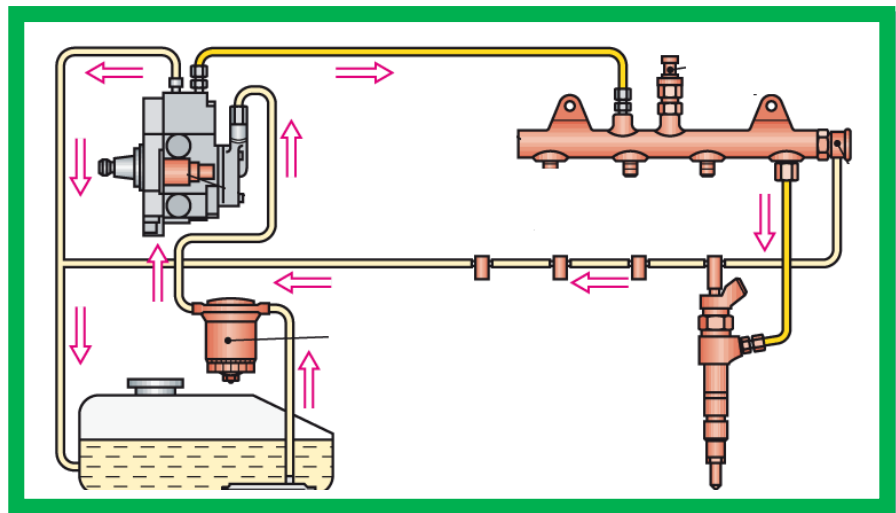


Centre de **D**éveloppement des **C**ompétences

Module M12 :
Diagnostic et réparation d'un
moteur diesel



Spécialité : **T**echnicien **S**pécialisé **D**agnostic Et **E**lectronique
Embarquée **A**utomobile.

Niveau : **T**echnicien **S**pécialisé

Secteur : **R**éparation des **E**ngins à **M**oteur

Sommaire	Page
Présentation du module Formation du mélange dans les moteurs Diesel. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Déroulement de la combustion des moteurs Diesel. ➤ Problèmes liés au déroulement de la combustion. ➤ Mesures d'amélioration de la formation du mélange ➤ Comparaison des types d'injection : 	 01 03
Les dispositifs d'aide au démarrage : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bougies-crayons de préchauffage : ➤ Les bougies-crayons autorégulatrices ➤ La régulation électronique du préchauffage ➤ Bougie-crayon commandée électroniquement ➤ Filament de préchauffage et flasque chauffante. 	 08
Combinaison de porte-injecteur : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Porte-injecteur mono-étagé ➤ Porte-injecteur bi-étagé ➤ Isolation thermique des injecteurs ➤ Types d'injecteur 	 11
Dispositifs d'injection des moteurs Diesel pour véhicule de tourisme. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pompe d'injection distributrice à piston axial à réglage mécanique ➤ Le contrôle électronique de l'injection Diesel (EDC) : ➤ Pompe d'injection distributrice à piston axial à régulation électronique (VE-EDC) ➤ Pompe d'injection distributrice à pistons radiaux (VP44) ➤ Système à injecteur-pompe ➤ Le système Common Rail. 	 13
Réduction de la pollution des moteurs Diesel. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Composition des gaz d'échappement ➤ Valeurs limites d'émission pour les véhicules de tourisme à moteur Diesel ➤ Procédés de réduction des polluants. 	 41
Travaux pratiques	 49

PRESENTATION DU MODULE

Le module 12 : **Diagnostic et réparation d'un moteur diesel** est une compétence particulière pour les métiers de l'automobile et spécialement pour les Technicien spécialisé Diagnostic et Electronique Embarquée.

L'objectif de Ce module est de faire acquérir au stagiaire les savoirs et savoir-faire afin d'être capables à :

- Identifier le principe de fonctionnement des systèmes d'injection diesel avec pompes rotatives, injecteur pompe et à rampe commune.
- Distinguer les différents rejets polluants des moteurs Diesel.
- Identifier les solutions techniques permettant de réduire les rejets polluants des moteurs diesel
- Mettre en œuvre les opérations de diagnostic et de maintenance.

La durée du module est estimée à 100 heures

Les travaux pratiques : 50 heures

Les notions théoriques : 50 heures

L'Épreuve de fin de module

➤ Théorique : 2 heures

➤ Pratique : 5 heures

Formation du mélange dans les moteurs Diesel.

Contrairement à la plupart des moteurs Otto, la formation interne du mélange permet le fonctionnement du moteur Diesel. Le carburant est injecté à haute pression et vaporisé dans la chambre de combustion, il s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé par la compression.

Déroulement de la combustion des moteurs Diesel.

Combustion complète.

Selon le système d'injection et le type de moteur, le carburant liquide est injecté à très haute pression (de 180 à 2200 bar) dans la chambre de combustion. La pression très élevée et les très petits orifices des buses (env. 0,15 mm) permettent d'obtenir de fines gouttelettes de carburant qui sont chauffées au contact de l'air comprimé et se vaporisent progressivement. La vapeur de carburant se mélange avec l'air chaud puis brûle en se combinant avec l'oxygène de l'air.

La combustion augmente encore la température de la zone du mélange, les gouttelettes continuent de se vaporiser jusqu'à ce que le carburant soit entièrement brûlé.

Problèmes liés au déroulement de la combustion.

Combustion incomplète

Plus les gouttelettes de carburant sont grandes, plus il est difficile de les vaporiser complètement. Leur noyau aura de la peine à atteindre la température d'auto-inflammation, l'oxygène ne pourra pas se combiner aux molécules d'hydrocarbures, dans ce cas on parlera donc de combustion incomplète.

Formation de particules.

Cette combustion incomplète génère un noyau de suie dans lequel sont emmagasinés d'autres résidus de combustion, comme des particules de sulfate et des hydrocarbures (Fig. 2). On parle alors de particules de suie. Au cours de ces dernières années, l'évolution des injecteurs a permis de réduire l'émission de ces particules d'environ 90 %.

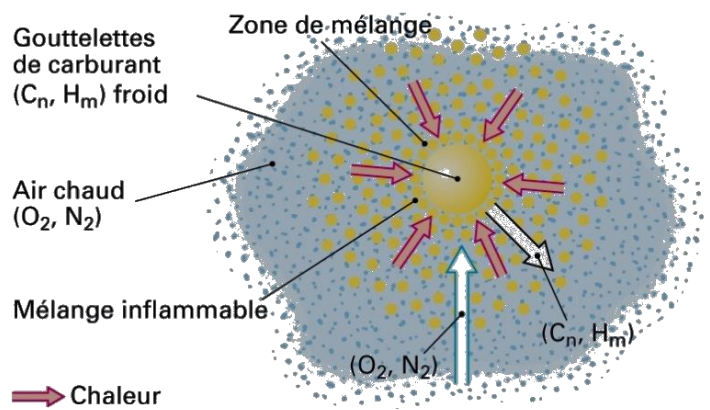


Fig.1 : Combustion complète de gouttelettes de carburant

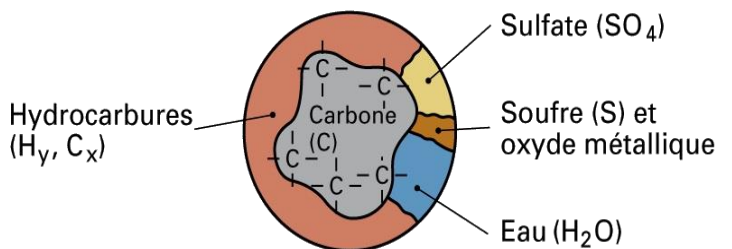


Fig.2 : Particule de suie

Toutefois, la taille de ces particules est si petite que, lorsqu'elles sont inhalées, elles risquent d'endommager les tissus pulmonaires. Elles peuvent ainsi être à l'origine de cancers des poumons ou d'autres maladies pulmonaires.

Voici les causes qui peuvent être à l'origine d'une émission trop forte des particules de suie:

- démarrage à froid et phase de réchauffement du moteur;
- moteur fonctionnant à pleine charge;
- filtre à air bouché ou système d'admission défectueux;
- buse d'injecteur défectueuse;
- chambre de combustion défectueuse.

Le délai d'inflammation :

C'est le temps qui sépare le début de l'injection du début de la combustion.
La durée maximum du délai d'inflammation ne doit pas dépasser 1 milliseconde.

Si ce délai est trop long, il y aura du retard à l'allumage, une quantité de carburant trop importante sera injectée dans la chambre de combustion. L'inflammation de ce grand volume de carburant va provoquer une brusque augmentation de la pression, des cognements vont se faire entendre et des dégâts sont possibles aux composants du moteur. Le rendement va sensiblement diminuer. Cette mauvaise combustion est clairement audible.

Les raisons suivantes peuvent provoquer un délai d'inflammation trop long:

- fonctionnement du moteur à trop basse température:
 - ✓ trop d'avance à l'injection;
 - ✓ pression d'injection trop faible.
- indice de cétane du carburant trop bas;
- faible tourbillonnement de l'air comprimé;
- fuites de carburant aux injecteurs.

Mesures d'amélioration de la formation du mélange :

La formation du mélange dépend essentiellement de la turbulence de l'air dans la chambre de combustion et de la pression d'injection. Les mesures suivantes peuvent donc être prises:

- régler le moteur Diesel en-dessous de l'excédent d'air (jusqu'à $\lambda \approx 8$) et limiter la quantité de carburant injecté à $\lambda \approx 1,3$ afin d'éviter tout manque d'air dans la chambre de combustion;
- favoriser la turbulence de l'air par des canaux d'admission appropriés (voir commande des canaux d'admission, p. 4) en fonction de la forme de la chambre de combustion dans le piston (injection directe) ainsi que par la formation de tourbillons dans la chambre de combustion secondaire (injection indirecte), ce qui permet d'améliorer l'homogénéité du mélange air-carburant;

- optimiser la géométrie de la chambre de combustion afin d'améliorer le processus de combustion;
- préchauffer le carburant pour rendre sa pulvérisation plus fine et d'accélérer sa vaporisation;
- adapter idéalement le préchauffage et le postchauffage pour réduire au minimum les pertes de chaleur dans la chambre de combustion;
- pré-injecter une petite quantité de carburant pour chauffer l'air dans le cylindre afin de réduire le délai d'inflammation et d'obtenir une montée en pression plus régulière;
- augmenter la pression d'injection pour obtenir des gouttelettes de carburant plus petites, et donc une combustion plus rapide et plus complète;
- réinjecter les particules non brûlées dans la postcombustion.

Comparaison des types d'injection :

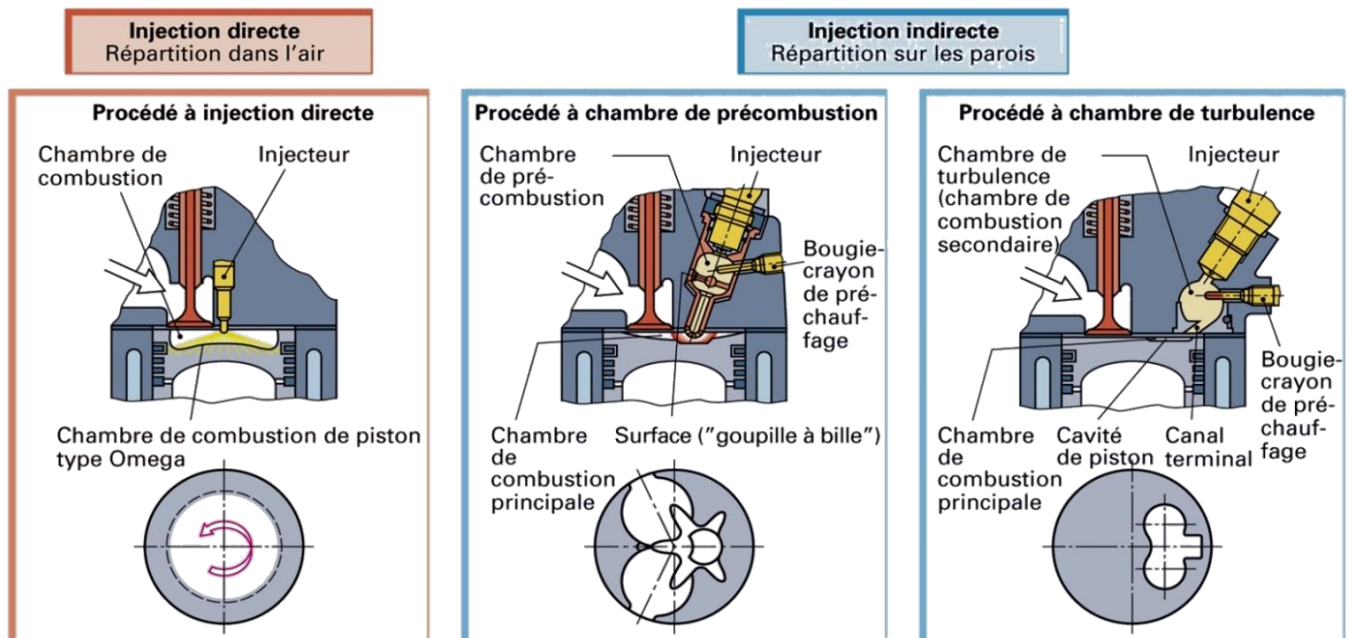


Fig. 3 : Les types d'injection Diesel

Dans les moteurs Diesel, on distingue principalement deux types différents d'injection :

- **l'injection directe** dans une chambre de combustion unique (**DI** = direct injection);
- **l'injection indirecte** dans une chambre secondaire lorsque la combustion est réalisée dans deux chambres séparées (**IDI** = indirect injection).

Les moteurs Diesel à injection indirecte :

Les procédés à chambre de précombustion et à chambre de turbulence se différencient par la forme de leur chambre secondaire.

La chambre secondaire est placée dans la culasse et comprend le porte-injecteur, l'injecteur et la bougie de préchauffage. La chambre secondaire est reliée à la chambre de combustion principale par un canal terminal (chambre de turbulence) ou une conduite à jet (chambre de précombustion) (Fig. 3).

L'air comprimé est poussé dans les conduites en direction de la chambre de précombustion où il arrive en tourbillonnant. Le carburant est alors injecté dans le flux d'air à une pression allant de 130 à 450 bar. Une bonne partie du carburant va alors se répartir sur les parois de la chambre.

Le carburant qui s'est mélangé avec l'air va s'enflammer. La chaleur produite par cette combustion évapore le carburant accumulé sur les parois de la chambre secondaire et brûle à son tour.

La pression ainsi produite souffle le mélange enflammé vers la chambre principale où la combustion se termine. La combustion se fait donc en deux temps.

Dans ce type de moteur, la grande surface des chambres de combustion provoque une perte de chaleur importante. Le rendement thermique est plus faible que sur le système à injection directe.

Un dispositif d'aide au démarrage à froid doit être prévu car la forte perte en chaleur ne permet pas une préparation du mélange suffisante à basse température

Les moteurs Diesel à injection directe :

Le carburant est injecté par des injecteurs à trous, à une pression pouvant atteindre 2200 bar, dans l'air chaud de la chambre de combustion réalisée à l'intérieur de la tête du piston. Le tourbillon d'air nécessaire à une combustion complète est formé par des canaux de turbulence et la forme du piston.

Afin d'obtenir une montée en pression régulière et un fonctionnement silencieux du moteur, une petite quantité de carburant est injectée avant la quantité principale (pré-injection).

Dans ces moteurs, la surface réduite de la chambre de combustion permet de diminuer les pertes de chaleur, produisant ainsi un rendement thermique supérieur. Un dispositif de démarrage à froid n'est nécessaire qu'en cas de températures extérieures très basses.

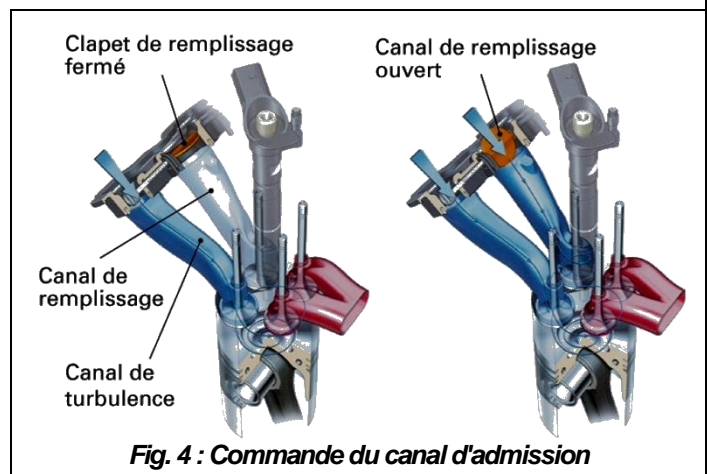
Lorsqu'un dispositif de chauffage est utilisé lors du démarrage et de la phase de montée en température du moteur, c'est pour permettre une réduction des émissions de gaz polluants.

Le principal avantage des moteurs à injection directe réside dans leur faible consommation de carburant (jusqu'à 20 % de moins que les moteurs à injection indirecte). Les bruits de cognements de ce système ont pu être diminués grâce à la mise en œuvre d'une pré-injection.

Ces différents avantages font que les moteurs à injection directe équipent désormais pratiquement tous les véhicules Diesel du marché.

Commande du canal d'admission (Fig. 4) :

Les canaux d'admission sont pilotés par un système cartographique. Le servomoteur ouvre et ferme les clapets au moyen d'une tringle.



Régime et plage de charge inférieurs :

Dans ce cas, tous les clapets de remplissage sont fermés. La masse d'air ne circule que par le canal de turbulence. Le fort tourbillonnement d'air permet de mélanger l'air et le carburant de manière optimale. La combustion est meilleure et la formation de particules est réduite.

Régime et plage de charge supérieurs :

Dans ce cas, les canaux de remplissage sont ouverts en permanence, ce qui permet d'obtenir le meilleur rapport possible entre le tourbillonnement et la masse de l'air pour chaque état de fonctionnement du moteur.

Les émissions de gaz d'échappement et le rendement du moteur sont optimisés.

Les dispositifs d'aide au démarrage :

Ils servent à faciliter le démarrage du moteur Diesel froid, à assurer un régime de ralenti stable, à réduire les émissions de gaz polluants et à diminuer les bruits de cognements. L'aptitude au démarrage des moteurs Diesel diminue à mesure que la température baisse. Lorsque le moteur est froid, les frottements mécaniques augmentent et la température de fin de compression est diminuée. Dans certaines conditions, le démarrage du moteur ne peut donc plus se faire sans l'aide d'un dispositif de préchauffage. En outre, les basses températures entraînent une augmentation des émissions de gaz polluants (formation de fumée blanche ou noire). Pour l'aide au démarrage, on utilise des bougies-crayons pour les voitures de tourisme et un système à filament de chauffage ou une flasque chauffante placée dans la tubulure d'admission pour les moteurs à injection directe de grosses cylindrées.

Bougies-crayons de préchauffage :

On distingue deux types de bougies de préchauffage de type crayons:

- les bougies-crayons autorégulatrices;
- les bougies-crayons régulées électroniquement.

