :

C'est la dernière étape, l'air entre dans le moteur par une petite porte nommée soupape d'admission qui s'ouvre et se ferme continuellement (selon le cycle à 4 temps).

E. Boitier papillon (essence sans carburateur) :

Les motrices essences fonctionnent grâce à un mélange bien précis entre air et carburant, il faut donc un volet papillon pour réguler l'air qui entre dans le moteur. Le diesel fonctionnant en excès d'air n'en a pas besoin (les moteurs diesels modernes en ont un mais pour des raisons autres et presque anecdotiques). Quand on accélère avec un moteur essence il faut à la fois doser l'air et le carburant : mélange stœchiométrique avec un rapport de 1 / 14.7 (carburant / air). Donc dans les bas régimes où il faut peu de carburant (car on souhaite un filet de gaz), on est obligé de filtrer la quantité d'air qui arrive pour ne pas qu'elle soit en excès. [15]

En revanche, quand on accélère avec un diesel on ne fait que varier l'injection de carburant dans les chambres de combustion (sur les versions avec turbo, la suralimentation se met aussi à envoyer plus d'air dans les cylindres).



Figure II.42 : Boitier papillon

F. Turbocompresseur :

Destiné à augmenter les performances du moteur, il va permettre d'envoyer plus d'air dans le moteur. Au lieu de se limiter à l'aspiration naturelle du moteur (par le mouvement des pistons), on ajoute un système qui va en plus "souffler" beaucoup d'air à l'intérieur. De cette manière, on peut alors aussi augmenter la quantité de carburant et donc la combustion (combustion plus intense = plus de puissance). Un turbo marche bien dans les hauts régimes car il s'alimente par les flux d'échappement (plus importants à haut régime). Un compresseur (super charger) est identique au turbo sauf qu'il s'alimente par la force du moteur (du coup il tourne moins vite mais fonctionne plus tôt dans les tours : le couple à bas régime est meilleur). Il existe des turbos statiques et des turbos à géométrie variable.



FigureII.43 : Turbocompresseur

Echangeur / Intercooler :

Dans le cas d'un moteur turbo, on fait en sorte de refroidir l'air envoyé par le compresseur (le turbo donc) car ce dernier a été légèrement chauffé lors de sa compression (un gaz comprimé chauffe naturellement). Mais surtout, refroidir l'air permet d'en insérer plus dans la chambre de combustion (un gaz froid prend moins de place qu'un gaz chaud). Il s'agit donc ici d'un échangeur : on fait passer l'air à refroidir dans un compartiment qui est collé à un autre plus froid (qui est lui-même refroidi par de l'air frais extérieur [air/air] ou par de l'eau [air/eau]). [15]



Figure II.44: Echangeur / Intercooler

II.10 Les étapes de l'évolution l'admission de comburant (Air) :

- Le circuit de motrice atmosphérique essence assez ancienne (années 80/90). L'air arrive par le filtre et le mélange air/carburant est effectué par un carburateur. [15]

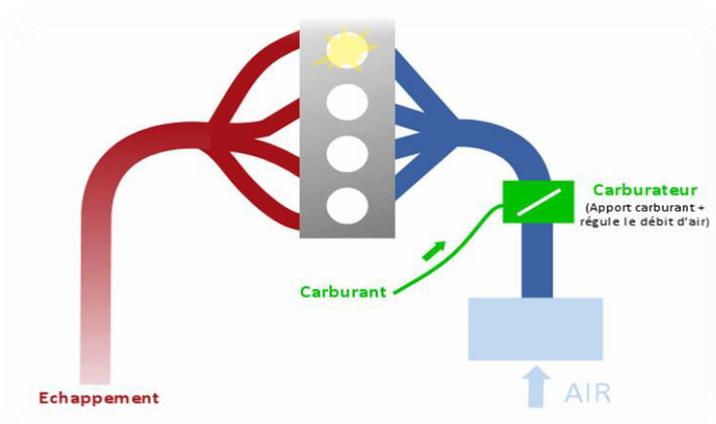


Figure II.45: circuit d'ancienne moteur essence atmosphérique à carburateur

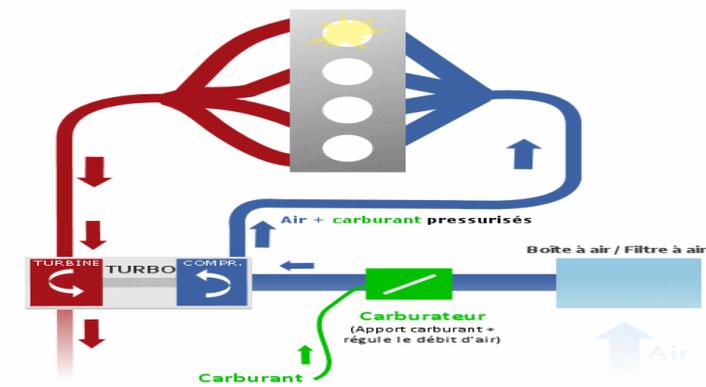


Figure II.46: Ancien moteur essence turbo à carburateur

- Ici le carburateur est remplacé par un boîtier papillon et des injecteurs. Le modernisme fait que le moteur est contrôlé électroniquement. Il y a donc des sondes pour tenir au courant le calculateur.

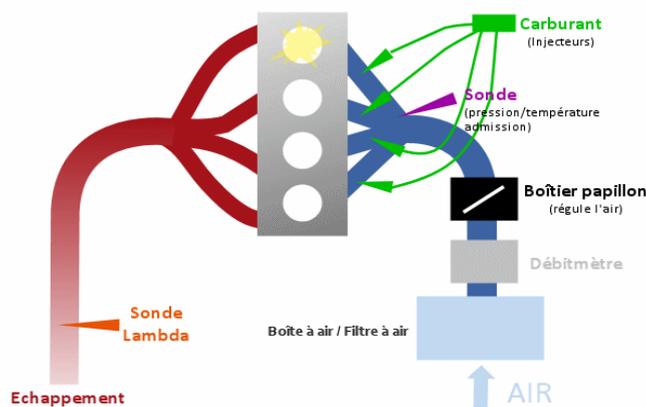


Figure II.47: Moteur essence moderne atmosphérique injection indirecte

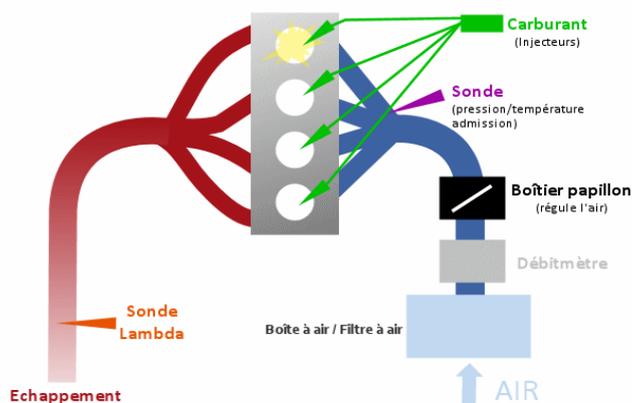


Figure II.48: Moteur essence moderne atmosphérique injection directe

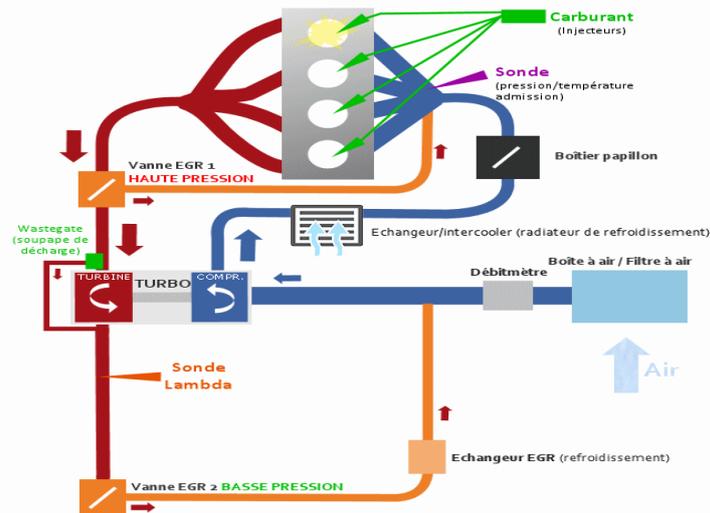


Figure II.49: Moteur essence moderne turbo injection directe [15]

II.11 Technologie pour améliorées performance des moteurs essences

Au cours des dernières années, certains constructeurs automobiles ont appliqué au moteur à essence un éventail de nouvelles technologies qui permettent d'améliorer son rendement et de réduire ses émissions polluantes et sa consommation. Parmi ces technologies on relève:

II.11.1 Cylindrée variable

Lorsque le moteur fonctionne à faible charge, lorsqu'on roule à vitesse constante sur route plate, en descente ou en décélération par exemple, seule une faible portion de sa puissance est requise.

Dans de telles conditions, un système à cylindrée variable permet de désactiver certains des cylindres d'un moteur – généralement la moitié.

On emploie différents dispositifs électroniques et mécaniques pour obtenir le même résultat : maintenir les soupapes fermées et couper l'alimentation en carburant et l'allumage des cylindres visés. Alors que les premiers systèmes à cylindrée variable provoquaient de légères secousses à chaque intervention, les contrôles électroniques raffinés maintenant utilisés rendent la transition entre cylindrée réduite et fonctionnement normal quasi imperceptible. Un système à cylindrée variable peut réduire la consommation dans une proportion allant jusqu'à 20 % dans certains cas. [16]

II.11.2 Calage variable des soupapes

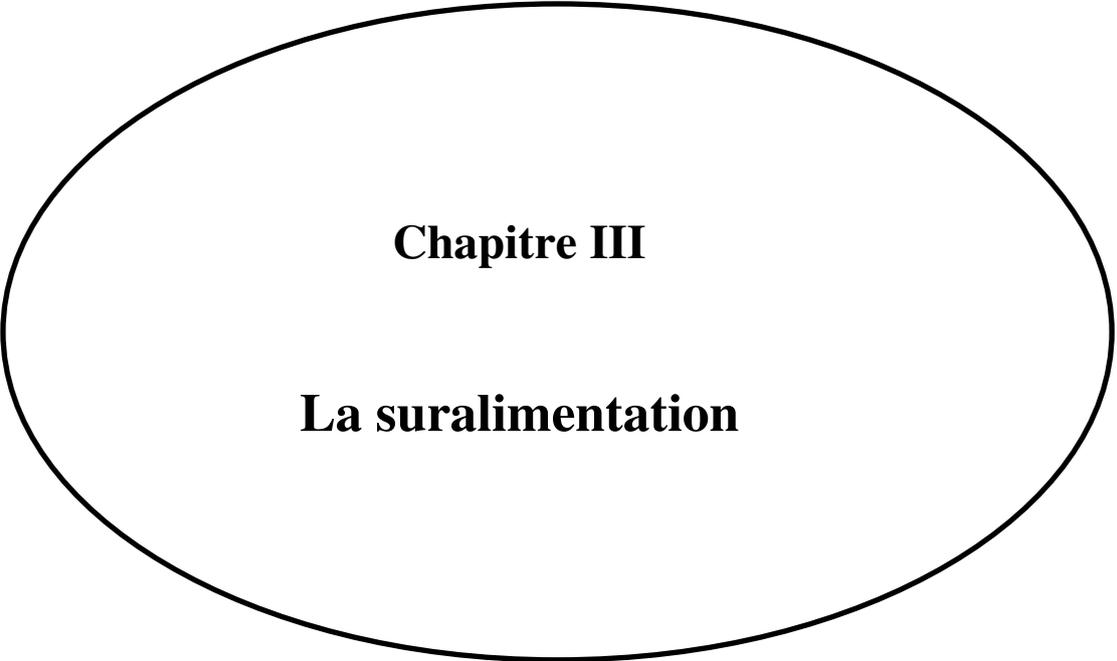
Le moment et le degré d'ouverture des soupapes d'admission et d'échappement d'un moteur ont une influence primordiale sur sa douceur de fonctionnement, son rendement et sa puissance.

Avec les systèmes de commande de soupapes classiques, utilisés depuis plus de cent ans, ces caractéristiques sont déterminées par la forme des cames sur l'arbre à cames qui les actionne, et elles sont constantes pour chacun des quatre temps du moteur. Parce que ces caractéristiques ne varient pas, le rendement d'un moteur ne peut être optimisé que pour une portion réduite de son fonctionnement (régime et charge). Dans toutes les autres conditions, le moteur n'offre pas son rendement maximal. Des progrès récents dans le domaine du contrôle des soupapes permettent de faire varier à la fois la distribution (l'instant où les soupapes s'ouvrent et se referment) et le calage (le degré d'ouverture des soupapes) selon les conditions de fonctionnement du moteur.

On en tire un rendement amélioré et des gains en puissance sur une plus grande plage d'utilisation du moteur.

II.11.3 Conclusion

Dans les moteurs à essence conventionnels, l'air est habituellement aspiré dans chaque cylindre par la succion que génère le piston lorsqu'il descend durant la course d'admission et que la ou les soupapes d'admission sont ouvertes. Il ne sollicite donc aucunement la puissance du moteur et la pression de suralimentation produite est proportionnelle au débit des gaz d'échappement et non au régime. Plus la charge du moteur est grande et plus forte est la suralimentation. Avec l'un ou l'autre de ces systèmes, des moteurs plus petits et plus légers peuvent être utilisés pour obtenir la puissance voulue. [16]



Chapitre III

La suralimentation

III.1 Introduction :

L'augmentation de la puissance spécifique des moteurs, pour une quantité d'énergie consommée donnée. Plusieurs solutions s'offrent aux motoristes, permettant d'augmenter la quantité d'air admise dans les cylindres. L'augmentation du régime de rotation du moteur est une solution utilisée en compétition, cette technique entraîne des usures multiples dans le moteur et réduit cependant sa durée de vie. La consommation du moteur ainsi que la pollution augmentent lors de l'utilisation de cette technique, tous ces désavantages diminuent la fiabilité, et la rendent incapable d'obéir aux normes actuelles de construction des moteurs automobiles. Une deuxième solution plus facile consiste à augmenter la cylindrée du moteur, par augmentation de la cylindrée unitaire ou bien du nombre des cylindres. L'augmentation de la masse, l'encombrement du moteur, ainsi que la consommation sont des conséquences qui pénalisent cette technique. Le principe de la suralimentation a été proposé pour la première fois par l'ingénieur suisse Bauchi en 1905, et fait sa première apparition sur les moteurs d'avions bénéficié des développements importants avec l'introduction d'une turbine centrifuge, et de nouveaux matériaux plus résistants à la température. A ce jour la suralimentation est largement répandue sur les moteurs Diesel modernes et dans une moindre mesure sur les moteurs à essence. [17]

III.2 Histoire de la suralimentation :

L'origine du concept de la suralimentation des moteurs à pistons remonte au tout début du XXe siècle :

- premier brevet portant sur une suralimentation par compresseur entraîné déposé en 1902 par Louis Renault ;
- invention du turbocompresseur de suralimentation en 1905, par le Suisse Albert Buchi ;
- premier moteur suralimenté par compresseur centrifuge entraîné réalisé en 1906 aux États Unis par Lee Chadwick ;
- premier moteur d'avion suralimenté par turbocompresseur (moteur Renault 300 ch.) mis au point en 1916-1917 par Auguste Rateau.[18]

Années 1930 Un certain nombre de véhicules à vocation sportive intègrent le célèbre turbocompresseur Roots.

12 septembre 1942 Deux avions suralimentés s'affrontent dans un combat singulier et unique pendant la guerre, à très haute altitude : 44 000 pieds, soit plus de 13 000 m.

1952 Un moteur Diesel, permet au turbocompresseur de s'exprimer sur l'Ovale des 500 Miles d'Indianapolis. Il développe 380 ch à 4 000 tr/min pour 6,6 l de cylindrée.

1962 La première version commerciale d'un moteur suralimenté par un turbocompresseur est montée sur une Chevrolet Corvaire Monza, qui passe de 100 à 180 ch.

1969 BMW monte un turbocompresseur .

1970 Cote Porsche, les 935 et 936 connaissent des victoires sur tous les circuits d'endurance.

1972 la Porsche 917 turbocompressée délivre 1 100 ch pour une cylindrée de 5,4 l avec une pression de suralimentation de 3,4 bars ! Renault expérimente au Critérium des Cévennes une Alpine A110 équipée d'un moteur 1,6 l suralimenté. BMW présente au salon de Francfort une 2002 équipée d'un 4 cylindre de 2 l développant 170 ch. Elle fut produite en 1 500 exemplaires.

1978 Renault gagne les 24 Heures du Mans avec une voiture équipée d'un V6 turbo de 1,5 l, Surclassant ainsi le célèbre V8 Cosworth de 3 l de cylindrée. [19]

III.3 Modes de suralimentation

III.3.1 Suralimentation par générateur de gaz (ou compresseur) entraîné par le moteur:

Il se fait du système de conception le plus simple : une machine liée au vilebrequin du moteur, par une cinématique appropriée, délivre de l'air comprimé à l'admission du moteur. On distingue deux variantes à ce système suivant le type de machine de compression utilisée.

III.3.2 Machine volumétrique :

Il s'agit de générateurs de débit de type compresseur (à pistons, à palettes ou à vis) à l'intérieur duquel l'air est comprimé ou de type machine à transfert (Roots, Lysholm) dénuée de compression interne .

Pour un moteur à 4 temps et en l'absence d'organe de limitation de pression, la pression d'admission résulte de l'équilibre entre le débit-volume engendré par le compresseur ou la machine à transfert et la capacité de débit du moteur, qui est aussi une machine volumétrique. Les compresseurs volumétriques à pistons ou à palettes sont les plus étanches, mais au prix de pertes par frottement non négligeables, qui les rendent mal adaptés à une suralimentation modérée ou moyenne, ou qui compromettent leur fiabilité mécanique (compresseur à palettes). Le compresseur à pistons, plus complexe, n'est plus utilisé actuellement, bien qu'il existe une solution attrayante de cette disposition.

