



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO

MENTION : GENIE MECANIQUE ET
INDUSTRIEL



Premier Partenaire des Professionnels

MEMOIRE EN VUE D`OBTENIR LE DIPLOME DE LICENCE EN GENIE
MECANIQUE ET DEVELOPPEMENT

ETUDE DU SYSTEME D'INJECTION DIESEL COMMON RAIL

Présentés par :

- ANDRIANARISOA Tojoniaina Andriamanalina Kaleba
- RAZANADRAKOTO Dinasoa Fanomezana

Directeur du mémoire : Monsieur RAZAFIMAHATRATRA Tafika

Date : 15 juin 2019

Année universitaire : 2016 – 2017

Promotion 2017



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO

MENTION : GENIE MECANIQUE ET
INDUSTRIEL



Premier Partenaire des Professionnels

MEMOIRE EN VUE DOBTENIR LE DIPLOME DE LICENCE EN
GENIE MECANIQUE ET DEVELOPPEMENT

ETUDE DU SYSTEME D'INJECTION DIESEL COMMON RAIL

Présentés par :

- **ANDRIANARISOA Tojoniaina Andriamanalina Kaleba**
- **RAZANADRAKOTO Dinasoa Fanomezana**

Les membres du jury :

- Le président : **RANARIJAONA Jean Désiré**
- Les examinateurs : **RAKOTONINDRINA Tahiry Fanantenana**
RAMAHAROBANDRO Germain

Directeur de mémoire : Monsieur **RAZAFIMAHATRATRA Tafika**

Date : 15 juin 2019

Année universitaire : 2016 – 2017

Promotion 2017

FISAORANA

Voalohany indrindra dia misaotra an'Andriamanitra lehibe izahay nanome hery, tanjaka, fahasalamana nentina nanatontosa izao fikarohana izao.

Isaorana ihany koa Andriamatoa RAKOTOSAONA Rijalalaina talen'ny sekoly ambony « polytechnique » eto Antananarivo ; izay nanaiky anay ho isan'ny mpianatra eto anivon'izao sekoly izao nandritra izay fotoana rehetra zay,

Eo ihany koa Andriamatoa RAKOTONINDRINA Tahiry Fanantenana mpiandraikitra vaolohany ny sampam-pampianarana « Génie Mécanique et Industriel » noho ny nanekeny anay hianatra sy hanohy ity fianarana ity,

Eo koa ianao Andriamatoa RAZAFIMAHATRATRA Tafika nanampy sy nanohana anay nandritry ny asanay rehetra. Misaotra indrindra tompoko.

Tolorana fisaorana etoana ianareo mpitsara, ny filoha Andriamatoa RANARIJAONA Jean Désiré .sy ireo mpiara-miasa aminy : Andriamatoa isany RAKOTONINDRINA Tahiry Fanantenana

Dia mbola fisaorana lehibe no atolotra ho an'ireo mpampianatra sy mpanabe tamin'ny nanabeazanareo anay nandritra izay fotoana izay sy ny ho avy rehetra.

Tsy adinoina ihany koa ny misaotra ireo Ray aman-dReny sy ireo nanampy rehetra nahafahanay nianatra sy manohy ny fianaranay ety. Ary farany, dia fankasitrahana lehibe ho an'ny mpiara-mianatra sy izay rehetra nanampy tamin'ny soso-kevitra samihafa nahafahana nanatontosa ity asa ity.

TABLE DES MATIERES

FISAORANA.....	i
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES COURBES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
TABLEAU DES LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES	xi
INTRODUCTION	1
PARTIE I. GENERALITES	2
Chapitre I : MOTEUR A COMBUSTION INTERNE (MCI).....	2
I-1- Historique.....	2
I-2- Constitutions du mci	2
I-2-1- Le piston	2
I-2-2- Le vilebrequin.....	3
I-2-3- Le volant moteur.....	3
I-2-4- La bielle	4
I-2-5- Les soupapes	4
I-2-6- L'arbre à cames.....	4
I-3- Fonctionnement du mci.....	5
I-3-1- Cycle du moteur à quatre temps	6
I-3-2- Le turbocompresseur.....	8
I-4- Les différents types de moteur diesel.....	8
I-4-1- Les moteurs à injection indirecte	8
I-4-2- Les moteurs à injection directe	9
Chapitre II : LES POMPES D'INJECTION	11
II-1- Définitions	11
II-2- Différents types de pompe	11
Chapitre III : LES INJECTEURS.....	14
III-1- Définition.....	14

III-2- Les différents types de circuit d'injections.....	14
III-2-1- Injection classique.....	14
III-2-2- Injection à rampe commune.....	15
III-2-3- Injecteur pompe.....	16
Chapitre IV : LE CALCULATEUR	17
IV-1- Description du calculateur.....	17
IV-2- Fonctionnement du calculateur de voiture	17
IV-3- Rôle du calculateur.....	18
IV-3-1-	Capteurs
19	
IV-3-2-	Actionneurs
19	
PARTIE II. ETUDE EXPERIMENTAL.....	20
Chapitre I : SYSTÈME D'INJECTION DIESEL A RAMPE COMMUNE	20
I-1- Fonctionnement du système.....	20
I-2- Pompe à Haute Pression (HP).....	22
I-2-1- Description de la pompe HP	22
I-2-2- Clapet de lubrification de la pompe.....	23
I-2-3- Création de la haute pression	25
I-2-4- Désactivateur du 3ème piston de pompe haute pression carburant	26
I-3- Régulateur haute pression carburant	27
I-3-1- Force Hydraulique	29
I-3-2- Force électromagnétique.....	30
I-3-3- Force du ressort.....	30
I-4- Rampe d'injection haute pression carburant	31
I-4-1- Présentation.....	31
I-4-2- Expression de l'évolution de la pression du rail	32
I-5- Les injecteurs	32
I-5-1- Description de l'injecteur.....	34
I-5-2- Principe de la levée d'un injecteur	35
Chapitre II : ETUDE DE LA POMPE ET DE L'INJECTEUR	38

II-1- Etude de la pompe HP	38
II-2- Modélisation de la pompe.....	38
II-1-1-Expression du débit instantané.....	39
II-1-2- Exemple d'étude de la pompe.....	40
II-3- Etude de l'Injecteur.....	42
II-2-1- Temps d'injection	42
II-2-2- Paramètre d'étude	42
II-2-3- Résultat.....	43
II-4- Avantages et inconvénients du système	44
CONCLUSION.....	45
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.....	46
ANNEXES	a

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Piston	2
Figure 2: Le vilebrequin	3
Figure 3: volant moteur.....	3
Figure 4 : Le Bielle	4
Figure 5 : Soupape	4
Figure 6 : l'arbre à cames	5
Figure 7 : PMH et PMB	5
Figure 8 : Système de combustion (essence et diesel)	6
Figure 9 : Cycle moteur Diesel quatre temps	7
Figure 10 : Evolution de la pression et du volume de la chambre de combustion	7
Figure 11 : Schéma de principe du turbo compresseur.....	8
Figure 12: Injection avec préchambre et chambre de turbulence	9
Figure 13 : Injection direct.....	10
Figure 14 : La pompe à injection en ligne	12
Figure 15 : La pompe à injection rotatif	12
Figure 16 : La pompe à haute pression	13
Figure 17 : Injection classique	14
Figure 18 : Injection à rampe commune sans pompe HP	15
Figure 19 : Injection à rampe commune avec une pompe HP	16
Figure 20 : Injecteur pompe.....	16
Figure 21 : Schéma du circuit du commande de calculateur	18
Figure 22 : Circuit du carburant.....	21
Figure 23 : Pompe à HP	22
Figure 24 :Coupe de la pompe HP	23
Figure 25 : Clapet de lubrification de la pompe	24
Figure 26 : Système du pompage de la pompe HP	25
Figure 27 : Désactivateur du 3ème piston de pompe HP.....	26
Figure 28 : Régulateur haute pression carburant	27
Figure 29 : Présentation simple du régulateur de débit	28
Figure 30 : Présentation des forces exercé par la Bille.....	28
Figure 31 : Structure mécanique du régulateur.....	29

Figure 32 : Schéma d'une rampe	31
Figure 33 : Injecteur électromécanique	33
Figure 34 : Coupe de l'injecteur	34
Figure 35 : La levée d'un injecteur.....	35
Figure 36 : Modélisation et paramétrage de la pompe haute pression.....	39
Figure 37 : structure mécanique pour le piston 1.....	39
Figure 38 : Allure de la courbe du débit instantané pour une pompe à 3 pistons.....	40

LISTE DES COURBES

courbe 1 : $Qv=f(d)$ à $N=500$ tr / min.....	41
courbe 2 : $Qv=f(d)$ à $N=2000$ tr / min.....	41
courbe 3 : $T=f(P)$ à $m=0,001$	43
courbe 4: $T=f(P)$ à $m=0,0466$	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les capteurs	19
Tableau 2 : Les actionneurs	19
Tableau 3 : Légende du schéma de circuit du carburant.....	20

***TABLEAU DES LISTE DES ABRÉVIATIONS ET
SYMBOLES***

Abréviations et symboles	Désignations	Unités
MCI	Moteur à combustion interne	
CRDI	Common Rail Direct Injection	
PMH	Point mort haut	
PMB	Point mort bas	
EGR	Exhaust Gaz Recirculation	
HP	Haut pression	
F_h	Force hydraulique	<i>N</i>
P_r	Pression du rail	<i>Pa</i>
S_a	Surface active de la bille	m^2
θ	le demi-angle du cône de l'assise de la bille	<i>rad</i>
d_b	le diamètre de la bille	<i>mm</i>
S_p	la section de passage du fluide	m^2
α	L'angle entre la droite passant par le centre de la bille et le segment le plus court partant du centre de la bille jusqu'au cône de l'assise	<i>rad</i>
F_e	Force électromagnétique	<i>N</i>

Abréviations et symboles	Désignations	Unités
$I_{rég}$	Intensité de courant venant de la commande électrique	A
$K_{rég}$	Gaine électromagnétique	
F_r	force du ressort	N
K_r	la raideur du ressort	N/m
F_0	Force de pré charge	N
K	Coefficient de compressibilité	Pa
T	Température de carburant	°C
V	Volume du rail	m^3
Q_E	Débit instantané de la pompe	L/min
Q_S	Le débit des injecteurs et du régulateur	L/min
P_{hyd}	Puissance hydraulique	w
P_{abs}	Puissance absolue	w
η	Rendement	
ρ	Masse volumique	Kg/L
g	Pesanteur	m/s^2
m_{inj}	Masse injecte	Kg
T_{inj}	Temps d'injection	s
q_m	Débit massique	Kg/min

Abréviations et symboles	Désignations	Unités
P_c	Pression dans la chambre de combustion	Pa
S_{inj}	Surface du trou de l'injecteur	m^2
K_D	Coefficient du débit	
\emptyset	Diamètre du trou	mm
D	Diamètre du piston	mm
$\mathfrak{R}_0(0, x_0, y_0, z_0)$	Repère galiléen	
(O, z_0)	Axe suivant z_0	
$\omega_{1/4}$	Taux de rotation	
G	Centre d'inertie	
P1	Piston de pompage1	
P2	Piston de pompage 2	
P3	Piston de pompage 3	

INTRODUCTION

Les progrès technologiques à l'amélioration des moteurs à combustion interne ne cessent de se développer, notamment le développement du moteur diesel. Les recherches sur le développement des moteurs diesel ont commencé par la création du moteur diesel à injection indirecte puis quelques années plus tard la création du moteur diesel à injection directe. L'un de ces moteurs est le moteur CRDI qui a sa spécificité en ayant une rampe commune. Généralement différencié que par les sigles, les moteurs Diesels d'aujourd'hui sont dans la plupart munis de ce système à rampe commune. Face à ces situations, une question se pose, l'application des systèmes de rampe commune est-elle favorable pour les moteurs diesel à injection directe ?

C'est dans cette optique que se situe la présente recherche intitulée : « étude du fonctionnement des systèmes d'injections d'un moteur à rampe commune ». Pour mieux comprendre ce thème et pour une bonne compréhension de l'exposé ; on a divisé ce travail en deux parties :

L'étude bibliographique qui consiste à voir quelques généralités sur les moteurs à combustion interne, les pompes à injections, les injecteurs et le calculateur.

L'étude expérimentale qui consiste à établir les systèmes de calculs pour déterminer le temps d'injection et le débit moyen de la pompe HP

PARTIE I. GENERALITES

Chapitre I : MOTEUR A COMBUSTION INTERNE (MCI)

Le moteur à combustion interne est une machine thermique qui convertit l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique, généralement sous forme d'un mouvement rotatif d'un arbre.

I-1- Historique

[2] Le principe du moteur à combustion interne a été énoncé par CARNOT en 1824. Plus tard plusieurs ingénieurs ont appliqué leurs efforts au développement de ce principe et à sa réalisation concrète. Grâce aux travaux de BEAU DE ROCHAS, d'OTTO et de RUDOLF DIESEL se rapportant à la période de 1876-1900 les grands perfectionnements du moteur à combustion interne ont été réalisée et ont permis les améliorations ultérieures qui le portent à ses performances actuelles.

La période contemporaine est caractérisée par le développement intense de nouvelles techniques dans les domaines des moteurs à piston rotatif et des turbomoteurs qui se distinguent par l'absence de pièces à mouvement alternatif et par leur grande vitesse de rotation. Malgré l'emploi encore limité de ces moteurs, les constructeurs leur attribuent un grand avenir.

I-2- Constitutions du mci

I-2-1- Le piston

[2] Il subit la pression de l'explosion (Figure 1).



Figure 1: Piston

I-2-2- Le vilebrequin

[2] Le vilebrequin reçoit l'effort transmis par la bielle et fournit un mouvement circulaire à la sortie du moteur (Figure 2).

1. Plateau support de volant moteur ;

2. Tourillon ;

3. Manetons ;

4. Contre poids d'équilibrage.

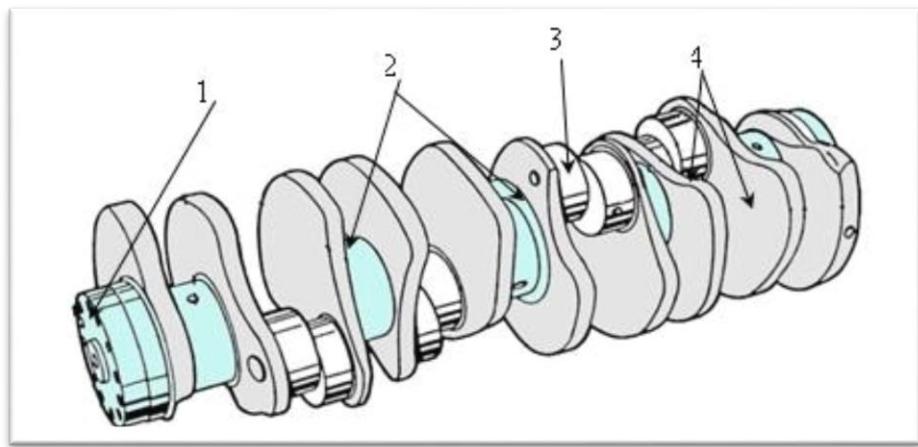


Figure 2: Le vilebrequin

I-2-3- Le volant moteur

[2] Il régularise le mouvement de rotation (Figure 3).

