

Année universitaire 2021

Module : Les Moteurs à combustion interne II

Semestre 2

Préface

Ce cours est réalisé en utilisant les informations et illustrations mis à la disposition du grand public sur l'industrie automobile dans les livres et les sites spécialisés supportés par : Google, You tube etc. M

Mis à part l'organisation et le choix du contexte conformément au module le Moteur Diesel du programme officiel de la filière.

L'auteurship des illustrations, des schémas et des démonstrations, revient de droit à leurs auteurs d'origines comme mis à la disposition du grand public.

Note:

Certains contenus ne sont peut être pas retraçables, vu leur ancienneté, leur retrait par leurs auteurs ou simplement sont dépassés et remplacés par du matériels nouveaux.

Contribution du Dr. M. Naoun

Le moteur Diesel

Première Partie

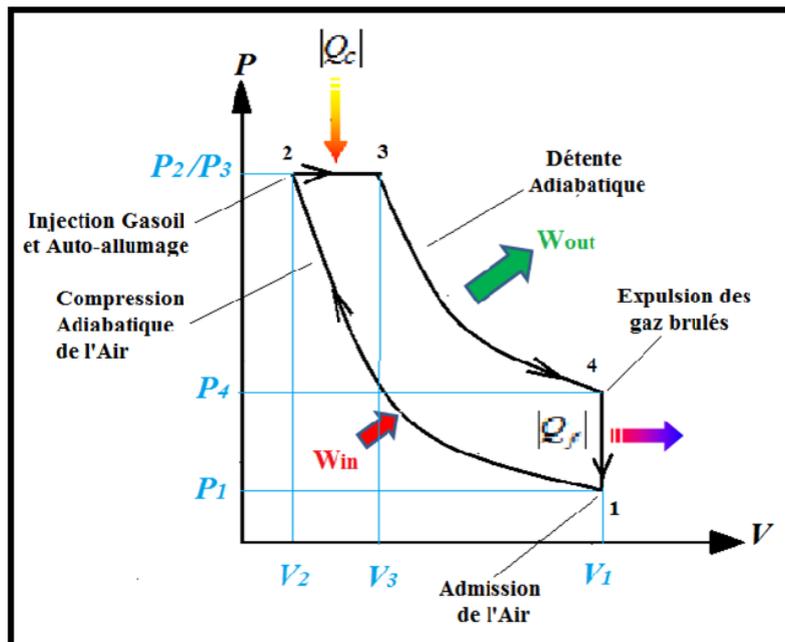
I. Introduction

Le moteur Diesel a été introduit dans le cours précédent.

Il est introduit comme un moteur :

- Fonctionnant sur 04 temps ; Admission, compression, détente et échappement.
- Suivant 04 transformations thermodynamiques ; Compression adiabatique, apport de chaleur à pression constante, une détente adiabatique et expulsion des gaz brûlés à volume constant.
- Le cycle réel est différent du cycle théorique pour les raisons décrites auparavant.
- Seul l'air est introduit pendant l'admission.
- Seul l'air est comprimé.
- L'injection du Gasoil provoque l'explosion dans la chambre à combustion (auto allumage).

Schéma de rappel du Cycle théorique Diesel



- La conversion de l'énergie (calorifique) contenue dans le combustible en énergie mécanique, débute à la combustion, création d'une forte pression dans la chambre à combustion qui exerce une force sur le premier élément (le piston) du système bielle-manivelle qui la transforme en énergie mécanique disponible au niveau du volant moteur.

II. Spécificité du Diesel

Le carburant est un produit périssable (l'essence plus que le Diesel).