III.3.3 Les machines à transfert :

Présentent des pertes mécaniques faibles résultant de leur défaut d'étanchéité (jeux de fonctionnement) qui entraîne un taux de fuite relativement important à bas régime de rotation. De plus, l'absence de compression interne limite l'emploi de ce générateur à un rapport de suralimentation inférieur ou égal à 1,5.

III.3.4 Le compresseur à vis :

Se présente avec des performances intermédiaires : fuites à bas régime, mais compression interne autorisant des rapports de suralimentation supérieurs à 1,5.

Le schéma d'installation d'une machine rotative (Roots, Lysholm, compresseur à vis, etc.) est représenté sur la **Figure III.1 Schémas d'installation d'un moteur suralimenté par compresseur volumétrique.1. (a)**. Son entraînement est réalisé à partir du vilebrequin par une transmission à rapport fixe (ou éventuellement variable). Un papillon de by-pass permet de désactiver la machine pendant les phases de fonctionnement du moteur aux charges partielles. Ce laminage peut être aussi utilisé pour limiter la pression d'admission au moteur, dans le cas d'adaptation d'une machine de cylindrée surabondante, permettant d'obtenir un rapport de suralimentation indépendant du régime de rotation du moteur.

L'entraînement à rapport variable permet d'obtenir le même résultat par un rapport d'entraînement plus élevé à bas régime, sans sur dimensionner l'appareil.

La **Figure III.1 Schémas d'installation d'un moteur suralimenté par compresseur volumétrique.1.(b)** représente une variante d'installation dans laquelle le compresseur est débrayable (par un embrayage électromagnétique). Dans ce cas, la suralimentation n'est appliquée qu'à plein charge (contact d'embrayage sous la pédale d'accélérateur). Un clapet automatique de mise à l'air libre est nécessaire pour assurer l'alimentation atmosphérique du moteur aux charges partielles .

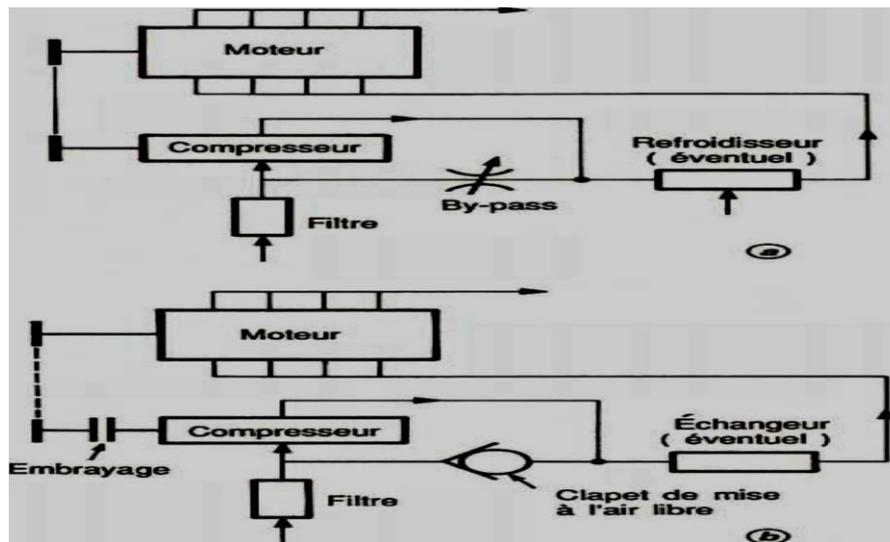


Figure III.1 Schémas d'installation d'un moteur suralimenté par compresseur volumétrique

III.3.5 Machine cinétique :

On utilise dans ce cas un compresseur centrifuge ou une machine équivalente. Compte tenu de la caractéristique débit-pression de ce type de machine, il est souhaitable de l'entraîner par une transmission à rapport variable de manière à maintenir la pression de suralimentation à une valeur suffisante aux bas régimes de rotation du moteur. Cette transmission peut être à rapport continûment variable (transmission à courroie à enroulement variable) ou à plusieurs rapports discrets. Cette dernière disposition était utilisée sur certains moteurs d'avions pour rétablir la puissance du moteur en altitude. La **figure III.2** représente le schéma d'implantation d'un compresseur centrifuge .

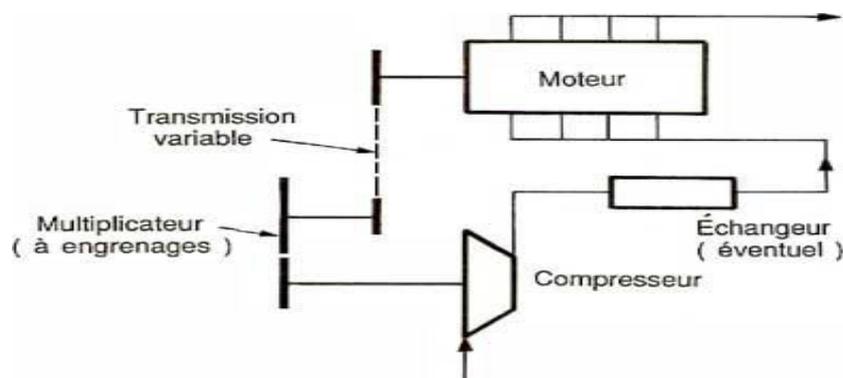


Figure III.2: Schéma d'installation d'un moteur suralimenté par compresseur centrifuge

III.4 Suralimentation par procédé Hyperbare (applicable au diesel) :

Le procédé Hyper bar consiste à suralimenter le moteur par une turbine à gaz (compresseur + chambre de combustion + turbine) disposée en dérivation par rapport au moteur. Le débit d'air de suralimentation est réglé par une soupape de by-pass comme cela est représenté sur la **figure III.3**.

La soupape de by-pass est réglée de manière à maintenir constant l'écart de pression entre la sortie du compresseur et l'entrée de la turbine. Le débit de carburant injecté dans la chambre de combustion permet de contrôler la pression à la sortie du compresseur. Cette chambre est mise en service dans les conditions suivantes :

- bas régimes-fortes charges, pour lesquels l'énergie disponible dans les gaz d'échappement serait sinon trop faible pour atteindre une pression de suralimentation suffisante ;
- bas régimes-faibles charges, de manière à créer les conditions thermodynamiques (température et pression) nécessaires à l'initiation de la combustion, que le faible rapport volumétrique de compression du moteur ne permet pas d'assurer.

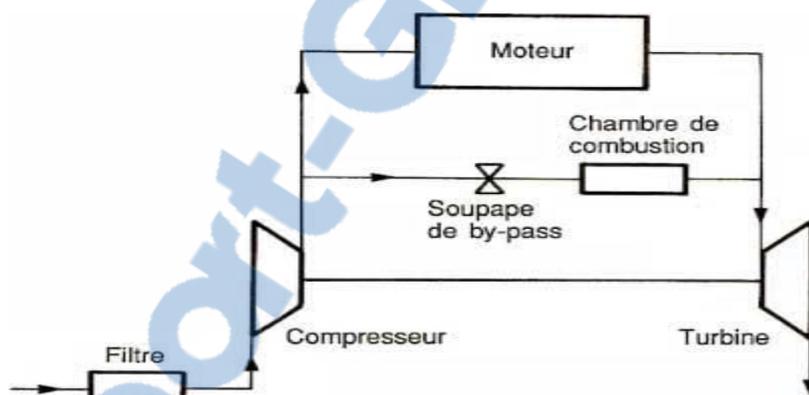


Figure III.3:Schéma d'installation d'un moteur suralimenté

III.5 Suralimentation par turbocompresseur libre :

Dans ce cas sont accouplées sur le même arbre une machine de compression (compresseur) et une machine de détente (turbine) de type cinétique. L'énergie motrice nécessaire à l'entraînement du compresseur est fournie par la détente des gaz d'échappement au travers de la turbine. Le schéma d'installation d'une telle machine est donné sur la **Figure III.4 (a)** Le régime de rotation de l'arbre du turbocompresseur s'établit de manière à réaliser l'équilibre entre la puissance absorbée par le compresseur et celle fournie par la turbine.

Pour des taux de suralimentation élevés (rapport de pression $> 3,5$), une suralimentation à deux étages est nécessaire. Compression de l'air et détente des gaz d'échappement sont

fractionnées à l'intérieur de deux turbomachines disposées en série comme cela est représenté sur la **Figure III.4 (b)**. [18]

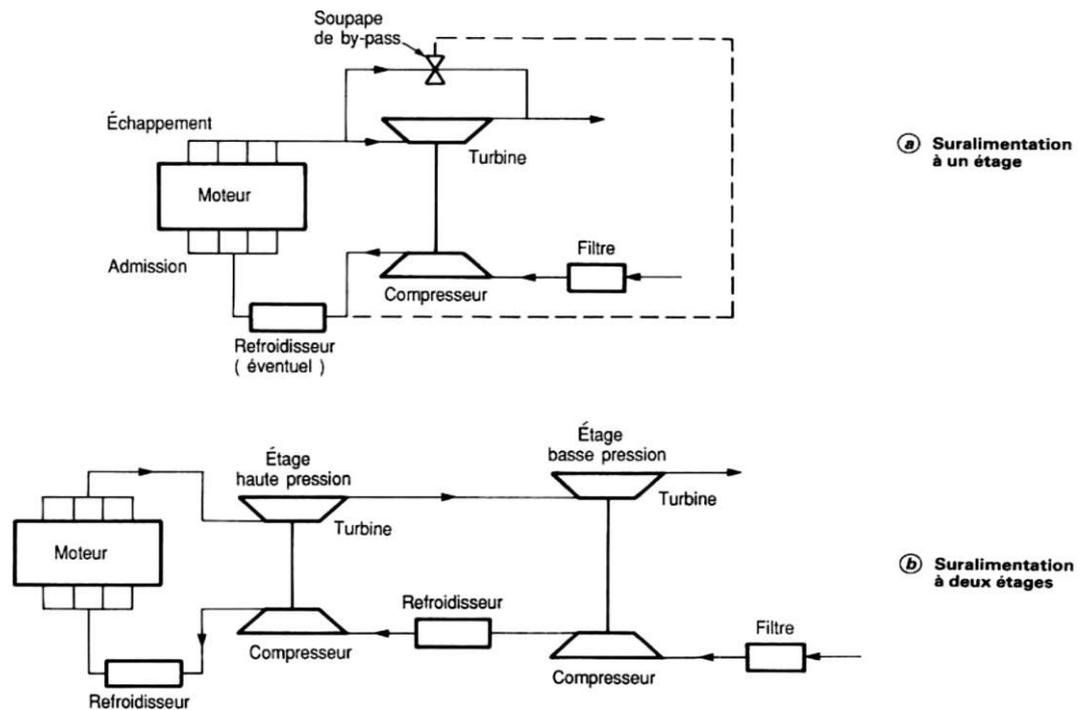


Figure III.4 : Schémas d'installation d'un moteur suralimenté par turbocompresseur : suralimentation à un ou deux étages

III.5.1 Le turbo :

Un turbo est un organe que l'on peut trouver à proximité du collecteur d'échappement sur un moteur dit « turbo » ou « turbocompressé ».

Lorsque les gaz d'échappement sont évacués du moteur, ils possèdent encore un capital énergétique important, à la fois sous forme d'énergie calorifique et d'énergie cinétique (gaz chauds et mobiles).

Le principe du turbocompresseur est de récupérer cette énergie « gratuite » et de la réutiliser pour pré-comprimer les gaz d'admission et déboucher ainsi sur un meilleur remplissage des cylindres, et donc de meilleures performances du moteur.

Pour cela, le turbo est composé d'un stator enfermant un rotor constitué de trois éléments : deux roues dynamiques - une de turbine côté échappement et une de compresseur côté admission - ainsi qu'un axe qui les relie.

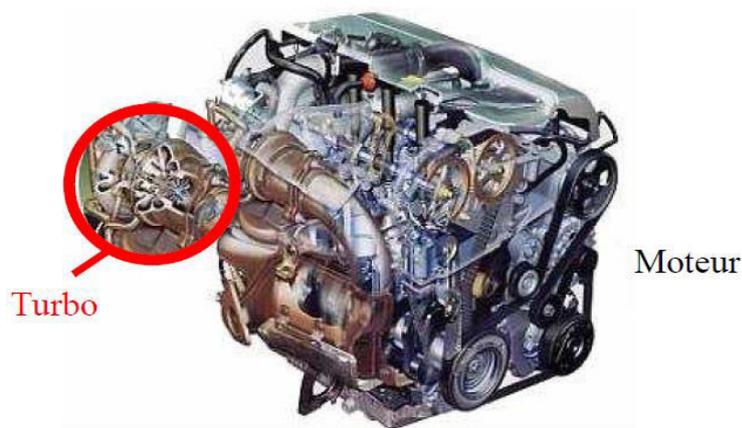


Figure III.5: le turbo sur un moteur

III.5.2 Le principe de fonctionnement du turbo :

Les gaz d'échappement entraînent la roue dynamique de turbine et lui cèdent ainsi une partie de leur énergie. La roue dynamique de compresseur étant liée mécaniquement, via l'axe, à celle de turbine, elle va entraîner les gaz d'admission et les pré-comprimer, leur restituant ainsi une partie de l'énergie perdue par les gaz d'échappement. Le turbo est un organe assez « délicat ».

Au niveau thermique : côté échappement, les gaz sortent à des températures pouvant dépasser 800 K sur les moteurs diesel et 1000 K sur les moteurs à essence, tandis qu'à quelques centimètres, côté admission, passent les gaz d'admission à température ambiante. Soit un important gradient thermique au sein du turbo.

Au niveau mécanique : en fonctionnement, l'axe, les roues dynamiques et les butées tournent à des vitesses extrêmement élevées, pouvant atteindre jusqu'à 250 000 tr/min sur des turbos poussés, et s'usent donc de par leur mouvement. Les roues dynamiques doivent être parfaitement équilibrées et sont réalisées dans des matériaux particuliers : alliages à base de nickel pour la roue de turbine, et d'aluminium pour celle de compresseur (légers et résistants à la chaleur). L'axe du turbo doit être efficacement lubrifié pour en limiter l'usure : le palier qui est utilisé pour supporter cet axe du turbo est spécifique et est appelé « palier flottant »,

ainsi une bague vient se placer entre le palier turbo et l'axe en lui-même, ce qui garantit une bonne lubrification aux hauts régimes caractéristiques du turbo. [20]



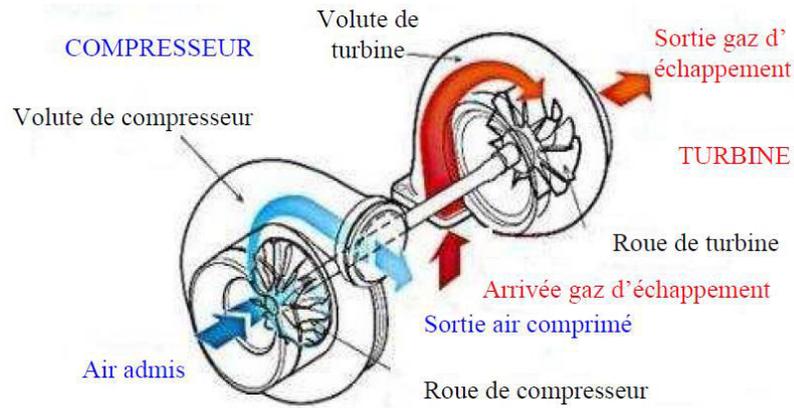


Figure III.6: Le principe de fonctionnement du turbo

III.5.3 Adaptation du turbocompresseur au moteur :

Le moteur suralimenté par turbocompresseur est vulnérable à basse vitesse de rotation en pleine charge car le faible débit de gaz dans la turbine se traduit par un manque d'énergie et donc une pression d'air trop faible par rapport aux besoins du moteur. Dans tous les cas de suralimentation d'un moteur de traction routière, on favorisera l'adaptation du turbocompresseur au régime de couple maximal, éventuellement à une vitesse inférieure et à plein couple. [21]

III.5.4 La technologie de turbo avec les moteur diesel

Les turbos sont beaucoup plus répandus sur les moteurs Diesel que sur leurs homologues à essence. Plusieurs raisons à cela.

Tout d'abord, un moteur Diesel fonctionne en mélange pauvre (pauvre en carburant et riche en air), et nécessite un rapport air/carburant maîtrisé, sans quoi le niveau d'émissions atmosphériques se dégrade très vite (les fumées noires des vieux diesels).

Le turbo est donc une solution idéale pour augmenter la puissance spécifique de ces moteurs en respectant des seuils d'émissions très stricts.

En outre, les diesels fonctionnent sur des plages de régime relativement étroites – en gros, entre 1000 et 4 000 tr/min – qui conviennent bien au turbo. Sur les moteurs Diesel à injection directe, le turbo est même devenu incontournable.

III.5.5 Le turbo de Moteur Diesel automobile :

Le petit moteur Diesel automobile se caractérise par un couple élevé sur une grande plage de vitesse et un besoin d'atteindre rapidement la valeur maximale de couple lors d'une accélération. Actuellement, les moteurs Diesel suralimentés ont, à puissance nominale, une vitesse de rotation de 4 500 tr/min et doivent disposer de la pression maximale de suralimentation dès 1 800 tr/min. Les couples développés sont de l'ordre de 100 % supérieurs aux valeurs obtenues avec les mêmes moteurs non suralimentés. Les pressions absolues à l'admission sont de l'ordre de 2 à 2,4 bars. Les températures d'air à la sortie du compresseur étant de 100 à 120 C, on utilise des échangeurs de température, généralement air/air, permettant de ramener la température d'entrée du moteur à des valeurs maximales de 70 C.