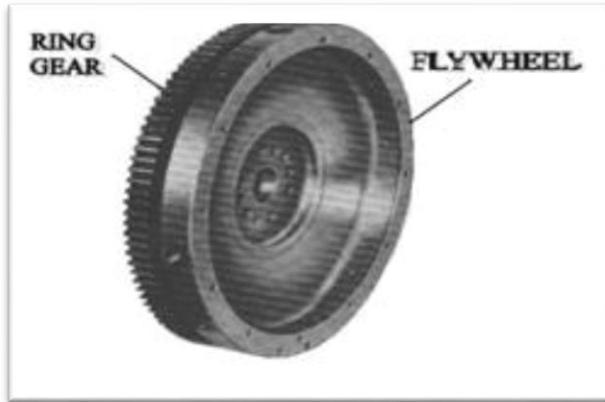


Figure 3: volant moteur

I-2-4- La bielle

[2] Liaison entre le piston et le vilebrequin, elle transforme la pression du piston en force sur Le vilebrequin (Figure 4).



Figure 4 : Le Bielle

I-2-5- Les soupapes

[2] Les soupapes sont en acier allié au nickel ou au nickel-chrome thermiquement tractées, pour résister à la chaleur et à l'usure les soupapes d'échappement travaillent dans les conditions particulièrement sévères, car leur rôle est d'évacuer les gaz à haute température (Figure 5).

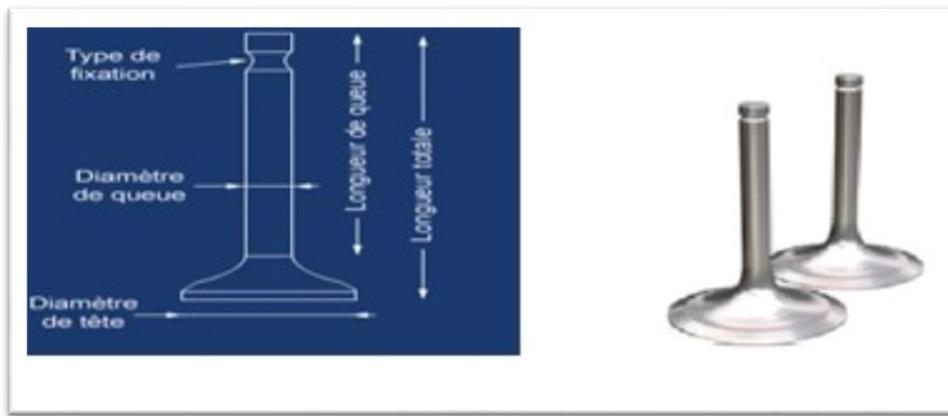


Figure 5 : Soupape

I-2-6- L'arbre à cames

[2] Réalisé en acier ou en fonte, l'arbre à cames est doté d'autant de cames que soupapes, sa liaison au vilebrequin est assurée par une chaîne ou courroie crantée. Le calage de la distribution est la synchronisation de l'arbre à cames et de l'arbre moteur (Figure 6).



Figure 6 : l'arbre à cames

I-3- Fonctionnement du mci

[2] Les moteurs à combustion interne sont des machines volumétriques dans lesquelles on réalise de façon cyclique une série de transformations physico-chimiques qui opèrent sur un système principalement en phase gazeuse et se traduisent globalement par la production d'un travail sur l'organe moteur. Le piston qui effectue dans le cylindre un mouvement alternatif dont la cinématique est imposé par le système bielle-manivelle auquel il est lié. Les positions extrêmes que peut atteindre le piston sont le point mort bas et le point mort.

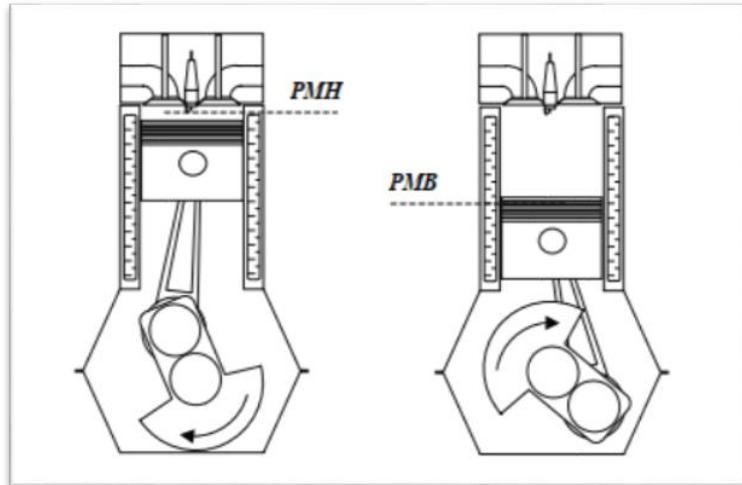


Figure 7 : PMH et PMB

Le cylindre est fermé à sa partie supérieure par un couvercle appelé culasse. Celle-ci porte l'élément destiné à provoquer la combustion au sein de la charge que contient le cylindre. Selon le cas, cette charge est constituée :

- D'un mélange gazeux d'air et de carburant léger, que l'on enflamme au moment voulu par l'étincelle électrique d'une bougie (figure. 8.a) le moteur est alors appelé à allumage commandé ou à allumage par étincelle qui en a développé la version à quatre temps. Le carburant léger utilisé peut être un gaz ou un liquide volatil.

- D'une dispersion de carburant lourd injecté dans l'air porté par compression à une température suffisante pour provoquer l'inflammation spontanée du mélange. La dispersion du carburant au moment souhaité pour l'allumage est assurée par un injecteur (figure 8.b), et le moteur est alors appelé à allumage spontané ou à allumage par compression.

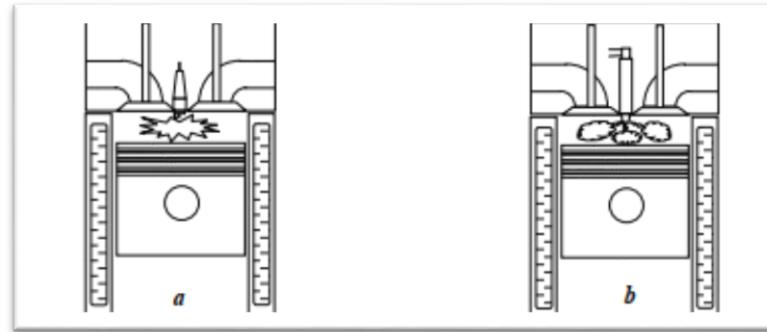


Figure 8 : Système de combustion (essence et diesel)

I-3-1- Cycle du moteur à quatre temps

[2] Le moteur essence et Diesel à quatre temps ont le même principe du cycle, c'est-à-dire, il y a l'admission au premier temps, compression au deuxième temps, l'injection, la détente, la combustion au troisième temps et enfin l'échappement.

Dans cet ouvrage, on s'intéresse sur le cycle du moteur Diesel. Le cycle est réalisé sur deux tours moteurs. La figure 9. D'écrit l'évolution du piston dans le cylindre pendant le cycle moteur, tandis que la figure 10. Montre l'évolution à la fois du volume de la chambre de combustion et de sa pression interne. Le cycle moteur se décompose comme suit, (le cycle commence avec le piston au PMH et les deux soupapes fermées) :

- Admission (1) : la soupape d'admission s'ouvre, le piston descend, augmentant le volume de la chambre de combustion pendant qu'elle se remplit d'air,
- Compression (2) : le piston est au point mort bas5, la soupape d'admission se ferme, le piston monte, diminuant le volume de la chambre de combustion et ainsi augmentant la pression de l'air,
- Injection, détente (3) : peu avant le point mort haut, le carburant est injecté dans l'air, la combustion se réalise, les gaz chauds repoussent le piston,

- Echappement (4) : la soupape d'échappement s'ouvre, et les gaz brûlés sont évacués, poussés par la remontée du piston. La commande d'ouverture et de fermeture des soupapes est mécanique et directement liée à la position du vilebrequin.

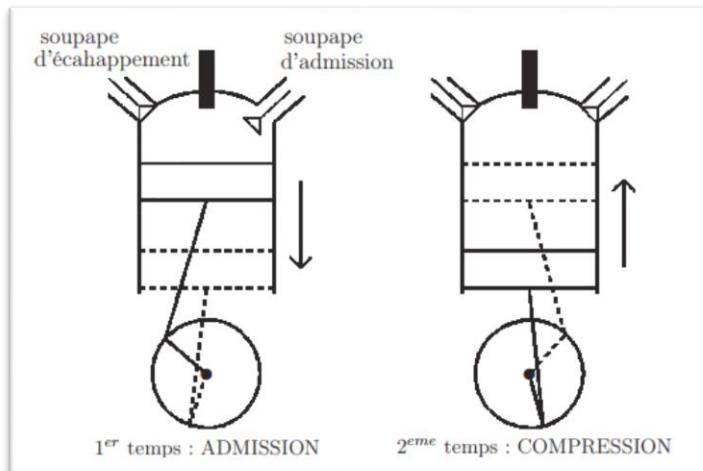
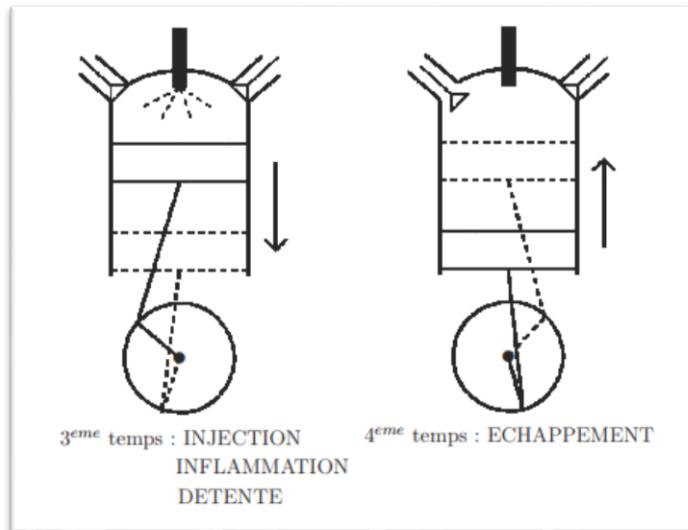


Figure 9 : Cycle moteur Diesel quatre temps

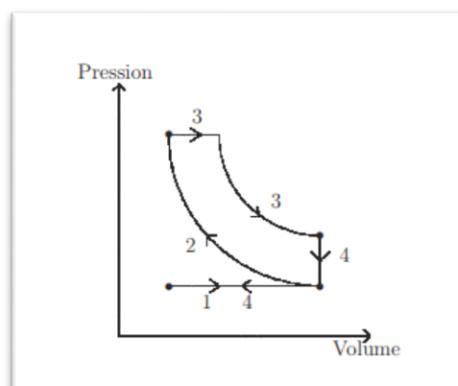


Figure 10 : Evolution de la pression et du volume de la chambre de combustion

I-3-2- Le turbocompresseur

[10] Pendant la phase d'admission, l'air est inspiré dans le cylindre par l'action du déplacement du piston. A faible régime, la pression de l'air en fin d'admission est donc à peu près égale à la pression atmosphérique et la masse d'air aspirée est optimale. Pourtant à plus haut régime, la masse d'air admise peut décroître jusqu'à 60% de sa valeur optimale : le débit d'air n'est pas suffisant pour remplir le cylindre dans le temps angulaire imparti. Ce manque d'air nuit à la combustion et dégrade le rendement du moteur. Pour y remédier, il faut introduire l'air à une pression supérieure à la pression atmosphérique. C'est le rôle du turbo compresseur. Le turbocompresseur est constitué de deux turbines dont l'une utilise les gaz d'échappement pour entraîner l'autre turbine qui comprime l'air vers le collecteur d'admission des gaz frais. C'est ce qu'on appelle la suralimentation.

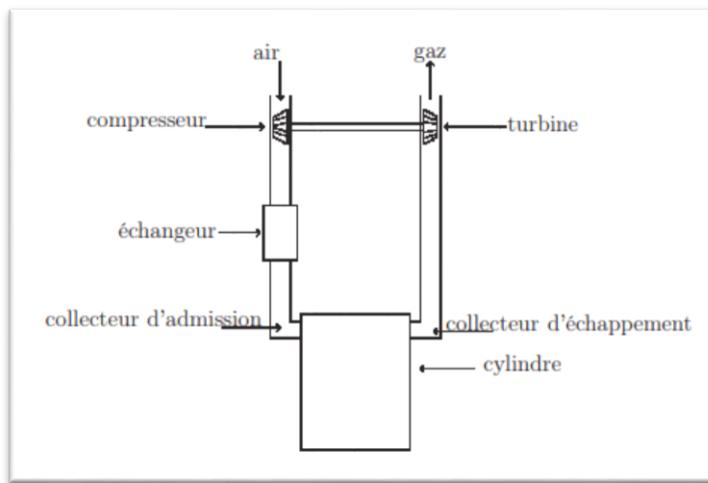


Figure 11 : Schéma de principe du turbo compresseur

I-4- Les différents types de moteur diesel

I-4-1- Les moteurs à injection indirecte

[4] L'application du moteur Diesel aux véhicules automobiles légers privilégie parfois le silence de fonctionnement au détriment d'une légère surconsommation. Pour satisfaire à ces conditions, les moteurs Diesel montés sur les voitures étaient, jusqu'à un passé récent, de type à chambre divisée (injection indirecte). Deux principes sont utilisés : les préchambres et les chambres de turbulence.