Bougie-crayon autorégulatrice (Fig. 5) :

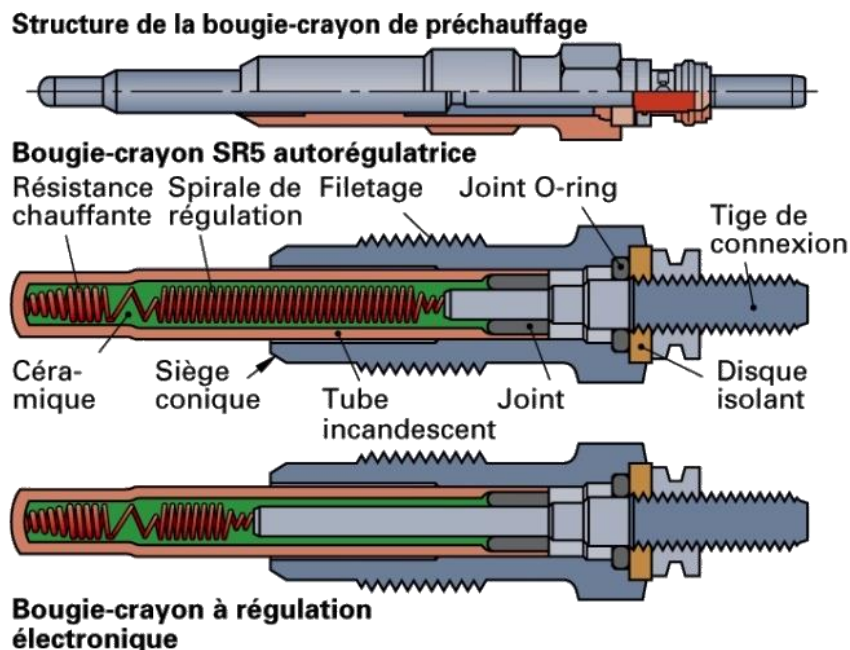


Fig. 5 : Structure des bougies-crayons

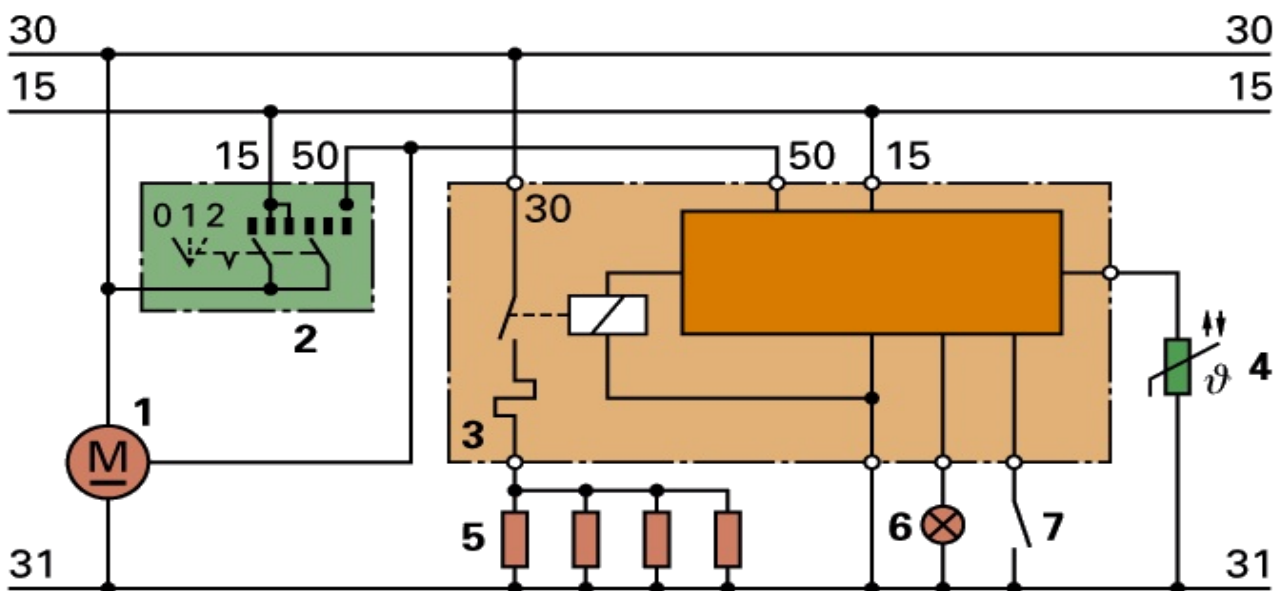
Structure. Elle est composée d'une spirale de régulation branchée en série sur une résistance chauffante en nickel. Les deux spirales ont des coefficients de température positifs mais différents l'un de l'autre (action CTP).

Autorégulation : Lors du préchauffage, un fort courant passe de la tige de connexion à la spirale de régulation et à la résistance chauffante. Cette dernière chauffe rapidement le tube incandescent.

L'augmentation de température élève la valeur de la résistance de la spirale de régulation, ce qui limite le courant afin d'éviter la surchauffe de la bougie-crayon.

Les bougies-crayons autorégulatrices fonctionnent la plupart du temps avec une tension nominale de 11,5 V. Après 2 à 7 secondes, elles atteignent la température de préchauffage nécessaire de 850 °C. Ensuite, la résistance CTP de la spirale de régulation continue de chauffer ce qui augmente sa résistance, l'intensité du circuit diminue ce qui permet de garder le filament chauffant à une température inférieure. Ces bougies absorbent une puissance qui se situe entre 100 W et 120 W.

La régulation électronique du préchauffage (Fig. 6) :



- 1** Démarreur **2** Commutateur de préchauffage-démarrage
3 Module de commande du temps de préchauffage
4 Capteur de température du liquide de refroidissement
5 Bougies-crayons **6** Lampe-témoin de démarrage
7 Contacteur de charge

Fig. 6: Système de préchauffage-démarrage avec commande du temps de préchauffage

Pour permettre une formation optimale du mélange, les bougies de préchauffage sont pilotées par un dispositif à commande électronique.

Structure :

Le dispositif se compose du module de commande électronique, du capteur de température et du relais de puissance d'alimentation des bougies.

Déroulement : Le processus de préchauffage a lieu en trois phases (**Fig. 7**).

- Préchauffage
- Chauffage pendant le démarrage
- Postchauffage

Préchauffage : Si l'interrupteur de contact est en position 1 (borne 15), l'appareil de commande de préchauffage calcule le temps de préchauffage en fonction de la température du liquide de refroidissement. Si celle-ci est supérieure à 60 °C, le préchauffage n'a pas lieu.

Chauffage pendant le démarrage : Dès l'extinction de la lampe-témoin de préchauffage, le système fonctionne encore 5 secondes pendant lesquelles il faut démarrer. Le préchauffage fonctionne pendant toute la durée du processus de démarrage, tant que la borne 50 est alimentée en courant.

Postchauffage : Le postchauffage commence après le démarrage à froid. Dès que le contacteur de ralenti est ouvert et donc la charge du moteur connue, le postchauffage s'interrompt. Il s'enclenche à nouveau en cas de retour au ralenti. Le postchauffage s'arrête si la température du liquide de refroidissement dépasse 60 °C ou après un délai supérieur à 180 secondes.

Bougie-crayon commandée électroniquement : Grâce à la spirale de régulation raccourcie, le temps nécessaire au chauffage de la bougie est minimum. Les bougies-crayons fonctionnent à une tension comprise entre 5 et 8 V, elles sont alimentées à une tension pulsée de 11 V pendant 1 à 2 secondes pour atteindre rapidement une température de 1000 °C.

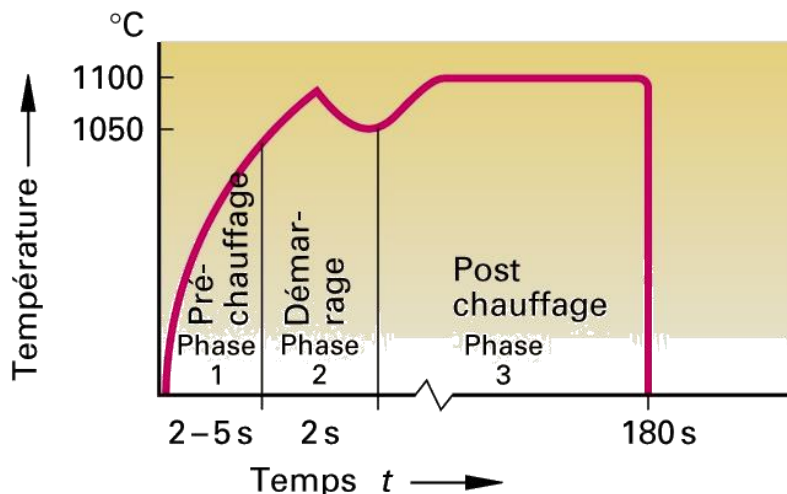


Fig. 7: Déroulement du préchauffage

Cela permet de réaliser un démarrage confortable (durée de préchauffage très courte) même en cas de températures extrêmement basses. Le relais de puissance électromagnétique est remplacé par un circuit semiconducteur. Chaque bougie-crayon peut ainsi être pilotée, contrôlée et diagnostiquée individuellement.

Filament de préchauffage et flasque chauffante : Ce sont des éléments qui permettent de préchauffer l'air d'admission. Ces résistances CTP autorégulatrices ont une puissance électrique de 600 W, elles peuvent atteindre une température comprise entre 900 et 1100 °C.

Combinaison de porte-injecteur :

L'injecteur est inséré dans un porte-injecteur qui est lui-même monté dans la culasse du moteur.

On distingue les combinaisons de porte-injecteurs mono-étagés et bi-étagés.

Porte-injecteur mono-étagé (Fig. 8a).

Le carburant acheminé à haute pression par la pompe à injection parvient à l'entrée du porte-injecteur, traverse le filtre allongé pour passer dans la chambre de pression de l'injecteur. Lorsque la pression exercée sur l'épaulement conique de l'aiguille est supérieure à la tension du ressort, l'aiguille se soulève de son siège, l'injecteur s'ouvre et le carburant est injecté dans la chambre de combustion. Pour favoriser la lubrification et le refroidissement, une faible quantité de carburant s'échappe le long de l'aiguille; ensuite, il est reconduit par un circuit de retour jusqu'au réservoir.

Lorsque la pression chute dans la tuyau d'injection, la force du ressort repousse l'aiguille sur son siège et l'injecteur se referme.

Porte-injecteur bi-étagé (Fig. 7b).

Il est équipé de deux ressorts de résistance différente qui sont tarés de manière à ce que, lorsque la pression du carburant est basse (env. 180 bar), l'aiguille ne se soulève que contre la force du ressort 1 et bute contre le ressort 2, plus dur (hauteur H_2). L'injecteur s'ouvre légèrement et ne laisse pénétrer dans la chambre de combustion qu'une faible quantité de carburant (pré-injection).

Dès que la pression du carburant s'élève, le ressort 2 se comprime, la levée de l'aiguille est plus importante et permet l'injection principale du carburant. La pré-injection permet d'allonger la durée totale de l'injection, transformant ainsi une combustion très rapide et violente en combustion plus douce. Il en résulte:

- une réduction du bruit de combustion;
- un ralenti plus stable;
- une réduction des émissions de gaz polluants.

Isolation thermique des injecteurs.

La douille isolante en acier inoxydable permet de mieux évacuer la chaleur de l'injecteur et de faire descendre sa température de 250 à 200 °C. Ainsi la dureté du siège de l'aiguille ne diminue pas ce qui augmente la durée de vie de l'injecteur.

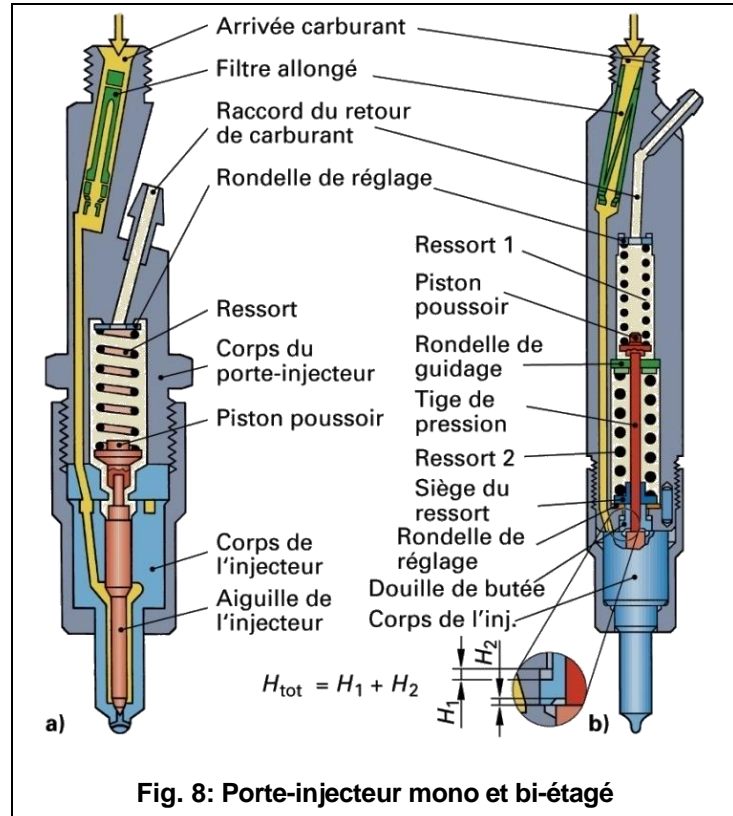


Fig. 8: Porte-injecteur mono et bi-étagé

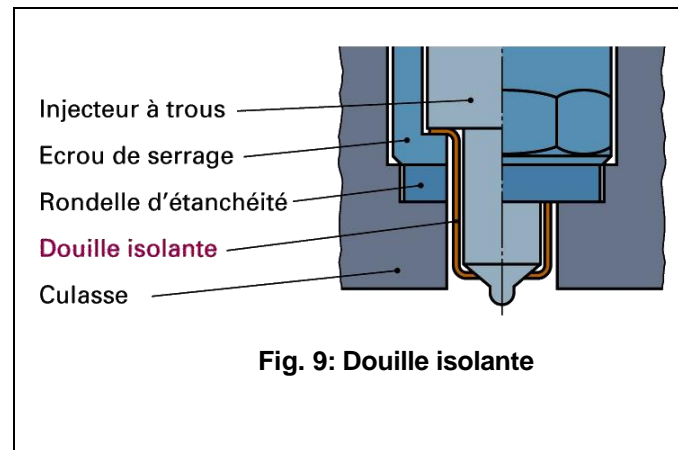


Fig. 9: Douille isolante

Types d'injecteur : On distingue:

- L'injecteur à trous
- l'injecteur à téton.

L'injecteur à trous :

L'injecteur à trous est utilisé exclusivement dans les moteurs à injection directe.

Il existe deux types d'injecteurs à trous (Fig.10):

- injecteur à trou borgne
- injecteur à siège perforé

Ils peuvent avoir jusqu'à **8** orifices d'injection disposés de manière symétrique sur la circonférence.

Le diamètre des trous d'injection varie en fonction de la quantité de carburant à injecter: 0,15 mm pour les moteurs de petite cylindrée et jusqu'à 0,4 mm pour les moteurs de grosse cylindrée.

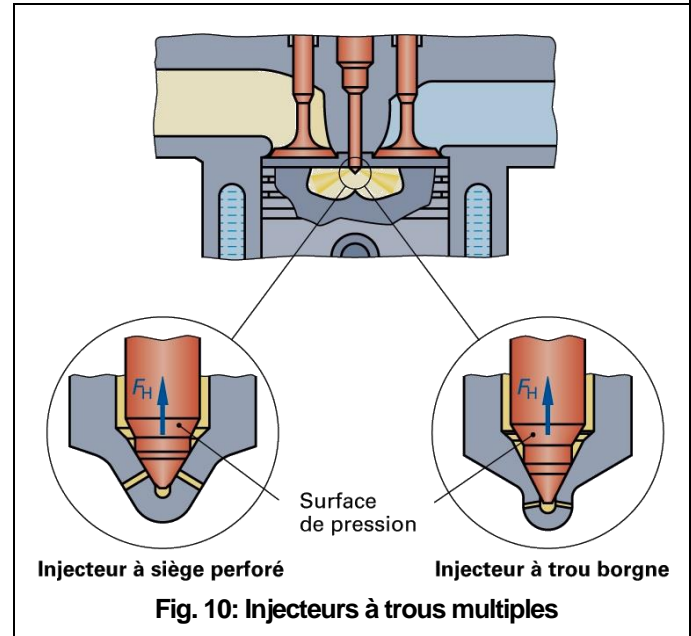


Fig. 10: Injecteurs à trous multiples

Caractéristiques.

Afin de limiter l'émission de particules d'hydrocarbures non brûlées, il est important que le volume résiduel situé sous le siège de l'injecteur soit aussi réduit que possible. Pour cela, les injecteurs à siège perforé sont parfaitement adaptés.

Pressions à l'ouverture de l'injecteur.

Elle varie de 200 à 300 bar selon le type de construction du moteur. Il ne faut pas confondre la pression à l'ouverture avec la pression d'injection maximale, cette dernière s'élève de manière importante lorsque la charge et le régime augmentent. Elle peut atteindre environ 2000 bar selon le système d'injection.

Injecteurs à téton (Fig. 11).

Ils sont utilisés dans les moteurs avec chambre de précombustion ou avec chambre de turbulence.

La pression à l'ouverture de l'injecteur varie de 80 à 125 bar. L'extrémité inférieure de l'aiguille de l'injecteur est formée d'un téton d'injection de forme particulière qui pénètre dans l'orifice d'injection du corps de l'injecteur.

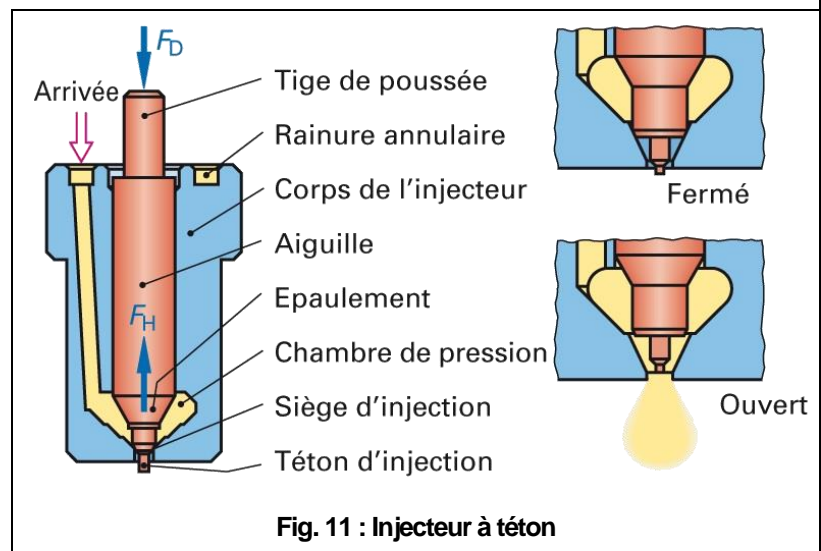


Fig. 11 : Injecteur à téton

Dispositifs d'injection des moteurs Diesel pour véhicule de tourisme.

Ils ont pour tâche:

- de générer la pression nécessaire;
- d'injecter la quantité nécessaire de carburant (régulation du débit d'injection);
- de définir le début de l'injection (régulation du début de l'injection).

Afin de respecter les normes d'émissions de gaz polluants des moteurs Diesel, les systèmes d'injection modernes fonctionnent à des pressions toujours plus élevées et de façon toujours plus précise. Les pompes d'injection réglées mécaniquement (pompe en ligne) ne sont plus en mesure de respecter les exigences requises, c'est pourquoi elles ont été remplacées par les systèmes suivants:

- pompes distributrices à piston axial;
- pompes distributrices à pistons radiaux;
- élément injecteur-pompe;
- Common Rail.

Pompe d'injection distributrice à piston axial à réglage mécanique.

Ce système d'injection est particulièrement approprié pour les moteurs de petite cylindrée de 3 à 6 cylindres.

Particularités principales:

- poids réduit;
- construction compacte;
- position de montage sans importance;
- circuit de lubrification indépendant;
- un seul élément de pompe à haute pression;
- permet le contrôle électronique de l'injection.

Construction. Elle comprend les ensembles constitutifs suivants (**Fig. 12**) :

arbre d'entraînement; pompe de carburant à palettes; mécanisme de rotation et de course du piston; élément de pompe à haute pression; système de levier avec tiroir de régulation pour le dosage du carburant; régulateur centrifuge de régime; variateur hydraulique d'avance à l'injection pour corriger le début du refoulement.

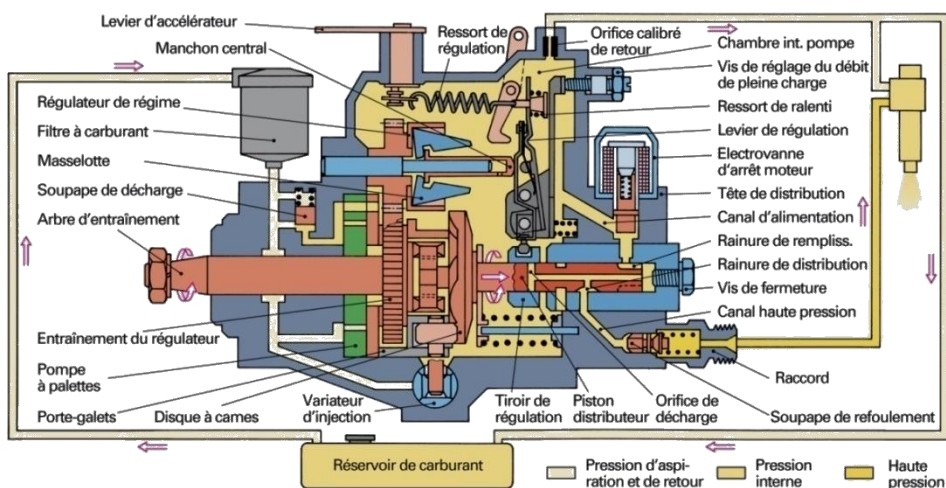


Fig. 12: Système d'injection à pompe distributrice à piston axial

La pompe à palettes (pompe d'alimentation en carburant), le mécanisme d'entraînement du régulateur (engrenage) et le disque à cames soutenu par le porte-galets, sont reliés à l'arbre d'entraînement. L'élément de pompe à haute pression et le tiroir de régulation se trouvent dans la tête de distribution. On y visse, sur le dessus, l'électrovanne d'arrêt du moteur et, sur la face avant, les soupapes de refoulement.

Pompe à palettes (Fig. 13).

A chaque tour, elle refoule une quantité constante de carburant vers la chambre intérieure de la pompe. Le débit (env. 100 à 180 l/h) est suffisant pour alimenter l'élément de pompe à haute pression et pour refroidir et lubrifier la pompe d'injection.

Fonctionnement.

La bague extérieure de la pompe est excentrée par rapport au rotor à palettes; du côté aspiration, le volume est important. En suivant le sens de rotation, il se rétrécit pour refouler le carburant à l'intérieur de la pompe. Le débit augmente proportionnellement avec le régime du moteur.

Soupape de décharge (Fig. 14).

Elle limite la pression maximale à une valeur de 12 bar; lors de son ouverture, elle permet au surplus de carburant de circuler de la chambre intérieure de la pompe au côté aspiration de la pompe à palettes.

Orifice calibré de retour (Fig. 15).

L'orifice calibré de retour permet à une quantité variable de carburant de retourner vers le réservoir.