L'utilisation du moteur sur une grande plage de variation de vitesse impose l'utilisation de compresseurs ayant des sorties d'ailettes très fortement retournées vers l'arrière ; les angles courants utilisés actuellement sont de 30 à 45° (figure III.10), les rendements de compresseur restent inférieurs à 80 %. Dans le cas des turbocompresseurs avec dérivation de gaz turbine, l'obtention d'un niveau de pression d'air élevé en dessous de 2000 tr/min nécessite l'utilisation d'une turbine de très faible section, et le maintien de la pression de suralimentation à une valeur constante au-delà de 2000 tr/min suppose la dérivation des gaz turbine avec corrélativement des pressions d'échappement élevées .

Il faut remarquer que les moteurs Diesel automobiles fonctionnent quasiment toujours avec une différence de pression négative qui justifie des angles de distribution avec des croisements de soupape faibles, sinon nuls. Les moteurs à injection directe actuels fonctionnant avec un excès d'air confortable, donc des températures d'échappement basses, ont recours aux technologies de turbine à géométrie variable pour garantir un couple élevé dès 1 500 tr/min tout en limitant les pressions d'échappement aux régimes élevés.

Le temps de réponse à l'accélération est favorisé par la petite section de turbine mais est tributaire de la faible température de gaz à l'entrée de la turbine (qui ne dépasse pas 250 C en vitesse de croisière à 90 km/h, par exemple). Il est important de réduire l'inertie thermique de l'installation pour réduire le temps de réponse à l'accélération. La réduction de longueur des conduits d'échappement est une des solutions utilisées (turbocompresseur aussi près du moteur que possible et masse des pièces à haute température la plus faible possible).

L'installation d'un turbocompresseur sur automobile est soumise à des contraintes qui se traduisent par des pertes de charge importantes en entrée compresseur et sortie turbine qui ont des effets négatifs sur les conditions de fonctionnement [21]

III.5.6 Sensibilité du moteur Diesel à la suralimentation :

Les limites de fonctionnement d'un moteur Diesel sont liées aux conditions d'alimentation en air :

— une pression de suralimentation trop faible entraîne des fumées et des températures d'échappement excessives ; — une pression de suralimentation trop élevée peut entraîner des pressions maximales de combustion non acceptables pour la tenue mécanique du moteur. La définition de la turbine joue un rôle important dans le réglage de la pression de suralimentation. Pour un régime donné, une petite turbine entraîne un niveau de pression d'air plus élevé qu'une turbine de perméabilité plus grande. Ainsi, dans le cas d'un système de suralimentation avec turbocompresseur libre (free floating), le choix de la turbine influera sur la forme de la courbe de couple, une petite turbine permettra de s'éloigner des limites de fumée et de température à faible régime — et donc d'augmenter le couple — mais conduira à limiter la puissance à vitesse élevée à cause des pressions de combustion trop élevées. Inversement, une turbine plus grande favorisera le régime de puissance nominale mais imposera une limite de couple plus basse à faible vitesse. [21]

III.5.7 Moteur à essence automobile :

Dans un moteur à essence à mélange homogène le débit d'air peut être réglé, en charge partielle, par un papillon de commande placé sur la veine d'air d'admission, le plus souvent après le compresseur à l'entrée du moteur. Cette spécificité entraîne que, sans régulation particulière, la caractéristique de fonctionnement du moteur sur le champ compresseur se réduit à la ligne de fonctionnement en pleine charge ; les différents régimes de fonctionnement se déplacent sur cette ligne en fonction du débit d'air demandé, indépendamment de la vitesse de rotation du moteur.

Les limites de performances des moteurs à allumage commandé sont dictées par les conditions de bonne combustion du moteur ; les niveaux de température et de pression pouvant être à l'origine de combustions non contrôlées, ils imposent de réduire le rapport volumétrique du moteur pour éviter les combustions non contrôlées. Actuellement, lorsque l'on suralimente avec une pression d'admission absolue de 1 800 hPa (1,8 bar), on réduit le rapport volumétrique à 8,5/1 environ.

La température des gaz d'échappement est une autre contrainte des moteurs à essence. Les matériaux des roues et corps de turbine supportent des températures maximales de gaz à l'entrée de 950 C, éventuellement 980 C avec validation. Au-delà de ces températures, les risques de perte de fiabilité sont élevés. Les technologies de wastegate intégrée au corps de turbine sont éprouvées à ces niveaux de contrainte thermique mais les dispositifs à géométrie variable tardent à être validés. [21]

III.5.8 Types de turbocompresseurs :

Il existe de nombreux types de turbocompresseurs et leurs variations, dont chacun a ses avantages et ses inconvénients. Il peut être utile de savoir de quoi s'agit-il plus précisément.

III.5.8.1 Single-Turbo :

Ce type, le plus fréquent de tous, connaît de très nombreuses variations. Des tailles différentes de la turbine et du compresseur donnent des caractéristiques complètement différentes. Par exemple, des plus grands turbos produisent plus de puissance, mais des plus petits sont plus rapides à la mise en route. Il existe les deux sous-types, dits en anglais Ball-Bearing et Journal-Bearing turbos.



Figure III.7 : Single-Turbo

III.5.8.2 Twin-Turbo :

Ce type connaît presque autant de variations et modifications que le single-turbo. Ça peut être une combinaison de deux single-turbos identiques pour les deux bancs de cylindres du moteur, ou, par exemple, deux turbos fonctionnant un avec des rotations beaucoup plus rapides que l'autre.



Figure III.8 : Twin-Turbo

III.5.8.3 Twin-Scroll Turbo :

Ce type est clairement supérieur par ses caractéristiques techniques à deux précédents. Ces deux parties séparées permettent d'équilibrer la pression de gazes dans les cylindres

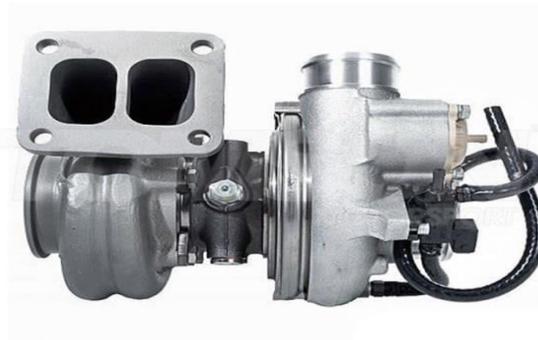


Figure III.9 : Twin-Scroll Turbo

III.5.8.4 Turbo à géométrie variable :

La forme de turbo la plus exceptionnelle, ce qui est lié à son coût élevé et de matériaux utilisés souvent assez rares et exotiques. Ici le ratio surface/radius de vanes internes varie pour mieux correspondre aux tours par minute optimaux.



Figure III.10 : Turbo à géométrie variable

III.5.8.5 Turbocompresseur électrique

En effet, l'introduction d'un moteur électrique élimine quasiment tous les inconvénients de types de turbo précédents. Il est opérationnel dès les plus bas régimes. Il ne garde du turbo traditionnel que le compresseur, qui est entraîné directement par un moteur électrique. Plusieurs spécialistes trouvent que ce seront des moteurs turbo "hybrides" qui deviendront les plus efficaces et les plus populaires prochainement. [22]



Figure III.11 : Turbocompresseur électrique

III.5.9 Caractéristiques de la boucle de suralimentation :

Dans un moteur suralimenté par turbocompresseur, la masse volumique de l'air d'admission est augmentée du fait de la compression, le refroidissement de l'air comprimé est au travers d'un échangeur placé entre compresseur et moteur. Compresseur et échangeur sont montés en série sur le circuit d'admission ; tout l'air d'admission traverse le compresseur (l'échangeur pouvant être, suivant les cas de fonctionnement, by-passé). La turbine est placée sur le circuit de gaz d'échappement et entraîne mécaniquement le compresseur. Lorsque le système est en fonctionnement stabilisé et autonome, la puissance délivrée par la turbine équilibre la puissance absorbée par le compresseur. Lorsque la turbine ne comporte aucun réglage et que la totalité des gaz d'échappement traverse la turbine, le système s'auto équilibre en fonction des caractéristiques du système moteur turbo compresseur ; ce système

de suralimentation free-floating est celui qui est le plus souvent utilisé pour la suralimentation des moteurs de véhicules industriels.

Dans le cas de la figure .III. 12, on peut n'admettre à la turbine qu'une partie des gaz d'échappement en en dérivant une autre partie au travers d'une soupape commandée. La puissance délivrée au compresseur peut donc être réduite pour s'adapter aux besoins du compresseur. Ce système de suralimentation régulé par wastegate est largement utilisé sur les moteurs automobiles et les moteurs et véhicules industriels performants.

On peut aussi régler la puissance de la turbine en intervenant sur les caractéristiques des gaz à l'entrée de la turbine (pression). Les turbines à géométrie variable permettent de moduler la pression à l'entrée de la turbine et d'en régler la puissance.

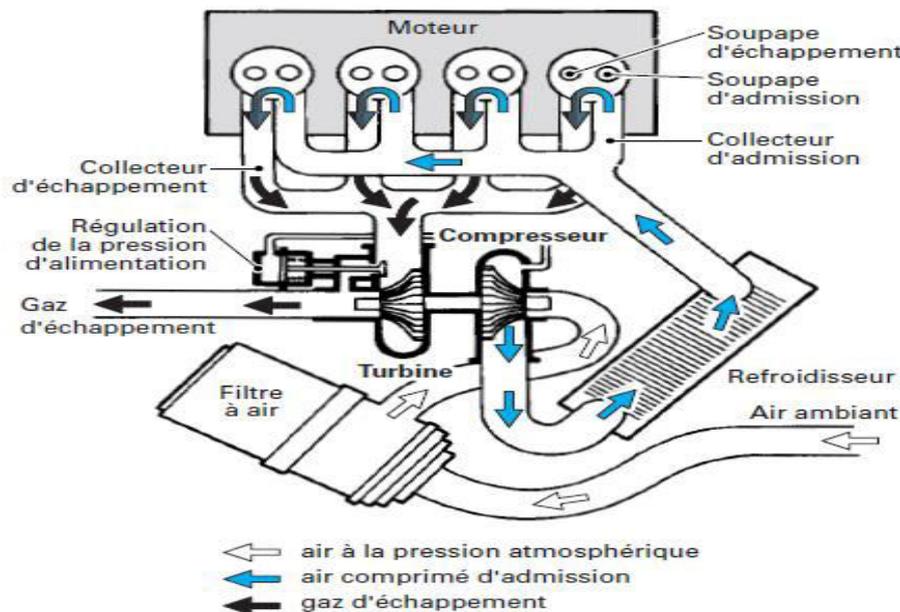


Figure III.12: Installation d'un turbocompresseur sur un moteur

III.5.10 Besoin en air du moteur :

Le débit d'air nécessaire au fonctionnement du moteur dépend de la puissance fournie et des conditions de fonctionnement du moteur au point considéré. Pour assurer de bonnes conditions de combustion et éviter les fumées et/ou les températures excessives à l'échappement.

Le besoin en air d'un moteur suralimenté est plus critique en pleine charge. En fonctionnement en charge partielle, le système moteur-turbocompresseur permet d'obtenir des

excès d'air qu'il peut être intéressant de réduire en utilisant les dispositifs de limitation de puissance turbine. [21]

III.5.11 Performances actuelles des moteurs suralimentés par turbocompresseur

. En véhicule industriel une pression moyenne effective (PME) de 20 bars suppose un rapport de compression d'air au moins égal à 3/1. Ces moteurs utilisent de plus en plus couramment des systèmes de dérivation des gaz turbine, wastegate, et des turbines à géométrie variable associés à des contrôles électroniques de vitesse du turbocompresseur. Les performances des moteurs dépendent de leur niveau de suralimentation

En Diesel automobile, l'injection directe a entraîné une augmentation sensible des performances spécifiques. À pme maximale (18 bar), le besoin en air du moteur suppose un rapport de compression supérieur à 2,4/1 et l'utilisation de turbines à géométrie variable est nécessaire pour assurer les reprises d'accélération avec des températures « de croisière » faibles.

En allumage commandé, les performances des véhicules sont très différentes suivant les applications en série : de 60 à 100 kW/L. Les niveaux de pression de suralimentation sont de l'ordre de 2/1. Les turbocompresseurs utilisés comportent une wastegate intégrée et font appel à des matériaux réfractaires permettant de supporter les températures de gaz jusqu'à 1 000 C.

III.5.11.1 Compression de l'air d'admission :

La compression de l'air s'accompagne d'une élévation de sa température. Les échanges thermiques entre le compresseur et l'extérieur sont faibles par rapport aux débits d'air traversant le compresseur et on peut considérer que la compression de l'air est une transformation adiabatique. Dans ce cas, la puissance nécessaire à la compression isentropique de l'air de débit (q_a) est donnée par :

$$P_{c \text{ is}} = q_a C_{p_a} (T_2 - T_1)_{is} \quad \text{III.1}$$

$$\text{Avec :} \quad (T_2 - T_1)_{is} = T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad \text{III.2}$$

En pratique, la compression de l'air n'étant pas isentropique, l'élévation de température réelle de l'air est plus grande que la valeur isentropique correspondant à la transformation théorique réversible. Le rapport entre la puissance de compression théorique isentropique et la puissance de compression réelle définit le rendement de compression isentropique (η_c) qui permet d'écrire l'expression de la puissance de compression réelle suivante :

$$P_c = \frac{P_{c\ is}}{\eta_c} = q_a c_{pa} (T_2 - T_1) \quad \text{III.3}$$

III.5.11.2 Refroidissement de l'air d'admission :

Dans la plupart des applications actuelles, l'air d'admission est refroidi à la sortie du compresseur, avant de pénétrer dans le moteur. Les refroidisseurs d'air de suralimentation (RAS) peuvent être air-air ou, pour une plus grande efficacité, air-eau. Dans ce cas, on peut utiliser soit l'eau de refroidissement du moteur, soit l'eau provenant d'un circuit régulé à basse température (40 C). L'efficacité d'un RAS est définie comme étant le rapport entre la chute de température du fluide comprimé et la différence entre la température d'entrée de ce fluide à celle du fluide de refroidissement :

$$\varepsilon = (T_2 - T_3) / (T_2 - T_r) \quad \text{III.4}$$

Dans le cas des refroidisseurs air-air, l'efficacité dépend de la localisation de l'échangeur et de la vitesse du véhicule. En automobile on peut admettre, en première approximation, qu'à grande vitesse un RAS a une efficacité de l'ordre de 60 %.

III.5.12 Utilisation de l'énergie des gaz d'échappement

La détente des gaz dans la turbine peut être considérée comme une détente adiabatique car le débit de gaz est relativement important en regard des pertes thermiques. La puissance délivrée par la turbine est proportionnelle au débit de gaz (q_g) ainsi qu'à la différence de température due à la détente des gaz. La puissance théorique obtenue lors d'une détente adiabatique réversible est donnée par :

$$P_{T\ is} = q_g C_{pg} (T_4 - T_5)_{is} \quad \text{III.5}$$

Avec :

$$(T_4 - T_5) = T_4 \left[1 - \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad \text{III.6}$$

En pratique, la détente n'est pas isentropique et la différence de température obtenue dans la détente est inférieure à la valeur isentropique théorique. Comme pour le compresseur, on définit un rendement isentropique qui est le rapport entre la puissance récupérée à la turbine et la puissance théorique qui serait obtenue lors d'une détente adiabatique réversible. La puissance **réelle** fournie par la turbine est donc donnée par les relations suivantes :

$$P_T = q_g c_{pg} (T_4 - T_5) = q_g c_{pg} \eta_T T_4 \left[1 - \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad \text{III.7}$$

III.5.13 Énergie récupérable dans les gaz d'échappement :

L'énergie contenue dans les gaz d'échappement avant turbine comprend l'enthalpie des gaz en fin de détente du cycle moteur, après passage de la soupape d'échappement et la pression fournie par le piston aux gaz repoussés vers l'échappement. Cette énergie est relativement importante, du même ordre de grandeur que l'énergie fournie à l'arbre moteur, c'est-à-dire 40 % environ de l'énergie du combustible introduit. La turbine n'utilise qu'une faible partie de cette énergie. Il faut noter que la récupération de l'énergie par détente des gaz d'échappement suppose une augmentation de la pression d'échappement à la sortie du moteur, avant turbine, qui pénalise le fonctionnement du moteur.

On peut estimer rapidement que la perte de pression moyenne effective (pme) sur le cycle moteur est égale à la différence entre la pression d'échappement à la sortie du moteur et la pression à la sortie de la turbine. Cependant il faut noter que, a contrario, la pme est augmentée par la surpression de l'air à l'admission. Ainsi, le travail fourni par le cycle moteur est affecté par la différence entre la pression d'admission et la pression d'échappement. Si les réglages permettent une pression d'échappement très inférieure à la pression d'admission, il est possible de récupérer de l'énergie en « bas de cycle », grâce à une boucle de balayage donnant un travail positif par opposition au travail négatif de la boucle d'un moteur où la pression d'échappement serait supérieure à celle d'admission. [21]

III.5.14 Caractéristiques fonctionnelles :

Présenter les caractéristiques d'utilisation du compresseur centrifuge et de la turbine centripète utilisés dans les turbocompresseurs automobiles.

La figure III.13 montre les différents éléments constitutifs d'un turbocompresseur d'automobile.