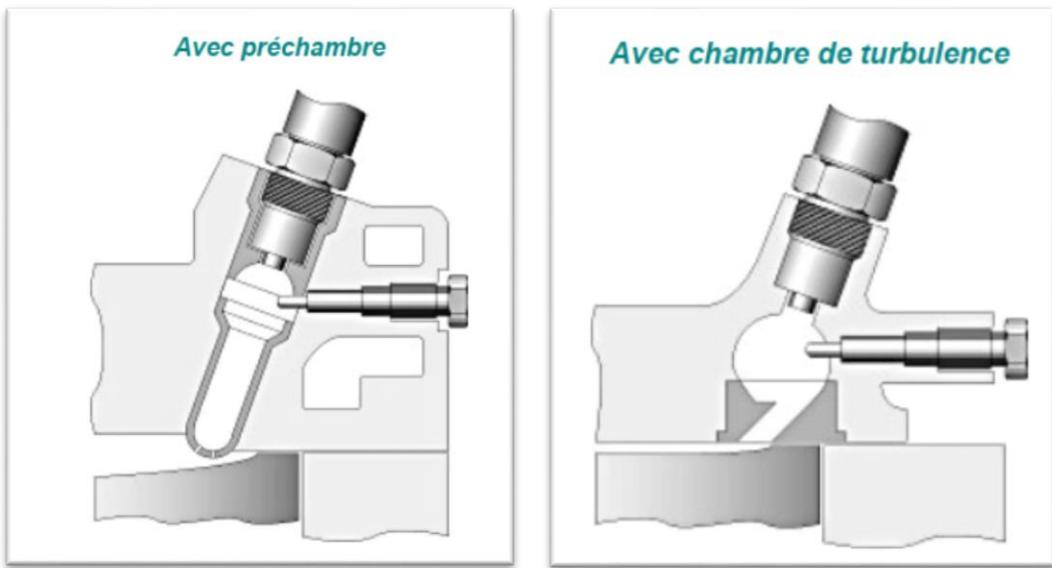


Figure 12: Injection avec préchambre et chambre de turbulence

Dans ces deux cas, la combustion se déroule dans deux volumes séparés : une chambre, représentant 30 à 60% du volume total, qui reçoit l'injection du carburant et où s'amorce la combustion, et une chambre principale dans laquelle elle s'achève.

L'injection du carburant dans ce petit volume relativement chaud permet de réduire le délai d'allumage du combustible. Seule la quantité minimum de combustible nécessaire à l'amorçage de la combustion s'enflamme, le reste se trouve chassé de la préchambre par l'augmentation de pression et la combustion se poursuit dans la chambre principale.

Les moteurs à injection indirecte remplissent les conditions requises pour son application à l'automobile, à savoir un relatif silence de fonctionnement et un faible taux d'émissions de NOx.

Le second choc pétrolier en 1973 et les normes de dépollution toujours plus sévères ont amené les constructeurs à repenser le moteur Diesel en termes d'économie et de faible pollution.

I-4-2- Les moteurs à injection directe

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

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

Ces deux paramètres diminuent les échanges thermiques entre la chambre de combustion et le système de refroidissement, facteurs de perte de rendement. Les problèmes liés à l'injection directe sont de deux ordres : bruits de combustion et émission d'oxyde d'azote (NOx).

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

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



Figure 13 : Injection direct

Chapitre II : LES POMPES D'INJECTION

II-1- Définitions

[1] Pièce hydraulique et mécanique permettant la circulation du carburant dans le moteur, elle pulse le carburant venant du réservoir vers les injecteurs.

II-2- Différents types de pompe

➤ La pompe à injection en ligne

[1] La pompe est composée :

- D'un carter en alliage d'aluminium. Il comporte des perçages permettant le raccordement du circuit d'alimentation et du circuit de retour,
- Des éléments de pompage, au même nombre que les cylindres à alimenter, et qui sont animés par un arbre à cames,
- Des sorties hautes pressions qui permettent le raccordement des tuyauteries,
- De l'ensemble de régulation qui ajuste le débit selon la vitesse et/ou de la charge.

Les éléments de pompage sont constitués :

- Dun arbre à cames et de poussoirs à galet qui assurent la mise en mouvement du piston,
- Du piston et sa chemise qui mettent le combustible en pression,
- Du ressort comprimé entre ces deux coupelles qui maintient le piston en pression,
- D'un couple de réglage crémaillère-pignon permettant le dosage du combustible,
- Du clapet de décharge qui maintient une pression dans le circuit.



Figure 14 : La pompe à injection en ligne

➤ La pompe à injection rotative

[1] Contrairement à la pompe d'injection en ligne, elle ne comporte qu'un seul élément de pompage, qui refoule le combustible dans une tête hydraulique munie d'autant de sorties que de cylindres à alimenter.

Toutes les pièces d'une pompe rotative sont enfermées dans un carter étanche et sont lubrifiées par le combustible.



Figure 15 : La pompe à injection rotatif

➤ **La pompe à haute pression**

[1] La pompe haute pression à rampe commune alimente un réservoir à haute pression permanente (1 600 à 2 000 bars) qui permet d'alimenter des injecteurs séquentiels de chaque cylindre.

Ce système permet une meilleures combustion grâce à l'injection d'un peu de carburant pour démarrer rapidement la combustion avant d'envoyer une rafale de jet de carburant qui s'enflamme spontanément et donne l'énergie nécessaire jusqu'en fin de la phase de combustion.



Figure 16 : La pompe à haute pression

Chapitre III : LES INJECTEURS

III-1- Définition

[1] En mécanique automobile, l'injecteur est un élément important du moteur. Il permet en effet l'apport en carburant vers la chambre de combustion. Cette pièce moteur se situe à l'entrée du cylindre ou dans la tubulure d'admission qui pulvérise ensuite le carburant. Les injecteurs sont fixés sur la culasse, ils sont soit maintenus par bride soit directement vissés. Afin d'assurer une combustion correcte, l'injecteur doit propulser dans le cylindre une quantité suffisante de carburant. Cette pièce moteur assure en même temps l'étanchéité par rapport à la chambre de combustion.

III-2- Les différents types de circuit d'injections

III-2-1- Injection classique

Dans le cas d'une injection standard, une pompe à injection est directement reliée à chacun des injecteurs. Cette pompe va alors envoyer sous pression du carburant à chacun d'entre eux. Un calculateur s'occupe ensuite de contrôler les injecteurs pour les ouvrir au bon moment. L'avantage est d'être assez fiable du fait de sa relative simplicité. Hélas, il rend le diesel un peu plus vibrant et bruyant en raison d'une combustion assez simpliste (on envoie du carburant au 3ème temps du moteur et puis c'est tout).

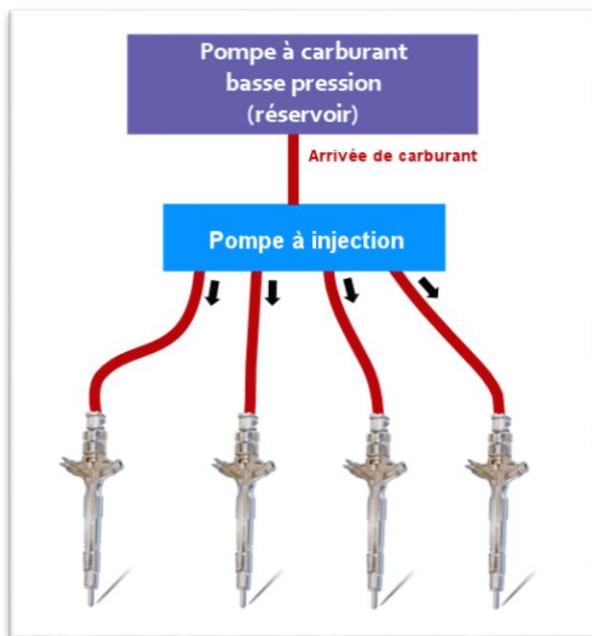


Figure 17 : Injection classique

III-2-2- Injection à rampe commune

Cette fois-ci, il y a une rampe commune entre la pompe à injection et les injecteurs. Cet accumulateur de carburant sous pression permet d'obtenir une pression d'injection plus élevée et uniforme sur tous les injecteurs. Ce surplus de pression permet alors une meilleure répartition du carburant dans les cylindres, c'est à dire un meilleur mélange air/carburant.

De plus, les moteurs sont un peu moins bruyants car il permet d'effectuer des pré-injections de carburant. En effet, les ingénieurs ont remarqué que le moteur claquait moins si on effectuait une infime injection de carburant avant le 3ème temps du moteur à 4 temps (certains font même jusqu'à 8 injections par cycle !), celui où l'on injecte le carburant pour l'explosion.

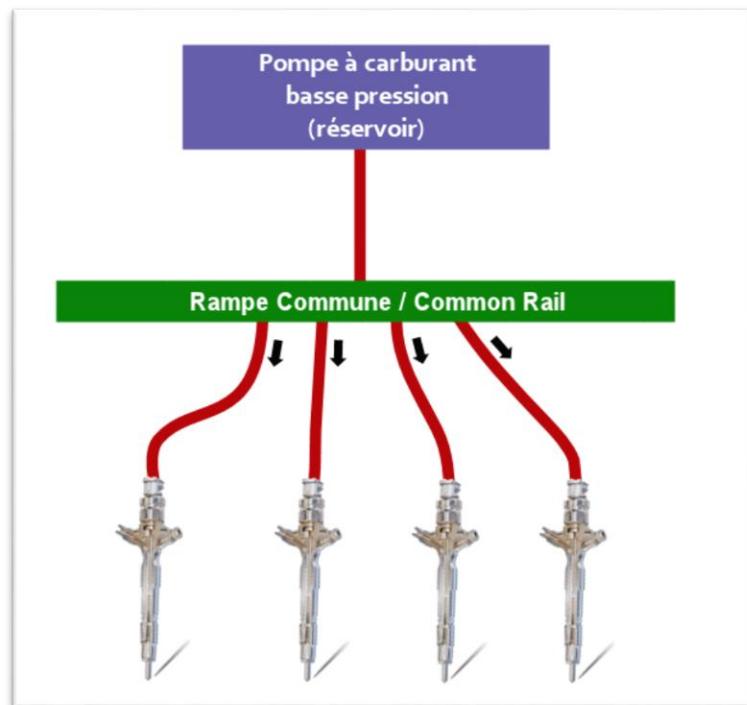


Figure 18 : Injection à rampe commune sans pompe HP

Sur les autos plus anciennes il n'y avait pas de haute pression. Il y avait donc une pompe à carburant / de gavage basse pression qui envoyait directement le carburant vers une rampe d'injection

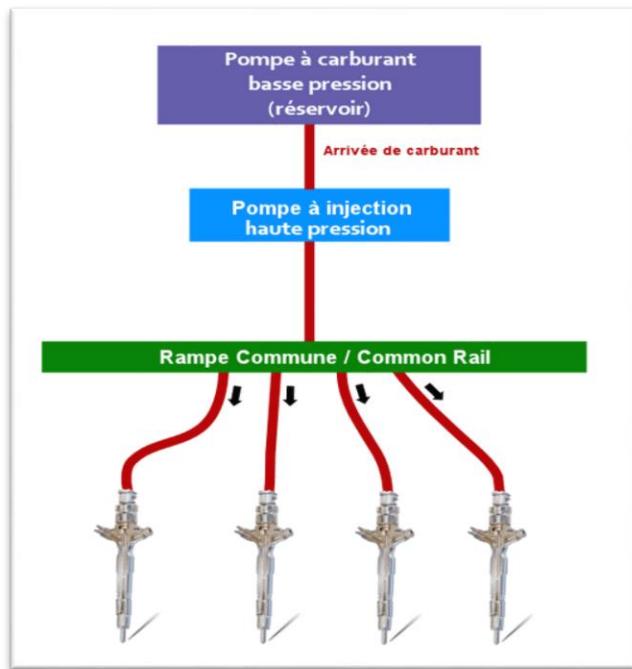


Figure 19 : Injection à rampe commune avec une pompe HP

III-2-3- Injecteur pompe

Inventé et utilisé par le groupe Volkswagen pendant des années, ce système d'injecteur pompe consiste à installer une petite pompe autonome sur chaque injecteur. Cela en lieu et place d'une pompe centrale. L'un des avantages fut de pouvoir avoir une injection à haute pression, plus importante qu'une injection classique. Hélas, la puissance arrivant trop rapidement, cela a quelque peu pénalisé l'aspect de l'agrément moteur.

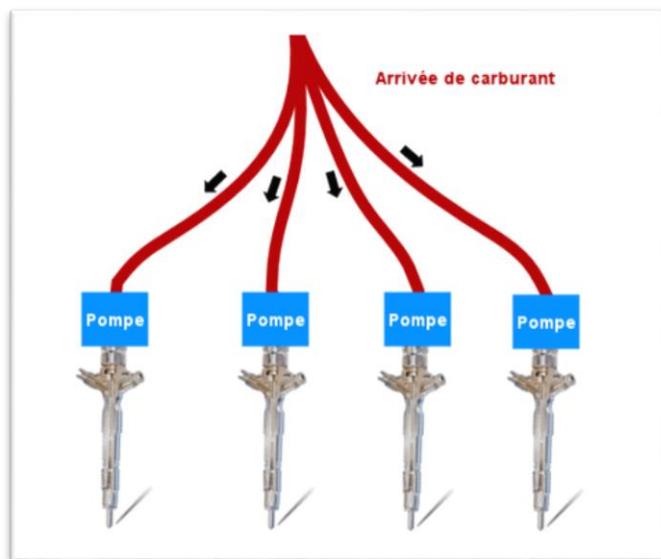


Figure 20 : Injecteur pompe

Chapitre IV : LE CALCULATEUR

IV-1- Description du calculateur

[4] Il prend diverses formes suivant sa fonction :

- La plupart du temps, il s'agit d'un boîtier d'une quinzaine de centimètres de côté supportant des broches électriques dotées d'un nombre de voies (arrivée d'un filtre électrique) variable ;
- Mais il peut aussi être intégré avec son actionneur et prendra plutôt l'appellation de module ou combiné (gestion des instruments de bord) ;
- À l'intérieur de ce calculateur, se trouve le cerveau, composé de circuits imprimés et autres composants électroniques (transistors, résistances, cartes mémoire, diodes, circuits intégrés...).

IV-2- Fonctionnement du calculateur de voiture

- En automobile, les calculateurs gèrent chacun leur système, mais échangent aussi des informations et peuvent interagir.
 - Le calculateur du moteur aura besoin de l'information de vitesse des roues du système antibloquage de freins, ou pourra agir sur la commande du compresseur de climatisation (lors de la demande du conducteur d'une accélération soudaine).
 - Pour cela, les calculateurs communiquent entre eux par des « langages » différents suivant le type de fonction (gestion du moteur, confort, sécurité active et passive...), qui s'appellent des réseaux multiplexés.
 - Les réseaux se diffèrent entre eux par leur mode de communication ou protocole (système CAN, LIN ou MOST, etc.), et par leur vitesse d'exécution, ou débit, en kbits/s (le réseau « confort » aura besoin de moins de vitesse que le réseau « sécurité active »).