La soupape de décharge et l'orifice calibré de retour permettent de régler la pression interne de la pompe aux valeurs suivantes:

env. 3 bar au régime de ralenti;
jusqu'à env. 8 bar au régime maximal.

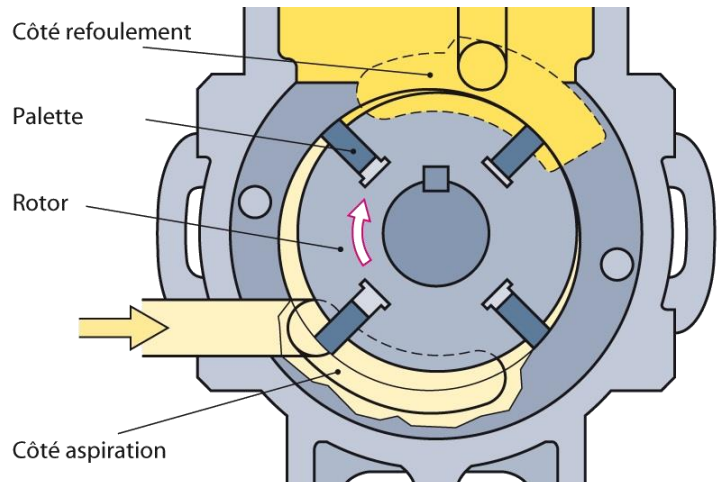


Fig. 13: Pompe à palettes.

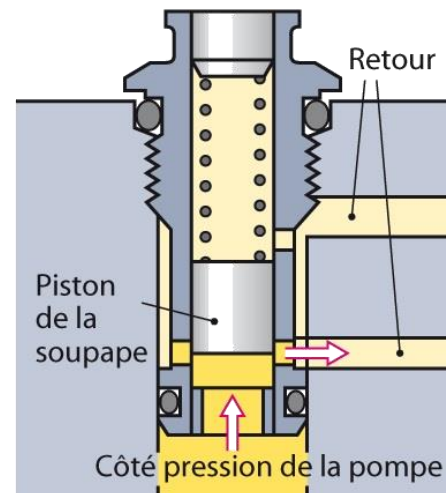


Fig. 14: Soupape de décharge.

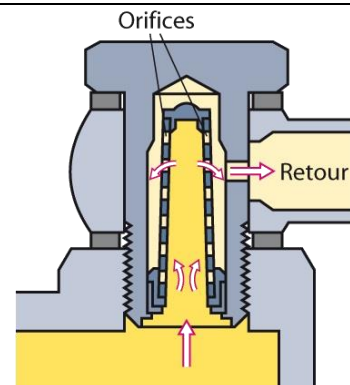


Fig. 15: Orifice calibré de retour.

Elément de pompe à haute pression.

Le carburant provenant de la chambre intérieure de la pompe, passe par le canal d'admission et la rainure de remplissage du piston distributeur pour arriver dans la chambre haute pression de la pompe (Fig.16-1a). L'arbre d'entraînement imprime un mouvement rotatif au piston distributeur, ainsi qu'au disque à cames. Celui-ci possède autant de bossages que le moteur possède de cylindres. Ces cames déplacent axialement le piston distributeur à chaque passage sur les galets radiaux du porte-galets. Le mouvement rotatif du piston distributeur permet d'ouvrir et de fermer les rainures de remplissage ainsi que de distribuer, par l'intermédiaire de la rainure de distribution, le carburant sous pression vers les canaux de refoulement de la tête de distribution.

Création de la haute pression

(Fig.16- 1b).

Elle est créée par le mouvement axial du piston dès la fermeture du canal d'admission.

Injection du carburant (Fig.16- 1b).

Elle commence dès que la rainure de distribution a atteint le canal de refoulement. La haute pression soulève la soupape de refoulement de son siège et le carburant afflue par les conduites d'injection vers les injecteurs.

Fin d'injection (Fig.16- 1c).

L'injection se termine lorsque le tiroir de régulation libère l'orifice de décharge du piston distributeur. Durant le mouvement résiduel, le carburant reflue dans la chambre intérieure de la pompe. Après le PMH, le piston distributeur se déplace en position PMB et ferme l'orifice de décharge au moyen du tiroir de régulation. La chambre à haute pression est à nouveau remplie par la prochaine rainure d'alimentation du piston distributeur.

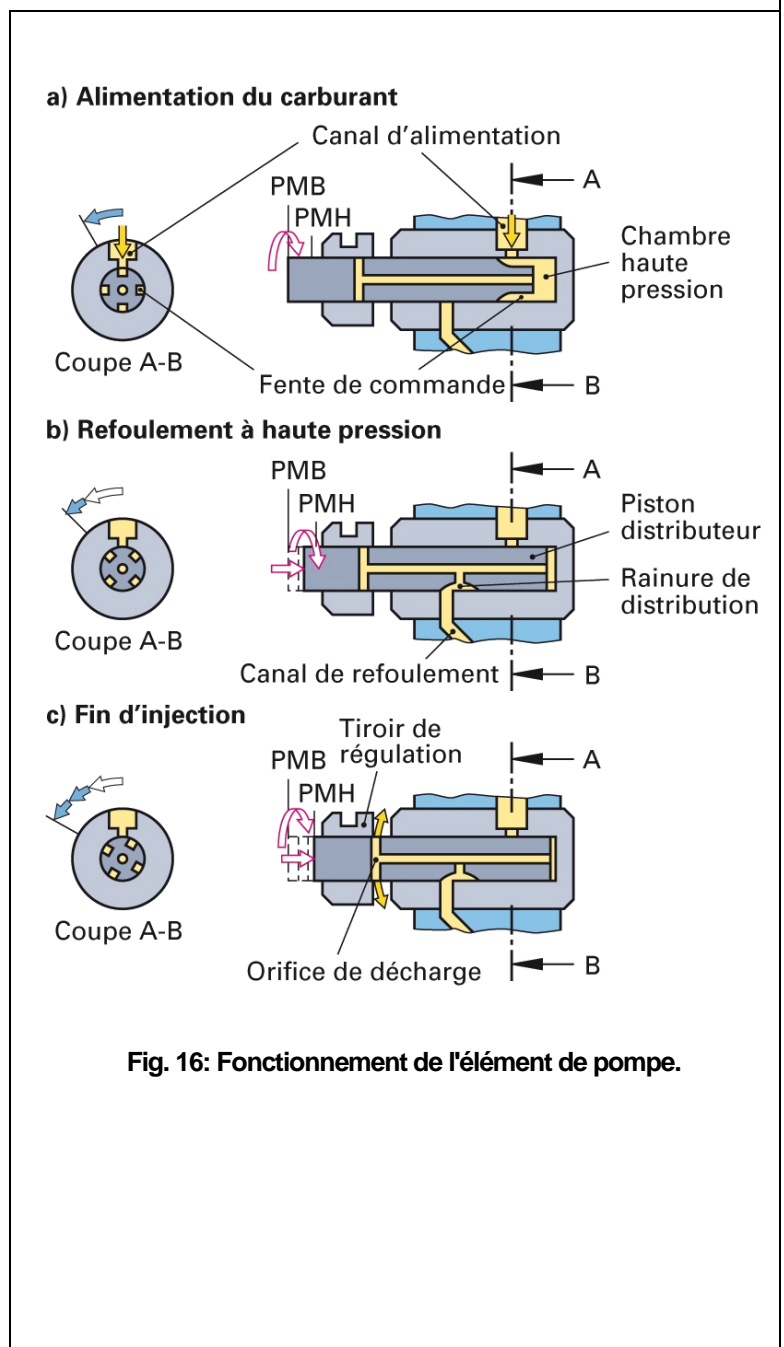


Fig. 16: Fonctionnement de l'élément de pompe.

Régulateur mécanique de la quantité d'injection Construction.

C'est un régulateur de type centrifuge, dont les masselottes et le manchon central sont entraînés par un engrenage.

Rôle du régulateur de régime:

- **Régulation du ralenti.** Empêche toute baisse excessive du régime de ralenti.
- **Régulation du régime maximum.** Evite le dépassement du régime maximal autorisé.
- **Régulation du régime intermédiaire.** Le régime souhaité par le conducteur, situé entre le ralenti et le régime maximal, est maintenu constant, même en cas de changement de charge.

Fonctionnement du régulateur tous régimes (Fig. 17).

Les masselottes et le manchon central déplacent le tiroir de régulation par l'intermédiaire du levier de régulation. La position de ce tiroir est ainsi modifiée en fonction de la charge et du régime.

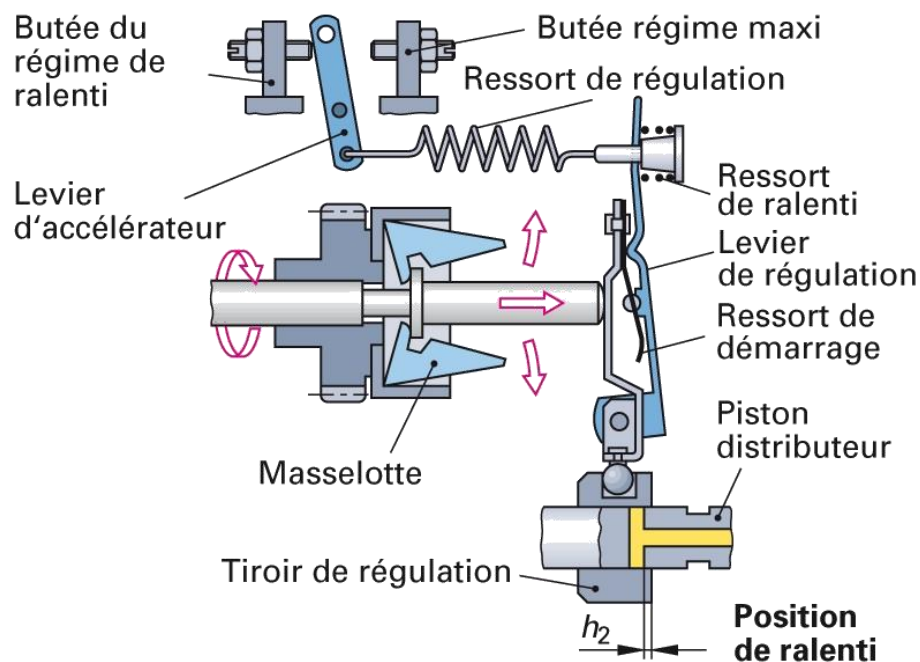


Fig. 17: Fonctionnement du régulateur centrifuge

Démarrage/ralenti. Les masselottes poussent le manchon qui agit contre la tension des ressorts de démarrage et de ralenti, le régime de ralenti est ainsi stabilisé.

Régime maximal. Lorsque le moteur atteint son régime le plus élevé, les masselottes agissent contre le ressort de régulation. Le levier pivote, déplace le tiroir de régulation qui libère l'orifice de décharge. L'injection est coupée et le moteur ne peut pas dépasser son régime maximal.

Variateur hydraulique d'avance à l'injection.

Il déplace le point d'injection dans le sens "avance", ceci proportionnellement à l'augmentation du régime moteur. Cela permet d'obtenir une puissance maximale, une diminution de la consommation de carburant et une diminution d'émission de gaz polluants.

Construction. Le variateur d'avance est monté transversalement sous la pompe. Il se compose d'un piston hydraulique relié par un axe au porte-galets et d'un ressort.

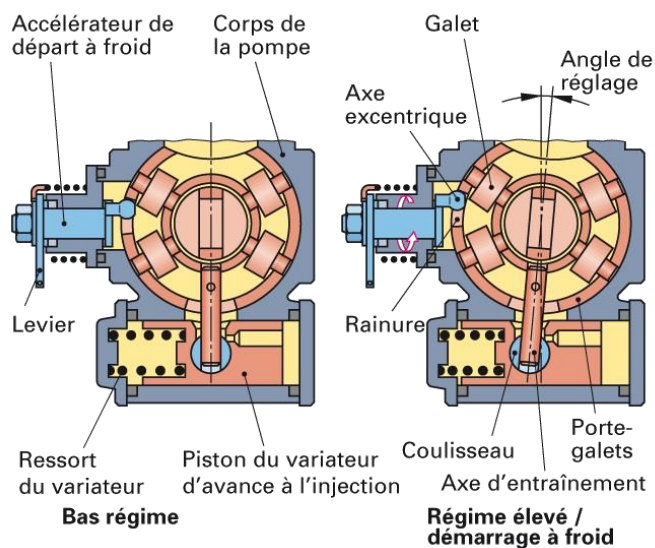


Fig. 18: Variateur hydraulique d'avance à l'injection avec accélérateur de démarrage à froid

Fonctionnement. Quand le moteur est à l'arrêt, le piston du variateur est maintenu dans sa position initiale par le ressort. Lorsque le moteur fonctionne, la pression de la chambre intérieure qui dépend de la fréquence de rotation de la pompe à palettes, surpasse la force du ressort et pousse le piston du variateur. Le mouvement axial du piston déplace le porte-galets qui se positionne dans le sens "avance à l'injection", à l'inverse du sens de rotation du piston distributeur. Le disque à cames entre en contact plus tôt avec les galets du porte-galets, le point d'injection est donc avancé.

Dispositifs accessoires

Butée de pleine charge en fonction de la pression de suralimentation. Ce dispositif permet d'obtenir une puissance du moteur plus élevée. Il s'agit d'une commande par membrane pour les moteurs suralimentés qui permet de varier le débit injecté en fonction de la pression de suralimentation. Comme cette dernière augmente avec le régime du moteur, on peut donc injecter une quantité plus importante de carburant dans ce surplus d'air sans augmenter la quantité de fumée.

Accélérateur de démarrage à froid (Fig. 18). Ce dispositif permet de réduire le cognement du moteur Diesel et les émissions de gaz polluants lors du démarrage à froid. Il avance légèrement le point d'injection lors du démarrage à froid du moteur. A froid le délai d'inflammation du carburant augmente, l'avance du point d'injection permet de compenser ce phénomène. Cette correction se fait soit manuellement, soit automatiquement par un dispositif de commande dépendant de la température.

Dispositif d'arrêt électrique (ELAB). Il permet d'arrêter le moteur électriquement grâce au contacteur d'allumage/démarrage. Une électrovanne ferme le canal d'alimentation de la chambre haute pression du piston distributeur, coupant ainsi l'injection de carburant dans le moteur.

Le contrôle électronique de l'injection Diesel (EDC) :

Le système d'injection à régulation électronique permet un contrôle exact du début d'injection ainsi qu'une très grande précision de dosage du débit de carburant.

Avantages d'un dispositif d'injection Diesel avec EDC:

- abaissement des émissions de gaz polluants; diminution de la consommation de carburant;
- optimisation du couple et de la puissance;
- amélioration du temps de réponse en accélération; réduction du bruit du moteur;
- fonctionnement optimal sur toute la plage d'utilisation;
- installation facilitée d'un limiteur de vitesse;
- adaptation aisée d'un type de moteur sur différents véhicules.

Construction. L'injection Diesel EDC se compose de:

- **Capteurs.** Ils mesurent les données de fonctionnement, telles que charge, régime, température du moteur, pression de charge ainsi que les conditions de l'environnement comme la température de l'air d'admission et la pression de suralimentation.
- **Bloc de commande électronique.** C'est un micro-ordinateur qui gère les informations et qui tient également compte des valeurs de consigne mémorisées sous forme cartographique, ce qui lui permet de déterminer le débit d'injection, le début de l'injection et de réguler la quantité des gaz recyclés et la pression de suralimentation.
- **Actuateurs.** Ils permettent de contrôler le dispositif d'injection, le système de recyclage des gaz d'échappement et le système de suralimentation.

Fonctionnement de la régulation par cartographie Valeurs d'asservissement principales.

Le début ainsi que la quantité de carburant à injecter sont définis par la centrale de commande électronique en fonction de la cartographie et sur la base des valeurs d'asservissement principales que sont la charge et le régime. Le signal de charge est mesuré par un capteur situé sur la pédale d'accélérateur et celui du régime par un capteur placé sur le vilebrequin.

Valeurs de correction. Elles servent à optimiser les durées d'injection par rapport à la situation de conduite et aux conditions de l'environnement. Une cartographie est mémorisée pour chaque valeur de correction, p. ex. pour la:

- température du moteur;
- température du carburant;
- pression de suralimentation;
- température de l'air d'admission.

Mesure de l'écart entre valeur de consigne et valeur réelle. Des capteurs informent la centrale de commande sur le réglage en cours. Le cas échéant, la centrale de commande corrige les actuateurs concernés.

Particularités. Selon les véhicules, les fonctions suivantes sont réalisées par le biais de l'EDC:

- **Régulation du ralenti.** Pour diminuer les émissions polluantes et la consommation, le ralenti est maintenu aussi bas que possible, indépendamment des exigences de couple, p. ex. lors de l'utilisation d'un compresseur de climatisation ou d'un générateur.
- **Régulation de la stabilité de fonctionnement.** A quantité injectée équivalente, tous les cylindres d'un moteur ne délivrent pas le même couple à cause, notamment, de l'usure ou des tolérances des composants. Ceci provoque un fonctionnement instable et un accroissement des émissions polluantes. La régulation de la stabilité de fonctionnement reconnaît le phénomène sur la base de la variation de l'accélération du vilebrequin à l'aide du capteur de régime. Le système procède à une correction de la quantité injectée à chaque cylindre.
- **Coupure d'alimentation en décélération.** A la descente, l'injection est interrompue.
- **Amortissement actif des à-coups.** Lors de changement soudain de la charge, la modification de couple du moteur provoque des à-coups dans la transmission du véhicule. Ces à-coups sont détectés par le signal du régime et amortis par le système de régulation active. Afin de neutraliser l'effet des à-coups, la quantité injectée est réduite en cas d'augmentation du régime ou augmentée en cas de baisse de régime.
- **Interventions externes.** Le temps d'injection est influencé par d'autres appareils de commande, tels que la commande de boîte de vitesses, l'ASR ou l'ESP. Ces systèmes informent la centrale de commande, via un bus de données, si et dans quelles mesures le couple du moteur doit être modifié et ceci indépendamment de la volonté du chauffeur.
- **Antidémarrage électronique.** Afin d'éviter tout démarrage inopportun, la centrale de commande permet de démarrer le moteur seulement sous certaines conditions.
- **Tempomat.** Il règle la vitesse du véhicule à une valeur souhaitée. La quantité injectée est modifiée constamment afin que la valeur réelle de la vitesse corresponde à la valeur de consigne.
- **Autodiagnostic.** Les signaux d'entrée et de sortie sont contrôlés. Les défauts identifiés sont mémorisés dans la centrale de commande, puis communiqués au conducteur.
- **Fonctionnement de secours.** Suivant le défaut constaté, la centrale de commande enclenche le programme de fonctionnement de secours.
On distingue:
 - ✓ **réduction de 30 % de la puissance**, p. ex. en cas d'absence de valeurs de correction;
 - ✓ **augmentation du régime de ralenti**, p. ex. en cas d'absence de valeurs d'asservissement principales;
 - ✓ **arrêt d'urgence**, p. ex. en cas de dégâts significatifs au moteur.

Pompe d'injection distributrice à piston axial à régulation électronique (VE-EDC)

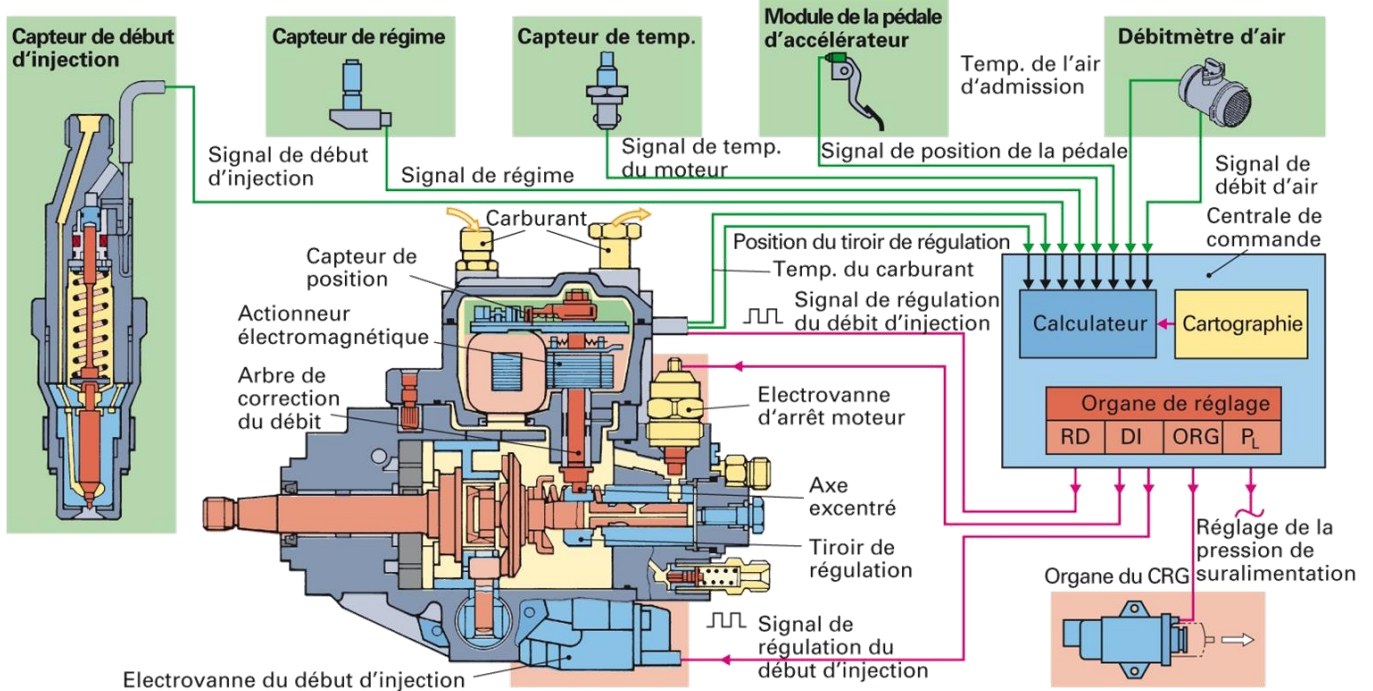


Fig. 19: Pompe d'injection distributrice à piston axial à régulation électronique EDC.