II.1 Le Gasoil

- Le gazole, Gasoil, Gas-oil, Diesel.
- Il est essentiellement utilisé comme carburant, mais aussi pour d'autres usages.
- Il existe plusieurs types de Gasoil.
- Gros émetteur d'oxyde d'azote et de particules fines nocives pour le système respiratoire.
- L'utilisation du Diesel présente beaucoup d'inconvénients que nous verrons ultérieurement.
- Le gazole est issu d'hydrocarbures lourds, (raffinage du pétrole).
- Le gazole classique est un hydrocarbure fossile qui contribue aux émissions de gaz à effet de serre au cours du processus de production et de transport et lors de son utilisation.
- Formule chimique moyenne est $C_{12}H_{24}$.
- Masse volumique : 820 à 860 $kg \cdot m^{-3}$ à 15 °C.
- Viscosité dynamique : 32,6 SUS – 40,1 SUS (à 37,7 °C)
- Différentes Températures du Gasoil à retenir
 - La viscosité augmente quand la température diminue, et il est figé dans les systèmes d'alimentation en carburant à des températures généralement comprises entre -19 et -15 °C.
 - Les carburants diesel classiques se vaporisent à des températures comprises entre 149 et 371 °C. (température d'ébullition).
 - Le point d'inflammation classique du gazole varie de 52 à 96 °C selon sa formulation.
 - La température d'auto-inflammation est de 220 °C.
- Le pouvoir calorifique :
 - C'est l'énergie dégagée sous forme de chaleur par la réaction de combustion par le dioxygène (autrement dit la quantité de chaleur). Le plus souvent, on considère un hydrocarbure réagissant avec le dioxygène de l'air pour donner du dioxyde de carbone, de l'eau et de la chaleur.
 - Elle est exprimée en général en kilojoules par kilogramme (kJ/kg ou $kJ \cdot kg^{-1}$), mais on rencontre également le pouvoir calorifique molaire (en kilojoules par mole, kJ/mol) ou

le pouvoir calorifique volumique (en kilojoules par litre, kJ/L). Pour le gaz naturel, il est exprimé en kilowatts-heures par norme mètre cube (noté kWh/Nm³).

Pouvoir calorifique moyen de quelques combustibles (Wikipédia)

Combustible	MJ/kg	kJ/L	BTU/lb	kJ/mol
<u>Dihydrogène</u>	143	12,75	61 000	286
<u>Essence</u>	47,3	35 475	20 400	4 200
<u>Gazole</u> (carburant pour Diesel)	44,8	38 080	19 300	7 600
<u>Fioul domestique</u>	----	36 216	---	---
<u>Éthanol</u>	29,7	21 300	12 800	1 300
<u>Propane</u>	50,35			2 219
<u>Butane</u>	49,51		20 900	2 800
<u>Bois</u>	15	---	6 500	---
<u>Charbon</u>	15-27	---	8 000 - 14 000	---

II.2 l'injection

C'est la manière dont est introduit le Gazoil dans la chambre à combustion interne.

Elle met en jeu tout un système d'injection qui tient compte en priori de la pression d'injection.

Dans le cylindre la pression de fin de compression pour un moteur essence ou Diesel dépend du rapport volumétrique.

$$P_2 = P_1 * \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\text{gamma}}$$

Pour une compression adiabatique gamma = 1,4 (en réalité la valeur gamma est inférieure)

En exemple, les valeurs de pressions de compressions théoriques pour les moteurs suivants :

Moteur Essence	Moteur Diesel
AUDI 1.8 TFSI	AUDI 2.0 TDI
Rapport volumétrique = 9,6 : 1	Rapport volumétrique = 16,5 : 1
Valeur de pression de fin de compression « adiabatique » 9,6 1,4 = 23,72 Bars	Valeur de pression de fin de compression « adiabatique » 16,5 1,4 = 50,63 Bars

La pression d'injection dans un moteur Diesel est d'environ 1000 bars pour l'injection mécanique et peut atteindre les 2500 bars pour l'injection haute pression.

De nos jours nous retrouvons aussi l'injection dans les moteurs à essence.

Dans les moteurs Diesel, la qualité de la combustion dépend de la pulvérisation du carburant et de l'homogénéité du mélange.

II.2.1 Différents types d'injections

Il existe plusieurs types d'injections :

- *Injection pneumatique*
- *Injection mécanique*
- *Injection indirecte*
- *Injection groupée (ou monopoint)*
- *Injection séquentielle (ou multipoint)*
- *Injection directe*
- *Injection directe à charge stratifiée*
- *Injection directe à accumulateur*

Note : Il est demandé à l'étudiant de faire une recherche sur ces types d'injections et de présenter son travail.