- La figure suivante montre le schéma de la commande de calculateur du moteur

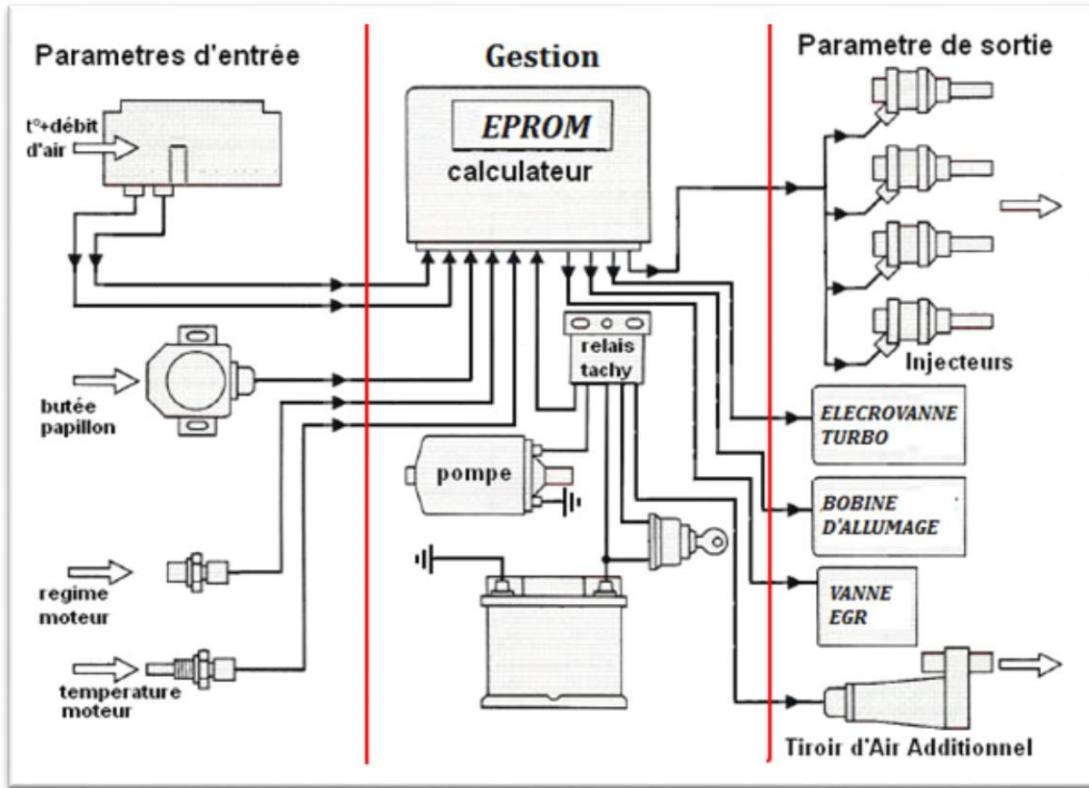


Figure 21 : Schéma du circuit de commande de calculateur

IV-3- Rôle du calculateur

[4] Le calculateur est l'élément central d'un ensemble dénommé « système embarqué ». Plusieurs systèmes embarqués gèrent électroniquement les différentes fonctions intégrées dans le véhicule :

- Gestion du moteur (allumage, injection...) ;
- Transmission (embrayage, boîte, pont...) ;
- Sécurité active (anti patinage, correction de trajectoire...) ;
- Sécurité passive (airbag, ceintures...) ;
- Confort (climatisation, commande des sièges...).

Remarque : quel que soit le système, le fonctionnement du calculateur est toujours le même : il gère une fonction par l'intermédiaire d'actionneurs, après avoir reçu des informations par les capteurs.

IV-3-1- Capteurs

Ils transforment une information de grandeur physique en un signal électrique envoyé au calculateur.

Voici quelques exemples :

Tableau 1 : Les capteurs

Information de grandeur physique	Signaux électriques
Température \Rightarrow	Sonde de température
Position / Vitesse \Rightarrow	Capteur PMH
Débit d'air \Rightarrow	Débitmètre
Pression \Rightarrow	Capteur pression
Vibrations \Rightarrow	Capteur cliquetis
Angle \Rightarrow	Capteur gyroscopique
Taux d'oxygène \Rightarrow	Sonde lambda
Taux d'humidité \Rightarrow	Capteur de pluie
Lumière \Rightarrow	Capteur de luminosité

IV-3-2- Actionneurs

Ils reçoivent une impulsion électrique du calculateur pour adapter les paramètres du système.

Voici quelques exemples :

Tableau 2 : Les actionneurs

Paramètre	Actionneurs (ou actuateurs)
Temps d'injection \leq	Injecteur
Étincelle de combustion \leq	Bobine d'allumage
Suppression NOx (oxyde d'azote) \leq	Vanne EGR
Pression turbo \leq	Électrovanne turbo
Production de froid \leq	Compresseur climatisation
Verrouillage des portières \leq	Actionneur de porte
Mouvement des vitres \leq	Moteur lève-vitre

PARTIE II. ETUDE EXPERIMENTAL

Chapitre I : SYSTÈME D'INJECTION DIESEL A RAMPE COMMUNE

I-1- Fonctionnement du système

[5] La fonction du système Common Rail est d'injecter une quantité précise de carburant indépendante pour chaque cylindre. La commande électronique de l'injecteur permet

de réaliser des injections pouvant se décomposer en plusieurs petites injections, ce qui améliore la qualité de la combustion et diminue les émissions polluantes. Le carburant est directement injecté dans le cylindre, il ne passe pas par une pré-chambre de combustion comme c'est le cas pour l'injection indirecte. Pour que la combustion se réalise correctement le carburant est pulvérisé à très haute pression créant de fines particules. La pression d'injection peut varier, selon le point de fonctionnement du moteur, entre 200 et 1800 bar. Le carburant est stocké et pressurisé dans une rampe commune à laquelle chaque injecteur est relié par l'intermédiaire d'un tube.

Dans ces tableaux et le schéma ci-dessous, montrent le circuit de carburant et les éléments du système d'injection Common rail.

CIRCUIT DE CARBURANT

Tableau 3 : Légende du schéma de circuit du carburant

Repère	Désignation
54	Injecteurs (commande électrique)
53	Rampe d'injection haute pression carburant
55	Sonde de température carburant
56	Capteur haute pression carburant
57	Refroidisseur de carburant
58	Pompe de gavage (basse pression)
47	Réservoir à carburant
49	Filtre à carburant + décanteur d'eau + régulateur de basse pression
48	Réchauffeur de carburant
51	Pompe haute pression carburant
50	Régulateur haute pression carburant (sur pompe haute pression)
52	Désactivateur du 3 ^{ème} piston de pompe haute pression

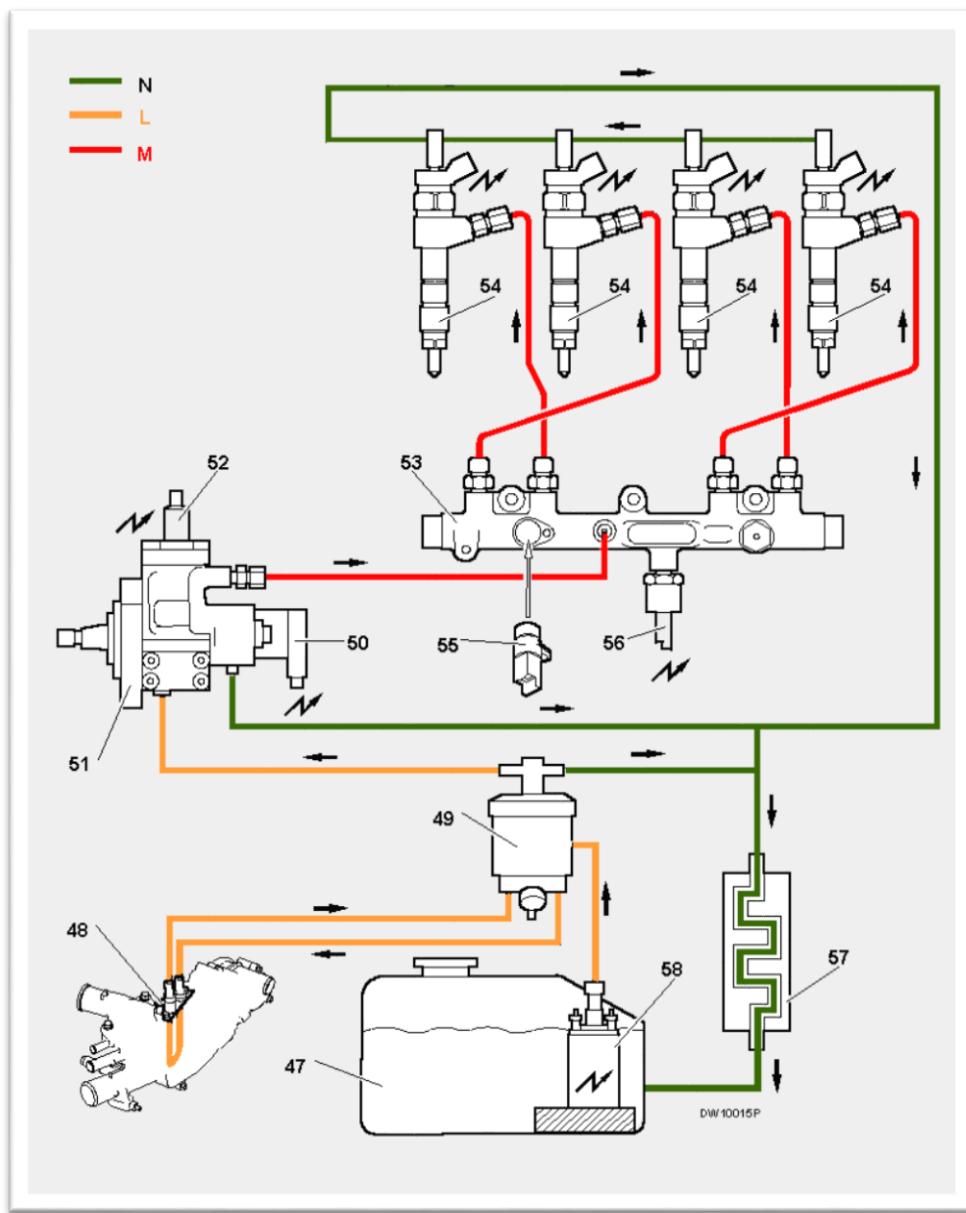


Figure 22 : Circuit du carburant

La figure 22 montre le circuit de carburant en représentant le système d'injection Common rail. Ce système est composé d'une pompe à haute pression (51) qui assure le transfert de carburant vers le rail (53) (ou le rampe d'injection haute pression carburant). Elle fournit la haute pression carburant (entre 200 et 1350 bars), la pression est contrôlée par le régulateur (50). Ce régulateur de pression permet de doser la quantité de carburant à introduire dans le rail.

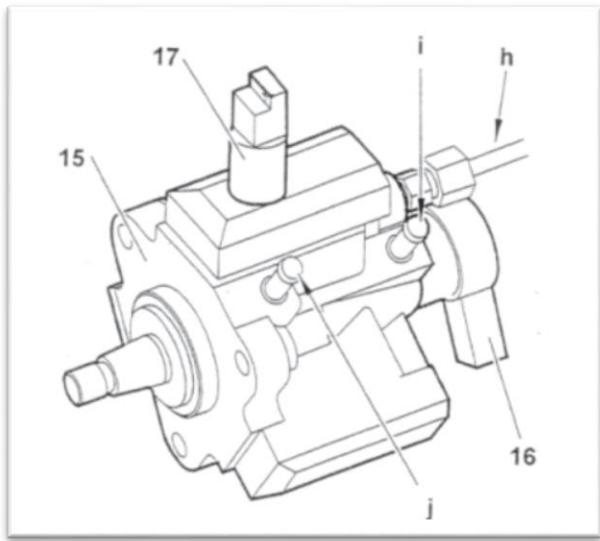
Il comprend deux circuits de contrôle pression, circuit mécanique et circuit électrique, celui-ci sont commandé par le calculateur en fonction de la pression lue par le capteur et de la demande de pression c'est-à-dire pour augmenter la pression du carburant, le calculateur augmente le débit de régulateur et vice versa. Le carburant non utilisé retourne au réservoir (au travers du refroidisseur de carburant) (47).

Les éléments qui forment le système sont la pompe à haute pression, le régulateur, la rampe et l'injecteur. Chacun d'entre eux est décrit ci-dessous afin d'en comprendre le principe de fonctionnement et le rôle.

I-2- Pompe à Haute Pression (HP)

[5] Il existe plusieurs types de pompe hydraulique, mais la différence entre eux c'est le gain en pression. Le choix de cette pompe dépend de la performance et les avantages. Donc, pour ce système d'injection diesel à rampe commun, la pression de la rampe est très importante. De ce fait, celle-ci nécessite une pression très élevée pour augmenter le débit du carburant afin qu'il puisse le transférer dans la rampe. Dans cet ouvrage, on prend comme exemple d'une pompe HP, la pompe à 3 pistons de BOSCH type CP1.