C'est une pompe d'injection distributrice à piston axial avec un actionneur électromagnétique pour le tiroir de régulation. Une électrovanne de correction est reliée au variateur d'avance à l'injection (Fig. 19).

Régulation du début de l'injection (DI).

Le variateur hydraulique d'avance à l'injection (Fig. 20) est commandé par une électrovanne (signal MIL).

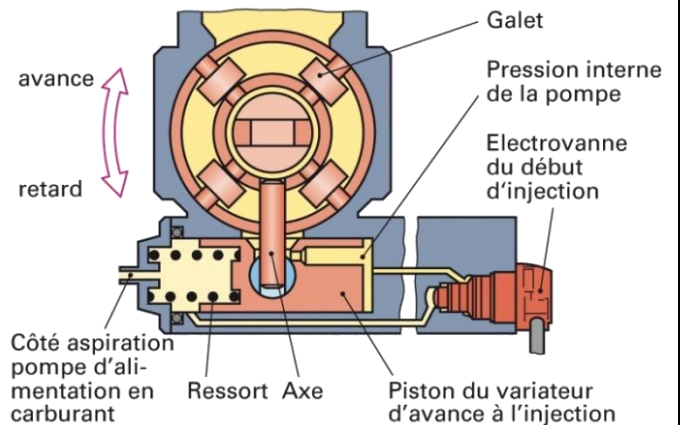


Fig. 20: Electrovanne du piston de variateur d'avance à l'injection

Réglage mode retard.

Lorsque l'électrovanne reste ouverte un certain temps, la pression diminue sur le piston du variateur, ce qui provoque une rotation du porte-galets et retarde le début d'injection.

Réglage mode avance.

Si l'électrovanne est fermée, la pression augmente sur le piston du variateur, le porte-galets pivote pour avancer le début d'injection.

Début théorique de l'injection.

Il dépend du régime et des différentes valeurs de correction.

Début réel de l'injection.

Il est détecté par le capteur de mouvement de l'aiguille et est transmis à la centrale de commande pour comparaison avec la valeur de consigne. Si les deux valeurs ne correspondent pas, le début de l'injection est corrigé par l'électrovanne.

Absence de signal.

Si l'électrovanne ne commande plus le variateur d'avance à l'injection, le début de l'injection continue à être ajusté par la pression interne de la pompe qui dépend du régime. Dans ce cas, l'injection fonctionne sur le mode "secours", la puissance du moteur est réduite d'environ 30 % et l'erreur est enregistrée dans la centrale de commande

Capteur du mouvement de l'aiguille (Fig. 19).

Il indique à la centrale de commande le moment d'ouverture et de fermeture de l'injecteur. Ce capteur est généralement monté dans le porte-injecteur central du moteur.

Fonctionnement.

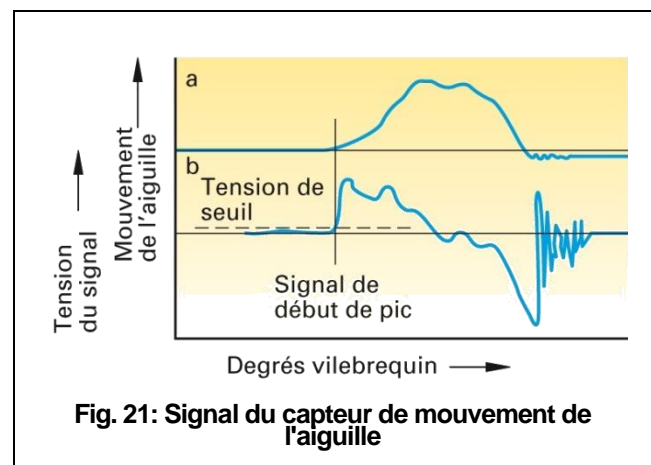
Lors de l'ouverture ou de la fermeture de l'injecteur, les mouvements de l'aiguille modifient le champ magnétique de la bobine et induisent une tension. Les dépassements de la tension de seuil servent de signal à la centrale de commande pour actionner le début de l'injection (Fig. 21).

Réglage de la quantité d'injection.

Les informations sur la position de la pédale d'accélérateur, le régime **du** moteur et les valeurs de correction sont transmises à la centrale de commande. Ces signaux sont comparés aux valeurs mémorisées dans la cartographie, ce qui permet à l'ordinateur de définir un débit d'injection optimal et ainsi de commander, par des impulsions électriques, l'actionneur du tiroir de régulation du piston distributeur.

Le réglage de la quantité de carburant s'effectue par l'ouverture plus ou moins rapide de l'orifice de décharge.

Aux fréquences de rotation moyennes, le réglage du débit s'effectue de façon si rapide que le débit de carburant peut être modifié d'un cylindre à l'autre. La position du tiroir de régulation est mesurée, puis comparée aux valeurs de référence pour ajuster précisément le débit de carburant.



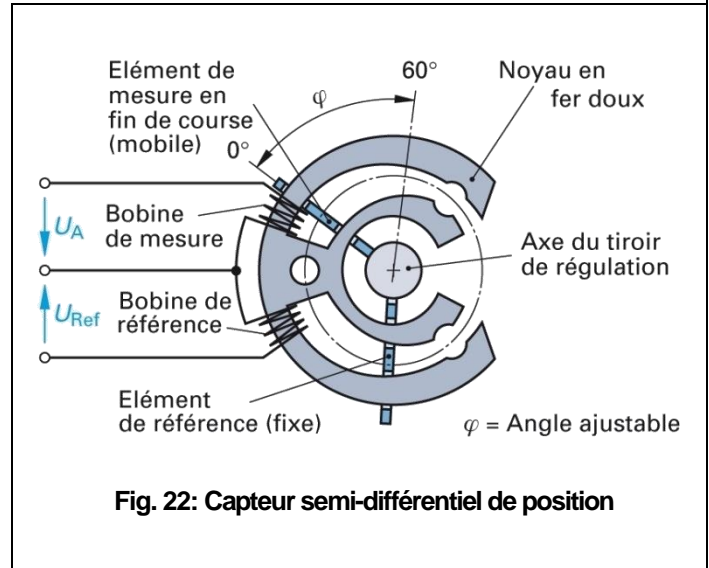
Capteurs de position.

On distingue le:

- **potentiomètre de bague collectrice.**

Il est composé d'un curseur et d'une piste conductrice. La résistance varie en fonction de la position du curseur sur la piste.

Ce potentiomètre est soumis à l'usure mécanique.



- **capteur semi-différentiel de position (Fig. 22).**

Il est composé d'un noyau en fer doux, d'une bobine de mesure, d'une bobine de référence ainsi que d'un élément de référence fixe. Le déplacement de l'élément de mesure modifie le flux magnétique et donc la tension de la bobine de mesure U_A . Le système est très précis et n'est pas soumis à l'usure car il travaille sans aucun contact mécanique.

Pompe d'injection distributrice à pistons radiaux (VP44)

C'est une pompe d'injection à régulation électronique (EDC) dont le bloc de commande est intégré au carter. Elle atteint des pressions d'injection pouvant aller jusqu'à 1900 bar et peut être montée dans n'importe quelle position (Fig. 22:).

Fonctionnement.

L'arbre de commande entraîne la pompe à palettes et l'arbre de commande de distribution, tout ceci à la moitié du régime du vilebrequin. Lors de la rotation de la pompe, les rouleaux des poussoirs à galets se déplacent sur la piste de la bague à cames et poussent axialement les deux pistons à haute pression.

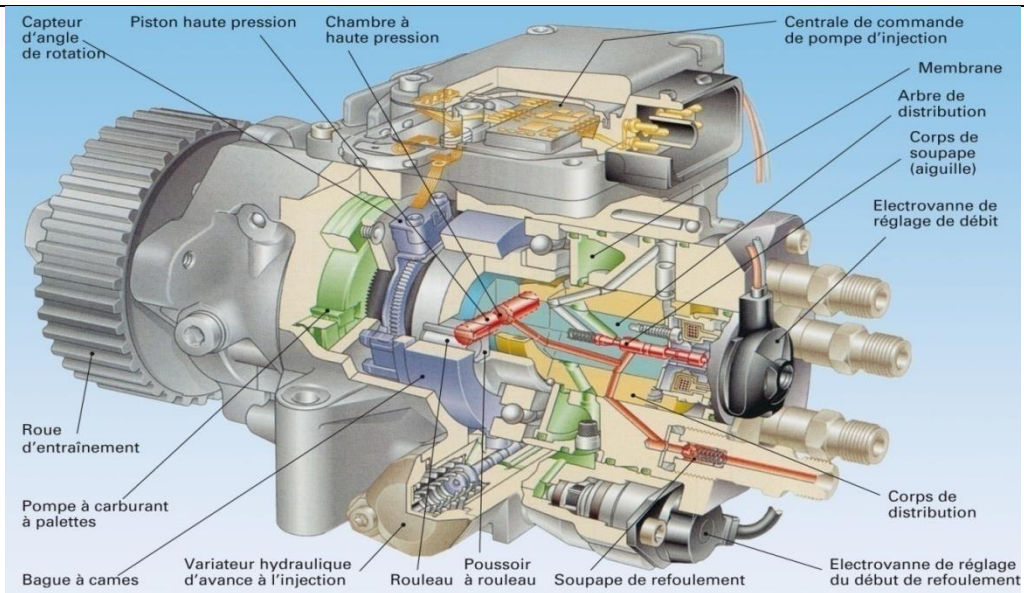


Fig. 22: Pompe d'injection distributrice à pistons radiaux (VP44)

L'électrovanne contrôle le début d'injection et la quantité de carburant injectée. L'électrovanne du variateur hydraulique d'avance à l'injection permet, grâce à la rotation de la bague à cames, de créer la haute pression au moment idéal correspondant.

Fonctions.

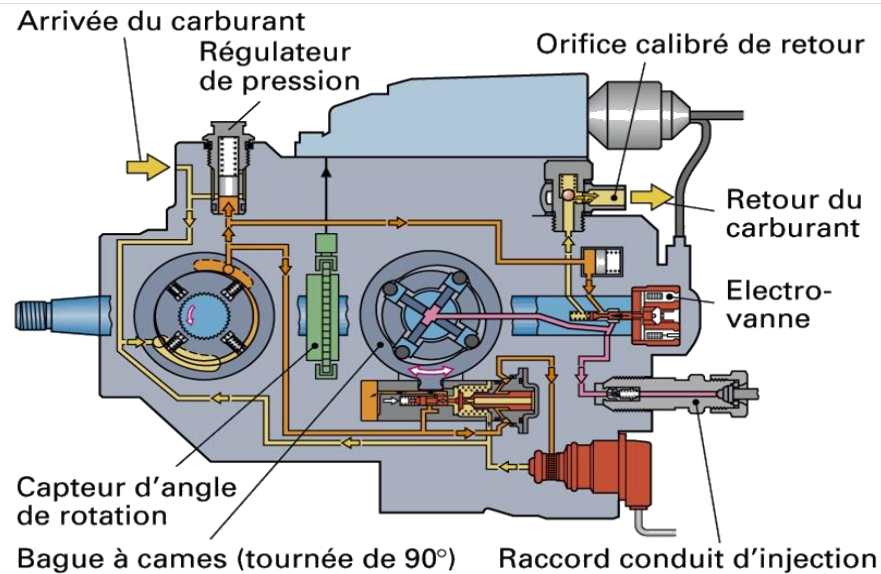
- La pompe à injection VP44 assure: l'alimentation en carburant;
- la production et la distribution de la haute pression;
- la régulation du début d'injection;
- la régulation du débit de carburant injecté.

Alimentation en carburant.

La pompe à palettes aspire le carburant dans le réservoir et le refoule à l'intérieur de la pompe. Contrairement à la pompe rotative, seul l'espace situé derrière la membrane est rempli, cela permet une pression de remplissage plus élevée, qui se situe:

- au ralenti à environ 3 à 4 bar;
- à charge partielle entre 4 et 15 bar;
- à haut régime et pleine charge de 15 à 20 bar.

Le régulateur de pression et l'orifice calibré de retour permettent de limiter la pression.


Fig. 23: Circuit du carburant dans une VP44
Variateur d'avance à l'injection (Fig. 24).

Lors de la rotation de la bague à cames, les poussoirs à rouleaux se déplacent plus tôt ou plus tard sur les bossages. L'injection ne peut avoir lieu que si l'électrovanne est fermée car, si elle reste ouverte, le carburant est refoulé dans le circuit interne.

La position de la bague à cames définit le moment où l'injection peut commencer.

Rôle.

La pression d'injection élevée de la pompe VP44. exerce des forces très importantes sur la bague à cames

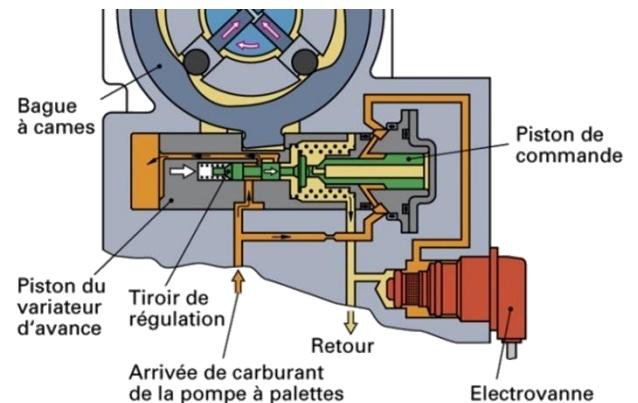
Les rapports de pression hydrauliques qui agissent sur le piston du variateur d'avance à l'injection permettent d'effectuer des réglages rapides et précis

Réglage du variateur sur "avance".

En position de repos, le piston du variateur d'avance est maintenu en position "retard" par le ressort de rappel. Lorsque l'électrovanne se ferme grâce au signal MIL, la pression agit sur le piston de commande. Celui-ci, en se déplaçant vers la droite, entraîne le tiroir de régulation qui ouvre un orifice pour laisser passer le carburant sous pression dans la chambre de travail du piston du variateur d'avance. Le piston se déplace vers la droite en direction "avance".

Réglage du variateur sur "retard".

Le signal de la centrale de commande ouvre l'électrovanne. La pression du carburant diminue sur le piston de commande. La force du ressort repousse le piston de commande et le tiroir de régulation sur la gauche. La chambre de pression est reliée par l'orifice au circuit de retour. Le piston du variateur d'avance est repoussé par son ressort de rappel dans le sens "retard"


Fig. 24: Réglage du variateur sur "avance"

Phases d'alimentation

Phase de remplissage (Fig. 25).

Lorsque les poussoirs à rouleaux se trouvent dans le creux des cames de la bague, l'électrovanne se met en position de remplissage (ouverte et non alimentée en courant). Le carburant afflue dans la chambre haute pression à la valeur de la pression interne de la pompe et pousse les pistons contre les poussoirs à rouleaux.

Phase d'alimentation / début de l'injection (Fig. 26).

L'électrovanne, activée par un courant électrique (fermeture 20 A, maintien 13 A), ferme l'arrivée du carburant. Les pistons poussés par les poussoirs à rouleaux se rapprochent l'un de l'autre, refoulant le carburant hors de la chambre haute pression vers l'injecteur.

Fin de l'injection.

Lorsque la quantité de carburant nécessaire est atteinte, la centrale de commande coupe l'alimentation en courant de l'électrovanne qui se remet en position de remplissage et permet à la haute pression de retourner dans la chambre interne de la pompe.

La figure 27 montre le schéma de régulation de la quantité injectée, du début d'injection possible et du début d'injection effectif. Lorsqu'un capteur tombe en panne, le circuit de régulation est mis hors service et la centrale de commande passe en mode secours.

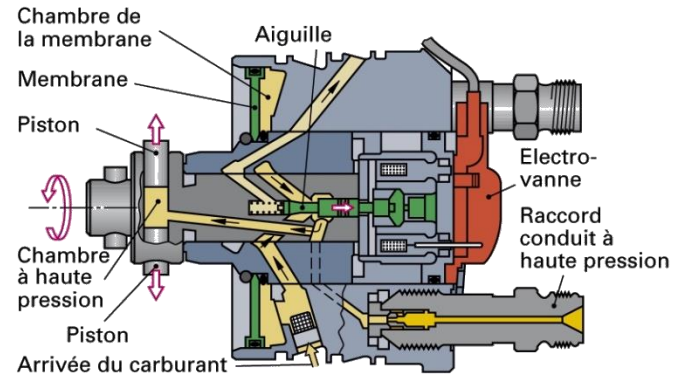


Fig. 25: Phase de remplissage de la chambre à haute pression

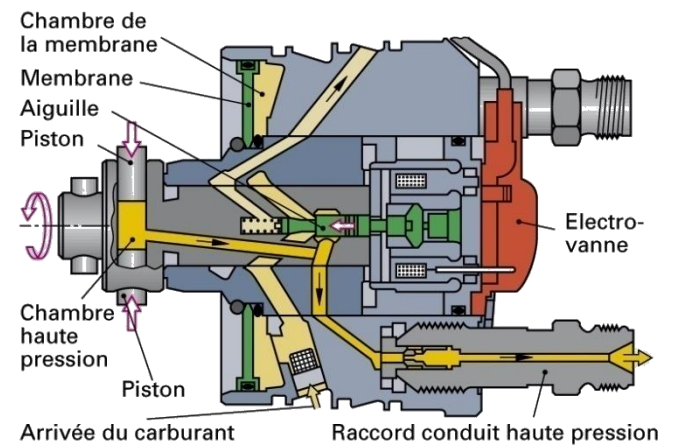


Fig. 26: Phase d'alimentation/début de l'injection

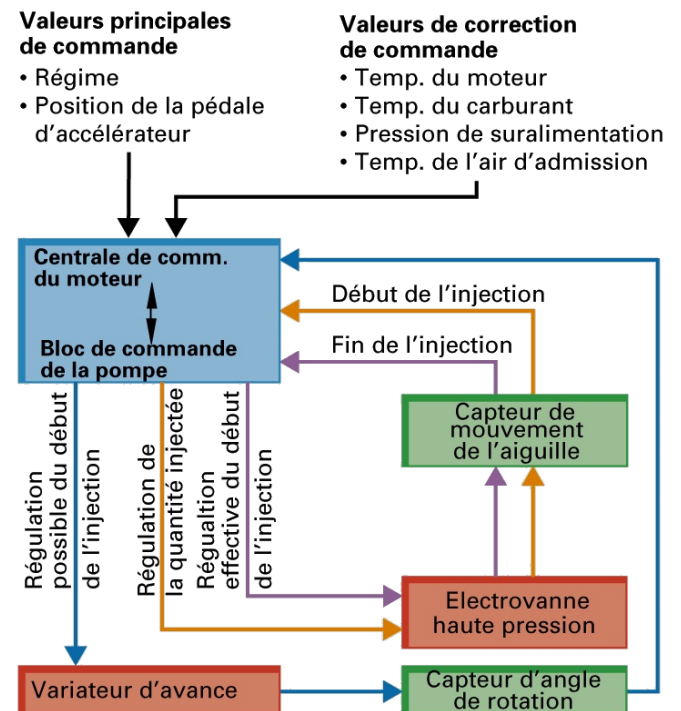


Fig. 27: Circuit de commande et de régulation d'une pompe VP 44

Système à injecteur-pompe

Ce système comporte un élément injecteur-pompe par cylindre qui est placé à l'intérieur de la culasse. La pression d'injection peut atteindre une valeur de 2200 bar.

Entraînement.

L'arbre à cames du moteur dispose d'une came d'injection pour chaque élément injecteur-pompe. Le mouvement de la came est transmis au piston de la pompe par un culbuteur à rouleaux. La came d'injection a un bord à attaque très rapide, ce qui pousse le piston à grande vitesse vers le bas. Ainsi on obtient très rapidement une pression d'injection très élevée. L'arrière de la came d'injection est aplati, permettant ainsi au piston de remonter régulièrement et lentement.

Alimentation en carburant.

Une pompe à carburant, entraînée par l'arbre à cames du moteur, alimente les éléments injecteur-pompe (Fig. 29).