III. Description du moteur Diesel

Physiquement le moteur Diesel est plus robuste que le moteur à essence vu qu'il fonctionne à des pressions plus élevées.

- Le système bielle manivelle est semblable à celui des moteurs à essence.
- Le système de refroidissement est semblable à celui des moteurs à essence.
- Le système de graissage est semblable à celui des moteurs à essence.
- Le système d'alimentation quant à lui est différent et se base sur l'injection du Gasoil dans les cylindres.

III.1 Système d'alimentation Diesel

Important :

Depuis sa création, de nombreuses améliorations ont été introduite dans l'Alimentation Diesel conventionnel et surtout depuis l'introduction en force de l'électronique et l'informatique dans la gestion du circuit et de ces éléments.

III.1.1 Système conventionnel ou injection mécanique

Les principaux éléments du circuit Diesel sont :

- **Le réservoir** ; conteneur métallique où est stocker le Gasoil.

- **La pompe d'alimentation** ; (ou pompe de gavage ou pompe à carburant), elle alimente le circuit et fournit un débit de carburant. Actuellement et généralement elles sont électriques et sont immergées dans le réservoir à gasoil.



Pompe mécanique



Pompe électrique

- **Les filtres** ; le filtre à gasoil a pour rôle de filtrer non seulement les impuretés mais aussi l'eau produite par la condensation de l'air dans le réservoir. Le filtre à carburant peut être composé d'un papier crêpé à porosité contrôlée, plissé et enroulé sur des cartouches.



- **La pompe à injection** ; Elle peut être en ligne ou rotative. Elle a pour fonction de transmettre une quantité de carburant à haute pression aux injecteurs.



Pompe en ligne



Pompe rotative

- **Les conduits** ; les conduits dans le circuit basse pression sont en caoutchouc avec renfort textile et recouvert d'une gaine tressée protectrice. Dans la partie haute pression ils sont métalliques. Les tuyaux sont formés de manière à s'adapter à chaque injecteur de la marque.



- **Les injecteurs mécaniques** ; Le combustible est injecté et pulvérisé sous l'action de la pression du gasoil. Les injecteurs peuvent être du type à buse ouverte ou à aiguille.

Il existe différents types d'injecteurs, des injecteurs à trou et des injecteurs à téton. Les injecteurs à téton sont moins sensibles à l'encrassement (obturation des trous).

Un injecteur peut comprendre un ou plusieurs orifices.

III.1.2. Système optimisé ou injection électronique

L'électronique gère : injection, puissance, pollution et même les défauts. Elle est capable de s'auto-diagnostiquer, de rapidement trouver l'origine d'une panne et surtout de gérer le moteur pour lui assurer une bonne longévité.

Par définition, l'injection est un dispositif d'alimentation des moteurs à combustion, permettant d'acheminer (directement ou indirectement) le carburant dans la chambre de combustion.

Elle a permis d'améliorer le rendement des moteurs grâce à un calculateur électronique qui tient compte de la durée de l'injection, et donc de la quantité de carburant injectée ce qui permet d'avoir une combustion idéale et permettre une économie de carburant.

Présent sur toutes les voitures, diesel (ou essence), le moteur à injection électronique est une version améliorée du système d'injection créé dès la fin du 19ème siècle pour les premiers moteurs à explosion !

Permettant de réduire la consommation de carburant tout en optimisant les performances, l'injection électronique est cependant légèrement différente, dans sa mise en place, selon que le moteur est diesel ou essence.

La gestion de l'injection se fait à l'aide d'un E.C.U. (de l'anglais Electronic Control Unit soit unité de contrôle électronique) qui reçoit les informations des capteurs (sondes) tels que enfoncement de la pédale d'accélérateur, température du moteur, de l'air, le taux d'oxygène, etc. À partir de ces informations, il agit sur les actionneurs (injecteurs, volets d'admission d'air, etc.).