I-2-1- Description de la pompe HP



- h** - sortie haute pression carburant (vers la rampe haute pression carburant)
- i** - retour réservoir carburant
- j** - alimentation carburant,
- 15** - pompe haute pression carburant,
- 16** - régulateur haute pression carburant,
- 17** - désactivateur du 3^{ème} piston de pompe haute pression carburant.
- 2 - Clapet de lubrification
- 3 - Arbre de pompe à excentrique
- 4 - Piston haute pression

Figure 23 : Pompe à HP

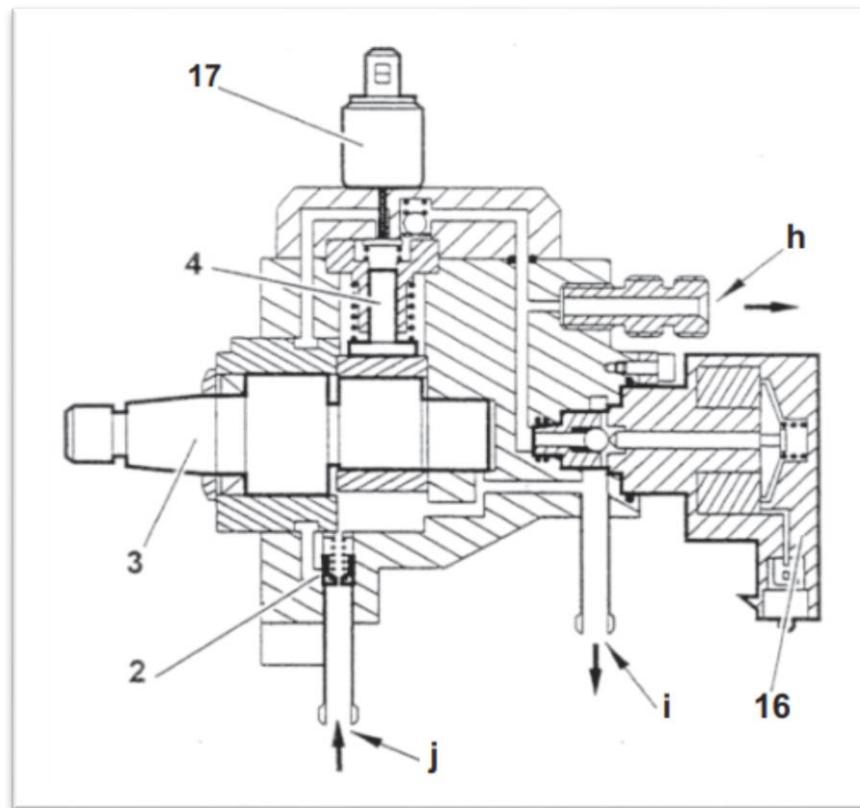


Figure 24 : Coupe de la pompe HP

La pompe haute pression carburant :

- Fourni la haute pression carburant (entre 200 et 1350 bars), la pression est contrôlée par le régulateur (16).
- Alimente les injecteurs à travers la rampe d'injection haute pression qui est entraînée par la courroie de distribution (rapport d'entrainement 0,5).
- Le carburant non utilisé retourne au réservoir (h) (au travers du refroidisseur de carburant).

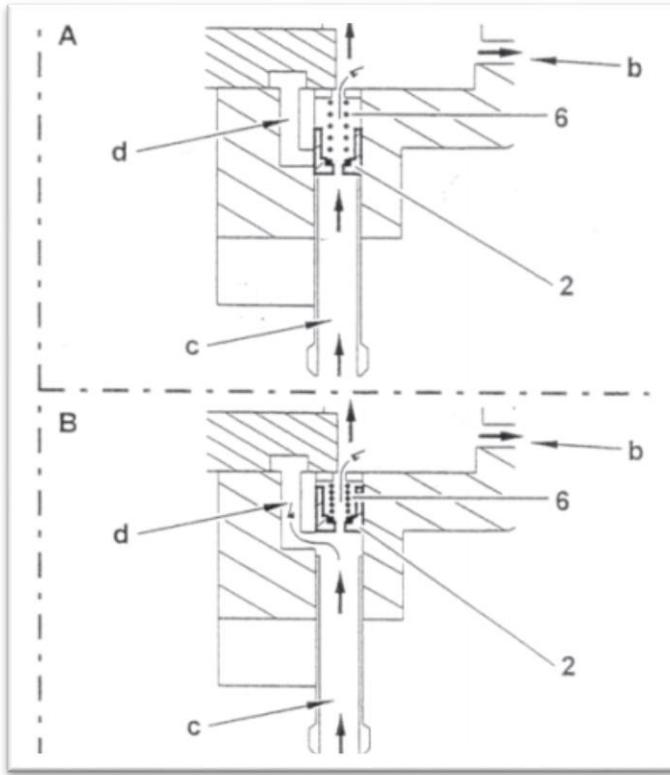
Les éléments rapportés sur la pompe haute pression carburant :

- Régulateur haute pression carburant (16)
- Désactivateur du 3^{ème} piston de pompe haute pression carburant (17)

I-2-2- Clapet de lubrification de la pompe

Le Clapet de lubrification permet d'assurer le graissage de la pompe haute pression carburant dans le cas où la pression de gavage est trop faible.

Légende :



- b.** retour au réservoir
- c.** entrée carburant de la pompe de gavage
- d.** vers l'étage haut pression
- 2.** clapet de lubrification
- 6.** ressort de rappel
- A.** différence entre la pression de gavage et la pression du circuit de retour inférieur à 0,8 bars.
- B.** différence entre la pression de gavage et la pression du circuit de retour supérieur à 0,8 bars.

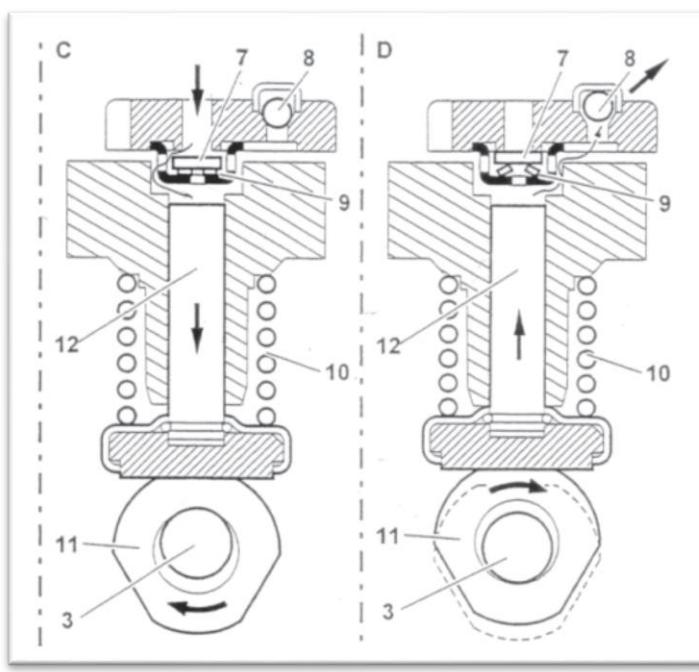
Figure 25 : Clapet de lubrification de la pompe

Le carburant entre dans la pompe par l'entrée (c) et traverse le clapet de lubrification (2).

Quand la différence entre la pression de gavage et la pression du circuit de retour est inférieur à 0,8 bars (A), la pression de carburant est insuffisante pour repousser le clapet (2), alors le carburant traverse le clapet. (Percé d'un ajutage). D'où le carburant entrer lubrifie et refroidie la pompe haute pression.

Si La différence entre la pression de gavage et la pression du circuit de retour est supérieur à 0,8 bar (B), le carburant repousse le clapet (2), et cela permettant la lubrification traverse le clapet. Ensuite, il est distribué vers l'étage haut pression (d) de la pompe.

I-2-3- Création de la haute pression



Légende :

- 3. arbre de pompe à excentrique
- 7. clapet dadmission de carburant
- 8. clapet de refoulement à bille
- 9. ressort de rappel, clapet daspiration
- 10. ressort de rappel du piston haute
- Pression.
- 11. came dentrainement
- 12. piston haute pression

C. Phase aspiration.

Figure 26 : Système du pompage de la pompe HP

[5] La création de la haute pression comporte deux phases, la phase daspiration et la phase de refoulement. Larbre de pompe à excentrique est tourne et puis il transfert lnergie rotatif en énergie transversal du piston grâce à la came dentrainement. De sorte que les pistons dinjection sont alimentés en carburant par le circuit basse pression interne à la pompe. Le carburant est aspiré par le piston durant la phase dadmission.

Admission (C) :

- La pompe de gavage débite le carburant au travers du clapet dadmission (7).
- Le ressort de rappel repousse le piston sur la came.
- Le piston crée une dépression dans la chemise.

Refoulement (D) :

- Point mort bas dépassé.
- Laugmentation de pression de carburant provoque la fermeture du clapet daspiration. (Environ 1 bar).
- Le carburant est bloqué dans la chambre.

- La came de la pompe haute pression pousse le piston.
- La pression de carburant augmente.
- Le clapet de refoulement (8) s'ouvre.

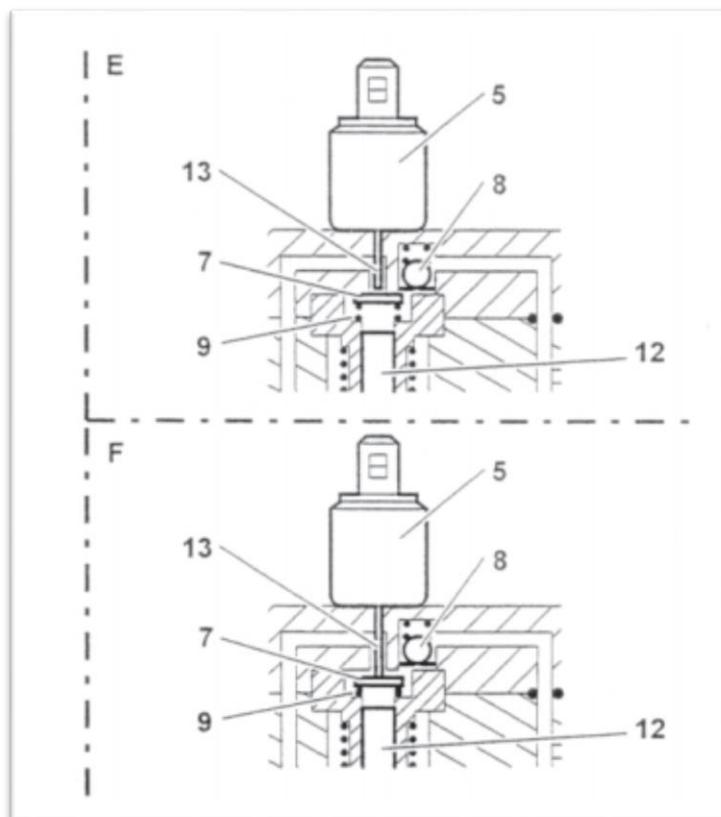
Après le point mort haut, le clapet de refoulement se ferme suite à la baisse de pression.

I-2-4- Désactivateur du 3ème piston de pompe haute pression carburant

Le désactivateur du 3^{ème} piston sert à diminuer la puissance développée par la pompe haute pression carburant en cas d'utilisation du véhicule en faible charge et limiter rapidement la haute pression en cas d'incident.

Pendant la commande de cet élément le volume de carburant refoulé diminue permettant :

- Une réduction de la puissance absorbée par la pompe haute pression carburant,
- Une limitation de l'échauffement du carburant (moins de laminage).



Légende :

- 5 - désactivateur du 3^{ème} piston de la pompe haute pression carburant
- 7 - clapet d'admission de carburant
- 8 - clapet de refoulement
- 9 - ressort de rappel, clapet d'aspiration
- 12 - piston haute pression
- 13 - tige poussée
- E - Utilisation des trois pistons.
- F - Utilisation de deux pistons.

Figure 27 : Désactivateur du 3^{ème} piston de pompe HP

I-3- Régulateur haute pression carburant

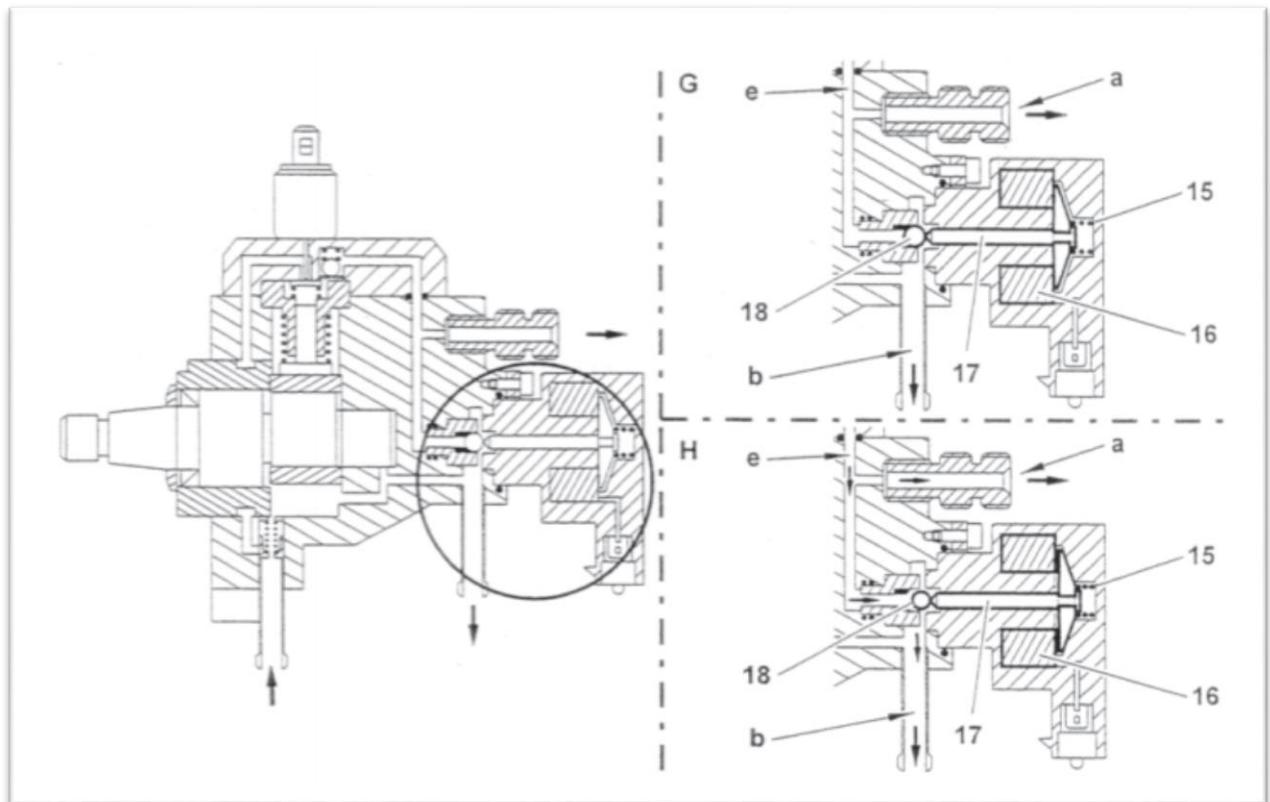


Figure 28 : Régulateur haute pression carburant

Légende :

15. ressort a. sortie haute pression carburant

16. bobine électrique b. retour au réservoir

17. noyau magnétique e. circuit haute pression

18. bille

G. régulateur non alimenté H. Régulateur alimenté.

Le régulateur est un système électromécanique qui est piloté par un signal électrique venant du calculateur. Il est équipé d'une bille en contact avec une masse celle-ci est soumise à une force magnétique créée par une bobine et une force mécanique créée par le ressort. Cette force magnétique est commandée en fonction de la pression nécessaire dans la rampe. Plus on aura besoin de pression, plus le calculateur alimentera les enroulements et plus il y aura de force au niveau de la bille.

Quand on veut la plus faible pression possible le calculateur arrête d'alimenter les enroulements et la force au niveau de la bille est faible.