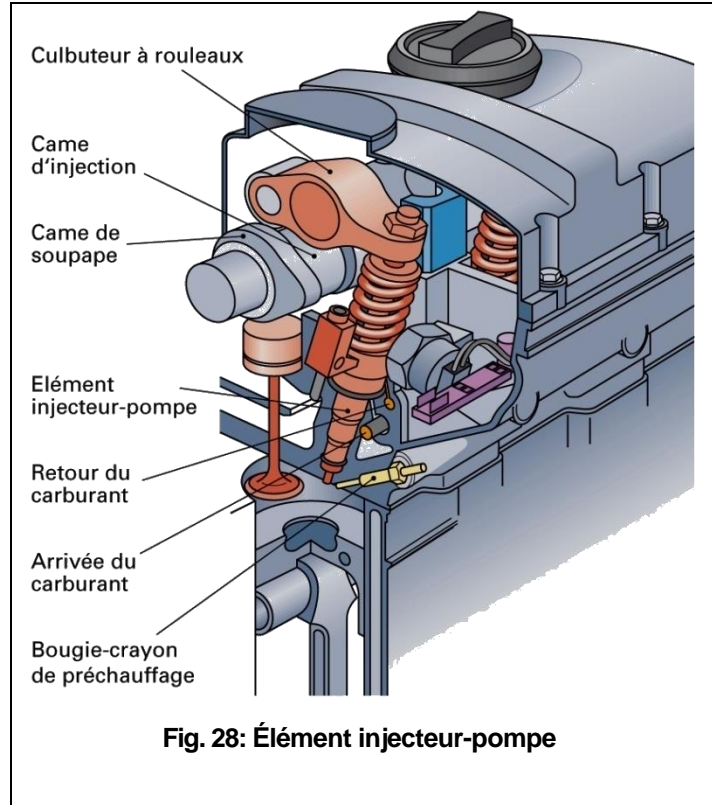


Fig. 28: Élément injecteur-pompe

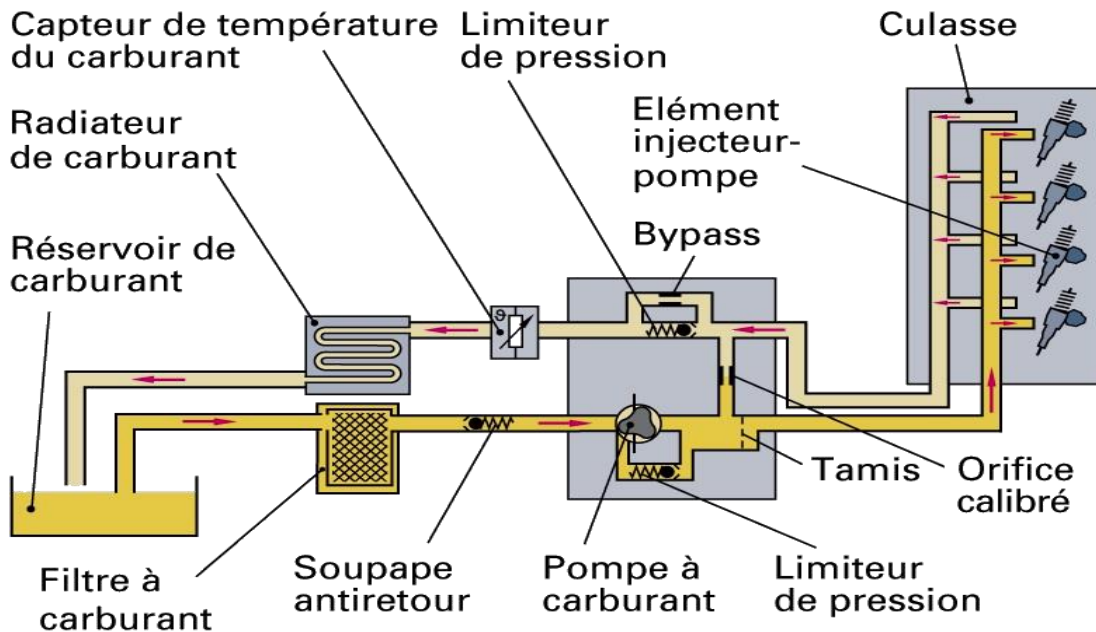


Fig. 29: Alimentation en carburant

Le surplus de carburant qui n'est pas injecté refroidit les éléments injecteur-pompe. Il sort de la culasse par la conduite de retour, passe devant un capteur de température, se refroidit dans un radiateur puis retourne au réservoir.

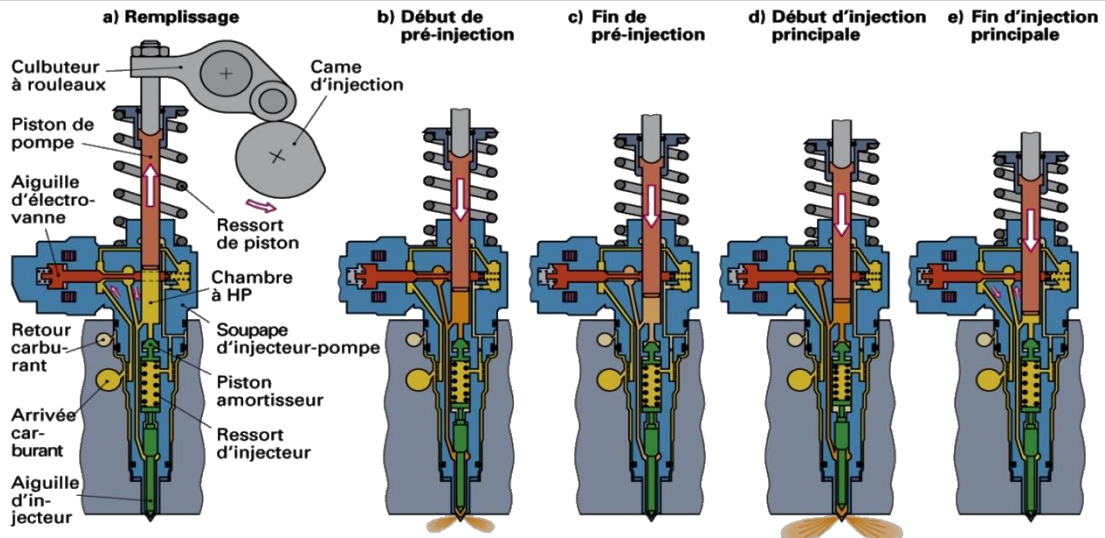


Fig. 30: Phases d'injection d'un élément injecteur-pompe

Remplissage. a) : Le piston de pompe est déplacé vers le haut grâce à son ressort, ce qui agrandit le volume de la chambre à haute pression. L'électrovanne n'est pas activée, l'aiguille en position repos laisse passer le carburant vers la chambre à haute pression.

Début de pré-injection. b) : La came d'injection fait pivoter le culbuteur à rouleaux, le piston est poussé vers le bas ce qui refoule le carburant hors de la chambre haute pression. L'aiguille de l'électrovanne ferme le canal du retour de carburant, la chambre à haute pression devient étanche. A partir de 180 bar, la pression est supérieure à la force du ressort de l'injecteur, l'aiguille se soulève et la pré-injection commence.

Fin de pré-injection. c) : L'augmentation de pression dans la chambre haute-pression permet le déplacement du piston amortisseur qui, lorsqu'il s'ouvre, augmente l'appui sur le ressort de l'injecteur tout en agrandissant le volume de la chambre haute pression. La pression qui agit sur l'aiguille diminue un court instant; l'injecteur se ferme et la pré-injection se termine.

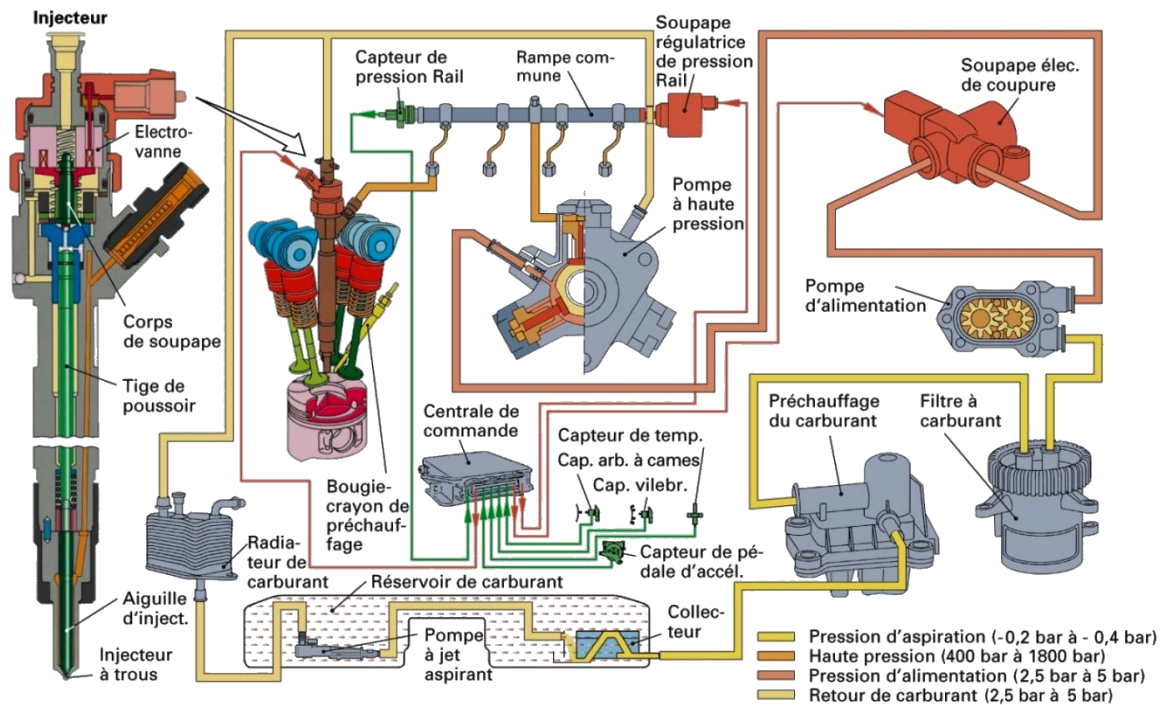
Début d'injection principale. d) : Le piston de pompe continue sa course vers le bas. Lorsque la haute pression a atteint une valeur d'environ 300 bar, l'aiguille de l'injecteur arrive à vaincre la force de son ressort et se soulève. Pendant cette phase d'injection, la pression d'injection peut augmenter jusqu'à 2200 bar car la quantité de carburant qui doit être injectée doit impérativement passer par les trous de l'injecteur. Les trous provoquent une importante résistance au passage du débit ce qui génère l'augmentation de la pression.

Fin de l'injection principale. e) : L'injection prend fin lorsque l'électrovanne n'est plus alimentée en courant par la centrale de commande du moteur.

Le ressort pousse l'aiguille d'électrovanne, qui ouvre un passage entre la chambre HP et les circuits d'alimentation et de retour. La pression chute, l'injecteur se ferme et le ressort d'injecteur repousse le piston amortisseur en position repos. L'injection principale est terminée.

Réglage du débit d'injection et du début d'injection.

Le début d'injection et la quantité de carburant injecté sont déterminés par la durée de fermeture de l'électrovanne, activée par la centrale de commande.

Le système Common Rail

Fig. 31: Dispositif d'injection Common-Rail de 1^{ère} génération

Dans le système Common Rail, le carburant est accumulé, à haute pression, dans la rampe de distribution commune puis introduit dans les chambres de combustion par des injecteurs commandés par cartographie.

Construction.

Le système d'injection Common Rail de 1^{ère} génération (Fig. 31) comprend:

- **le circuit à basse pression.** Il se divise en secteurs d'aspiration, de pression d'alimentation et de retour du carburant. Il comprend le réservoir, le préchauffage du carburant, le filtre, la pompe d'alimentation, la soupape de coupure et le radiateur de carburant;
- **le circuit à haute pression.** Il se compose de la pompe à haute pression, des conduites à haute pression, de la rampe commune et d'un injecteur par cylindre;
- **la commande électronique.** Elle comprend la centrale de commande, l'ensemble des capteurs, la soupape régulatrice de pression du rail, les électrovannes des injecteurs et la soupape électrique de coupure.

Fonctionnement.

Le carburant est aspiré dans le réservoir par la pompe d'alimentation, il est envoyé au travers du dispositif de préchauffage, du filtre à carburant et de la soupape électrique de coupure dans la pompe haute pression. La pression de la rampe est déterminée par une cartographie, en fonction de la charge et du régime du moteur (ill. 2). Les injecteurs injectent le carburant directement dans la chambre de combustion. Le volume de stockage de la rampe permet de générer la pression indépendamment de l'injection, ce qui permet une injection indépendante de la position du piston du moteur.

Selon les situations, la centrale de commande EDC calcule les paramètres suivants:

- début de l'injection;
- quantité injectée;
- pression de la rampe;
- déroulement de l'injection (p. ex. préinjection, injection principale et post-injection).

La figure 32, représente la cartographie des valeurs de consigne de la pression de la rampe. Ainsi, lorsque le conducteur accélère avec le levier de vitesses au point mort, la cartographie commande une augmentation de pression en gardant la durée d'injection constante.

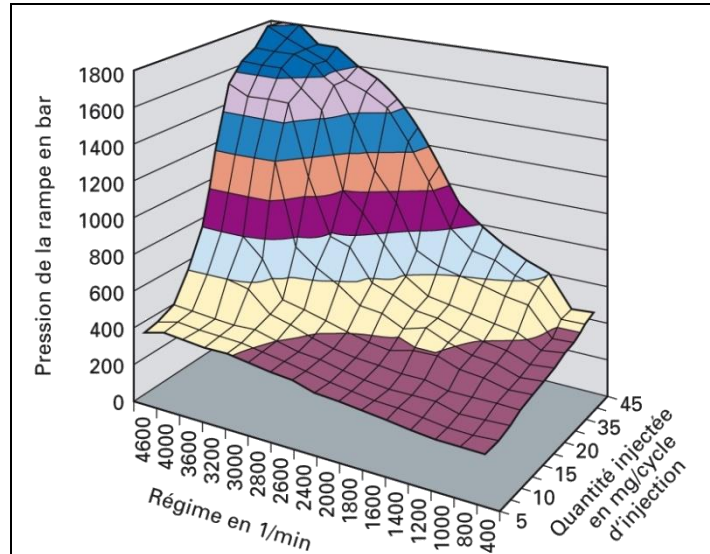


Fig. 32: Cartographie des valeurs de consigne de la pression de la rampe

Lorsque la charge augmente, et que le régime est bas, la durée d'injection augmente alors que la pression dans la rampe reste constante.

La pression maximale d'injection d'env. 1800 bar n'est atteinte qu'à charge élevée et à haut régime afin de pouvoir injecter la totalité de la quantité de carburant en un laps de temps réduit.

Régulation de la pression

Dans les systèmes Common Rail, on distingue:

- **la régulation simple.** Dans ce cas, la pression est réglée par un actuateur qui est monté soit du côté haute pression, soit du côté aspiration;
- **la régulation double.** Dans ce cas, la pression est réglée par deux actuateurs qui sont montés *du* côté haute pression **et** du côté aspiration.

Régulation simple, côté haute pression (Fig. 33) :

Fonctionnement.

La pompe haute pression aspire la quantité maximale de carburant, indépendamment de la quantité nécessaire à l'injection, La pression de la rampe est contrôlée par un régulateur de pression situé du côté haute pression (régulation de la haute pression). Le carburant qui n'est pas utilisé pour l'injection retourne depuis le régulateur de pression dans le circuit basse pression et au réservoir.

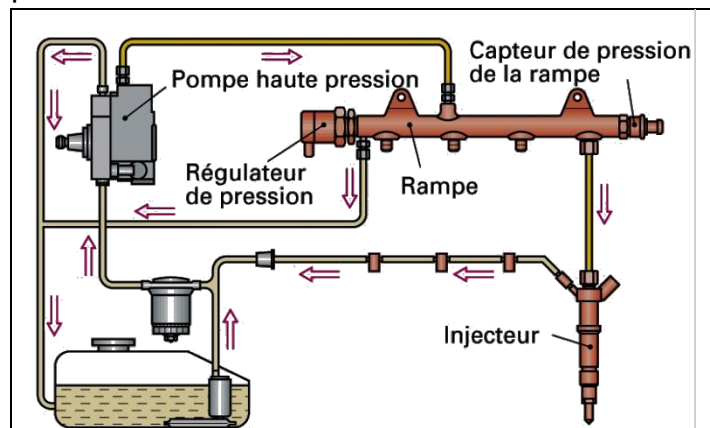


Fig. 33: Régulation simple. Régulation de la pression côté haute pression au moyen d'un régulateur de pression

Le régulateur de pression peut être monté sur la rampe ou intégré à la pompe haute pression.

La régulation de la pression côté haute pression permet d'obtenir un ajustement dynamique rapide de la pression dans la rampe (p. ex. en cas de changements rapides de la charge).

Régulation simple, côté basse pression (Fig. 34)

Fonctionnement.

La pression de la rampe est réglée par une unité de dosage placée dans la pompe haute pression. Ainsi, grâce à la régulation de la pression côté aspiration, seule une petite quantité de carburant est sous pression, ce qui permet de limiter l'échauffement du carburant et la puissance absorbée par la pompe haute pression.

Régulation double (Fig. 35)

Dans ce type de régulation, une unité de dosage est installée sur la pompe et un régulateur de pression sur la rampe. Les soupapes sont commandées individuellement ou ensemble, en fonction des conditions de fonctionnement du moteur (Fig. 36).

Fonctionnement

Démarrage. Au démarrage, le système travaille seulement avec le régulateur de pression placé sur la rampe, ainsi la haute pression est atteinte rapidement. La pompe fournit plus de carburant sous pression qu'il n'en faut pour l'injection, ce qui préchauffe le carburant et, par conséquent, évite l'utilisation d'un système de chauffage du carburant.

Ralenti, charge partielle.

Au ralenti, en décélération et lorsqu'une faible quantité de carburant est nécessaire, la pression du carburant est régulée simultanément par les deux soupapes, ainsi la régulation est plus précise. La qualité du ralenti et la progressivité de montée en régime s'en trouvent améliorées. De plus la pompe prend moins d'énergie au moteur.

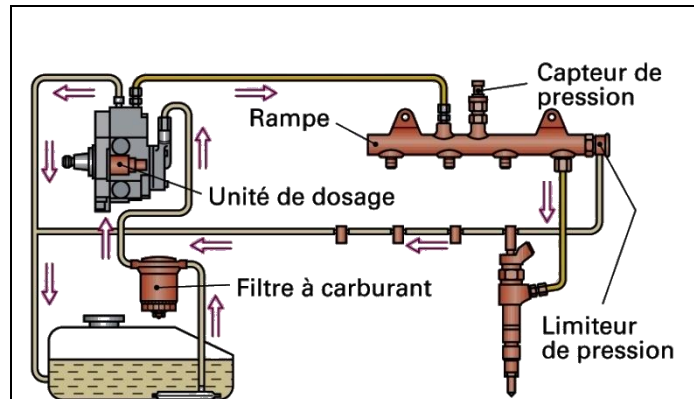


Fig. 34: Régulation simple de la pression côté aspiration avec une unité de dosage

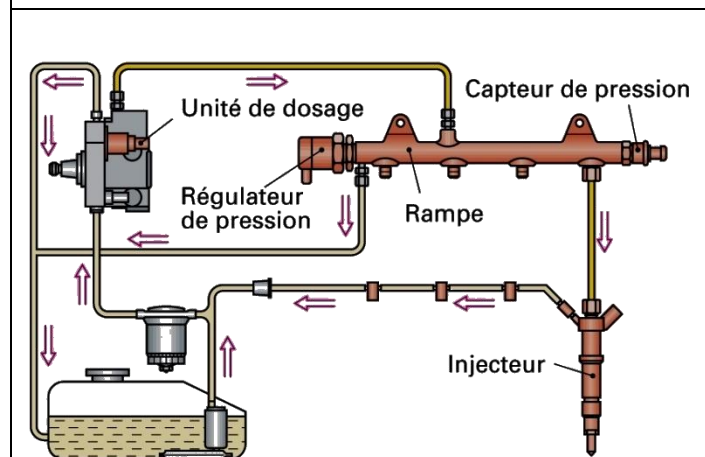


Fig. 35: Régulation double. Combinaison de régulation côté aspiration et côté haute pression

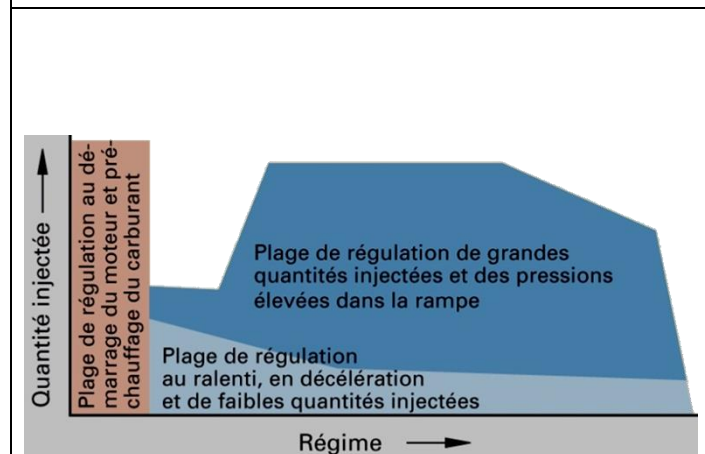


Fig. 36: Cartographie d'une régulation double

Etat de charge moyenne et élevée.