L'évolution des normes de pollution a poussé à l'amélioration des systèmes de gestion moteur pour réduire les polluants dans les gaz d'échappement.

Quelques définitions :

Actionneur : la plupart du temps, il s'agit de composant électro-magnétique ou électro-mécanique. En fonction d'un courant, ils modulent des actions mécaniques (ouverture et fermeture de vanne, augmentation ou diminution de vitesse, etc...)

Capteur : basé sur des composants électroniques, ils transmettent des valeurs à l'ECU : température, débit, vitesse, ...

ECU : Electronic Control Unit. C'est l'unité de contrôle du moteur qui centralise toutes les données et décide des quantités et des valeurs à appliquer.

EGR : Exhaust Gaz Recycler. C'est une fonction gérée par l'électronique qui permet la ré-injection d'une partie des gaz d'échappements.

Le CMM c'est le calculateur moteur ; Le but du calculateur est d'assurer le bon fonctionnement du moteur et du véhicule.

Le boîtier BSI est le Boîtier de Servitude Intelligent.

BSI : Le Boîtier de Servitude Intelligent est actuellement le cœur des réseaux CAN intégrés aux véhicules. Il est un boîtier de gestion électronique. Il gère les informations électroniques du véhicule et lui permet donc de fonctionner correctement.

L'injection électronique fonctionne grâce à une série de capteurs et d'actuateurs.

III.1.2.1 Objectifs

L'objectif principal est d'avoir une combustion complète correspondant à la position du piston dans la chemise.

Nous entendons par combustion complète : Toutes les particules de Gasoil seront consommées suite à leurs contacts avec l'air chaud dans la chambre à combustion sans qu'il n'y ait excès d'air ou de combustible qui n'a pas réagi.

Le temps de combustion doit être étroitement contrôlé : Le début de l'injection et la fin de l'injection sont bien déterminés et précis.

D'autres paramètres liés à la pollution peuvent aussi intervenir dans le temps d'injection, le type et le mode.

III.1.2.2 Evolution des injecteurs

L'injecteur mécanique (l'ouverture se fait par la pression du Gasoil sous l'effet de la pompe à injection) est remplacé par l'injecteur Piézo-électrique (l'ouverture se fait par commande électrique indépendamment de la pression du gasoil délivrée par la pompe).

III.1.2.2.1 Fonctionnement de l'injecteur Piézo-électrique :

Le calculateur calcule et commande les impulsions électriques d'ouverture et de fermeture des injecteurs à l'aide des données des capteurs.

- L'ouverture de l'injecteur est déterminée par rapport à la position du piston indépendamment de la pression.

- Le temps de maintien de l'injection est prédéterminé et contrôlé.
- Possibilité d'avoir plusieurs injections ; Une pré-injection, une injection principale et une post-injection.
- La pression d'injection est constante du début à la fin de l'injection.

III.1.2.2.2 Avantages

Baisse de la consommation et des émissions de CO₂, réduction des rejets de polluants, diminution du bruit.

Le passage aux systèmes d'injection à rampe commune est l'une des raisons de ses avancées et cette technologie domine aujourd'hui le marché.

Les évolutions sont déjà nombreuses : pression d'alimentation variable jusqu'à 2000 bars, injections multiples, taux d'introduction augmenté, actionneur piézoélectrique de la servocommande, etc.



Injecteur rampe commune (Common rail)

III.1.2.3 Common Rail

Définition : Le système « Common rail », un système d'injection Diesel dont les injecteurs sont alimentés par une rampe commune et pilotés électroniquement par un calculateur d'injection.