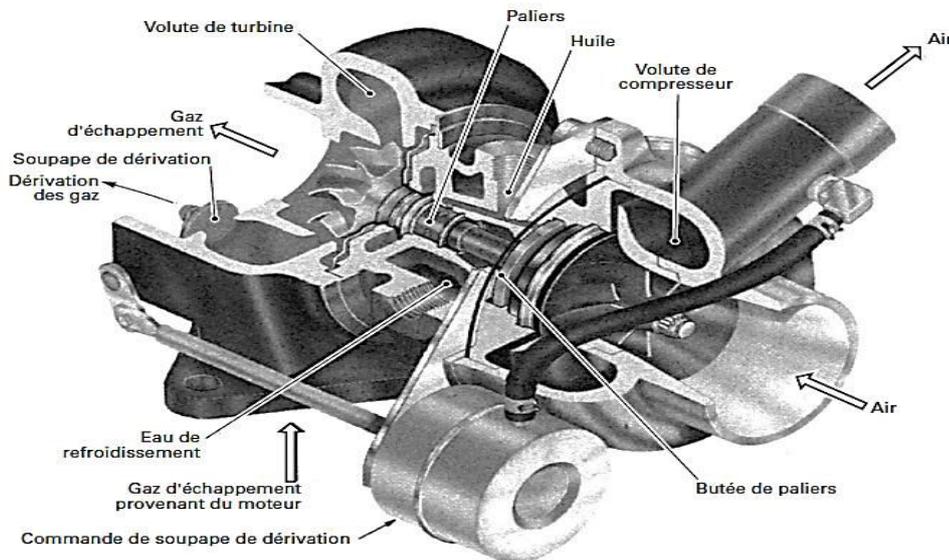


Figure III.13: Écorché de turbocompresseur d'automobile

III.5.15 Compresseur centrifuge :

Un compresseur centrifuge pourra fonctionner efficacement sur une plage de vitesses de rotation relativement large. Cet avantage contribue à atténuer certains problèmes associés à l'adaptation du compresseur à la turbine dont le fonctionnement dépend du régime du moteur. L'étage compresseur comprend deux parties principales : la roue et le diffuseur (figure III.14), contenues dans un carter assurant une bonne distribution de l'air à l'entrée et la collecte de l'air comprimé en sortie.

- **La roue** de compresseur donne de l'énergie au fluide la traversant en lui communiquant une vitesse de sortie élevée (subsonique) dépendant du taux de compression recherché.
- **Le diffuseur** transforme l'énergie cinétique du fluide en pression. Les diffuseurs des turbocompresseurs automobiles ne comportent pas d'aubages redresseurs.

Ces diffuseurs lisses ont des rendements inférieurs à ceux comportant des aubages redresseurs mais se justifient par une grande plage d'utilisation (débit variable) et un coût moindre.

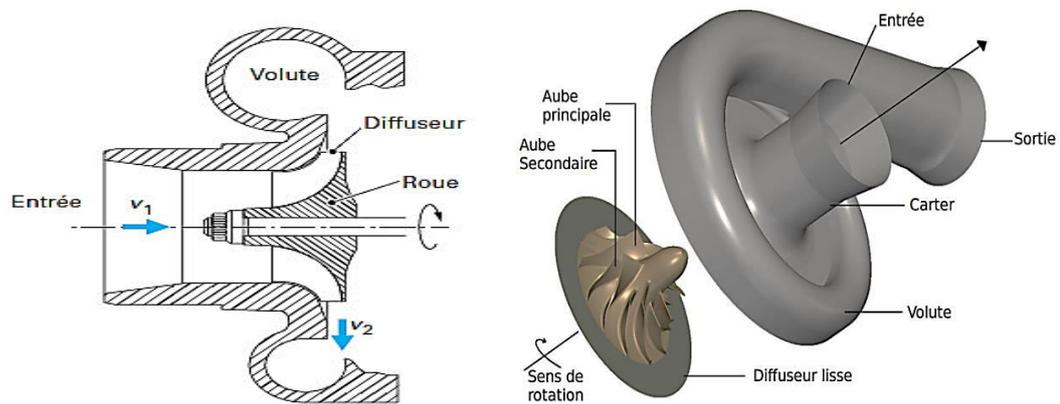


Figure III.14 : schéma Compresseur centrifuge

III.5.16 Courbes caractéristiques :

Les performances d'un compresseur sont représentées dans un champ débit-pression sur lequel sont indiquées les courbes iso vitesses du compresseur, les courbes iso rendements et les limites de fonctionnement (**figure III.15**). Suivant les constructeurs, les débits sont exprimés sous forme de débits-volumes ou de débits-masses . L'utilisation de valeurs réduites permet de garder les cartes compresseurs invariantes par rapport aux conditions d'entrée du fluide. La valeur de débit réduit est souvent rapportée à des conditions standards, propres à chaque constructeur, et a la forme indiquée ci-dessous (débit-masse) :

$$q_c = q_a \frac{\sqrt{T_1/T_0}}{P_1/P_0} \quad \text{III.8}$$

Les valeurs de pression sont indiquées sous la forme de rapports de compression :

$$P_C = p_2 / p_1 \quad \text{III.9}$$

Dans lesquels les valeurs considérées sont des valeurs absolues et les pressions des pressions totales. Les vitesses de rotation sont exprimées en valeurs réduites, souvent rapportées à une valeur standard de température d'entrée propre à chaque constructeur :

$$N_c = \frac{N}{\sqrt{T_1/T_0}} \tag{III.10}$$

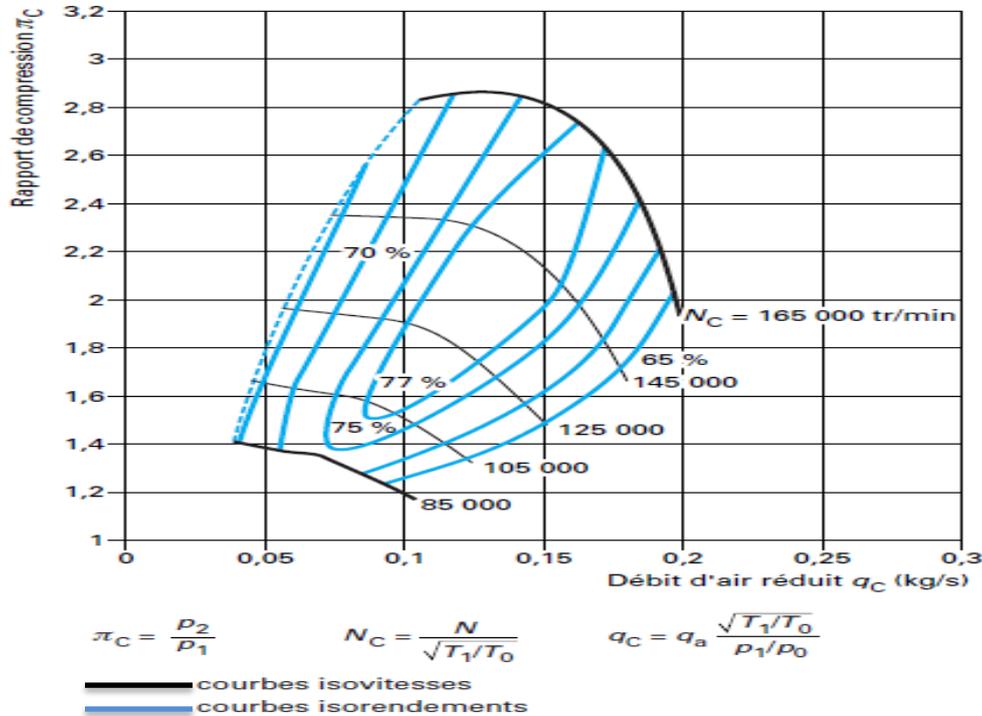


Figure III.15 : Caractéristique débit-pression d'un compresseur
(champ compresseur) de moteur automobile

III.5.17 Limites d'utilisation :

Une augmentation de la vitesse de rotation du compresseur entraîne une augmentation du rapport de compression. La vitesse de rotation est limitée par la tenue mécanique de la roue de compresseur, les conditions aérodynamiques en sortie de roue et la stabilité de fonctionnement du système paliers. En pratique, la vitesse périphérique maximale atteinte en sortie de roue de compresseur est de 500 m/s.

On ne peut pas décrire une isovitesse compresseur jusqu'à débit nul. En allant vers les faibles débits d'air, la pente de la courbe isovitesse, d'abord négative, passe par une valeur nulle, puis devient positive tout en donnant lieu à de faibles variations de pression pouvant être acceptables lors des fonctionnements transitoires.

Lorsque ces fluctuations de pression deviennent trop importantes, elles peuvent remonter jusqu'à l'entrée du compresseur et créer des instabilités qui se traduisent par des claquements

très bruyants. Ce phénomène est appelé pompage et il convient de ne pas fonctionner dans ces conditions. La courbe caractéristique d'un compresseur centrifuge présente la limite de pompage sous la forme d'une ligne de pompage (figure III.16).

Vers les débits d'air élevés, les iso vitesses chutent rapidement, le compresseur atteint une limite de fonctionnement provoquée par le blocage sonique de l'écoulement dans tout ou partie des canaux d'air. D'une façon pratique, on considère que le débit limite est atteint pour des valeurs de rendement isentropique inférieures à 0,65 ; au-delà, il y a étouffement du compresseur.

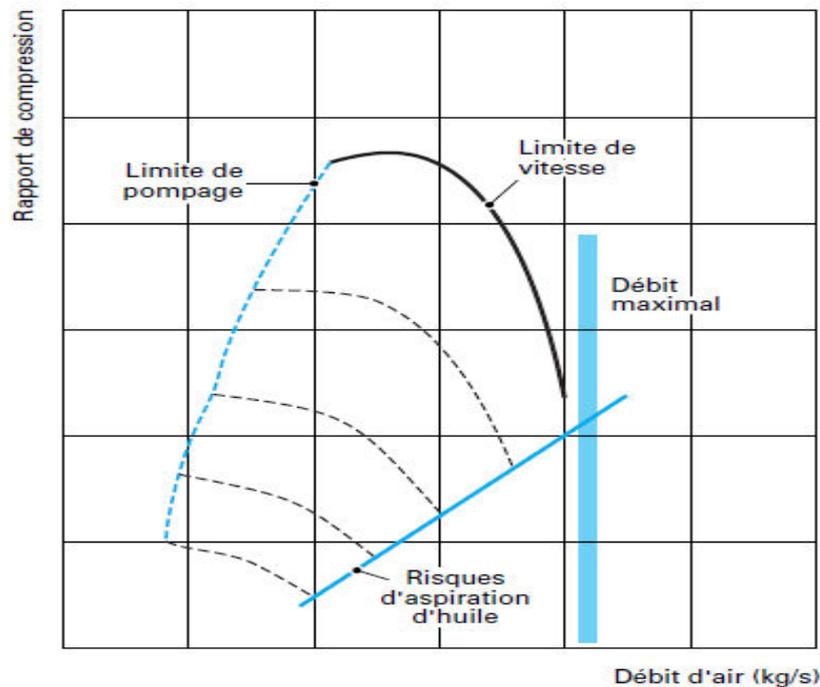


Figure III.16 : Limites d'utilisation d'un compresseur

III.5.18 Choix et adaptation du compresseur :

Le moteur se comporte comme une pompe volumétrique et impose, par ses caractéristiques de remplissage, le débit-volume le traversant et, compte tenu des conditions de température, le niveau de pression dans le collecteur d'admission. Ce niveau permet de définir le rapport de compression nécessaire à l'obtention des performances souhaitées. Le choix d'un compresseur suppose en premier lieu la détermination des besoins en air du moteur.

La figure III.17 représente les points de fonctionnement d'un compresseur pour les régimes moteur indiqués et schématise les caractéristiques de fonctionnement iso vitesse de ce moteur. Le compresseur choisi doit contenir tous les points de fonctionnement possibles du moteur, en particulier ceux concernant les variations de condition d'utilisation (altitude en particulier).

Une première caractéristique importante pour le choix d'un compresseur est le débit dont il est capable. Un des paramètres les plus importants permettant de faire varier cette caractéristique est la dimension extérieure de la roue dont dépend la famille du turbocompresseur utilisé et donc son encombrement et son poids. [21]

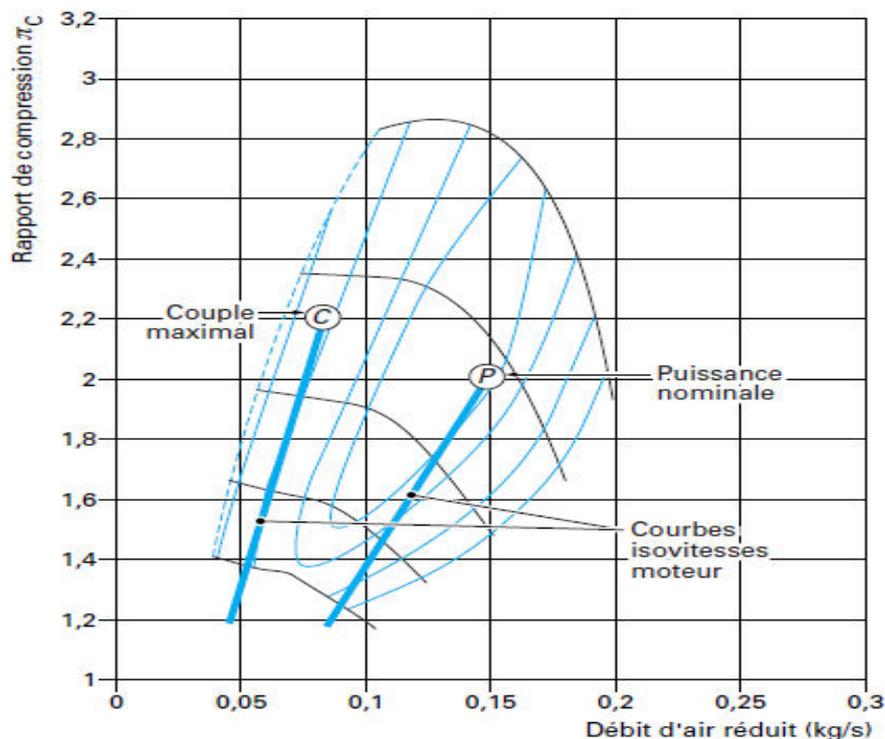


Figure III.17: Points de fonctionnement d'un compresseur

III.5.19 Turbine radiale centripète :

La turbine radiale centripète est universellement utilisée sur les moteurs de traction routière car ses dimensions sont bien adaptées aux débits de gaz considérés et aussi parce que son comportement est bien adapté aux pulsations de pression des circuits d'échappement.

Une turbine est essentiellement composée d'une volute assurant la mise en vitesse et la distribution des gaz et d'une roue transformant l'enthalpie et l'énergie cinétique des gaz en énergie mécanique d'entraînement du compresseur (figure 11) .

La fonction de mise en vitesse et de distribution des gaz est, dans les cas les plus simples et, actuellement, les plus fréquents assurée par un distributeur lisse en sortie de volute. Les distributeurs de section variable, à ailettes pivotantes ou autres concepts, se sont imposés récemment en automobile sur les moteurs Diesel à injection directe et également sur les moteurs de véhicules industriels les plus performants.

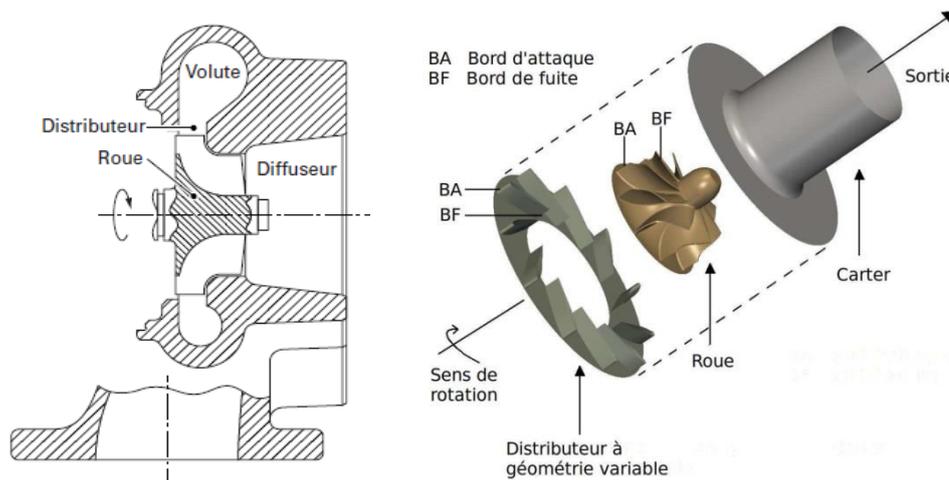


Figure III.18 : schéma Turbine radiale centripète

III.5.20 Courbes caractéristiques de la turbine :

Les courbes caractéristiques de turbine précisent les valeurs de débit massique et de rendement isentropique pour différentes valeurs de vitesse de rotation en fonction du rapport de détente (Figure 12a et b). Les différentes grandeurs sont exprimées en valeurs réduites, rapportées aux conditions standards des constructeurs (P_0 , T_0), ce qui permet de disposer de cartes invariantes selon les conditions d'entrée de la turbine. [21]

Le débit devient bloqué au-delà d'un rapport de détente critique, de l'ordre de 2,8/1 (figure 12a). Dans la plage d'utilisation, un rapport de détente est associé à une valeur de débit, ce qui signifie que, lorsque le débit de gaz varie (variation de vitesse du moteur), il n'est pas possible, sans artifice, de conserver un rapport de détente constant. Les courbes caractéristiques de la figure 12b donnent les valeurs de rendement turbine-mécanique pour différentes vitesses de rotation en fonction du rapport de détente. Les valeurs indiquées correspondent le plus souvent aux mesures effectuées en écoulement stationnaire sur banc d'essai calorifugé ; elles peuvent être très différentes des valeurs que l'on calcule à partir des mesures effectuées sur moteur.

Notons que pour un rapport de détente donné le rendement turbine-mécanique varie assez rapidement en fonction de la vitesse de rotation, il est donc souhaitable de vérifier qu'au point de fonctionnement considéré, les réglages choisis permettent à la turbine de fonctionner à la vitesse de rotation assurant le rendement maximal.