Si de grandes quantités de carburant sont injectées et que la pression dans la rampe est élevée, la pression du carburant est régulée par l'unité de dosage. Une régulation de la pression du carburant adaptée aux besoins permet de réduire le travail de la pompe haute pression et d'empêcher un échauffement trop important du carburant.

Composants

Pompe d'alimentation en carburant. Elle alimente en carburant la pompe à haute pression. C'est la plupart du temps une pompe électrique à rouleaux, une pompe à engrenage ou une combinaison des deux.

Pompe à carburant électrique. Ces pompes sont, en général, intégrées au réservoir de carburant (immergée) ou à la conduite d'alimentation en carburant. Pour atteindre rapidement la pression de 3 à 7 bar dans le circuit basse pression, la pompe démarre déjà à l'ouverture des portières du véhicule, respectivement lors de sa mise en marche. Selon leur type, ces pompes ont un débit de 40 à 500 l/h et sont auto-amorçantes

Pompe à engrenage. Elle est généralement entraînée par l'arbre à cames. La quantité de carburant pompée est proportionnelle au régime du moteur. Une soupape de décharge maintient une pression constante (p. ex. 7 bar). Le débit atteint 250 l/h. Si le carburant est très chaud (donc fluide), le débit des pompes à engrenage diminue.

Systemes combinés. Ils se composent d'une pompe à carburant électrique et d'une pompe à engrenage et assurent notamment un meilleur démarrage à froid.

Pompe haute pression (Fig. 37).

Elle alimente la rampe commune en carburant sous haute pression (jusqu'à env. 2000 bar). Il s'agit généralement d'une pompe à pistons radiaux dont l'arbre d'entraînement, pourvu d'une came excentrique, actionne les trois pistons de la pompe. L'arbre de la pompe est entraîné directement par l'arbre à cames du moteur, un engrenage ou une courroie crantée

Course d'aspiration (Fig. 38). Lorsque la pression d'alimentation dépasse la pression d'ouverture de la soupape d'admission, le carburant remplit le volume créé par la course descendante du piston de pompe.

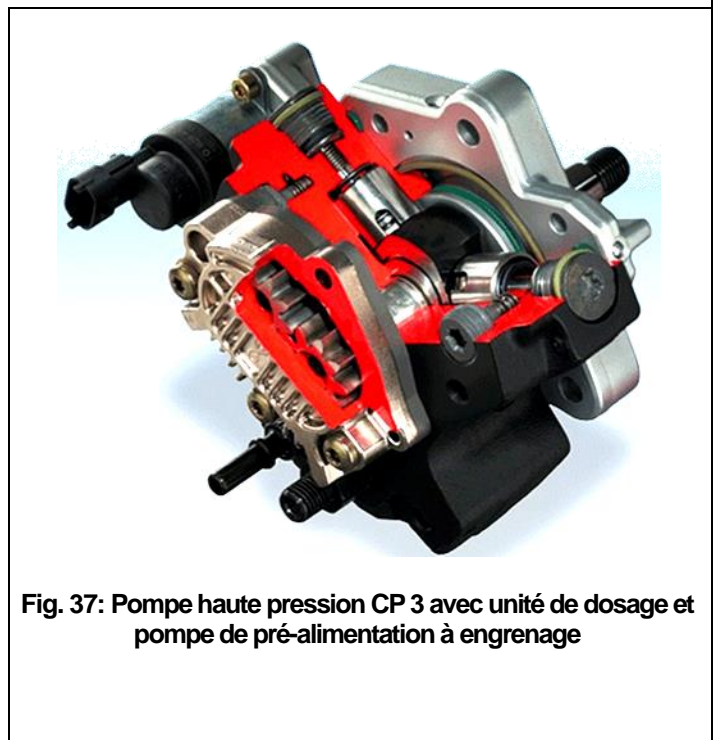


Fig. 37: Pompe haute pression CP 3 avec unité de dosage et pompe de pré-alimentation à engrenage

Course de refoulement (Fig. 38). Lorsque le PMB du piston de pompe est dépassé, la soupape d'admission se ferme et le carburant ne peut plus s'échapper. Le mouvement du piston vers le PMH met et maintient le carburant sous pression; la soupape de refoulement s'ouvre dès que la pression dans la pompe dépasse celle de la rampe.

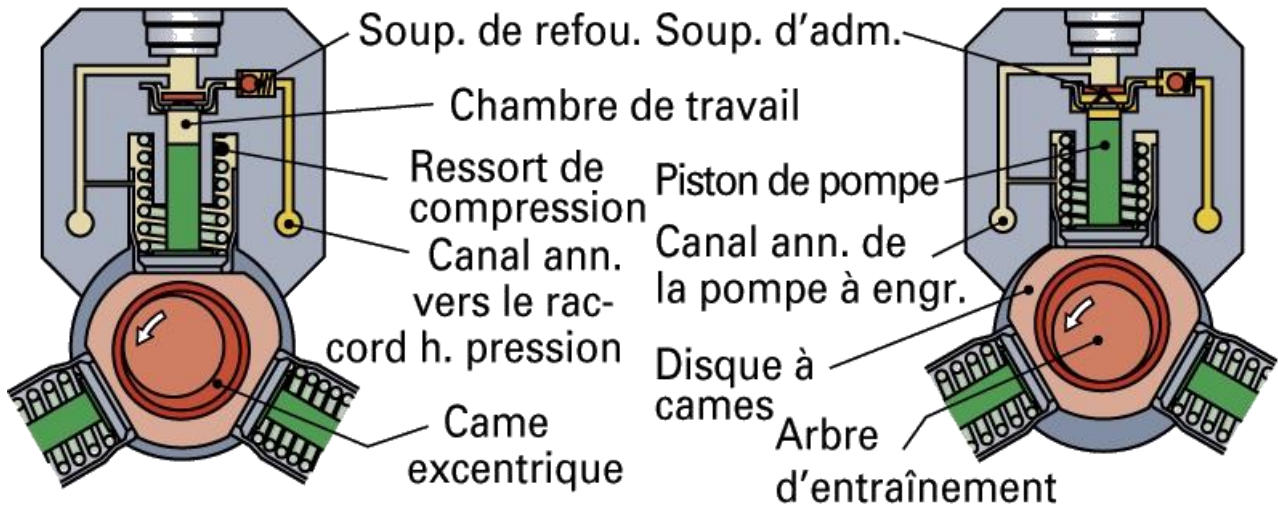


Fig. 38: Course d'aspiration et de refoulement

Pompe haute pression - pompe à deux pistons (Fig. 39).

Afin de respecter les limites légales d'émissions polluantes, on utilise des pompes à un ou deux pistons. Ces pompes haute pression permettent d'injecter des quantités régulières de carburant dans tous les cylindres en assurant aux injecteurs un même niveau de pression. Pour cela, les mouvements des pistons de la pompe sont synchronisés avec les mouvements des pistons du moteur. Les pistons de la pompe et les pistons du moteur montent et descendent en même temps.

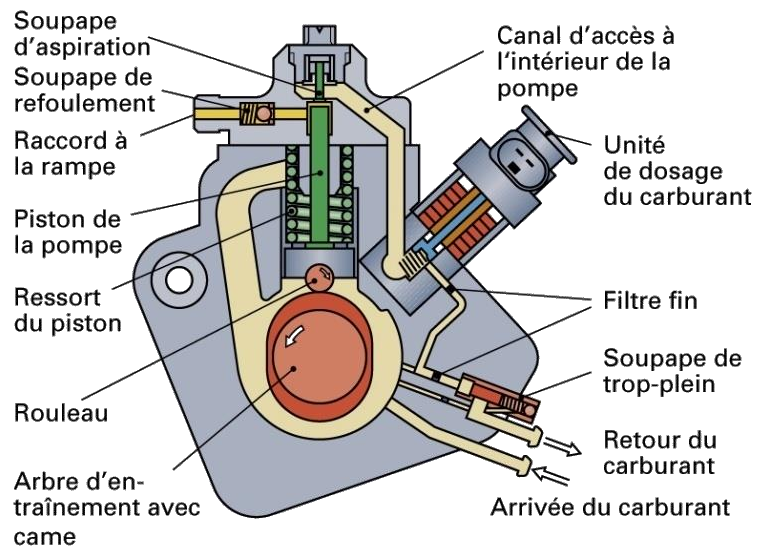


Fig. 39: Pompe haute pression CP4 avec unité de dosage

Pour diminuer son poids, le carter de la pompe haute pression CP4 est en aluminium. Seuls les éléments de la pompe soumis à la haute pression ainsi que la tête du cylindre sont en acier. Le système d'entraînement à cames avec poussoir à rouleau réduit la friction, diminuant ainsi les pertes de rendement et l'usure des composants de la pompe.

Unité de dosage (Fig. 39).

L'unité de dosage est intégrée à la pompe haute pression.
Elle régule la quantité de carburant nécessaire à la production de la haute pression.

Fonctionnement.

Lorsqu'elle n'est pas alimentée en courant, l'unité de dosage est ouverte. La soupape de dosage servant à limiter la quantité de carburant qui afflue dans la chambre de compression est commandée par des signaux à rapports cycliques (MIL) provenant de la centrale de commande. La position du piston d'arrêt se modifie en fonction du rapport impulsion/pause. La quantité de carburant affluant dans la chambre de compression de la pompe haute pression est ainsi régulée

Régulateur de pression (Fig. 40).

Il est monté sur la rampe d'injection ou sur la pompe haute pression.

Il maintient une pression constante dans la rampe, en fonction de l'état de charge et des conditions de fonctionnement du moteur.

Fonctionnement.

Le ressort et l'électroaimant poussent la soupape sur son siège et isolent le côté haute pression de la rampe du circuit de retour.

Le ressort est étalonné pour maintenir une pression d'env. 100 bar lorsque l'électroaimant est inactif. Lorsque le signal MIL parvient à l'électroaimant, une force générée par le champ magnétique s'ajoute à la force du ressort. La pression dans la rampe atteint ainsi 400 bar au ralenti et environ 2000 bar à pleine charge.

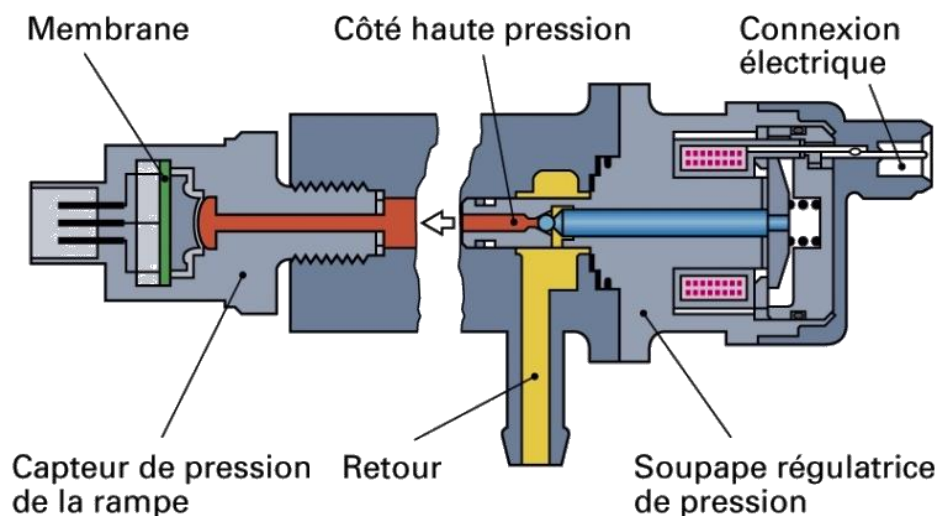


Fig. 40: Capteur de pression et soupape régulatrice de pression de la rampe

La pression reste pratiquement constante car le volume de la rampe permet de stocker un volume de carburant plus important que la quantité injectée.

La fréquence d'actionnement est de 1 kHz, ce qui permet d'éviter tout mouvement de balancier et donc tout écart de pression. En cas de défaillance du régulateur de pression, le moteur ne peut plus fonctionner car le système d'injection ne reçoit plus suffisamment de carburant sous haute pression.

Capteur de pression de la rampe (Fig. 40).

Il est situé sur la rampe et informe la centrale de commande de la pression dans la rampe. La pression est mesurée par un capteur et transmise, sous forme de signal élaboré par l'électronique d'évaluation, à la centrale de commande. La tension d'alimentation du capteur est de 5 V. La valeur de la tension de sortie est d'env. 0,5 V à basse pression et monte jusqu'à 4,5 V à pression élevée. Lorsque ce signal manque, le système passe en mode "secours" et la soupape régulatrice de pression est commandée par une valeur fixe.

Soupape de limitation de la pression

Elle est utilisée sur les systèmes Common Rail avec régulation simple et unité de dosage. En cas de défaillance de l'unité de dosage, la soupape évite toute surpression dans la rampe en ouvrant un orifice d'échappement. Une pression définie (p. ex. 400 bar) est toutefois maintenue dans la rampe, afin de permettre un fonctionnement de secours et un déplacement limité du véhicule.

Rail (anglais = rampe. rampe de distribution).

C'est une rampe en acier à paroi épaisse munie de raccords pour les conduites d'injection, d'un capteur de pression et d'une soupape de décharge.

La rampe accumule du carburant à haute pression ce qui permet de compenser les variations de pression.

Injecteur à électrovanne (EV) :

L'injecteur permet un réglage précis du début d'injection et de la quantité de carburant injectée; il autorise la pré-injection et la post-injection.

Construction.

L'injecteur se compose des éléments suivants:

- l'électrovanne;
- la chambre de commande;
- le piston de commande;
- l'injecteur.

Fonctionnement

Injecteur fermé (repos).

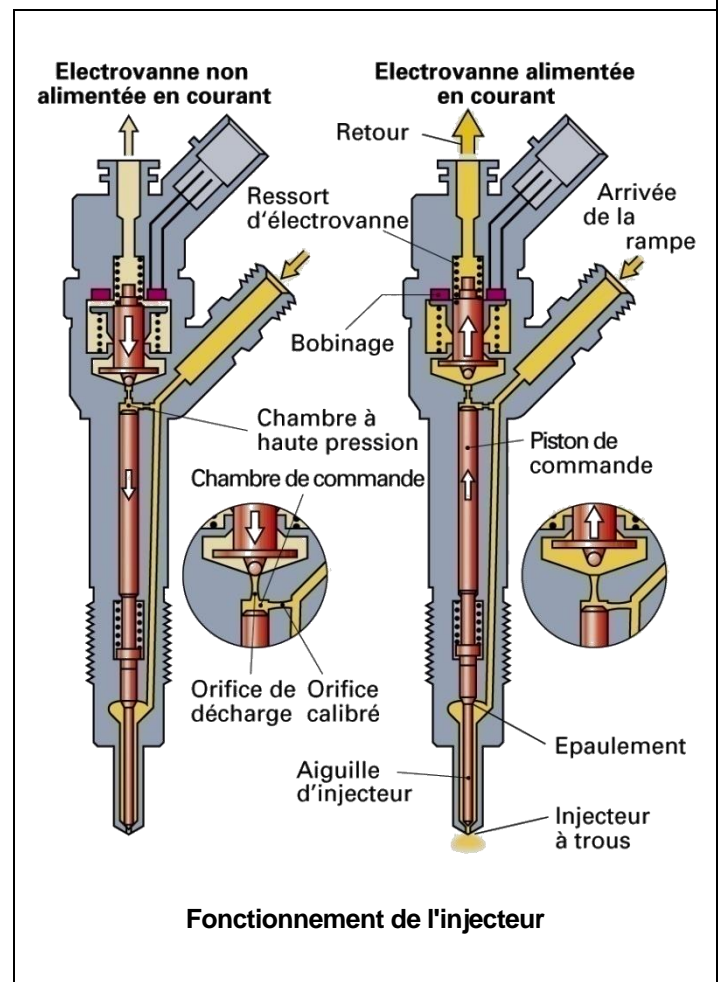
Le carburant sous pression est maintenu dans la chambre de commande et sur l'épaulement de l'injecteur. L'orifice de décharge est fermé par la bille de soupape. La force exercée sur le piston de commande est supérieure à celle exercée sur l'épaulement. L'aiguille de l'injecteur reste fermée indépendamment de la pression dans la rampe.

Ouverture de l'injecteur (début de l'injection).

Lorsque l'électrovanne est alimentée en courant par la centrale de commande, la bille libère l'orifice de décharge provoquant une chute de la pression dans la chambre de commande. La baisse de pression est rendue possible car l'orifice calibré limite le débit de retour par l'orifice de décharge. L'aiguille de l'injecteur se soulève grâce à la force qui s'exerce sur l'épaulement de l'aiguille de l'injecteur.

Fermeture de l'injecteur (fin de l'injection).

Dès que l'électrovanne ne reçoit plus de courant, le ressort repousse la bille sur son siège. La pression augmente immédiatement dans la chambre de commande, l'injecteur se ferme grâce à la force du ressort et à la force exercée par la pression du carburant sur la face supérieure du piston de commande.



L'aiguille de l'injecteur est ainsi ouverte et fermée par l'intermédiaire de la pression du système. Ce type de commande hydraulique est indispensable car l'ouverture rapide de l'aiguille de l'injecteur requiert une force qu'une électrovanne ne peut pas fournir.

Commande de l'injecteur.

Pour pouvoir subdiviser l'injection en trois séquences (pré-injection, injection principale et post-injection), il faut des électrovannes à faible temps de réponse.

Phase de courant d'appel.

Pour pouvoir ouvrir l'électrovanne, le courant doit atteindre rapidement 20 A, selon une progression précisément définie, afin de permettre que la même quantité précise de carburant soit injectée (avec une certaine tolérance) à chaque cycle (précision de répétition), ce qui est rendu possible grâce à une tension allant jusqu'à 100 V. Cette "tension turbo" générée par la self-induction lors de la commande des électrovannes est emmagasinée dans un condensateur dans la centrale de commande.

Phase de courant de maintien.

C'est le temps durant lequel le courant est réduit à env. 13 A avec une tension qui est celle de bord, afin de diminuer les pertes de rendement au niveau de l'appareil de commande et de l'injecteur.

Déclenchement.

Lorsque le courant est interrompu, la modification du champ magnétique génère une tension d'induction au niveau de la bobine de l'injecteur, tension grâce à laquelle le condensateur "booster" de la centrale de commande est à nouveau chargé (Fig. 41).

Recharge du condensateur (booster).

Dès que l'énergie accumulée dans le condensateur passe en-dessous d'une limite définie, une bobine de l'injecteur est brièvement activée par la tension de la batterie (sans que l'injecteur ne s'ouvre). Cette tension induite recharge le condensateur (Fig. 42).

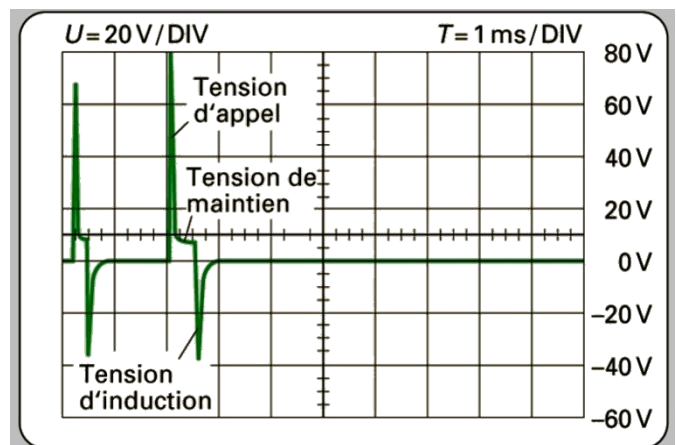


Fig. 41: Circuit du courant et de la tension dans un injecteur EV

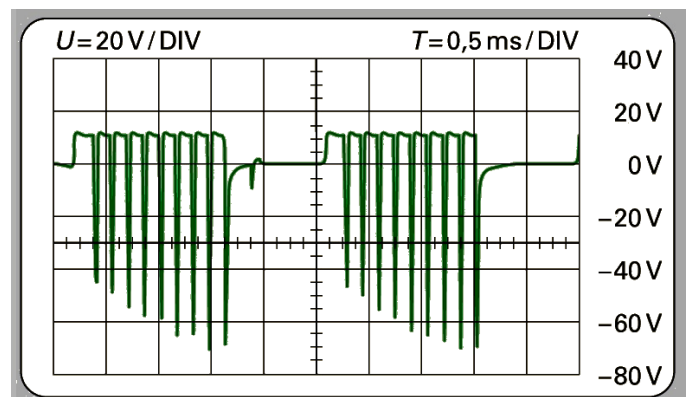


Fig. 42: Recharge du condensateur booster)

Injecteurs piézo (Fig. 43) :
Construction.

L'injecteur piézo comprend les composants suivants:

- module actuateur
- soupape d'asservissement
- coupleur hydraulique
- aiguille d'injection

Module actuateur.

Il est composé de plusieurs centaines de plaquettes en piézo-céramique branchées en série.

Lorsqu'on applique une tension au module, les cristaux se dilatent ou se contractent suivant la polarité, ce qui permet de générer un mouvement maximal de 0,065 mm

Coupleur hydraulique.

Il permet d'amplifier le mouvement du module actuateur (plaquettes en piézo-céramique) sur la soupape d'asservissement. En outre, il sert à compenser la variation de longueur due à la dilatation thermique et au vieillissement du module piézo. Une pression de retour d'env. 10 bar est nécessaire pour faire fonctionner le coupleur.