[7] Voyons sur la figure ci-contre la présentation simple du régulateur.

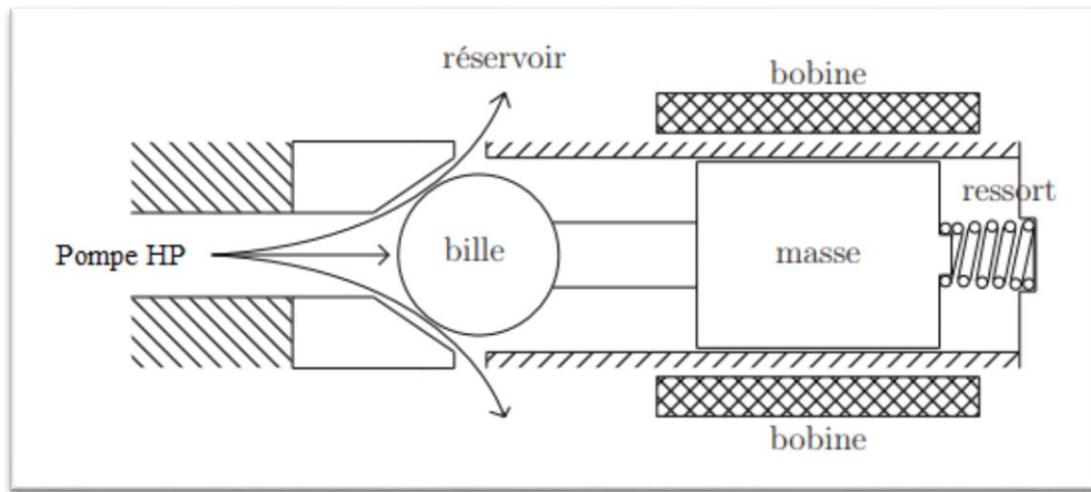


Figure 29 : Présentation simple du régulateur de débit

Ce fluide dépend principalement de la section de passage créée par le régulateur. La taille de la section est déterminée par le positionnement d'une bille par rapport à son assise conique comme présenté dans la figure 29. D'autres paramètres interviennent sur la valeur du débit comme par exemple la masse volumique du carburant.

La bille est soumise à plusieurs forces qui contribuent à son positionnement. Les différentes forces qui entrent en jeu dans la dynamique de ce système sont :

- La force électromécanique F_e , qui provient du courant traversant la bobine,
- La force mécanique F_m , qui provient du ressort,
- La force hydraulique F_h , qui provient de la pression du carburant dans le rail,
- La figure suivante montre la représentation de ces forces qui s'exerce sur la bille.

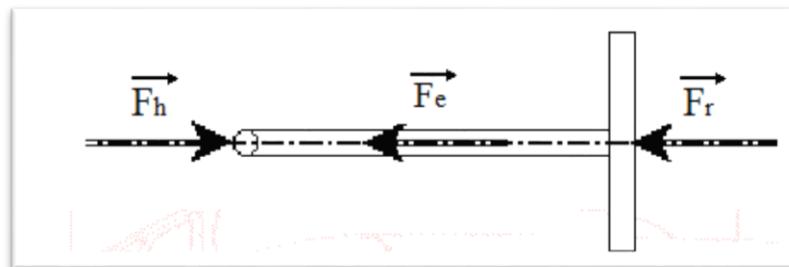


Figure 30 : Présentation des forces exercé par la Bille

I-3-1- Force Hydraulique

[6] Elle est due à la pression du rail qui vient s'appliquer sur la surface active de la bille. Son expression est la suivante :

$$F_h = S_a \cdot P_r$$

Avec F_h : Force hydraulique appliquée sur la bille [N]

P_r : Pression du rail [Pa]

S_a : Surface active de la bille où s'applique la pression [m^2]

Pour déterminer l'expression de la surface active, étudiant la structure mécanique du régulateur. Celle-ci est présentée par la figure suivant.

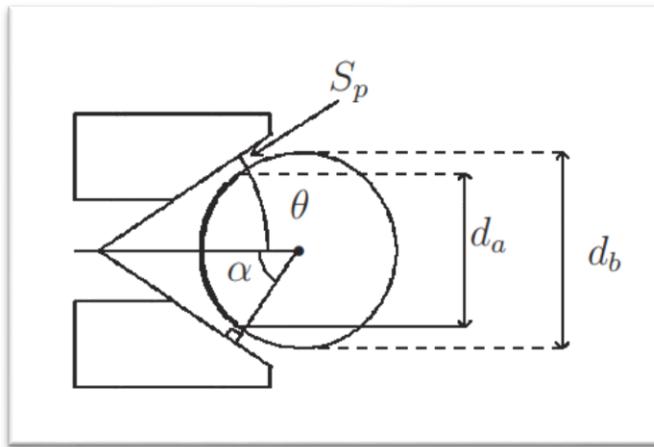


Figure 31 : Structure mécanique du régulateur

Avec θ est le demi-angle du cône de l'assise de la bille [rad],

d_b est le diamètre de la bille [m],

d_a est le diamètre actif de la bille [m],

S_p est la section de passage du fluide [m^2],

α est l'angle entre la droite passant par le centre de la bille et le segment le plus court partant du centre de la bille jusqu'au cône de l'assise [rad].

La surface S_a se calcule grâce au diamètre actif d_a . Ce diamètre est normalement fonction du déplacement de la bille. Or, compte tenu de l'ordre de grandeur de ce déplacement (quelques centièmes de millimètre), il peut s'écrire sous la forme d'une constante :

$$d_a = d_b \cdot \sin \alpha$$

Dans ce cas l'angle α est alors indépendant de la position et s'écrit :

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \theta$$

La surface active de la bille devient :

$$S_a = \frac{\pi}{4} \cdot d_a^2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

I-3-2- Force électromagnétique

La force électromagnétique s'exprime par

$$F_e = I_{\text{rég}} \cdot K_{\text{rég}}$$

Avec F_e : Force électromagnétique [N]

$I_{\text{rég}}$: Intensité de courant venant de la commande électrique [A]

$K_{\text{rég}}$: Gaine électromagnétique

I-3-3- Force du ressort

Le ressort applique une force opposée à celle de la pression et proportionnelle au déplacement de la bille. D'autre part, lorsque le régulateur est complètement fermé, le ressort est déjà comprimé et présente une force de pré charge. Alors la force s'exprime

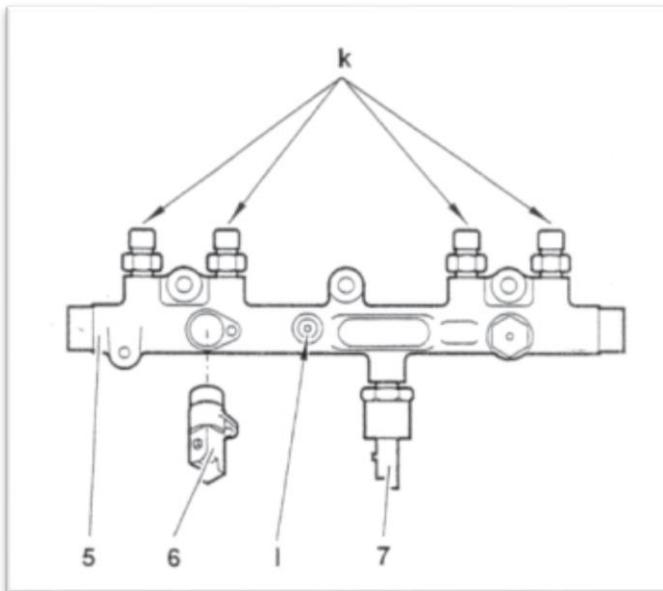
$$F_r = K_r \cdot x_r + F_0$$

Avec F_r : force créée par le ressort [N],

K_r : la raideur du ressort [N/m],

F_0 : la force de pré chargé [N].

I-4- Rampe d'injection haute pression carburant



Légende :

- k.** Sorties vers les injecteurs
- i.** Alimentation en haute pression carburant
- 5.** Rampe d'injection haute pression
- 6.** Sonde de température carburant
- 7.** Capteur haute pression carburant.

Figure 32 : Schéma d'une rampe

I-4-1- Présentation

Le rail sert à accumuler le carburant venant de la pompe à haute pression afin d'amortir la pulsation de l'injecteur dans la chambre de combustion. Il stocke le carburant et garde la haute pression de la rampe, ainsi le régulateur décharge le carburant vers le réservoir en cas de surcharge de la rampe. Dans ce cas, le rail fait la somme de ses débits entrants et sortants, et fait évoluer la pression en fonction de cette somme. Autrement dit, pour une somme positive des débits à un instant donné, la pression augmente et vice-versa.

De manière très simple, si le débit global (nous définissons le débit global comme la somme des débits, sachant qu'un débit rentrant dans le rail est considéré positif et un débit sortant est négatif) des trois éléments cités précédemment traversant le rail est positif (*i.e.* la pompe HP fournit plus de carburant que n'en consomment les injecteurs et le régulateur), il y a alors un apport de carburant dans le rail, accompagné d'une augmentation de pression. A l'opposé, un débit global négatif traversant le rail va diminuer la pression du carburant.

L'élévation de la pression est fonction de deux paramètres :

- Le volume du rail : plus il est grand, moins une même variation du débit global a d'effet sur la pression,
- Le coefficient de compressibilité du carburant : il est lui-même fonction de la pression du carburant (plus la pression est élevée, plus le coefficient est grand) et de la température.

Dans le cadre de notre étude pour le contrôle de la pression d'injection, le rail peut être vu comme un accumulateur avec un gain d'entrée variable, ce qui le définit comme un système non-linéaire.

I-4-2- Expression de l'évolution de la pression du rail

[6] Le rail réalise l'intégration du débit global, différence des débits entrants (*i.e.* pompe HP) et sortants (*i.e.* injecteurs et le régulateur). L'équation qui régit l'évolution de la pression au sein du rail est la suivante :

$$P_r = \frac{K(P_r, T)}{V} (Q_E - Q_S)$$

Avec

P_r : La pression du rail [Pa]

K : Le coefficient de compressibilité [Pa] qui dépend de la pression rail P_r et de la température T du carburant.

T : La température de carburant en [°C]

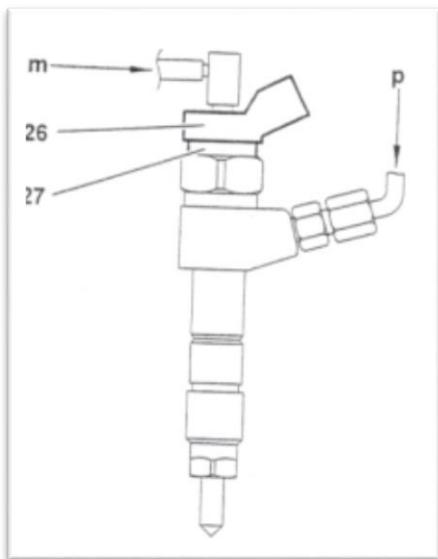
V : Le volume du rail et des tubes reliant les différents organes au rail [m³]

Q_E : Le débit instantané de la pompe (*i.e.* la somme des débits des plongeurs.)

Q_S : Le débit des injecteurs et du régulateur lorsque celle-ci est ouverte.

I-5- Les injecteurs

Il existe deux types d'injecteurs, injecteur à commande électromécanique et injecteur à commande piezzo électrique. Dans la suite des travaux, nous travaillerons uniquement avec l'injecteur électromécanique et ces derniers ont pour rôle d'injecter la quantité de carburant le carburant nécessaire au fonctionnement du moteur.



Légende :

- 26.** Connecteur de l'électrovanne de l'injecteur
- 27.** Electrovanne de commande de l'injecteur
- p.** Alimentation haute pression carburant (rampe d'injection)
- m.** Retour réservoir (circuit de retour)

Figure 33 : Injecteur électromécanique

Les injecteurs sont constitués de deux parties :

- Une partie commande électrique,
- Une partie pulvérisation de carburant.

Les injecteurs sont commandés électriquement par le calculateur d'injection. L'électrovanne de commande est située en partie supérieure de l'injecteur Diesel, elle est fixée sur le corps de l'injecteur par l'écrou (37) (dessin page suivante). Les injecteurs comportent plusieurs trous, favorisant ainsi la pulvérisation du mélange air/carburant. Ils sont adaptés à la version du moteur, par exemple : 5 trous de diamètre 0.16mm, (ou 5 x 0.2 mm ou 6 x 0.15 mm).

La quantité de carburant injectée dépend des paramètres suivants :

- De la durée du commande électrique (calculateur d'injection),
- De la vitesse d'ouverture de l'injecteur,
- Du débit hydraulique de l'injecteur (nombre et diamètre des trous),
- De la pression de carburant dans la rampe d'injection haute pression.

Le carburant peut être injecté dans les phases suivantes :

- La phase de pré-injection,
- La phase injection principale,

- La phase de post-injection.

L'injection est effectuée directement dans la tête du piston. Les injecteurs sont reliés entre eux par le circuit de retour.