Un changement de compresseur peut changer la vitesse de rotation et faire évoluer le rendement turbine-mécanique.

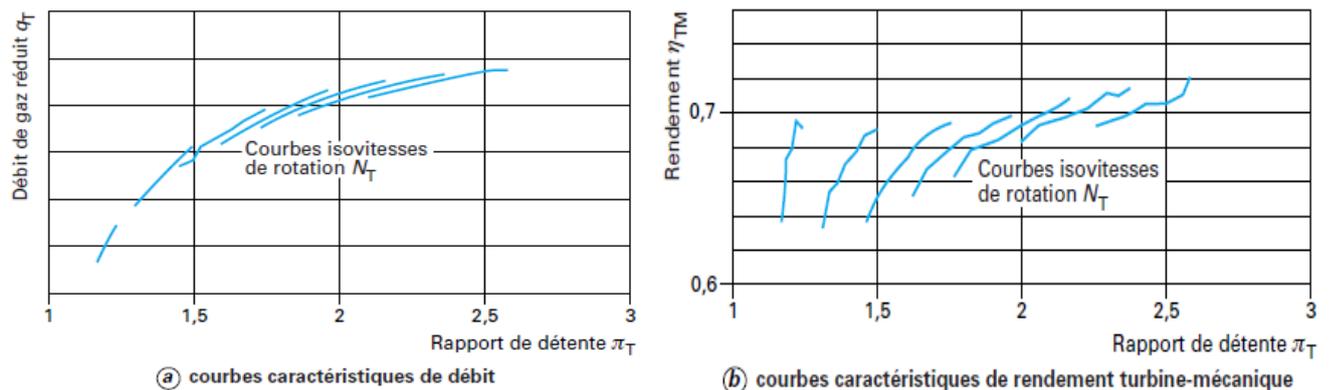


Figure III.19: Courbes caractéristiques d'une turbine centrifète

III.5.21 Choix et adaptation de la turbine :

Le choix de la turbine est fait après la définition de l'étage compresseur. Dans le cas d'un moteur de traction, on définit la turbine au régime de fonctionnement le plus critique du point de vue du manque d'air, en général au point de pme la plus élevée, à faible vitesse de rotation moteur. Les conditions de fonctionnement du compresseur étant connues à ce point particulier, il est possible de calculer le rapport de détente nécessaire à l'obtention de l'énergie d'entraînement du compresseur. Ce calcul suppose la connaissance du rendement turbine et de la température des gaz d'échappement. La connaissance du rapport de détente permet de déterminer la pression à l'entrée de la turbine et de corriger la valeur de débit de gaz pour déterminer la caractéristique de débit de turbine.

Notons que, si l'on choisit une caractéristique de turbine plus grande que nécessaire, au débit considéré, le rapport de détente sera plus faible que souhaité et l'équilibre du turbocompresseur sera obtenu pour une pression d'air plus basse et que, inversement, une turbine de perméabilité plus faible augmentera la pression d'air. [21]

III.5.22 Technologie du turbocompresseur :

On se limitera à indiquer les caractéristiques constructives particulières, notamment les matériaux spécifiques, les systèmes de paliers et d'étanchéité et les exigences d'équilibrage pour la réduction des vibrations et du bruit.

III.5.22.1 Matériaux

A. Roue de turbine :

La roue de turbine est sollicitée au fluage et à la rupture sous l'effet des efforts centrifuges dus à la vitesse de rotation et doit donc présenter des caractéristiques mécaniques élevées à haute température. Les ailettes de turbine sont excitées en vibration ; on admet généralement que les risques de rupture sont faibles si la fréquence propre de vibration des ailettes est supérieure à 4 fois la vitesse de rotation de la turbine.

Les alliages métalliques utilisés pour sa réalisation sont à base de nickel et contiennent d'autres éléments pour accroître la résistance mécanique et la résistance à la corrosion à haute température.

Les roues de turbine sont coulées sous vide par le procédé de cire perdue. Elles sont ensuite soudées par friction ou par faisceau d'électrons sur l'axe en acier. L'axe et le profil de roue sont ensuite rectifiés et l'ensemble équilibré dynamiquement.

B. Roue de compresseur

La roue de compresseur est soumise à la force centrifuge due à la vitesse de rotation et elle doit présenter de bonnes caractéristiques de résistance à la fatigue. Les applications les plus critiques pour la tenue de la roue de compresseur sont les véhicules industriels pour lesquels la vitesse périphérique en bout de pale dépasse 500 m/s et où la température de matériau peut atteindre 180 C en bout d'aubage. [21]

Chapitre IV

Application sur la suralimentation essence

IV.1 Introduction :

Dans le but d'étudier l'influence de la pression dans la chambre de combustion d'un moteur essence, le travail a été réalisé en deux parties :

On premier lieu la modélisation de la chambre de combustion avec n-heptane comme carburant a été réalisée pour différentes pressions.

Deuxièmement ; calcul théorique de l'influence des pressions d'admission sur les performances du moteur essence.

IV.2 La modélisation de la combustion :

IV.2.1 Influence de la pression sur la combustion essence

Pour étudier l'influence de la pression d'air dans la chambre de combustion ainsi que son effet sur la température de flamme, une modélisation de la chambre de combustion a été réalisée :

IV.2.2 Modèle physique de chambre de combustion :

Le modèle physique considéré est une chambre de combustion avec deux entrées, une pour l'écoulement d'air et l'autre pour l'injection de combustible dont les paramètres géométriques sont représentés dans la figure 1. IV)

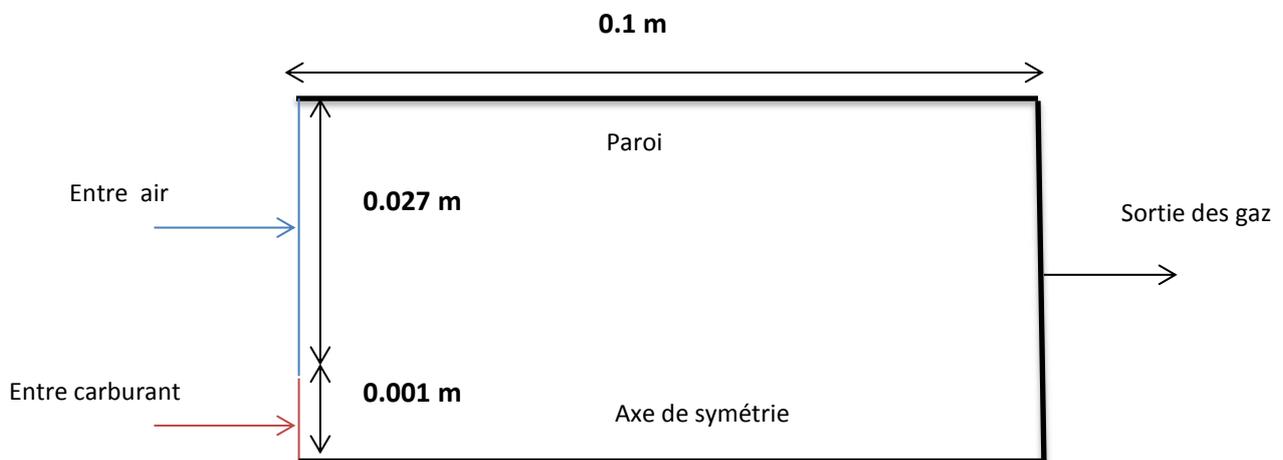


Figure IV.1 : Modèle physique de chambre de combustion

a) Propriétés du carburant (n-heptane) :

Le carburant utilisé pour une meilleure combustion c'est le n-heptane dont les propriétés thermo-physiques sont données dans le tableau suivant :

LES PROPRIETES	SYMBOLES	VALEUR	UNITES
La densité	ρ_1	4.25	[Kg/m ³]
La conductivité thermique	λ_1	0.0178	[W/ m K]
La viscosité cinématiques	μ_1	$7 \cdot 10^6$	[Kg/m S]
Enthalpie standard	ΔH_1	$-1.878 \cdot 10^8$	[j/ kmol]
Entropie standard	ΔS_1	428006.3	[j/kmol k]
Masse molaire	M_1	100.204	[Kg / kmol]

Tableau IV.1 : Propriétés du carburant (n-heptane)

a) Propriétés du comburant (air) :

La combustion a besoin d'une quantité importante d'air caractérisé par les propriétés si dessous dans le tableau

LES PROPRIETES	SYMBOLES	VALEUR	UNITES
La densité	P_2	1.225	[Kg/m ³]
La conductivité thermique	λ_2	0.0242	[W/ m K]
La viscosité cinématiques	μ_2	$1.7894 \cdot 10^5$	[Kg/m S]
Masse molaire	M_2	28.966	[Kg / kmol]

Tableau IV.2 : Propriétés du comburant (air)

IV.2.3 Formulation mathématiques

Dans le cadre des écoulements réactifs ou compressibles, la décomposition de Favre est généralement utilisée. La turbulence est représentée par le biais d'un modèle du premier ordre (dans le cas le plus simple). Il s'agit d'un modèle à deux équations, la première pour l'énergie cinétique turbulente, la seconde pour le taux de dissipation de cette énergie. [23]

IV.2.4 Équations de bilan pour un écoulement réactif turbulent:

A. Équations de conservation de la masse :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) \quad \text{IV.1}$$

La conservation de la masse totale s'écrit :

Où, ρ désigne la masse volumique et u_j est la *jeme* composante de la vectrice vitesse. Pour un mélange gazeux constitué de N espèces chimiques, la conservation de la masse s'écrit de manière équivalente pour chaque espèce k. La somme des N équations de conservation des espèces permet de retrouver l'équation de la masse totale :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_K) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j Y_K) = \frac{\partial}{\partial x_j} (-J_{jK}^S) + \rho \dot{w}_k, \quad k = 1, \dots, N \quad \text{VI.2}$$

B. Équations de conservation de la quantité de mouvement :

L'équation de bilan de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{ij} - p \delta_{ij}) + \rho s_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad \text{IV.3}$$

Où, p est la pression, τ_{ij} est la composante i , du tenseur des contraintes visqueuses, S_i est la composante dans la direction i du terme source de forces volumiques (gravité, forces électromagnétiques, . . .) qui son négligées dans ce travail .

C. Équations de conservation de l'énergie :

Le bilan de l'énergie totale du mélange est défini par :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho e_t) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j e_t) = \frac{\partial}{\partial x_j}(-J_j^{et} + \sigma_{ij} u_j) + \rho S^{et} \quad \text{IV.4}$$

$$e_t = h_t - p/\rho$$

Avec :

$$h_t = \int_{T_0}^T C_p dT + \sum_{k=1}^n \Delta h_{f,k}^0 Y_k + 1/2 u_i u_i$$

Où J_j^{et} est le flux d'énergie totale dans la direction j , σ_{ij} est la composante i , du tenseur défini par :

$$\sigma_{ij} = \tau_{ij} - p\delta_{ij}$$

Et S^{et} est le terme source d'énergie totale (travail des forces volumiques, rayonnement..), qui seront négligés.

D. Moyenne de Reynolds et Favre

Dans des écoulements réactifs à masse volumique variable, la décomposition de moyenne pondérée par la masse volumique (Favre) est usuellement utilisée. Chaque quantité extensive φ (à l'exception de la densité et la pression), peut être décomposée par une moyenne $\bar{\varphi}$ et sa fluctuation φ'' :

$$\varphi = \tilde{\varphi} + \varphi'' \quad \text{IV.5}$$

Tel que :

$$\tilde{\varphi} = \frac{\overline{\rho\varphi}}{\bar{\rho}}$$

L'introduction de ce type de décomposition permet la simplification par la fluctuation de la masse volumique et le formalisme des équations instantanées est conservé. La différence des moyennes (Reynolds et Favre) s'écrit :

$$\tilde{\varphi} - \bar{\varphi} = \frac{\overline{\rho'\varphi'}}{\bar{\rho}} \quad \text{IV.6}$$

E. Equation de conservation de l'espèce chimique :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} \tilde{Y}_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{Y}_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} [-(\overline{\rho u_j Y_k} - \bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{Y}_k) - \bar{J}_{jk}^s] + \bar{\rho} \tilde{\omega}_k, \quad k = 1, \dots, N \quad \text{IV.7}$$

F. Equation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} \tilde{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j + \bar{p}) = \frac{\partial}{\partial x_j} [-(\overline{\rho u_i u_j} - \bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) + \bar{\tau}_{ij}] + \bar{\rho} \tilde{S}_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad \text{IV.8}$$

G. Equation de conservation d'énergie totale :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} \tilde{e}_t) + \frac{\partial}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} [-(\overline{\rho u_j e_t} - \bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{e}_t) + (\overline{\tau_{ij} u_i} - \bar{\tau}_{ij} \tilde{u}_i) - \bar{J}_j^{e_t} + \bar{\tau}_{ij} \tilde{u}_i] + \bar{\rho} \tilde{S}^{e_t} \quad \text{IV.9}$$

H. Le modèle (k, ε) standard :

Ce modèle est réputé pour sa robustesse, économie de calcul et stabilité dans les écoulements complexes. Les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k , et sa dissipation ε sont données par :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} \tilde{k}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho} \tilde{k} \tilde{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \tilde{k}}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \bar{\rho} \tilde{\varepsilon} \quad \text{IV.10}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} \tilde{\varepsilon}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho} \tilde{\varepsilon} \tilde{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\tilde{\varepsilon}}{\tilde{k}} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \bar{\rho} \quad \text{IV.11}$$

Où G_b est le terme lié à l'effet de la gravité, qui est négligé dans ce travail, G_k représente la génération de l'énergie cinétique turbulente due aux gradients de la vitesse moyenne :

$$G_k = \bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial \tilde{u}_i} \quad G_k = \mu_t S^2 \quad S = \sqrt{2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij}}$$

La viscosité turbulente s'écrit :

$$\mu_t = \bar{\rho} C_\mu \frac{\tilde{k}^2}{\tilde{\epsilon}}$$

I. Modèle EDM pour la combustion turbulente

Le modèle de combustion EDM est basé sur le modèle Eddy Break Up développé dans les années 1970 pour le calcul des flammes pré mélangées. Le concept Eddy-dissipation a été développé pour étendre le principe du modèle EBU aux flammes non pré mélangées. Celui-ci postule qu'on peut représenter le phénomène de combustion turbulente par des divisions successives (break-up), sous l'action du frottement turbulent, du domaine des gaz frais en élément de plus en plus petits (appelés eddies ou bouffées turbulentes), et ce jusqu'à atteindre une taille limite à laquelle ces bouffées, contenant les réactifs supposés mélangés à l'échelle moléculaire, sont en contact suffisant avec les gaz brûlés pour que leur température soit assez élevée pour réagir instantanément. Dans le modèle de Spalding, aussi que dans le modèle de Magnussen et Hjertager, implémenté dans Fluent, intitulé, EDM .

Le taux moyen net de la production/destruction de l'espèce i dans la réaction r peut donc s'exprimer par:

$$\bar{\omega}_i = M_{\omega,i} \sum_{r=1}^{N_r} R_{i,r} \quad \text{IV.12}$$

$$\dot{\omega}_{i,r} = \nu'_{i,r} M_{\omega,i} A \rho \frac{\epsilon}{k} \min_{\mathcal{R}} \left(\frac{Y_{\mathcal{R}}}{\nu'_{i,r} M_{\omega,i}} \right) \quad \text{IV.13}$$

$$\dot{\omega}_{i,r} = \nu'_{i,r} M_{\omega,i} A B \rho \frac{\epsilon}{k} \frac{\sum_p Y_p}{\sum_j \nu''_{i,r} M_{\omega,i}} \quad \text{IV.14}$$

[23]

Après la modélisation de chambre de combustion (2D) sur gambit ; Nous faisons un processus de simulation par logiciel FLUENT sur la chambre pour différent pression d'air appliquée sur la chambre. Ensuite, nous suivons les améliorations à l'intérieur de chambre.

IV.2.5 Les conditions Initiale et aux limites :

b) Les conditions Initiales :

Initialement la chambre de combustion est remplie par l'air atmosphérique et carburant de la température est de l'atmosphère les vitesses et les pressions supposées nulles.

c) Les conditions aux limites:

A l'entrée de l'air : la poussée de l'air dans la chambre de combustion est assurée avec :

- une vitesse constante $V_{\text{air}} = 0.032 \text{ m/s}$.
- La température $T_{\text{air}} = 300 \text{ K}$
- La pression de poussée l'air dans la chambre varie de P atmosphérique jusque la pression de 3 bar .

A l'entrée de carburant : les conditions de l'injection de carburant dans la chambre est :

- La vitesse est constante $V_{\text{INJ}} = 0.054 \text{ m/s}$.
- la température $T_{\text{INJ}} = 300 \text{ K}$
- A la sortie : on a les gaz d'échappement exode de la chambre avec les conditions suivant :
- la température est constante $T_s = 1200 \text{ K}$
- la pression est atmosphérique $P_s = P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pascal}$

d) Les polynômes des chaleurs spécifique Cp pour différents espèces de fluide :

1. Les coefficients dioxyde de carbone CO₂ :

$$Cp_{\text{CO}_2}(T) = 429.9289 + (1.874473) T + (-0.001966485) T^2 + (1.297251e-06) T^3 + (-3.999956e-10) T^4$$

2. Les coefficients n-heptane- vapeur (C₇H₁₆) :

$$Cp_{\text{C}_7\text{H}_{16}}(T) = 925.45 + 0.787785 T + (0.0162277) T^2 + (-2.07234e-05) T^3 + (8.17206e-09) T^4$$

3. Les coefficients de nitrogène (N₂) :

$$Cp_{\text{N}_2}(T) = 979.043 + (0.4179639) T + (-0.001176279) T^2 + (1.674394e-06) T^3 + (-7.256297e-10) T^4$$

4. Les coefficients d'oxygène (O₂) :

$$Cp_{O_2}(T) = 834.8265 + (0.292958) T + (-0.0001495637) T^2 + (3.413885e-07) T^3 + (-2.278358e-10) T^4$$

5. Les coefficients vapeur d'eau (H₂O) :

$$Cp_{H_2O}(T) = 1563.077 + 1.603755 T + (-0.002932784) T^2 + (3.216101e-06) T^3 + (-1.156827e-09) T^4$$

IV.2.6 Simulation numérique :**A. Création de la géométrie de chambre :**

On trace la géométrie de la chambre de combustion essence (2D) sur Gambit (2.3.16). La chambre est de forme cylindrique, de longueur 100 mm et un diamètre de 28 mm. La chambre contient une section d'entrée de l'air de 27 mm de diamètre et une section d'entrée de carburant de 1 mm de diamètre.