Soupape d'asservissement.

Lorsque le module actuateur n'est pas activé, la soupape d'asservissement est fermée.

Le module actuateur se dilate lorsqu'il est activé. Cette variation de longueur est amplifiée puis transmise par le coupleur hydraulique à la soupape d'asservissement qui s'ouvre. La pression chute dans la chambre de commande car l'orifice calibré d'entrée est plus petit que l'orifice de décharge. L'aiguille de l'injecteur s'ouvre grâce à la pression qui agit sur l'épaule de l'aiguille.

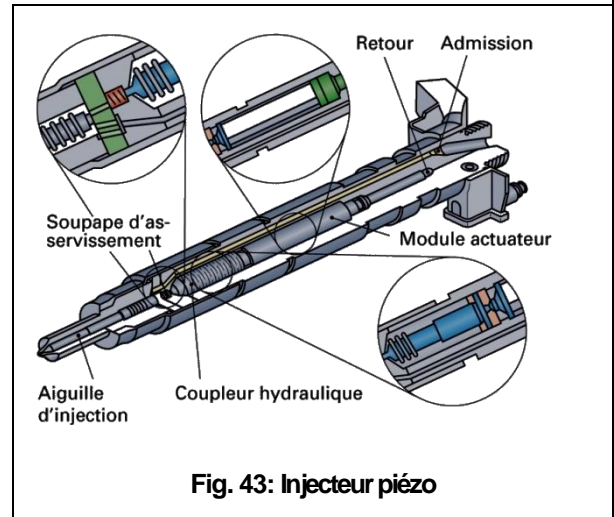
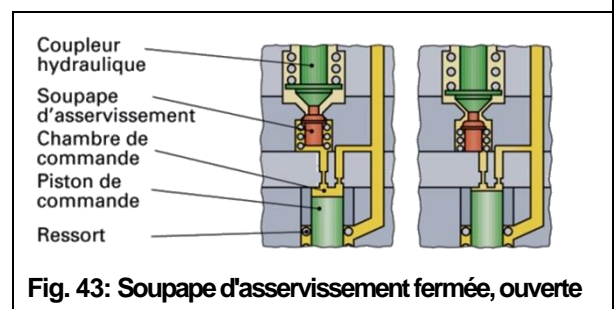
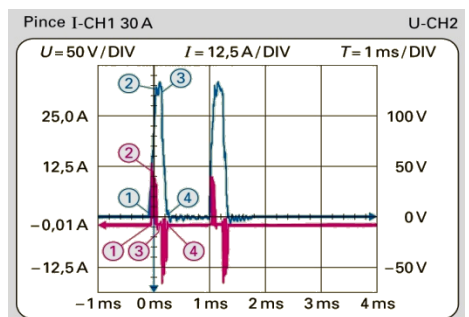
Commande (Fig. 44)

1-2 La centrale de commande permet au condensateur booster de fournir une tension allant de 110 à 150 V pour commander le module actuateur piézo.

2-3 Le module actuateur piézo se dilate et se comporte comme un condensateur (env. 4 nF) qui se charge.

3 Les cristaux piézo se sont dilatés, l'injecteur est ouvert. Le module actuateur piézo fonctionne à présent comme un condensateur chargé. La consommation de courant est nulle.

3-4 Le module actuateur piézo doit se décharger au plus vite pour pouvoir être fermé. L'appareil de commande interrompt la tension et ferme brièvement le circuit par l'intermédiaire d'une résistance définie. Le module actuateur piézo se décharge et se contracte à nouveau.


Fig. 43: Injecteur piézo

Fig. 43: Soupape d'asservissement fermée, ouverte

Fig. 44: Circuit de la tension et du courant dans un injecteur piézo

Exemple de schéma du circuit d'un dispositif Common Rail de 1 génération (Fig. 46)

Alimentation.

L'enclenchement de l'interrupteur de contact entraîne l'alimentation électrique de la centrale de commande par les pins 813 et A7, A8, A1.

Capteur de pédale d'accélérateur B12.

Le capteur mesure la position de la pédale (*Pro valeur principale de commande*) afin de calculer la quantité de carburant. Les capteurs Hall, travaillant indépendamment les uns des autres, sont alimentés en courant par le contact pin C9 et mis à la masse aux contacts C5, C23. Les tensions des signaux arrivent aux pins C8 et C10. En cas de défectuosité, le moteur fonctionne à un régime plus élevé. La lampe-témoin s'allume, ainsi l'erreur est mémorisée.

Capteur d'arbre à cames B2.

Le capteur Hall indique à la centrale de commande, la position du premier cylindre qui est en phase de compression ainsi que le régime du moteur (*2ème valeur principale de commande*). Ce signal est nécessaire pour procéder au bon moment à l'injection et dans le cylindre qui se trouve en fin de compression. En cas d'absence du signal, le moteur tourne encore mais ne peut plus être redémarré. Le capteur est alimenté par les pins D12 et 02. La tension du signal arrive au pin D3.

Capteur de pression de la rampe B23.

Il indique à la centrale de commande la valeur de la pression actuelle dans la rampe. Si celle-ci est trop basse ou trop élevée, la centrale de commande reconnaît une défectuosité du système et éteint le moteur (arrêt d'urgence). La tension du signal arrive au pin D14. Alimentation: positif sur D13 et masse sur D4.

Régulateur de pression de la rampe Y16.

Il assure la pression dans la rampe commandée par la cartographie. Le signal MIL est envoyé depuis la centrale de commande par les pins D31 et D21.

Injecteurs Y15.1-Y15.4.

Ils servent à procéder au bon moment à l'injection de la quantité correcte. Ils sont pilotés par la centrale de commande par l'intermédiaire des pins E2, E3, E6, E7 et E8.

Débitmètre d'air à film chaud B3.

Il mesure la masse d'air aspirée. Cette valeur sert à définir le coefficient **EGR** à partir d'une cartographie enregistrée. L'alimentation est assurée par les pins D34, D1 et D11. La tension du signal arrive au pin D24.

Soupape de coupure Y14.

Elle est connectée à la centrale de commande par les pins D26 et D36. En cas d'erreur grave dans le système, la soupape se ferme et l'alimentation en carburant est interrompue (arrêt d'urgence).

Electrovanne de régulation de la pression de suralimentation Y12.

Au moyen d'un signal MIL, elle permet à la centrale de commande de procéder au réglage en continu de la pression de suralimentation. Elle est commandée par les pins C36 et C48 de la centrale de commande Common Rail.

QUESTIONS DE RÉVISION

- 1/** Expliquez le dosage du débit d'une pompe distributrice rotative EDC.
- 2/** Quelle est la fonction du capteur d'angle de rotation d'une pompe à pistons radiaux ?
- 3/** Expliquez le fonctionnement et l'effet du capteur de mouvements de l'aiguille d'un EDC.
- 4/** Quelles sont les précautions à prendre lors du contrôle des injecteurs ⁷
- 5/** Expliquez le fonctionnement d'un injecteur-pompe.
- 6/** Citez trois caractéristiques du système injecteur-pompe.
- 7/** Comment est réalisée la pré-injection et en fonction de quelles valeurs dépend sa durée dans un système injecteur-pompe ?
- 8/** Quels sont les avantages d'une régulation de pression double d'un système Common Rail.
- 9/** Quel type de signal le régulateur de pression du Common Rail reçoit-il du boîtier de commande ?
- 10/** Pour quelle raison la rampe commune doit-elle avoir un volume intérieur défini ⁷

Réduction de la pollution des moteurs Diesel

Composition des gaz d'échappement

Outre de l'azote N_2 et de l'oxygène O_2 (résultants de l'air résiduel), les gaz d'échappement des moteurs Diesel contiennent divers produits de réaction: carbone C, hydrogène H, oxygène O, et azote N.

Combustion complète.

Dans des conditions de combustions optimales (irréalisables dans un moteur), les liaisons d'hydrocarbures se transforment en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O).

Combustion incomplète.

En fonction de la charge, le moteur Diesel fonctionne avec différents excès d'air ($\lambda > 1$). A pleine charge, l'excès d'air est faible jusqu'à (λ env. 1,3). En charge partielle ou au ralenti, l'excès d'air va jusqu'à (λ env. 1,8). Malgré cet excès d'air, le carburant n'est ponctuellement que partiellement brûlé. Il en résulte les polluants suivants: monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures non brûlés (HC) et particules (PM = anglais. particulates matter). Celles-ci se composent d'un noyau de suie sur lequel sont accumulées des impuretés telles que des oxydes métalliques (voir Fig.2).

Il en résulte également des produits provenant des impuretés ou des additifs contenus dans le carburant ou les lubrifiants, comme p. ex. des liaisons de métal ou de soufre.

Les oxydes d'azote NO_x (formés de monoxydes d'azote NO et de dioxydes d'azote NO_2) se dégagent en cas de températures et de pressions de combustion élevées et lors de grandes vitesses de propagation des flammes. L'excès d'air au ralenti et en charge partielle contribue à augmenter les émissions de NO_x .

Valeurs limites d'émission pour les véhicules de tourisme à moteur Diesel

Malgré les limitations des émissions prescrites dans les années 70, les différentes homologations accordées n'ont pas permis une diminution rapide des émissions de polluants des moteurs Diesel. Les valeurs limites fixées par le législateur deviennent donc toujours plus restrictives.

Le **tableau** contient les valeurs limites européennes pour les nouveaux véhicules de tourisme Diesel. V

Valeurs limites d'émission pour les véhicules de tourisme à moteur Diesel				
	CO	HC+NO _x	NO _x	Particules
Euro 3 dès 2000	0,64	0,56	0,5	0,05
Euro 4 dès 2005	0,5	0,30	0,25	0,025
Euro 5 dès 2009	0,5	0,23	0,18	0,005
Euro 6 dès 2014	0,5	0,17	0,08	0,005

Procédés de réduction des polluants.

Afin de respecter les valeurs limites d'émission des normes Euro 4 et 5, des mesures concertées de manière optimale doivent être prises, que ce soit au niveau du moteur ou non.

Mesures concernant le moteur.

On peut agir p. ex. sur:

- l'optimisation de la combustion;
- la commande de la durée de préchauffage;
- l'augmentation de la pression d'injection;
- la technique multisoupapes;
- la commande du canal d'admission;
- la régulation de la pression d'admission;
- l'optimisation du début de l'injection et de la quantité injectée.

Mesures externes au moteur.

Les systèmes suivants peuvent être utilisés:

- catalyseur d'oxydation;
- recyclage des gaz d'échappement;
- filtre à particules;
- catalyseur à accumulation de NO_x ;
- catalyseur SCR;
- Filtre DPNR (Diesel Particulate and NO_x Reduction System).

Catalyseur d'oxydation

De par son concept, il ressemble au catalyseur à trois voies. Un revêtement en oxyde d'aluminium est déposé sur un support métallique ou en céramique afin d'augmenter la surface active. Le catalyseur, composé de 1 à 2 g de platine, se trouve sur cette couche appelée "wash-coat".

Le platine du catalyseur permet de réaliser, sans usure, deux processus chimiques d'oxydation.

Les principales fonctions du catalyseur d'oxydation Diesel sont:

Diminution des émissions de HC et de CO.

Le monoxyde de carbone (CO) est transformé par oxydation en dioxyde de carbone (CO_2) et les hydrocarbures non brûlés (HC) sont transformés en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O). L'oxydation a lieu à partir d'une température bien précise (Light-Off-Temperature) qui se situe entre 170 et 200 selon la composition des gaz d'échappement, la vitesse du flux et le type de catalyseur dont est équipé le véhicule. Dès que la température limite est atteinte, le coefficient d'oxydation dépasse 90 %.

Réduction de la masse des particules.

A partir d'une certaine température, les hydrocarbures émis par les moteurs Diesel se séparent en particules. En oxydant ces hydrocarbures, il est possible de réduire de 15 à 30 % la masse de particules (PM) rejetées dans l'atmosphère.

Oxydation du NO et du NO_x.

En principe, la teneur en NO₂ du NO_x contenu dans les gaz d'échappement des moteurs est d'environ 10 %. Grâce à l'oxydation, il est possible de modifier la proportion de NO₂ déjà à basse température. Une teneur en NO₂ élevée dans le NO_x est importante, ceci afin de pouvoir réduire la température de combustion des particules et, de ce fait, garantir l'efficacité des composants du système, comme p. ex. le filtre à particules Diesel ou le catalyseur SCR.

Éléments catalytiques chauffants (brûleur catalytique). Le brûleur catalytique permet d'augmenter la température des gaz d'échappement pour régénérer le filtre à particules. Pour cela, du CO et des HC sont générés par des post-injections ou par un injecteur placé en aval du moteur. L'oxydation du CO et du HC ainsi générée engendre une réaction thermique (augmentation de la température) utilisée pour chauffer les gaz d'échappement.

Recyclage des gaz d'échappement (Fig.47) :

Il permet de diminuer les émissions de NO_x. Le mélange des gaz d'échappement avec l'air d'admission réduit la teneur en oxygène. Les composants des gaz d'échappement ne participent plus à la combustion et absorbent ainsi de la chaleur lors de la combustion.

La température maximale de combustion est donc moins élevée et les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) diminuent de 60 %. Il est possible de recycler jusqu'à 40% du volume des gaz d'échappement.

Si ce pourcentage augmente, les émissions de NO_x se réduisent encore mais le carburant Diesel ne brûle plus complètement, ce qui augmente fortement la proportion d'hydrocarbures non brûlés (HC) ainsi que les particules à cause du manque d'oxygène

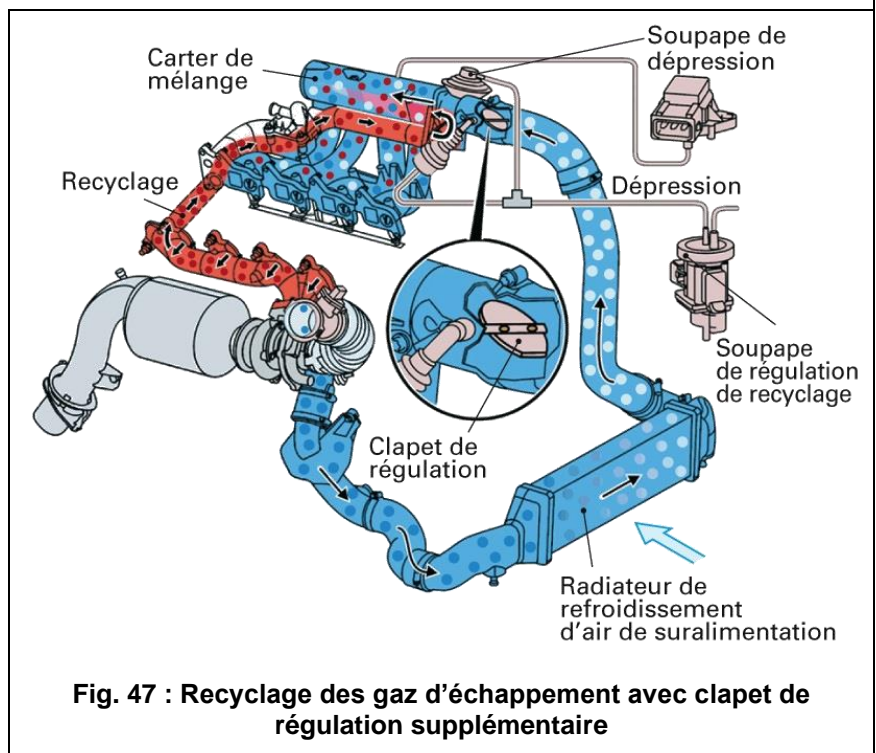


Fig. 47 : Recyclage des gaz d'échappement avec clapet de régulation supplémentaire

Régulation du taux de recyclage.

Il est piloté par la centrale de commande au moyen d'une soupape de dépression ou d'un servomoteur et dépend de:

- la température du moteur;
- la pression de suralimentation;
- la température de l'air d'admission;
- la charge et du régime.

Le recyclage des gaz d'échappement est activé lorsque le moteur Diesel chaud fonctionne au ralenti ou en charge partielle. Lorsque le recyclage est activé, l'air d'admission diminue. C'est le signal émis par le débitmètre d'air à film chaud qui permet de calculer la quantité de gaz recyclés.

Taux de recyclage.

L'effet du recyclage peut être augmenté par le refroidissement des gaz d'échappement. Des clapets de régulation de la pression peuvent être montés dans la tubulure d'admission (Fig.47). La fermeture du clapet permet de générer une plus grande différence de pression entre la tubulure d'admission et le collecteur d'échappement, augmentant ainsi le taux de recyclage.

A charge élevée, le recyclage des gaz d'échappement est interrompu afin de pouvoir assurer la pleine puissance et le couple maximal du moteur. Dans ce cas, le manque d'air rendrait l'émission de particules trop importante. La dégradation de la stabilité de fonctionnement, en cas de recyclage des gaz d'échappement au ralenti, peut être compensée par des systèmes de régulation du ralenti.

Catalyseur à accumulation NO_x :

Sa conception et son fonctionnement sont identiques à ceux utilisés pour les moteurs à essence.

Le catalyseur à accumulation NO_x fixe le NO_x sur les surfaces du catalyseur. Lorsqu'il est plein, il doit être régénéré. Pour cela, on transforme l'oxyde d'azote (NO_x) en azote (N₂) et en eau (H₂O).

Conception.

Une couche intermédiaire (wash-coat) est appliquée sur un support en céramique. Cette couche est enduite d'oxyde de barium (BaO), servant d'accumulateur, de platine, de rhodium et de palladium qui ont une fonction catalytique active. Ce catalyseur convertit l'oxyde d'azote en deux étapes (Fig.48):

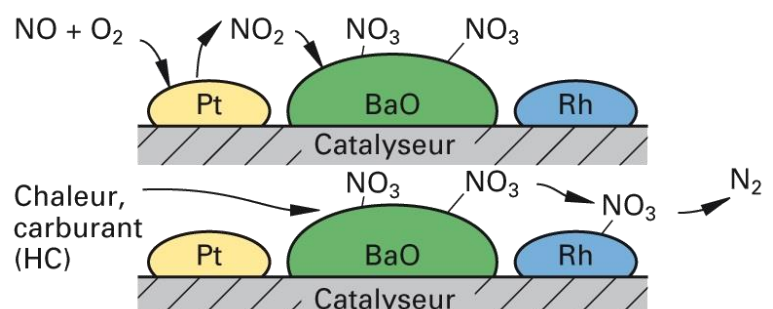


Fig.48 : Phase de charge et de régénération d'un catalyseur à accumulation NO_x, pour Diesel

- **Phase de charge** (30 à 300 s). Accumulation constante de NO_x , sur les composants d'accumulation du catalyseur. En combinaison avec l'oxygène, le platine permet de transformer par oxydation l'oxyde d'azote en NO_2 . Au contact du revêtement de barium, le NO_2 réagit et se dépose sous forme de nitrate (NO_3) sur les surfaces du catalyseur.
- **Régénération** (2 à 10 s). Un enrichissement périodique permet à l'oxyde d'azote de se libérer et d'être transformé en azote N_2 avec les autres composants non brûlés des gaz d'échappement (HC, CO).
- **Régénération du soufre**. Etant donné que l'oxyde de barium constitue une liaison très forte avec le sulfate (SO_2), le sulfate va se combiner avec l'oxyde de barium et diminuer ainsi la capacité de stockage des NO_x . Afin d'assurer une capacité d'accumulation en NO_x suffisante, il faut donc éliminer le soufre à intervalles réguliers. En présence d'un carburant pauvre en soufre (≤ 10 ppm), cette régénération est nécessaire tous les 5000 km environ. Pour cela, le catalyseur doit être chauffé durant plus de 5 minutes à une température supérieure à 650°C et être approvisionné avec des gaz d'échappement riches, ce qui provoque une augmentation de la consommation de carburant. Pour augmenter la température, on utilise le même principe que pour la régénération du filtre à particules.

Catalyseur SCR (Bluetec) :

Dans le processus de catalysation sélective SCR (Selective Catalytic Reduction), on utilise de l'ammoniac comme agent de réduction, ce qui permet de transformer jusqu'à 80 % de l'oxyde d'azote des gaz d'échappement en azote et en eau.

Construction.

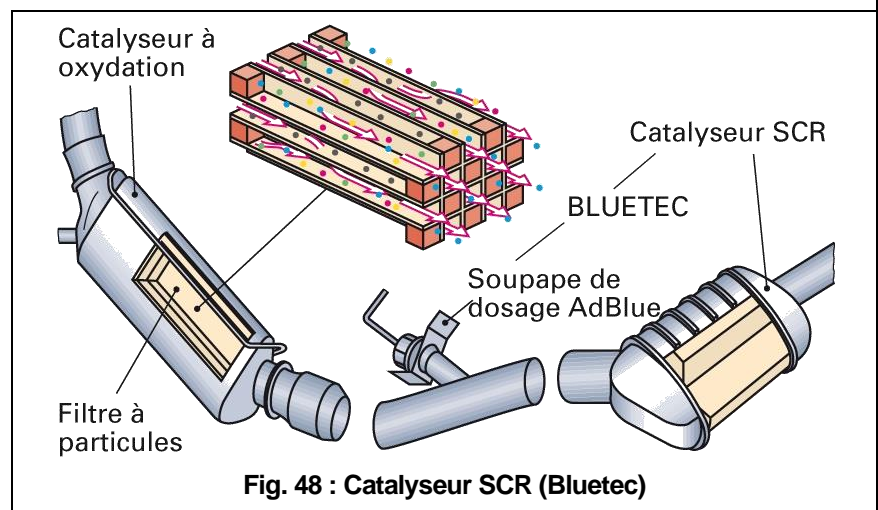


Fig. 48 : Catalyseur SCR (Bluetec)

Le système SCR-Bluetec (Fig. 48) est composé d'un catalyseur SCR muni d'un dispositif de dosage préprogrammé, d'un catalyseur à oxydation ainsi que du filtre à particules. En fonction de la charge et du régime du moteur, le dispositif de dosage injecte la quantité nécessaire d'agent de réduction, sous forme pulvérisée, en amont du catalyseur SCR.