I-5-1- Description de l'injecteur

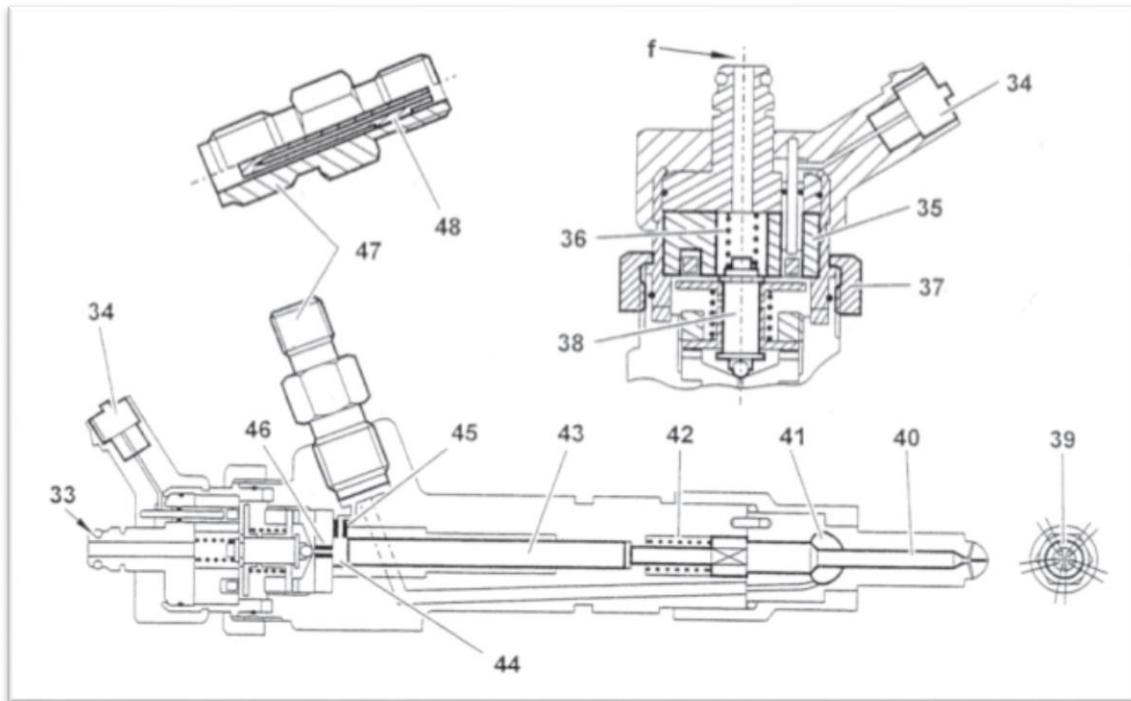


Figure 34 : Coupe de l'injecteur

Légende :

f. Retour réservoir	
34. Connecteur électrique de commande	35. Bobine de l'électrovanne de commande
36. Ressort de l'électrovanne de commande	37. Ecrou
38. Aiguille d'électrovanne de commande	39. Nez d'injecteur
40. Aiguille d'injecteur	41. Chambre de pression
42. Ressort d'injecteur	43. Piston de commande
44. Chambre de commande	45. Gicleur d'alimentation
46. Gicleur du circuit de retour	47. Raccord d'entrée haute pression
48. Filtre laminaire inclus dans le raccord.	

Les pressions de carburant utilisées dans le système interdisent la commande électrique directe des injecteurs. L'ouverture des injecteurs est obtenue par différence de pression entre la chambre de commande (44) et la chambre de pression (41).

L'aiguille d'injecteur (40) est plaquée sur son siège par le ressort (42). Il est surmonté par le piston de commande (43) (libre dans son alésage).

La tête du piston de commande (43) débouche dans la chambre de commande (44).

La chambre de commande est en liaison avec :

Le circuit haute pression carburant au travers du gicleur (45),

Le circuit de retour au réservoir par le gicleur (46).

La chambre de commande (44) est isolée du circuit de retour de carburant par l'aiguille de l'électrovanne et sa bille (38). L'aiguille de l'électrovanne est plaquée sur son siège par le ressort (36). Le carburant est réparti de façon identique entre les chambres (44) et (41). Le gicleur (46) est plus grand que le gicleur (45). L'aiguille de l'électrovanne se lève dès l'alimentation de la bobine de l'électrovanne (champ magnétique). Le filtre laminaire (48) ne nécessite pas d'entretien.

I-5-2- Principe de la levée d'un injecteur

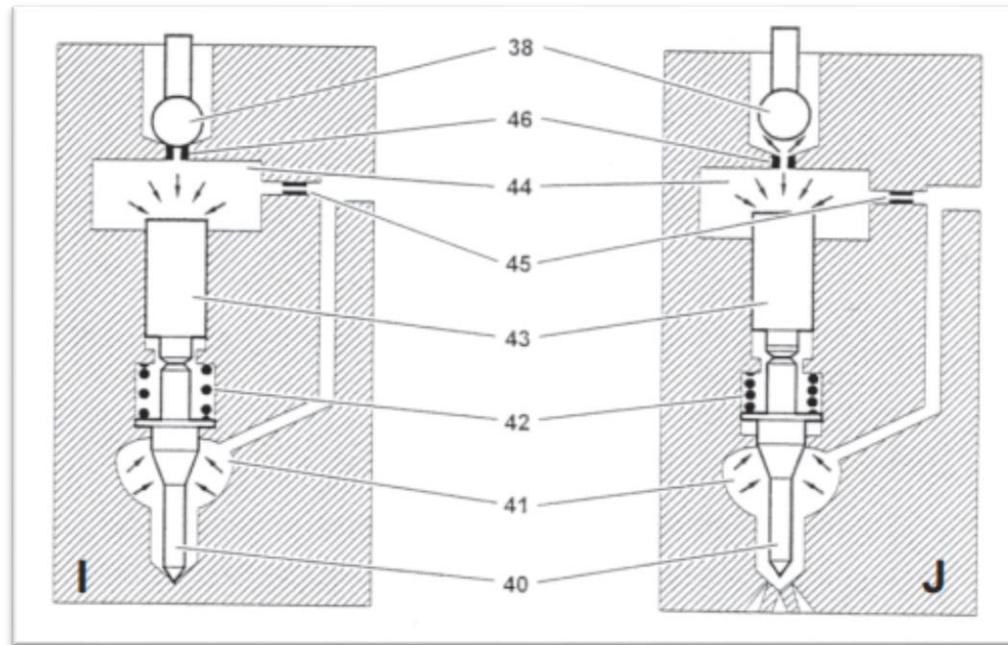


Figure 35 : La levée d'un injecteur

Légende :

- 38.** Aiguille et bille de l'électrovanne de commande
- 40.** Aiguille d'injecteur
- 41.** Chambre de pression
- 42.** Ressort d'injecteur
- 43.** Piston de commande
- 44.** Chambre de commande
- 45.** Gicleur d'alimentation
- 46.** Gicleur d'ouverture de l'injecteur
- I.** Injecteur fermé
- J.** Injecteur ouvert

➤ **Injecteur fermé**

L'effort exercé par la haute pression est identique entre la chambre de commande (44) et la chambre de pression (41). Le piston de commande est immobile (plaqué contre l'aiguille d'injecteur). L'aiguille d'injecteur (40) est plaquée sur son siège par le ressort (42). L'augmentation de pression dans la rampe haute pression carburant favorise la fermeture de l'injecteur.

➤ **Ouverture de l'injecteur**

Le calculateur d'injection alimente l'électrovanne de commande, l'aiguille de l'électrovanne (38) se lève :

Une fuite de carburant est créée au travers du gicleur (46),

- L'entrée de carburant par le gicleur (45) ne compense pas la fuite par le gicleur (46),
- L'équilibre des pressions entre les chambres (44) et (41) est rompu,
- La pression présente dans la chambre de pression (41) soulève l'aiguille d'injecteur,
- Le piston de commande (43) remonte,
- Le carburant est injecté (pulvérisé dans la tête du piston).

L'injection dure tant que l'électrovanne de l'injecteur est alimentée.

➤ Fermeture de l'injecteur

Le calculateur d'injection coupe l'alimentation de l'électrovanne de l'injecteur :

- Le ressort d'électrovanne plaque l'aiguille de l'électrovanne sur son siège,
- Le gicleur (46) est obturé,
- La fuite de carburant vers le circuit de retour cesse,
- La montée en pression dans la chambre de commande (44) et l'action du ressort (42) provoque la fermeture de l'injecteur.
- L'équilibre des pressions est retrouvé entre les chambres (44) et (41),

L'injecteur est prêt pour un nouveau cycle.

L'électrovanne s'ouvre complètement lors de chaque impulsion de commande (même pour un débit minimal). L'ouverture de l'injecteur dépend de la durée de la commande :

➤ Courte durée de commande de l'électrovanne :

- Le piston de commande présente une certaine inertie,
- L'aiguille de l'injecteur est seulement légèrement levée,
- La quantité de carburant injectée est faible,
- La pression d'injection est inférieure à la pression présente dans la rampe d'injection.

➤ Longue durée de commande de l'électrovanne :

- Le piston de commande et l'aiguille d'injecteur sont complètement levés,
- La quantité de carburant injectée est grande,
- La pression d'injection est égale à la pression présente dans la rampe d'injection.

Chapitre II : ETUDE DE LA POMPE ET DE L'INJECTEUR

II-1- Etude de la pompe HP

L'étude consiste à valider le comportement de la pompe en terme du débit instantané. Donc, étudiant d'abord la structure mécanique de la pompe et la modélisation.

II-2- Modélisation de la pompe

• Le corps de pompe 4

Il est considéré comme fixe et le repère $\mathfrak{R}_0(0, x_0, y_0, z_0)$ qui lui est associé est galiléen.

• L' arbre excentrique 1

Il est en liaison pivot d' axe (O, z_0) avec le corps 4.

Dans toute l' étude le taux de rotation de l' arbre excentrique 1 par rapport à 4, $\omega_{1/4}$ est constant :

• La bague à méplats 14

Son centre d' inertie G est aussi le centre de la liaison pivot de 14 avec 1. Sa masse est notée m_{14} . Elle possède trois méplats où les pistons P1, P2 et P3 sont en contact plan sur plan.

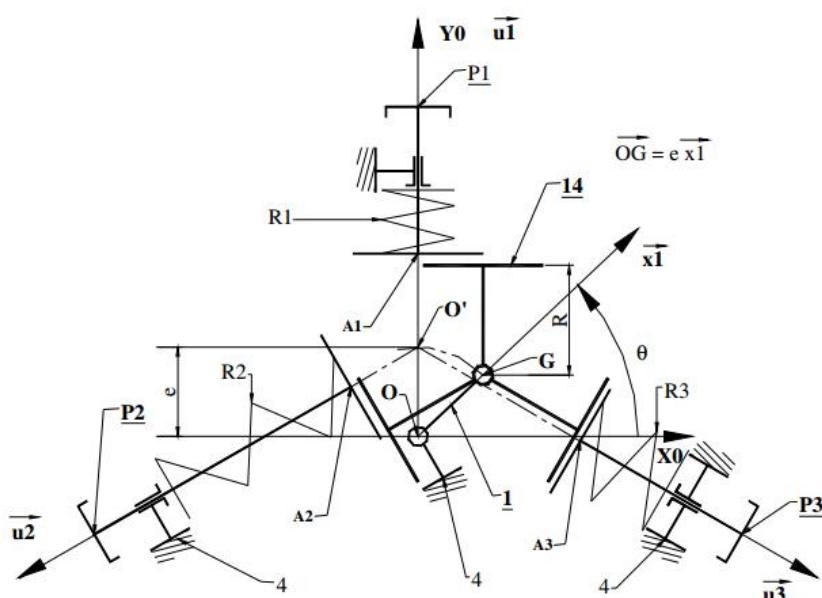
• Les pistons Pi (P1, P2, P3)

La position d' un piston Pi est repérée par $r_i(\theta) = r_i = O'A_i$. La section droite d' un piston en contact avec le gazole est notée S, sa masse m_p .

Un piston Pi est en contact plan sur plan sans frottement avec la bague à méplats 14.

• Les trois ressorts Ri

Les trois ressorts Ri sont identiques.



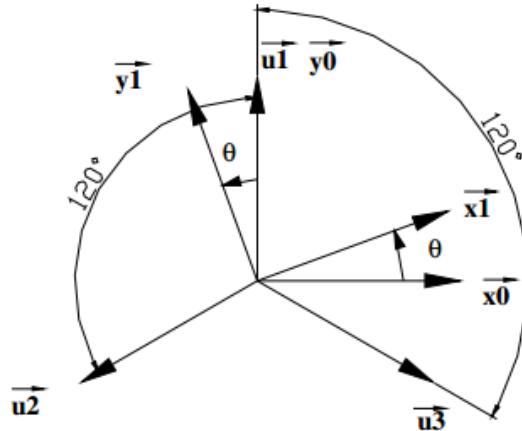


Figure 36 : Modélisation et paramétrage de la pompe haute pression

II-1-1- Expression du débit instantané

Pour trouver l'expression du débit instantané, prenant le piston P₁.

La position du r₁ du piston P₁ est égale à $r_1 = e(\sin \theta - 1) + R$

Donc on a l'expression du débit instantané q_{v1} du piston P₁ : $q_{v1} = S \cdot \frac{dr_1}{d\theta}$

Avec $r_1 = e(\sin \theta - 1) + R \Rightarrow q_{v1} = S \cdot e \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta$

On posant $K = S \cdot e \cdot \dot{\theta}$ donc on obtient $q_{v1} = K \cdot \cos \theta$ pour $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$

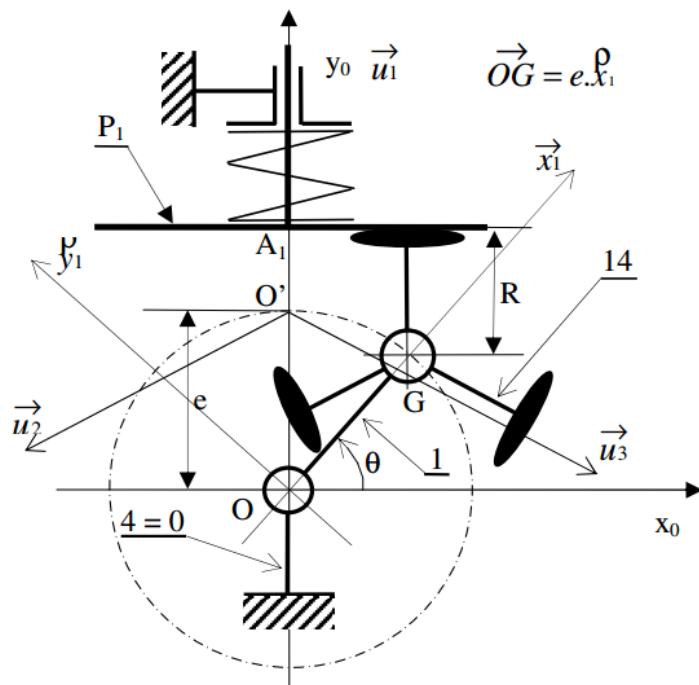


Figure 37 : structure mécanique pour le piston 1

Si on applique l'expression du débit instantané du piston P1 sur les deux autres pistons, on obtient une allure du courbe du débit instantané de la pompe