B. Le maillage de chambre :

Le maillage a été effectué pour un meilleur temps de calcul et une meilleure approximation (convergence et précision). Le nombre des cellules est 9036 .

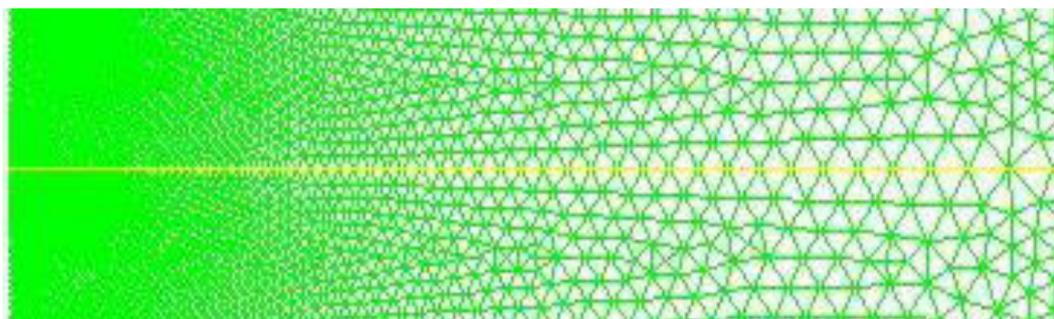
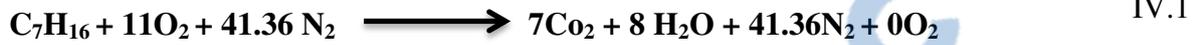


Figure IV.2 :maillage de la géométrie

IV.2.7 Résultat et discussion :

A. L'équation de la combustion de mélange n-heptane/air :

La combustion dans les conditions adiabatiques et mélange stœchiométrique : $\lambda = 1$; Température adiabatique $T = 2406.59 \text{ K}$.



B. Etude thermique pour différent pression d'air :

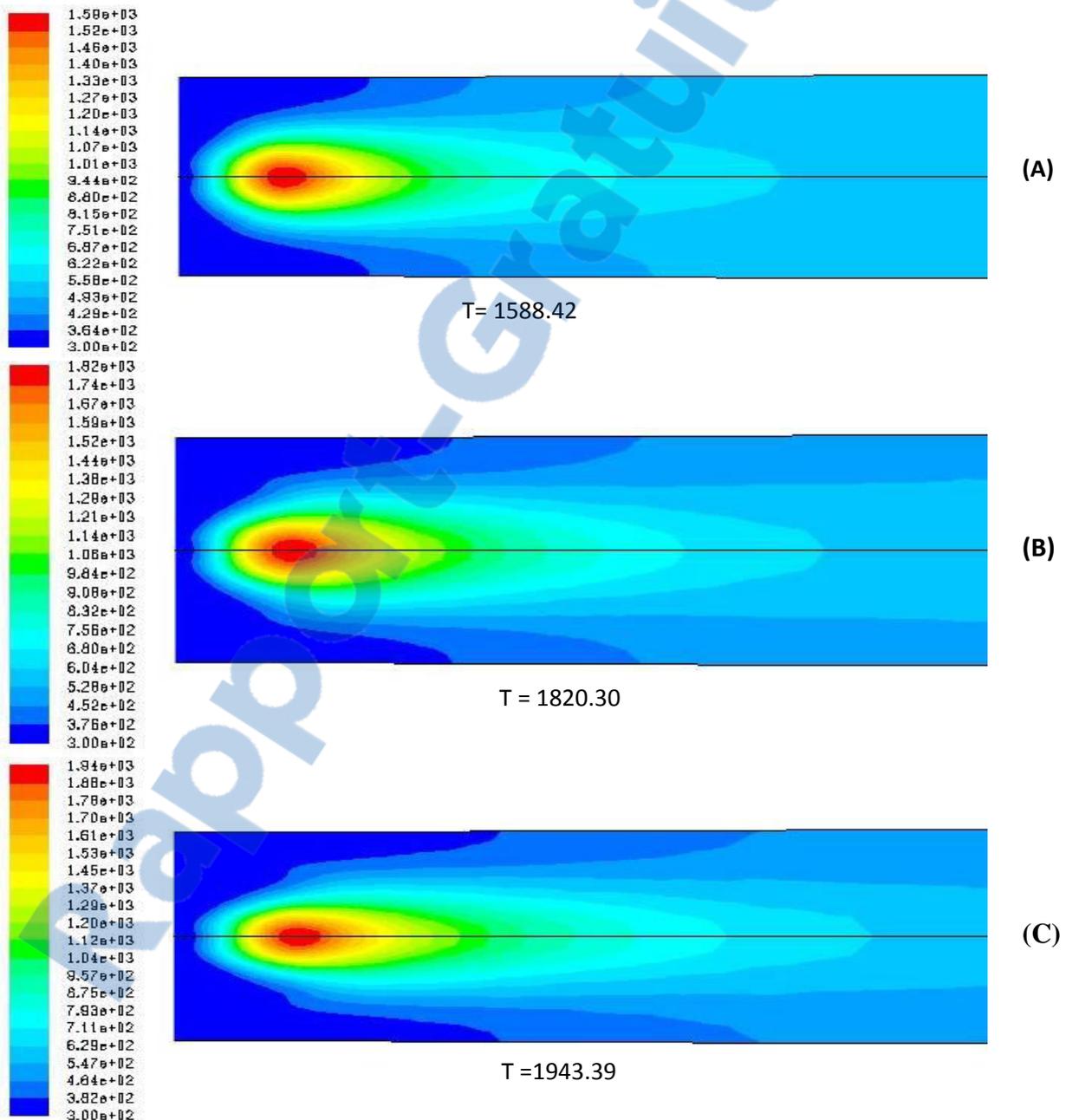
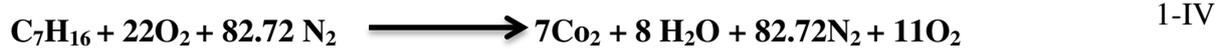


Figure IV.3 : influence de pression sur la température de flamme

➤ 1^{er} cas (A):

Pour une pression P_1 atmosphérique la température maximale dans la chambre correspond à la réaction (2 – IV) pour un facteur d'air $\lambda_r=2$ est $T=1588.42$ K.



➤ 2^{eme} cas (B):

Pour une pression $P_2 = 2$ bar la température maximal correspond à un facteur d'air $\lambda_r=1.5$ et la réaction (3 –IV) la température dans la chambre est $T=1820.30$ K .



➤ 3^{eme} cas (C):

Pour une pression $P_3 = 3$ bar la température maximale correspond de la réaction (4 – IV) pour un facteur d'air $\lambda_r=1.4$ dans la chambre est $T=1943.39$ K.

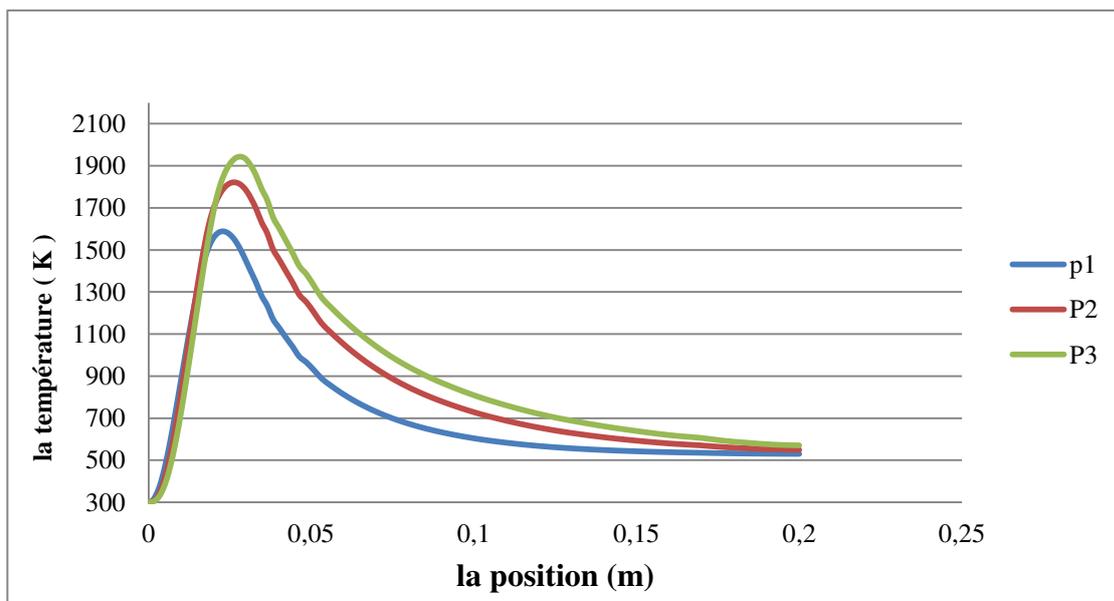


Figure IV.4 variation de température pour différentes pressions

La (figure 4.IV) illustre l'évolution des températures de flamme le long de la chambre de combustion pour chaque pression.

Au premier cas (A) : La pression dans la chambre de combustion est atmosphérique ($P_1 = 1.01325$ bars); la température de flamme produite par la combustion est 1588.42 k qui correspond à un facteur d'air de réaction $\lambda = 2$. Le mélange n'est pas homogène et la combustion n'est pas complète.

Dans le deuxième cas (B) : La pression de deux bar ($P_2 = 2$ bars) dans la chambre ; la température de flamme est de 1820.30 K, cette dernière correspond au facteur d'air de réaction $\lambda = 1.5$, Le mélange est plus homogène que le premier cas (A).

Le troisième cas (c) : La pression d'air est de trois bars ($P_3 = 3$ bars) ; la température de flamme évolue jusqu'à 1943.39 k qui correspond au facteur d'air $\lambda = 1.4$. Le mélange est devenu plus homogène que les deux cas précédant donc il y a une évolution vers une combustion plus complète de la réaction dans la chambre de combustion.

C. L'influence de pression sur la zone de la réaction :

Au 1^{er} cas (A) : pour une pression atmosphérique on remarque que la quantité d'air entourant la zone réaction est faible donc le mélange n'est pas homogène alors la réaction chimique n'est pas complète.

Dans la 2^{eme} cas (B) : quand la pression est plus élevée, la zone de réaction est plus développée ce qui améliore l'homogénéité du mélange.

La 3^{eme} cas (C) : pour une pression de trois bars , il y a une quantité plus importante de l'air au tour du mélange, donc la zone de réaction est plus développée .

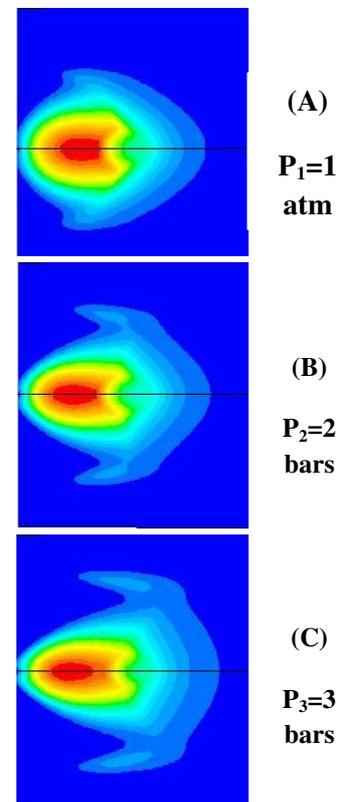


Figure IV,5: influence de la pression sur la zone de réaction

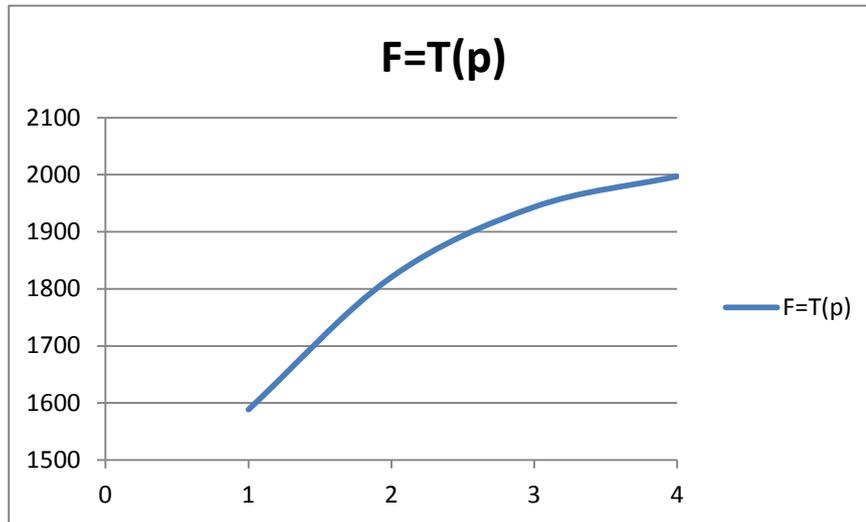


Figure IV.6: évolution de température maximum en fonction de la pression

La (figure 6.IV) présente la variation de la température maximale de flamme de combustion pour les différentes pressions d'air introduite dans la chambre de combustion.

Indépendamment des problèmes comme (le point auto inflammation) qui surviennent lorsque la pression augmente, pour n'importe quelle pression, la température de flamme est ne peut pas atteindre la température adiabatique ($T_{ad} = 2406.59$) qui correspond à une richesse stœchiométrique $\varphi_s = \frac{1}{\lambda} = 1$

IV.3 Influence de la pression sur les performances du moteur :

On doit ajouter les caractéristiques techniques d'un moteur à combustion interne suralimenté model (Audi A3, 1.8 turbo ; essence) et ont varié la pression d'admission P sur le cycle Beau de rochas puis on nous surveillons le changement sur cycle Otto et leur influence sur les caractéristiques thermodynamiques {*Rendement Thermodynamique ; Consommation Spécifique (g/kWh) ; Puissance thermodynamique (kW) ; Couple Moyen Effectif (Nm) et la Pression moyenne effective (Bars)*}.

IV.4 Description du cycle théorique beau-de-rochas (d'Otto) :

Le cycle d'un moteur à combustion interne est en réalité très complexe. Pour l'étudier, une première approche consiste à l'assimiler au cycle théorique d'un moteur allumage commandée.

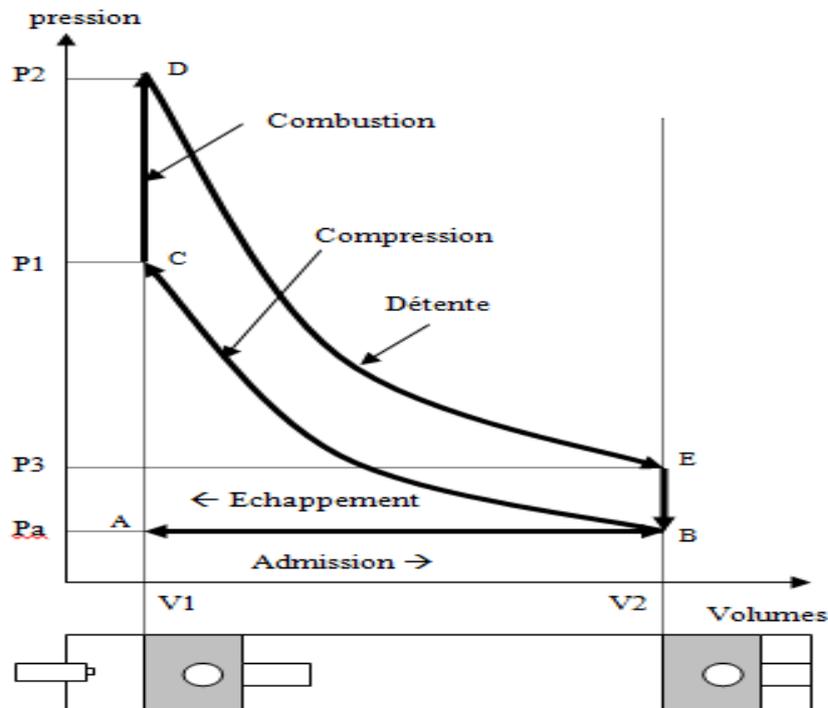


Figure IV.7: cycle Le cycle théorique Beau de Rochas

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) .

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

$B \rightarrow C$: Compression adiabatique BC jusqu'au volume minimal V_1 , la pression devenant : P_1

$C \rightarrow D$: Combustion instantanée du gaz à volume constant le long de la droite isochore CD avec une forte élévation de température à T_2 et de la pression à P_2 .

$D \rightarrow E$: 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.

$E \rightarrow B$: 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.

Avec : Isochore : $V = \text{cts}$ isobare : $P = \text{cts}$

IV.5 Formules des caractéristiques de thermodynamique de cycle de beau de rochas :

Le cycle Beau de Rochas a été conçu pour un moteur tel que l'entrée et la sortie des gaz se fait 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 de moteur.

A → B Admission des gaz carburés (air + carburant) ($m_a + m_c$).