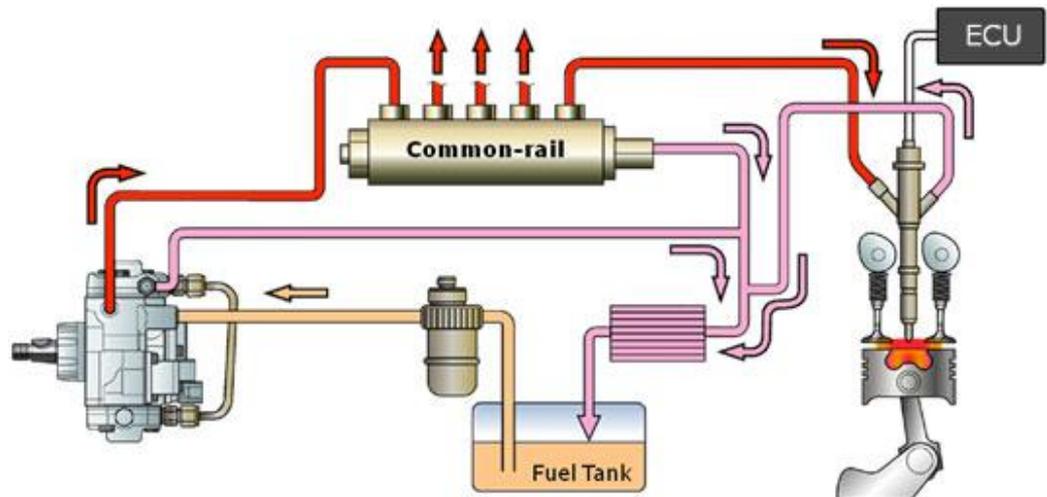
- Contrairement à l'injection classique, il n'y a plus de pompe d'injection, mais une pompe haute pression.

- Les moteurs à rampe commune utilisent des injecteurs électro-mécaniques. Le schéma suivant est un synoptique des actions entre les divers éléments.

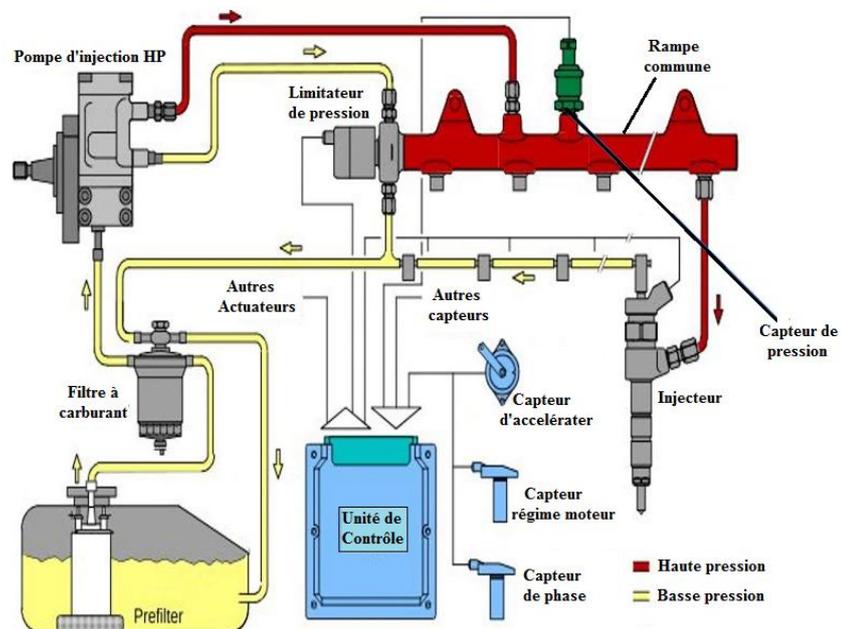
- L'ECU récupère les valeurs des différents capteurs (température eau et air, flux d'air, vitesse de rotation du moteur, phase, oxygène après combustion...), il

corrige les différents paramètres en fonction de courbes pré-établies (cartographie) : quantité de carburant à injecter, vitesse de la pompe à carburant, etc...

Au moment opportun, il commande les actionneurs pour injecter le carburant, ré-injecter des gaz d'échappements dans le moteur, etc...



Circuit Gasoil rampe commune



Système rampe commune

Plusieurs capteurs et actionneurs sont utilisés dans le système à rampe commune pour coordonner et ajuster différents paramètres.