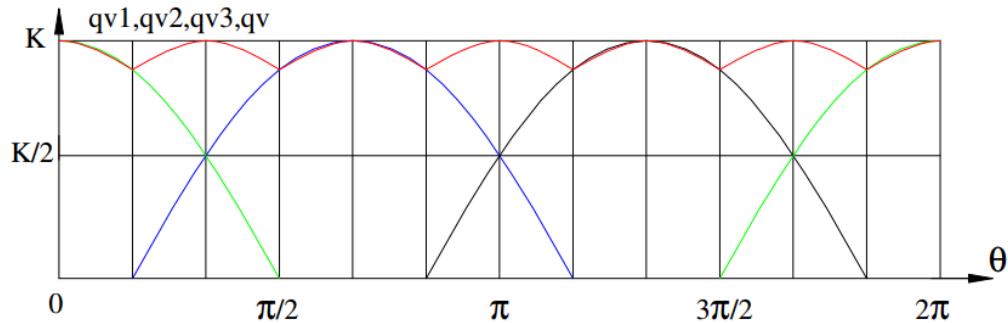


Figure 38 : Allure de la courbe du débit instantané pour une pompe à 3 pistons

A partir de cette courbe on remporte l'expression du débit moyen de la pompe

$$Q_{moyen} = Cylindré \times N$$

Avec $Cylindré = \frac{\pi d^2 3e}{2}$ pour les trois pistons et N est le régime du moteur [tr/min]

$$\Rightarrow Q_{moyen} = \frac{\pi d^2 3e}{2} \times N$$

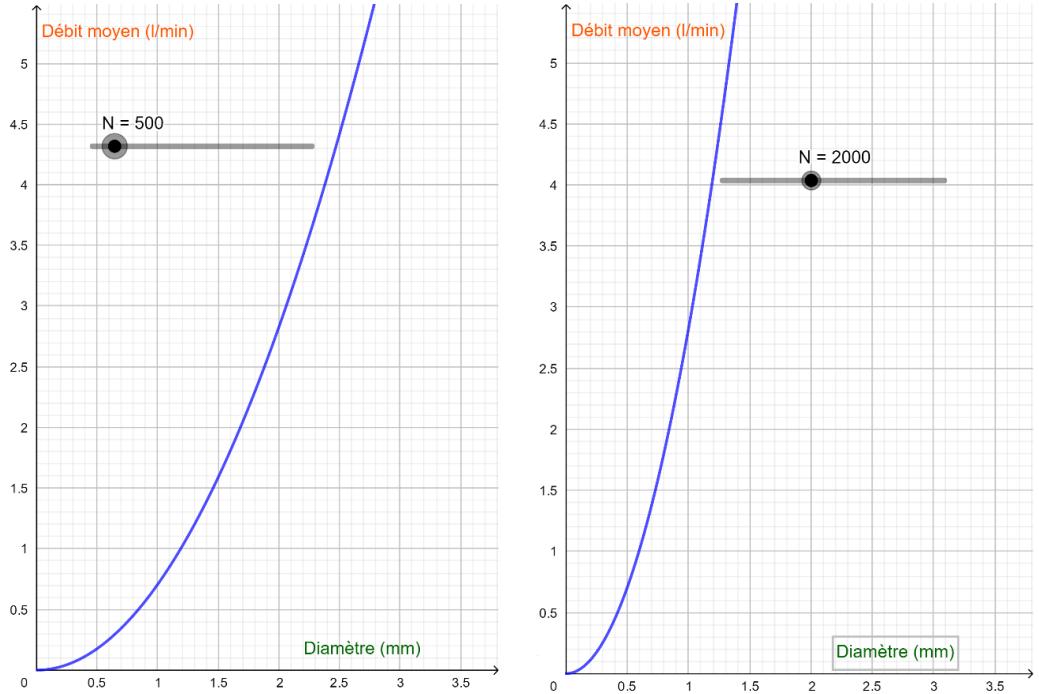
Où - e est l'excentration de l'arbre excentrique [mm]

- d est le diamètre du piston de la pompe. [mm]

II-1-2- Exemple d'étude de la pompe

On va étudier la variation du débit moyen en fonction du diamètre de piston d'une pompe à 3 pistons dont l'excentration e = 3mm et a un certain régime donné.

Résultat :



courbe 1 : $Q_v=f(d)$ à $N=500$ tr / min

courbe 2 : $Q_v=f(d)$ à $N=2000$ tr / min

En analysant les deux courbes, une petite variation du diamètre de piston correspond une variation exponentielle du débit refoulé par la pompe à trois pistons. Donc, il n'est pas nécessaire de prendre un alésage énorme.

On peut dire aussi, quand on augmente le régime du moteur, le débit du carburant sera élevé, et ne nécessitant pas forcément un grand diamètre du piston de pompage.

II-3- Etude de l'Injecteur

II-2-1- Temps d'injection

C'est l'intervalle de temps que fait l'injecteur pour pulvériser le carburant dans la chambre de combustion. Il est exprimé par la formule suivante :

$$T_{inj} = \frac{m_{inj}}{K_D \cdot S_{inj} \cdot \sqrt{2\rho(P_r - P_c)}} = \frac{m_{inj} \cdot 4}{K_D \cdot \pi \cdot \varnothing^2 \cdot \sqrt{2\rho(P_r - P_c)}}$$

Avec - K est le coefficient du débit [S. U]

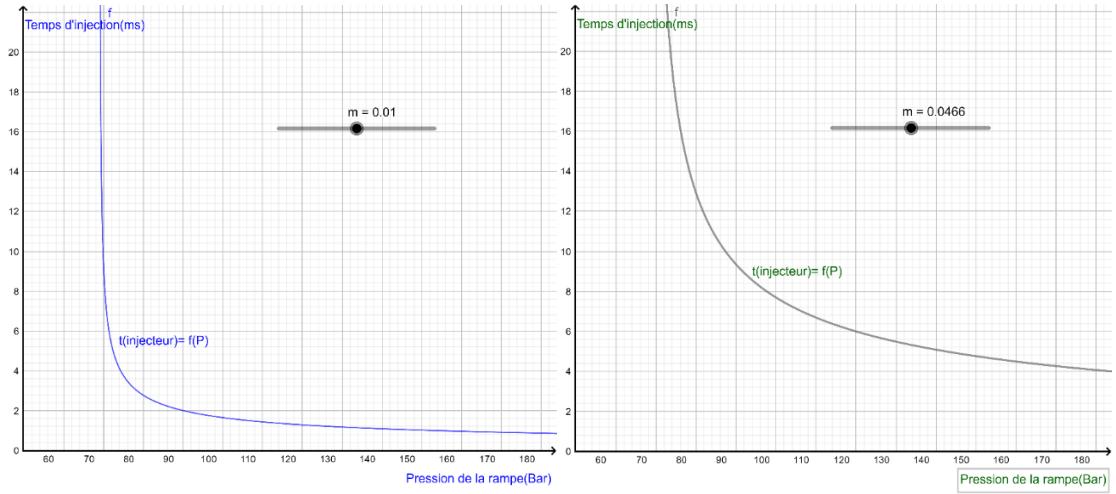
- S_{inj} est la section du nez d'injection. [m^2] et \varnothing est la diamètre du trou de l'injecteur
- m_{inj} : Masse du carburant injecté
- P_r Est la pression de la rampe
- P_c est la pression dans la chambre de combustion

II-2-2- Paramètre d'étude

On a pris le cas d'un injecteur à 6 trous de diamètre $\varnothing = 0,15$ mm et La pression P_c dans le cylindre reste constante pendant l'injection du gazole : $P_c = 73$ bars. Le coefficient du débit $K = 0,8$

A partir de cette formule, on varie le temps en fonction de la pression de la rampe et on prend m comme paramètre.

II-2-3- Résultat



courbe 3 : $T=f(P)$ à $m=0,001$

courbe 4: $T=f(P)$ à $m=0,0466$

En analysant la courbe, si la pression augmente, plus le temps d'ouverture de l'injecteur diminue, sachant que la masse de carburant injecté reste la même. Par conséquent, avec cette diminution de temps, l'usage de l'injecteur sera limité et aussi l'augmentation de la pression implique une bonne pulvérisation du carburant dans la chambre pour avoir meilleur combustion.

Par contre, si la pression de la rampe est inférieure à la pression dans le cylindre pendant l'injection, l'injecteur n'aura pas assez de pousser en carburant pour que ce dernier arrive dans la chambre de combustion.

II-4- Avantages et inconvénients du système

Les plus des injections directes à rampe commune sont :

- La combustion optimisée ;
- La gestion fine de l'émission de polluants ;
- Un meilleur rendement ;
- Des performances accrues ;
- Une consommation réduite.

Les points négatifs engendrés sont :

- La sophistication du système ;
- La présence accrue des particules et NOx ;
- Un diagnostic des pannes plus complexe.

CONCLUSION

Dans ce travail, on a pu voir quelques généralités à propos du moteur à combustion interne sachant que ce dernier a ses divers constituants et que le moteur à combustion interne a les mêmes principes de fonctionnement que pour les moteurs essences ou pour les moteurs diesel :

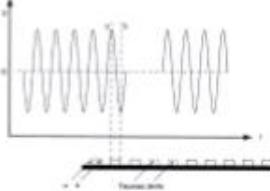
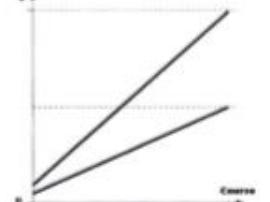
Aussi nous avons vu les différents types de circuits d'injections qui sont les systèmes d'injections classiques constituées d'une pompe à basse pression, une pompe d'injection qui va mener le carburant dans les injecteurs ; les systèmes d'injections à rampe commune qui a comme spécificité la présence d'une rampe commune et la présence d'une pompe injection à haute pression ou la présence des injecteurs pompes.

Et enfin, nous avons élaboré un système de calculs pour déterminer le temps d'injections et le débit moyen de la pompe HP pour arriver dans la rampe commune. Aussi nous avons cité quelques avantages et inconvénients du moteur à rampe commune et a déduit quelques remarques pour dire que l'application des rampes communes dans les nouvelles générations de moteurs Diesel peut engendrer certaines modifications sur le moteur notamment au niveau de sa performance.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- [1].www.Technologie/Moteurs thermiques/Moteur Diesel/Système d'injection
- [2].Professeur Joseph MARTIN « MOTEURS A COMBUSTION INTERNE » cours
MECCA édition 2004
- [3].Professeur M. Miard « INJECTION DIESEL Electronique ».
- [4].« L'injection Diesel haute pression à rampe commune » Association pour la formation automobile
- [5].www.google.com « Maquette pédagogique : Moteur diesel Common rail » EXXO Test – Notice d'utilisation MT-HH9000
- [6].Thèse de Boudi Frédéric « ETUDE DU SYSTEME D'INJECTION D'UN MOTEUR DIESEL A RAMPE D'INJECTION COMMUNE » thèse doctorat de l'école de technologie supérieure université du Québec le Mars 2008
- [7].Thèse de Christophe Gauthier. « Commande multi-variable de la pression d'injection dans un moteur diesel Common rail » Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2007.
- [8].Robert Bosh / Diesel systèmes « évolution technologie du système d'injection Common rail.
- [9].R. Gicquel, « Evolutions des performances des moteurs », Journée industrielle Moteurs à combustion de demain (2000).
- [10]. Thèse de Guillaume Graton. « Diagnostic des systèmes à l'aide d'observateurs à mémoire finie. » Application au Common Rail.. Automatique / Robotique. Université d'Orléans, 2005. Français.
- [11]. www.google.com « Système d'alimentation du moteur DW10 (Common rail et EGR) » Examen session 2015 CAPET

ANNEXES

Désignation	Schéma	Fonction	Signal
Capteur de régime et position moteur		Il peut être du type inductif ou à effet hall . Fixé au-dessus d'une couronne du volant moteur, il informe le calculateur de la vitesse de rotation du moteur et du PMH du 1 ^{er} cylindre	
Capteur de phase		Il est du type à effet hall . Il permet de synchroniser l'injection avec la distribution en informant le calculateur de la position du 1 ^{er} cylindre. Additionner au capteur de régime, il permet d'identifier le temps auquel se trouve le moteur	
Capteur de pression admission		Il est du type Piézo-résistif , sa résistance varie avec la pression . Il permet de mesurer la pression dans le collecteur d'admission afin de gérer la pression de suralimentation et le débit injecté	
Capteur position pédale		Il est composé de deux potentiomètres et convertit l' action du conducteur en signal électrique . Les deux signaux des pistes sont comparés en permanence afin de réaliser un autodiagnostic	

Désignation	Schéma	Fonction	Signal
Capteur de pression de rampe		Il est du type Piézo-électrique , il fournit une tension proportionnelle à la pression du carburant situé dans la rampe afin de gérer cette pression et la quantité de carburant à injecter	
Capteur de température carburant		Il est du type CTN : Coefficient de Température Négatif (sa résistance diminue lorsque la température augmente) Fixé sur la rampe ou sur le circuit de retour réservoir, il permet au calculateur de modifier le débit en fonction de la viscosité du carburant	
Capteur de température d'eau		Très généralement du type CTN , il peut être de type CTP : Coefficient de Température Positive (sa résistance augmente avec la température) Il informe le calculateur de la température du circuit de refroidissement afin d'adapter le débit et de piloter le système de préchauffage	
Capteur de température d'air		C'est un capteur de type CTN , il informe le calculateur de la température de l'air afin de modifier le débit en fonction de sa densité	

Désignation	Schéma	Fonction	Signal
Le débitmètre à film chaud		Il est situé entre le filtre à air et le turbo . Il mesure la masse d'air admise dans le moteur et permet au calculateur de gérer le recyclage des gaz d'échappement par la vanne EGR Il intègre la sonde de température d'air	
Le capteur de vitesse véhicule		Il est du type à effet hall (sur certain véhicule multiplexé, il s'agit d'un signal fourni par le capteur d' ABS) Il permet au calculateur de connaître les paramètres d'avancement du véhicule	
Les contacteurs de stop et embrayage		Ils sont fixés sur leurs pédales respectives. Appelé aussi contacteur de sécurité du régulateur de vitesse, ce sont des contacteurs tout ou rien	

Titre : ETUDE DU SYSTEME D'INJECTION DIESEL COMMON RAIL



**RAZANADRAKOTO Dinasoa
Fanomezana**

Adresse : lot VG 55 Amparibe,
Antananarivo, Madagascar

Tel : 00261 34 42 556 32

Nombre de pages : 45

Nombre de figures : 38

Nombre de tableaux : 3

Nombre de courbe : 4



**ANDRIANARISOA Tojoniaina
Andriamanalina Kaleba**

Adresse : Lot III E90 A Mahamasina
Sud, Antananarivo, Madagascar

Tel : 00261 34 54 040 41

RESUME

Le but de ce travail a été d'étudier le mécanisme des moteurs à combustion interne, plus spécifiquement de savoir le fonctionnement des nouvelles générations des moteurs diesel avec la présence de la rampe commune et de déterminer les temps d'injections et le débit moyen de la pompe HP des moteurs CRDI.

Mots clés : moteurs diesel, rampe commune, injections, pompe HP

ABSTRACT

The purpose of this work was to study the mechanism of internal combustion engines, more specifically to know the functioning of the new generations of diesel engines with the presence of the common rail and definite the times of injections and the medium flow the HP pump from CRDI engines.

Key words: diesel engines, common rail, injections, HP pump