B → C Compression adiabatique du mélange. [27]

On pose $\left(\frac{V+v}{v}\right) = \epsilon$ rapport volumétrique de compression

$$P \cdot V^\gamma = \text{Cts} \quad \longrightarrow \quad P_A \cdot V_A^\gamma = P_B \cdot V_B^\gamma \quad \longrightarrow \quad \frac{P_B}{P_A} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^\gamma = \left(\frac{V+v}{v}\right)^\gamma \quad \text{IV.15}$$

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{Cts} \quad \longrightarrow \quad T_A \cdot V_A^{\gamma-1} = T_B \cdot V_B^{\gamma-1} \quad \longrightarrow \quad \frac{T_B}{T_A} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1} = \epsilon^{\gamma-1} \quad \text{IV.16}$$

Soit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{P_B}{P_A} = \epsilon^\gamma \\ \frac{T_B}{T_A} = \epsilon^{\gamma-1} \end{array} \right.$$

C → D : Combustion à volume constant (explosion). Apport de chaleur par combustion de m_c en présence de l'oxygène de m_a .

Q1 : Quantité de chaleur que fait apparaître la combustion.

$$Q_1 = (m_a + m_c) \cdot C_v(T_C - T_B) = m_c \cdot P_{c_i} \quad \text{IV.17}$$

Avec :

m_a : Masse d'air.

m_c : Masse du carburant.

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

$$\frac{T_C}{T_D} = \left(\frac{V_D}{V_C}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1} = \varepsilon^{\gamma-1} \rightarrow \frac{T_B}{T_A} = \frac{T_C}{T_D} = \varepsilon^{\gamma-1} \quad \text{IV.18}$$

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 Q_2 Avec :

$$Q_2 = (m_a + m_c) C_v (T_A - T_D). \quad \text{IV.19}$$

IV.5.1 Travail - couple - puissance

En physique, l'action d'une force par rapport à un axe de rotation s'appelle un moment. Le motoriste utilise le terme de « couple » pour la même grandeur. A tout moment, la valeur du couple s'appliquant au vilebrequin est :

$$C \text{ (N.m)} = r \text{ (m)} \times F_t \text{ (N)} \quad \text{IV.20}$$

Le couple moteur s'exprime en Nm. F_t est la décomposition de l'action du piston sur la bielle (F_1).

Le travail produit par le couple est :

$$W \text{ (Joule)} = C \text{ (N.m)} \times \alpha \text{ (radian)} \quad \text{IV.21}$$

La force F_1 dépend :

- de la valeur de force engendrée par la pression sur le piston ;
- de l'angle (α).

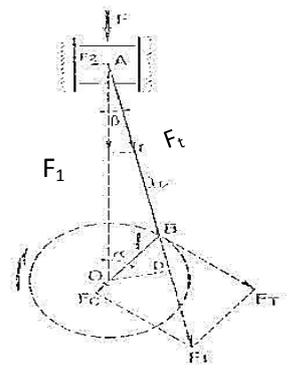


Figure IV.8 : schéma de calcul

IV.5.2 Le travail fourni

Pour un couple moteur moyen C , le travail fourni par ce couple en un tour est :

$$W (\text{Joule}) = C (\text{N.m}) \times 2\pi \quad \text{IV.22}$$

Et si le moteur tourne à N tr/mn, soit $N / 60$ tr/s, le travail produit par seconde :

$$W = C \times \frac{2\pi \times N}{60} \quad \text{IV.23}$$

$2\pi \times N / 60$ est l'expression de la fréquence de rotation du moteur ω .

A. **La puissance est donc :**

$$P (\text{Watt}) = C (\text{N.m}) \times \omega (\text{radian/s}) \quad \text{IV.24}$$

Récapitulation:

Le couple moteur C dépend:

- du couple résistant engendré par l'admission et l'échappement et Compression
- du couple engendré par la combustion de la charge ;
- du couple engendré par les frottements internes ;
- du couple résistant engendré par l'entraînement des organes (pompe à huile).

La grandeur prépondérante est l'énergie produite par la combustion de la charge qui dépend essentiellement de masse de gaz admise pendant la phase admission. On peut agir sur la valeur du couple moteur en réduisant cette charge grâce à un papillon situé dans le conduit d'admission, ou en l'augmentant grâce à un dispositif de suralimentation.

La puissance développée par le moteur dépend :

- du couple moteur ;
- du régime de rotation.

Si le moteur fonctionne en admission atmosphérique, la masse de gaz admise pendant la phase diminue lorsque le régime croît (problème de remplissage), et la puissance d'un moteur est limitée par la dégradation du remplissage à haut régime.

B. Pressions moyennes

Pour comparer deux moteurs (deux convertisseurs d'énergie) de cylindrées différentes sans savoir lequel des deux transforme le plus efficacement l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique, on peut utiliser pour cela la notion de rendement global, on remarque que ce rendement dépend du régime, et que son calcul impose de connaître la masse de carburant consommée par cycle, ainsi que le pouvoir calorifique du carburant.

Une autre approche est utilisée par les motoristes : les pressions moyennes. Lorsqu'on teste un moteur au frein dynamométrique, on mesure son couple effectif C_e et son régime N , ce qui permet de calculer sa puissance effective :

$$P_e = C_e \times \omega = C_e \times 2\pi (N/60) \quad \text{IV.25}$$

La proposition est la suivante :

La pression théorique appliquée sur le piston pendant sa course pour obtenir la même puissance effective est une pression fictive appelée Pression Moyenne Effective (*P.M.E.*)

Calcul :

$$W = F \times C$$

$$F = P.M.E. \times S$$

$$W = P.M.E. \times S \times C$$

$$\text{Or } S \times C = V \text{ (cylindrée unitaire)}$$

Donc :

$$W = P.M.E. \times V \quad \text{IV.26}$$

Ceci représente le travail fourni pendant une course et comme il faut 2 tours moteurs pour effectuer un cycle sur un moteur 4 temps, et que, par définition, nous cherchons la pression moyenne donnant le même travail effectif, nous aurons l'équivalence :

Pour un tour :

$$We = \frac{PME \times V}{2} \quad \text{IV.27}$$

Pour un moteur à n cylindres :

$$We = \frac{PME \times V \times n}{2} \quad \text{IV.28}$$

Comme $V \times n$ représente la cylindrée totale :

$$We = \frac{PME \times Cyl}{2} \quad \text{IV.29}$$

Si le moteur tourne à N tr/mn, soit à $N/60$ tr/sec, le travail fourni en 1 seconde sera :

$$We = \frac{PME \times Cyl}{2} \times \frac{N}{60} = \frac{PME \times Cyl \times N}{120} \quad \text{IV.30}$$

Et comme par définition le travail fourni par seconde est l'expression de la puissance :

$$Pe = \frac{PME \times Cyl \times N}{120} \quad \text{IV.31}$$

Le motoriste dispose des valeurs mesurées au banc Pe et N (une puissance délivrée à un régime donné), il en déduit une PME :

$$PME = \frac{Pe \times 120}{Cyl \times N} \quad \text{IV.32}$$

Avec une puissance en Watt, et une cylindrée en m^3 , on trouve une PME en pascal. la valeur du couple effectif Ce pour effectuer les calculs.

$$Pe = Ce \times \omega \text{ et } \omega = \pi \times N / 30$$

$$PME = \frac{4 \times \pi \times Ce}{Cyl} \quad \text{IV.33}$$

C. Consommation spécifique

La consommation spécifique effective (Cse) est la masse de carburant (en gramme) que le moteur consommerait pour délivrer une puissance de 1 kW pendant une heure (soit un travail de 3600 kJ).

La consommation spécifique est le rapport de la consommation horaire par la puissance effective.

$$Cse = \frac{m_c(g)}{P_e(kW) \times t(\text{heure})} \Rightarrow \frac{m_c(g)}{P_e(kW) \times \frac{t(s)}{3600}} \quad \text{IV.34}$$

Avec :

$$Cse = \frac{m_c(g)}{\frac{W_e(kJ)}{t(s)} \times \frac{t(s)}{3600}} = \frac{m_c(g) \times 3600}{\eta_e \times m_c(g) \times 10^{-3} \times PCi} \quad \text{IV.35}$$

D'où une relation entre la Cse et le rendement effectif pour un carburant donné :

$$Cse = \frac{3,6 \times 10^6}{\eta_e \times PCi} \quad \text{IV.36}$$

D. Rendement :

En considérant que CV est constant au cours d'un cycle, les quantités de chaleur _échangées avec l'extérieur sont : [23]

$$\eta_{th} = \frac{W_e}{Q_1} = -\frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{(m_a + m_c)C_v(T_A - T_D)}{(m_a + m_c)C_v(T_C - T_B)} \quad \text{IV.37}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \text{ Or } \frac{T_B}{T_A} = \frac{T_C}{T_D} \rightarrow T_D = \frac{T_A \cdot T_C}{T_B} \quad \text{IV.38}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\frac{T_A \cdot T_C}{T_B} - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_A T_C - T_A T_B}{T_B (T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_1 (T_C - T_B)}{T_B (T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_A}{T_B} \quad \text{IV.39}$$

Le rendement s'écrit donc :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_B}{T_C} = 1 - \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \quad \text{IV.40}$$

On peut définir : [26.27]

$$\text{Le rendement théorique : } \eta_{th} = \frac{W_{th}}{Q_1}$$

IV.5.3 Application au moteur Audi A3 1.8 turbo essence :

performance technique moteur :

Type (nombre de cylindres)	4 en ligne
Position	Transversal avant
Matériaux (Culasse/Bloc)	Alliage léger / Fonte
Nombre de soupapes par cylindre	5
Distribution	2 ACT (courroie + chaîne)
Alimentation allumage	Gestion électronique intégrale Motronic
Suralimentation	1 turbo échangeur air/air
Cylindrée (cm³)	1781cm ³
Alésage x course (mm)	81 x 86.4

Rapport volumétrique	9.5
Puissance maxi (ch à tr/min)	150 à 5700tr/min
Puissance au litre (ch)	84ch/l
Couple maxi (mkg à tr/min)	21.4 à 1750tr/min
Régime maximum (tr/min)	6500tr/min

[24]

Tableau VI.3 performance technique moteur Audi A3 1.8

IV.6 L'évolution de cycle de beau de rochas avec l'augmentation de la pression :

P=0.5 bar,

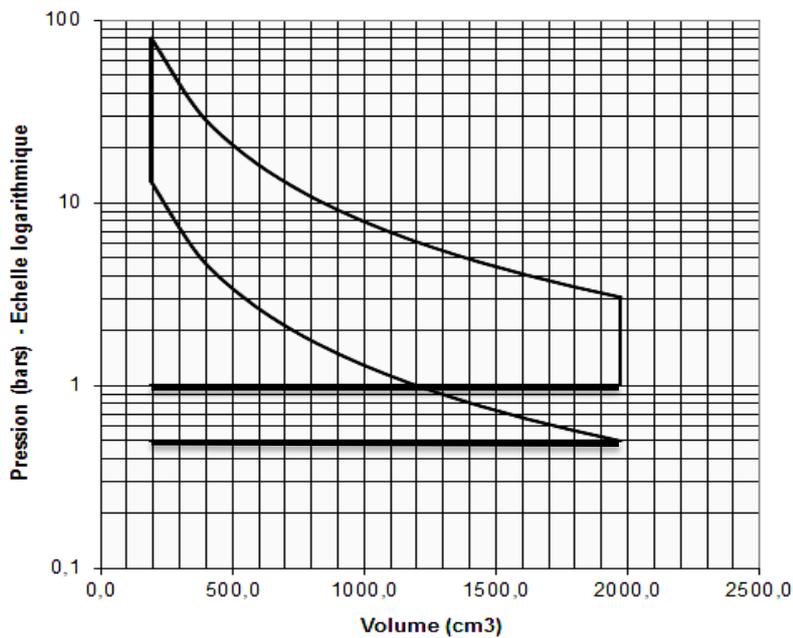


Figure IV.9 cycle de beau de rochas pour une pression P=0.5 bar

Pour une pression d'aspiration de 0.5 bar, la pression de fin de compression est de 11.43 bar

P1 =1bar :

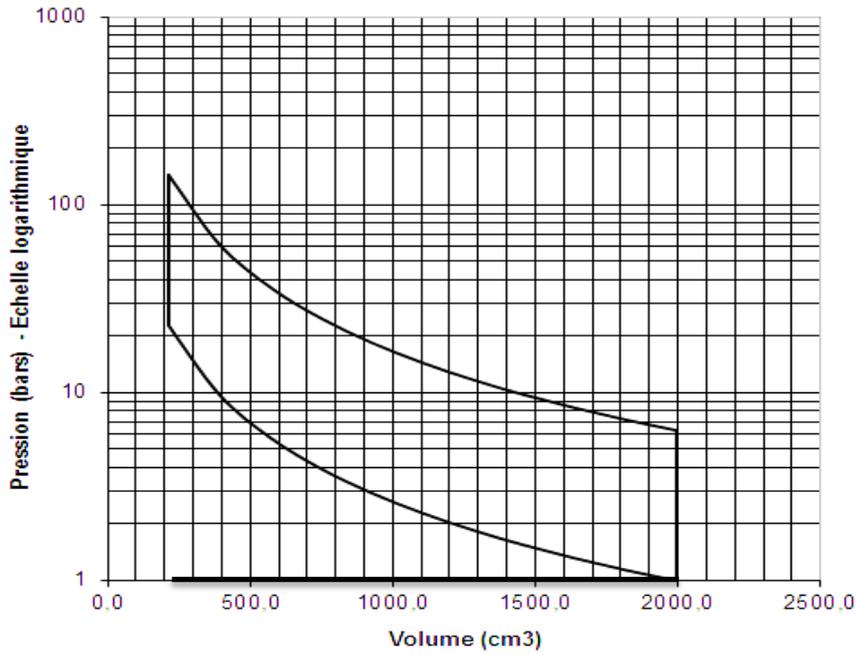


Figure IV.10 cycle de beau de rochas pour une pression P=1 bar

Pour une pression d'aspiration de 1 bar, la pression de fin de compression est de 22.83 bar.

P1 =1.5 bar :

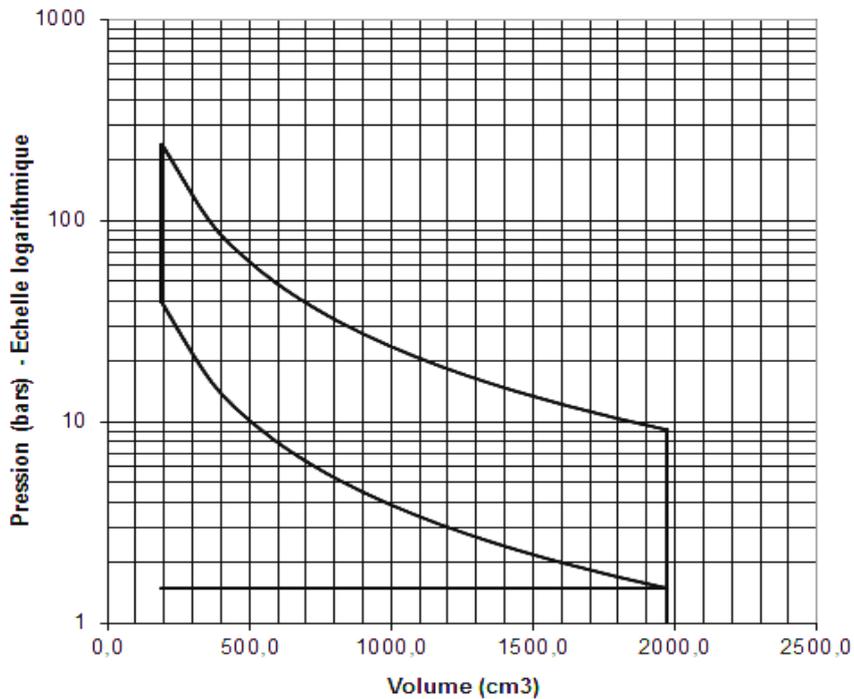


Figure IV.11 cycle de beau de rochas pour une pression P=1.5 bar

Pour une pression d'aspiration de 1,5 bar, la pression de fin de compression est de 34.2 bar.

P = 2.5 bar :

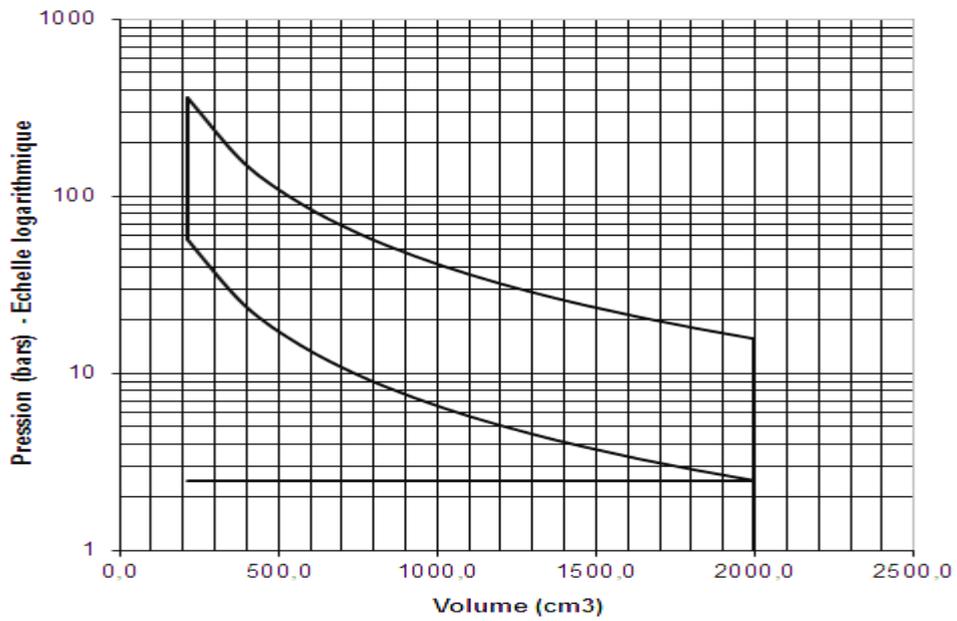


Figure IV.12 cycle de beau de rochas pour une pression P=2.5 bar

Pour une pression d'aspiration de 2,5 bar, la pression de fin de compression est de 57.16 bar.

IV.7 Courbe caractéristique en fonction de la pression

- Couple Moyen Effectif, puissance thermodynamique et Pression moyenne effective

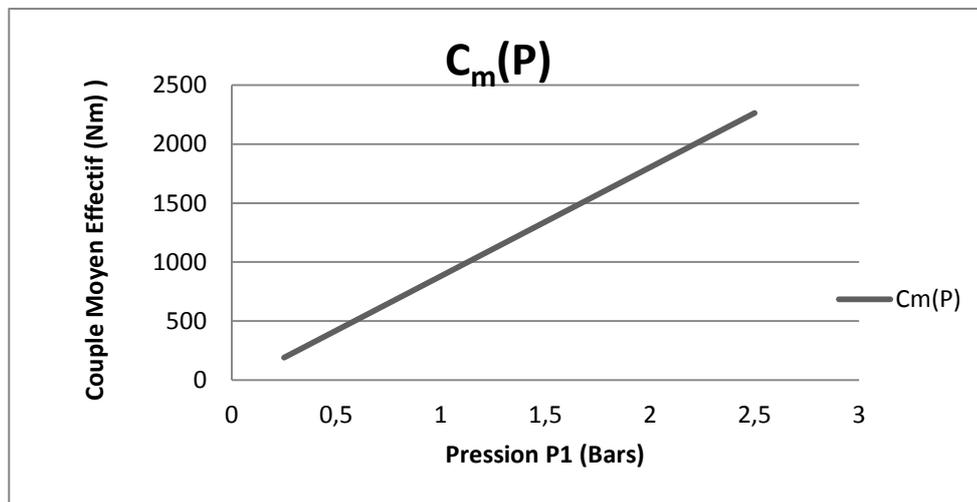


Figure IV.13 : Couple Moyen Effectif

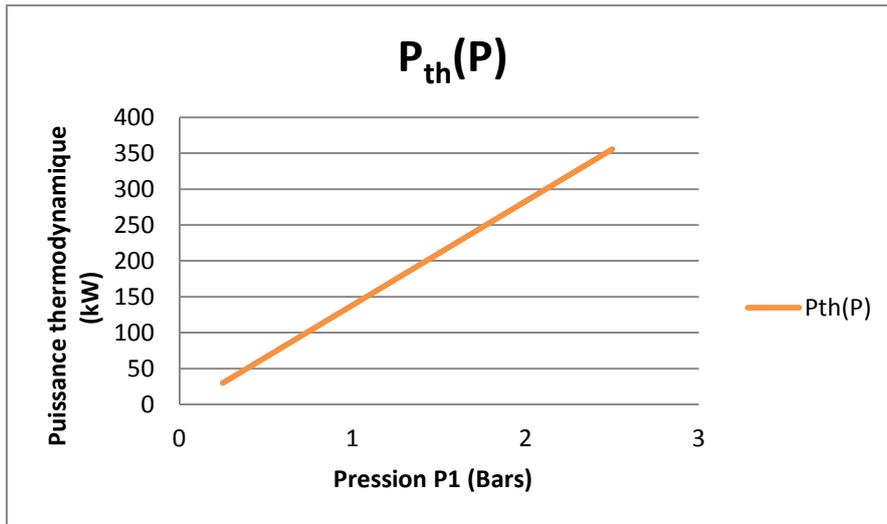


Figure IV.14 : Puissance thermodynamique

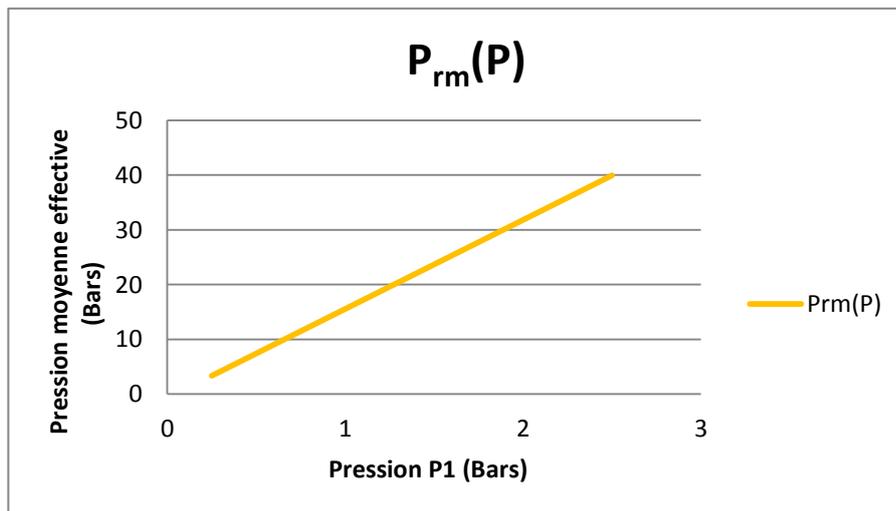


Figure IV.15 : Pression moyenne effective

Le travail développé est plus important pour des pressions supérieures, pour cela le couple (Figure IV.12), la puissance thermodynamique (Figure IV.13) et Pression moyenne effective (figure IV.14) augmentent linéairement avec la pression aspirée.

- La consommation spécifique

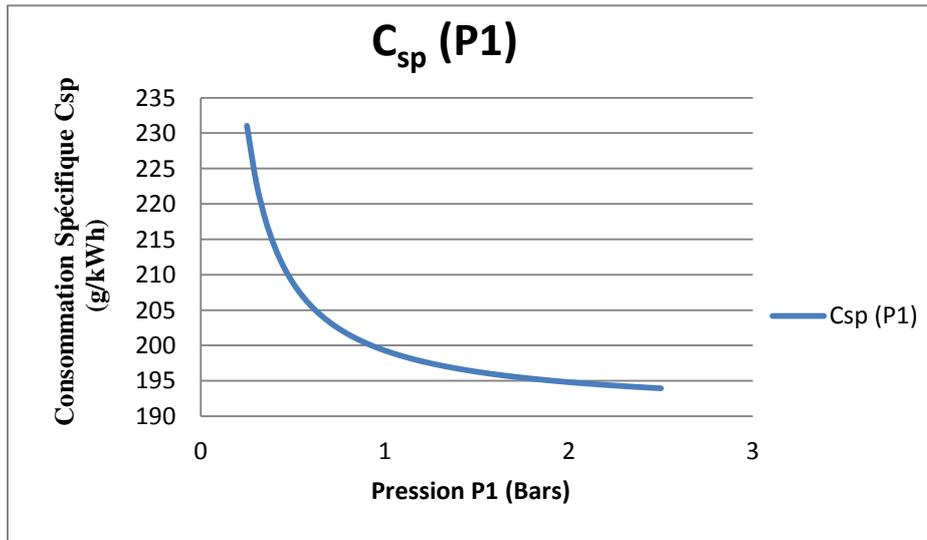


Figure IV.16 : La consommation spécifique

La consommation spécifique diminue avec l'augmentation des pressions d'air aspiré

- Rendement Thermodynamique

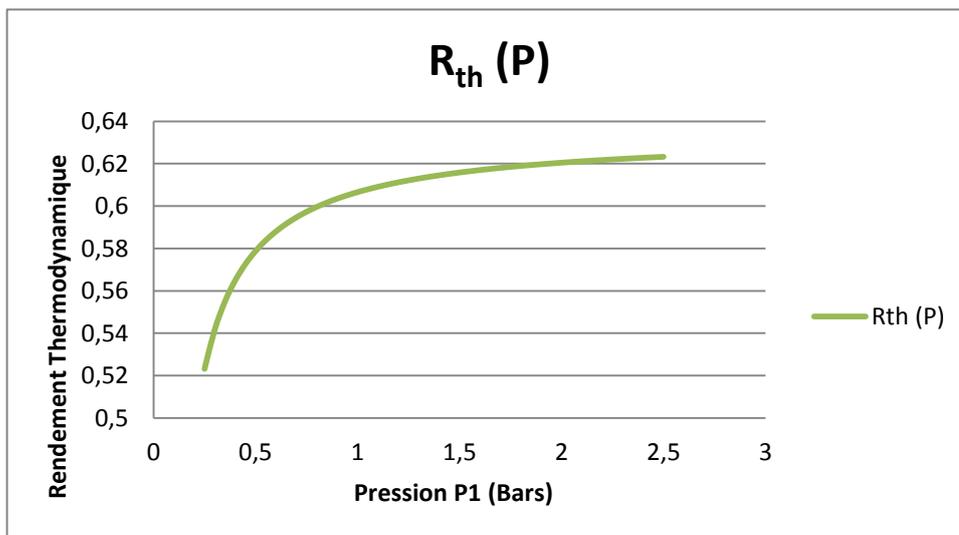


Figure IV.17 : Le rendement Thermodynamique

Le rendement thermique augmente avec l'augmentation des pressions d'air aspirées ;

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la suralimentation sur les moteurs essence. Pour cela, cette recherche comporte deux parties distinctes ; simulation numérique de la combustion dans les conditions de suralimentation et application aux calculs théoriques de la suralimentation sur un cas réel (moteur turbocompressé).

La première partie concerne l'influence de l'augmentation de la pression sur la combustion de l'essence, pour cela, une simulation numérique a été réalisée en utilisant le code de calcul FLUENT. La géométrie et le maillage ont été perfectionnés sur le logiciel GAMBIT. La modélisation de l'écoulement turbulent et réactif est basée sur les équations de bilan associées au modèle de turbulence (K-ε) et le modèle de combustion EDM pour la définition d'une chimie rapide avec réaction générique globale.

Les résultats de la simulation montrent une influence remarquable de la pression sur le comportement de l'écoulement réactif ainsi que le développement de la zone de réaction respective, sans modification des autres paramètres de l'écoulement. En effet, l'augmentation de la pression permet d'avoir des zones de réactions beaucoup plus étendues, surface de contact entre réactifs plus importante et un mélange plus homogène. L'augmentation de la pression dans la chambre de combustion prévoit aussi une augmentation de la température de la flamme et aussi la température des produits de combustion.

La deuxième partie a été consacrée au calcul théorique de l'influence des pressions d'admission sur les performances de moteur à essence réel. Dans ce cas, le moteur Audi A3 1.8 turbo a été choisi pour l'application. Ce moteur comporte 5 soupapes par cylindre ; Suralimentation par 1 turbo échangeur air/air ; le volume de la cylindrée est 1781cm^3 ; un rapport volumétrique de 9.5. Les courbes de performance, notamment, la puissance, le couple, la consommation spécifique, le rendement théorique et la pression moyenne effective ont été étudiés selon le cycle de Beau de Rochas avec augmentation de la pression d'admission. Les calculs ont été perfectionnés en utilisant le logiciel EXCEL.

Les résultats obtenus présentent une amélioration progressive et linéaire du couple moteur, de la puissance et de la pression moyenne effective. La consommation spécifique ainsi que le rendement thermique ont été aussi améliorés pour des pressions d'admission importantes.

[1] **STEPHANE BARBE , MANUEL OFIALA** « modélisation de la combustion d'un moteur à essence » Rapport de projet de master MNPM, Université du Maine. Année 2010/2011.

[2] <https://fr.scribd.com/document/242954204/moteur-ressource-pdf>

[3] **SEBASTIEN BONNET.** « Moteurs thermiques à apport de chaleur externe: étude d'un moteur Stirling et d'un moteur ERICSSON ». Energie électrique. Thèse de doctorat. Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2005.Français.

[4] **GUESMI LAMINE ET ZITOUNI SABRI** « généralité sur les moteurs thermiques » ISET du Kef .2005 .

[5] **PROF PAN SOVANNA.** « Cour Moteurs thermiques Chapitre IV MOTEUR WANKEL À PISTON ROTATIF» .18/10/04 ITC/GIM .

[6] **PROFESSEUR RENAUD GICQUEL** « document Evolutions des performances des moteurs à combustion » Ecole des Mines de Paris.

[7] **TOTAL** « exploration et production les équipements les moteurs thermiques » Cour et Support de Formation 11/04/2007

[8] **AMINE LABRECHE.** « Potentiel de la combustion partiellement pré mélangée pour les moteurs essence ».thèse de doctorat Université d'Orl_eans, 2015. Français.

[9] **MR.A.TAIEB ET MM Y.BEN SALEM** « cours machines thermiques » Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Kélibia 2014/2015.

[10] **JEAN TRAPY** « documentaire scientifique et technique en français Moteur à allumage commandé » ouvrage Techniques de l'Ingénieur. L'éditeur scientifique et technique de référence.

[11] **ABBES RABEH** « support de cours: aspect mécanique du moteur à explosion moteur à pistons alternatifs » institut supérieur des études technologiques de GAFSA ,juin 2011

[12] **ROUBA BAROUDI** « étude des moteurs thermiques (cas E.T.U.S.tlemcen) » mémoire de master en génie mécanique Option Maintenance Industrielle. Juin 2014

[13] **PIERBURG** « document ; alimentation en carburant composants et solutions pour application universelle » MSI Motor service international GmbH version 04.03 1^{ère} édition .

[14] <https://www.autobrico.com/organes-mecaniques-automobile/circuit-alimentation/le-circuit-d-alimentation-d-une-voiture/Page-3.html> .

[15] <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1696-l-admission-d-air.php> .

[16] **GERRY MALLOY ET MARC LACHAPELLE** « Profil technique du moteur conventionnel » Association canadienne des automobilistes Bureau national 1545, avenue Carling, bureau 500.

[17] **HADI TARTOUSI** « Simulation numérique des compresseurs et des turbines automobiles » Thèse doctorat .Ecole Centrale de Lyon, 2011. Français.

[18] **MICHEL GRATADOUR** Ingénieur Responsable du Département Énergétique à la société Le Moteur Moderne « application de la suralimentation

aux moteurs » Techniques de l'Ingénieur ressource documentaire scientifique et technique en français. L'éditeur scientifique et technique de référence

[19] **LOÏC FERRIÈRE** « la technologie du turbo » techno sans frontière : revue technologie mensuel septembre - octobre 2007

[20] **B. HENNEBERT IR L. DOCQUIER ISICHT MONS** « Conception et réalisation d'un système de lubrification indépendant pour turbos : le « tc-lube » ».Revue scientifique des ISILF n°25, 2011.

[21] **AIME PAROIS** « Suralimentation des moteurs de véhicules par turbocompresseur » Techniques de l'Ingénieur ressource documentaire scientifique et technique en français. L'éditeur scientifique et technique de référence

[22] <https://turboplus.fr/content/10-types-turbocompresseurs>

[23] **Benmansour abdelkrim** « Etude numérique de la combustion à l'état critique ».thèse de doctorat 2017

[24] <http://www.autotitre.com/fiche-technique/Audi/A3/8L/1.8T>

[25] **DR. HENNI. MANSOUR. Z.** « Cour Thermo propulsion I. chapitre III-Moteurs thermiques. ».

[26] **Olivier PERROT.** « COURS DE THERMODYNAMIQUE » I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque2010-2011

[27] https://www.academia.edu/17533095/Moteur-thermique_bts-mava

Résumé :

L'évolution de la technologie, permet actuellement d'utiliser la suralimentation dans les moteurs essence suite aux perfectionnements des systèmes d'injection. Ainsi, les performances du moteur essence peuvent être améliorées en utilisant les turbocompresseurs pour augmenter la quantité d'air admise dans le cylindre. Cependant, la compréhension de l'influence de la pression sur la combustion essence reste très difficile à accéder. Pour cela, une simulation numérique a été réalisée en utilisant le code de calcul FLUENT. Cette simulation porte sur l'influence directe de l'augmentation de la pression sur la combustion de l'essence sans modification des paramètres d'écoulement. Les résultats obtenus présentent une modification importante des zones de réaction et des températures de fin de combustion pour différentes pressions dans la chambre de combustion.

Mots clés : Moteur essence ; Turbocompresseur ; Simulation numérique ; FLUENT.

Abstract :

The evolution of the technology, currently allows using the supercharging in the gasoline engines following the improvements of the injection systems. Thus, the performance of the gasoline engine can be improved by using turbochargers to increase the amount of air admitted into the cylinder. However, understanding the influence of pressure on gasoline combustion remains very difficult to access. For this, a numerical simulation was carried out using the calculation code FLUENT. This simulation focuses on the direct influence of the increase in pressure on the combustion of gasoline without changing the flow parameters. The results obtained show a significant modification of the reaction zones and the end-of-combustion temperatures for different pressures in the combustion chamber.

Key words: Petrol engine; Turbocharger; Numerical simulation; FLUENT.

الخلاصة :

يسمح التطور التكنولوجي حاليًا باستخدام الشحن الفائق في محركات البنزين بعد تحسين أنظمة الحقن. وبالتالي ، يمكن تحسين أداء محرك البنزين عن طريق استخدام الشاحن التوربيني لزيادة كمية الهواء المقبولة في الأسطوانة. ومع ذلك ، لا يزال من الصعب للغاية فهم تأثير الضغط على احتراق البنزين. لهذا ، تم إجراء محاكاة عددية باستخدام رمز الحساب FLUENT. تركز هذه المحاكاة على التأثير المباشر للزيادة في الضغط على احتراق البنزين دون تغيير معايير التدفق. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها تعديلًا كبيرًا لمناطق التفاعل ودرجات حرارة نهاية الاحتراق لضغوط مختلفة في غرفة الاحتراق