Agent de réduction.

L'ammoniac nécessaire pour provoquer la réaction SCR n'est pas utilisé sous forme pure mais sous forme d'une solution d'urée aqueuse appelée AdBlue. La composition de cette solution est définie par la norme DIN 70070. Cette solution d'urée aqueuse produit de l'ammoniac (NH_3) et du CO_2 . A partir d'env. 170°C et au contact des surfaces en titane du catalyseur SCR, cet ammoniac réagit en formant de l'azote (N_2) et de l'eau (H_2O). La consommation d'AdBlue correspond à environ 1 à 3 % de la consommation de carburant Diesel. La solution est stockée dans son propre réservoir qui doit être rempli lors de la maintenance effectuée dans le cadre du service client.

Filtre à particules :
**Filtre pour post-montage (Fig. 49),
filtre à particules en dérivation).**

Pour le post-montage, on utilise principalement des corps en métal fritté à revêtement catalytique (filtre en dérivation ou filtre ouvert) (Fig. 49), qui, suivant les conditions d'utilisation, ne filtrent que 30 à 70 % du flux des gaz d'échappement. Ces filtres sont régénérés de manière catalytique sans intervention de la centrale de commande du moteur

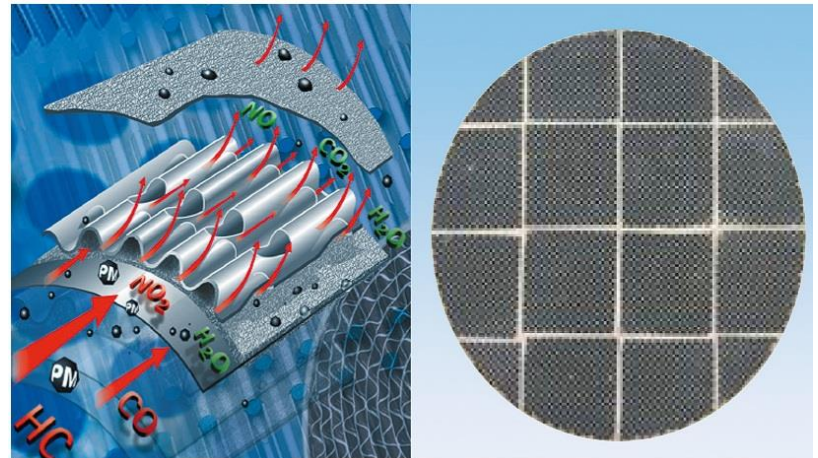


Fig. 49 : filtre à particules en dérivation et filtre à particules en circuit principal

Fonctionnement.

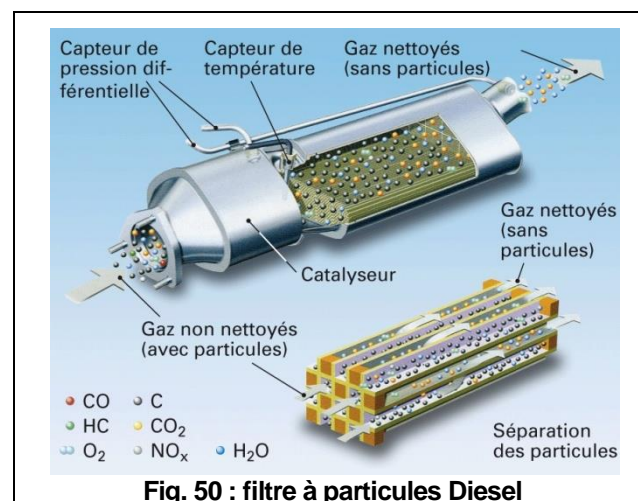
Grâce à la forme des entailles pratiquées dans une feuille de métal ondulé, une partie du flux des gaz d'échappement est dirigée vers un mat non-tissé en métal fritté. La micro-structure de ce mat non-tissé en fibres de métal retient les particules. L'oxydation du carbone au contact du dioxyde d'azote (NO₂) provoque une régénération constante. Afin de procéder à la régénération, il faut que les gaz d'échappement aient une teneur élevée en NO₂, ce qui est réalisé grâce à l'oxyde d'azote contenu dans les gaz d'échappement. Afin que le processus de régénération ait lieu, il faut que la température des surfaces catalytiques du filtre à particules atteigne au moins 200 à 280 °C. Si ce n'est pas le cas, les pores du filtre se remplissent de particules et les gaz d'échappement passent alors par le canal longitudinal normal du filtre à particules, sans être filtrés.

Filtre à particules d'origine (Fig. 49, filtre en circuit principal).

Il se compose généralement de corps alvéolaires filtrants en céramique qui permettent de filtrer la totalité des gaz d'échappement (filtre en circuit principal ou filtre fermé). La régénération est pilotée par la centrale de commande du moteur.

Fonctionnement.

Les extrémités des canaux du filtre à particules sont fermées (Fig. 50), obligeant ainsi les gaz d'échappement à circuler à travers les parois poreuses du filtre. Les particules y restent bloquées et obturent progressivement les pores, ce qui augmente graduellement la contre-pression exercée par les gaz d'échappement. Il s'ensuit une augmentation de la consommation de carburant et une réduction de l'effet filtrant. Le filtre doit alors être régénéré.



Régénération.

Au-dessus de 600 °C, les particules peuvent être oxydées (brûlées) grâce à l'oxygène contenu dans les gaz d'échappement et transformées en dioxyde de carbone (CO₂). Toutefois, cette température n'est atteinte que lorsque le moteur fonctionne à pleine charge. En charge partielle, la température peut descendre en-dessous de 200 °C.

Il faut donc prendre des mesures pour abaisser la température de combustion des particules et/ou pour augmenter la température des gaz d'échappement.

- **Abaissement de la température de combustion des particules.** Elle est obtenue à l'aide d'un additif qui est mélangé au carburant du réservoir au moyen d'une unité de dosage. La température de combustion des particules peut ainsi être abaissée à environ **450 à 500 °C**. L'application d'un revêtement catalytique en métaux nobles sur le filtre permet également d'améliorer la combustion des particules. Ce système s'avère plus efficace que l'utilisation d'un additif.
- **Élévation de la température des gaz d'échappement.** Une post-injection précise et une augmentation du couple requis, p. ex. par le compresseur de la climatisation et l'alternateur, permettent d'augmenter la température des gaz d'échappement.

Régulation du processus de régénération.

Le capteur de pression différentielle (Fig. 51) mesure la différence de pression en amont et en aval du filtre à particules. Si ce dernier est plein, la différence de pression mesurée sera élevée ce qui signifie que la régénération doit avoir lieu. Durant la régénération, la température est mesurée par le capteur de température. Elle ne doit pas dépasser 700 °

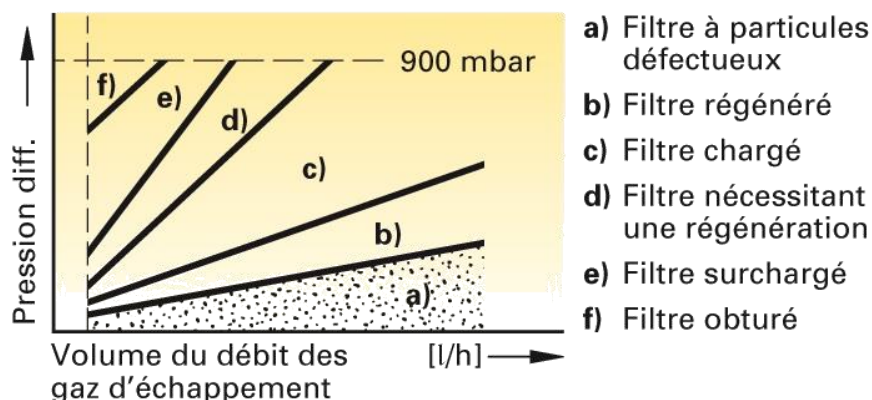


Fig. 51 : Tracé de la pression différentielle

Formation de cendres.

La combustion de l'additif ajouté au carburant entraîne une légère formation de cendres dans le filtre ce qui a tendance à l'obstruer. De ce fait, il faut le démonter et le nettoyer. Suivant le système et le mode de conduite, cette opération doit être réalisée tous les 120 000 à 240 000 km. Une lampe de contrôle indique au conducteur que la maintenance doit être effectuée.

Filtre DPNR

Le système **DPNR** (Diesel Particulate and NO_x Reduction System) réduit simultanément l'émission de particules de suie et celle d'oxyde d'azote, ceci sans devoir ajouter des agents de réduction. En outre, ce système ne nécessite aucune maintenance.

Construction.

Le système DPNR se compose d'un catalyseur à accumulation pour le NO_x, d'un filtre à particules suivi d'un catalyseur à oxydation. Il est également équipé d'un injecteur pour la régénération, monté dans le collecteur des gaz d'échappement.

Afin de réduire les températures de combustion, le système est muni d'un dispositif de refroidissement à eau, au niveau du recyclage des gaz d'échappement, ce qui permet de réduire la teneur en NO_x des gaz d'échappement.

Fonctionnement.

L'oxyde d'azote NO_x, contenu dans les gaz d'échappement, est transformé en dioxyde d'azote **NO₂** par oxydation sur les surfaces du catalyseur; il est ensuite stocké provisoirement sous forme de nitrate de barium Ba[NO₃]₂. Cette réaction génère de l'oxygène actif qui brûle une partie des particules. Les particules non brûlées sont ensuite retenues par le filtre. Des capteurs mesurent l'état de charge du filtre à particules et activent, le cas échéant, la régénération.

Régénération.

Elle est actionnée par l'injection de carburant supplémentaire dans le collecteur des gaz d'échappement au moyen de l'injecteur EPI (Exhaust Post Injection); ceci permet d'augmenter la température du filtre à particules à environ 600 °C et de procéder ainsi à une combustion complète des particules.

TRAVAUX PRATIQUES

CONTROLLER UN CIRCUIT D'ALIMENTATION DIESEL HAUTE PRESSION

Objectifs:

- Être capable d'identifier les composants du système.
- Être capable de contrôler les composants du système.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Une fiche de relevé des contrôles
- L'outillage courant
- Un véhicule à injection Diesel Haute pression
- Un outil de diagnostic
- Un multimètre

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

On vous demande de :

- D'identifier et de repérer les composants du système
- De citer les précautions liées à l'intervention
- D'effectuer les mesures de pression et de débit
- D'interpréter les résultats des mesures
- De réaliser une lecture de paramètre moteur
- De citer les causes d'un éventuel dysfonctionnement

RÉALISER L'INTERVENTION

Consignes de sécurité

Le système d'injection haute pression utilise des composants hydrauliques de grande précision.

Les conditions de fonctionnement extrêmes, telles que la pression (supérieure à 1200 bars), la température du carburant (plus de 100°C) et des durées d'injection très courtes, font que « l'équilibre » du système est lié à la qualité du montage de l'ensemble. C'est pourquoi, il est impératif de prendre certaines précautions

Précautions individuelles

Parmi les règles de bases, citons :

- arrêter impérativement le moteur avant toute intervention sur le système d'injection
- ne pas fumer
- juste après l'arrêt du moteur attendre au minimum 30s que la pression hydraulique chute dans le circuit,
- travailler seul dans le proche périmètre du véhicule
- éviter de se pencher au-dessus du moteur en fonctionnement : risques de fuites ou même de projections de gazole en cas de fissure sur les tubes HP de la rampe ou des injecteurs (raccord desserrés). Les projections entraînent des brûlures ou des injections sous cutanées qui peuvent provoquer un empoisonnement.

Dans ce cas, il est impératif de consulter un service d'urgence approprié.

Les dangers électriques

Lors des interventions, le courant mis en oeuvre peut atteindre une tension de 80 volts et une intensité de 22 à 25 Ampères en courant continu ; or le domaine de la très basse tension en courant continu est compris entre 0 et 140 volts. Il n'y a donc pas de risque d'électrocution.

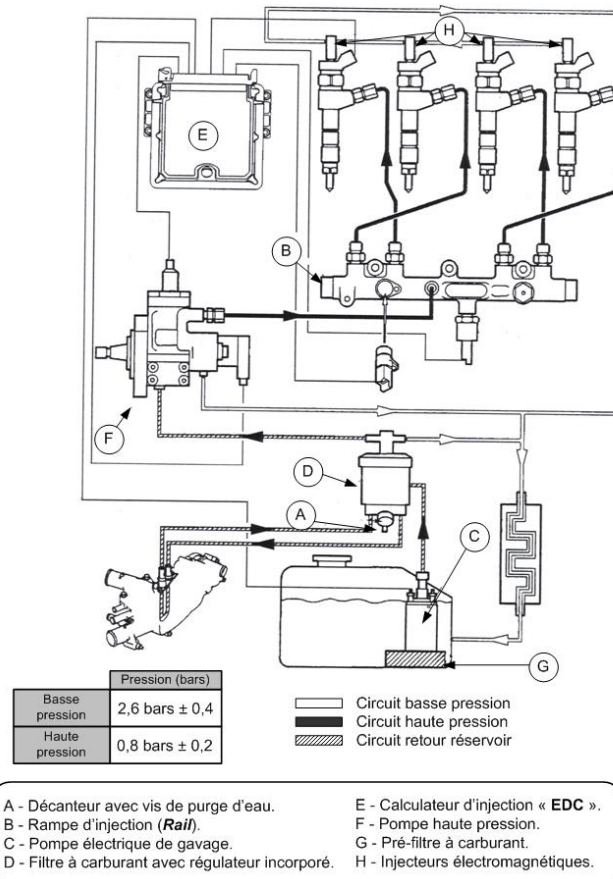
Précautions en regard de l'équipement

Comme il a été précisé ci-dessus, ce type d'équipement est fabriqué avec le plus grand soin. Le même soin doit être appliqué lors d'une intervention en après-vente :

- Un environnement proche du véhicule à l'abri notamment de la poussière
- Les opérations de dépose / repose sont effectuées conformément aux prescriptions du constructeur (consigne de remontage, couple de serrage à respecter...) sans oublier le bouchonnage
- Retarder au maximum l'ouverture des emballages et la dépose des différents éléments
- Ne pas nettoyer avec de l'eau ou de l'air sous pression mais avec du solvant et une aspiration.

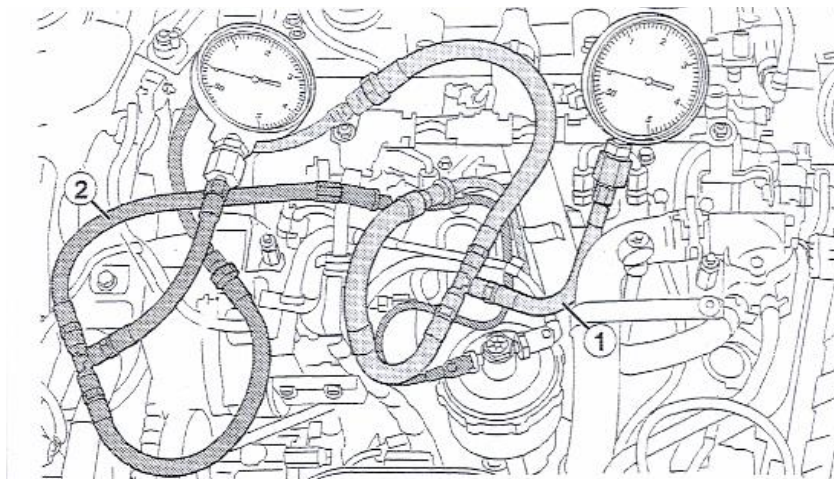
- Utiliser des chiffons non pelucheux et qui ne se désagrègent pas.

Les différents éléments du circuit d'alimentation diesel haute pression



Procédure de contrôle des pressions du circuit Basse Pression

Installation des manomètres de pression :



1 : pression d'alimentation ; 2 : retour de basse pression

Interprétation des résultats :

Conditions de mesures :

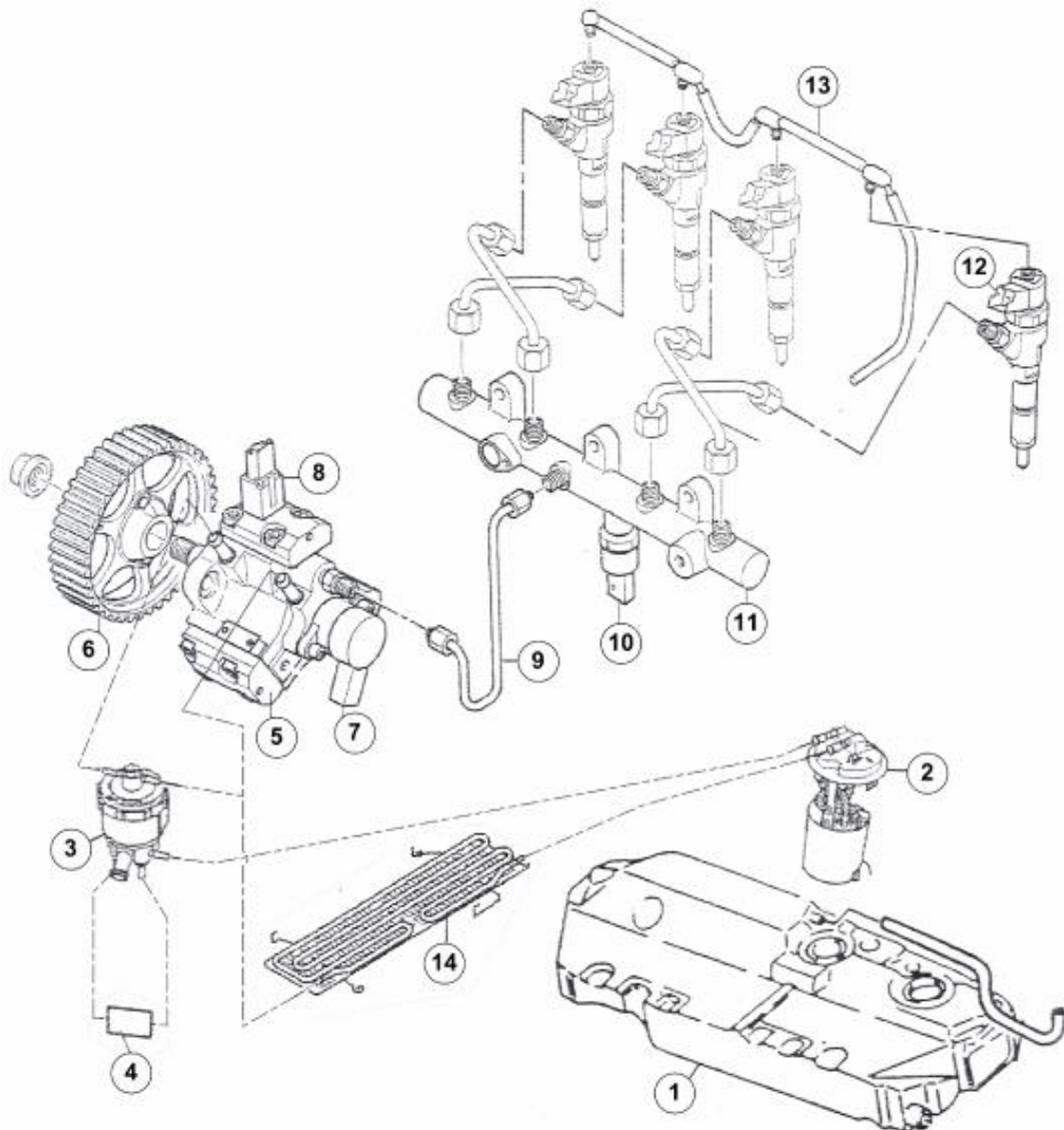
→ Moteur tournant

→ Arrivée : 2,6 ± 0,4 bars

→ Retour : 0,8 ± 0,2 bars

Pression d'arrivée	Pression de retour	Contrôle
Supérieur à 3 bars	Inférieur à 0,6 bars	Vérifier l'état du filtre à gazole. (filtre colmaté)
Supérieur à 3 bars	Supérieur à 1 bar	Vérifier le régulateur BP intégré au filtre (bloqué fermé) : échange du bloc.
Supérieur à 3 bars	Inférieur à 0,6 bars	Vérifier le circuit de retour de carburant (pincement).
Inférieur à 2,2 bars	Inférieur à 0,6 bars	Vérifier le circuit d'arrivée de carburant : alimentation électrique, pompe de gavage, canalisation.

⇒ Sur le schéma ci-dessous, identifier tous les éléments du circuit d'alimentation diesel haute pression.



1 : réservoir

2 :

3 :

4 : réchauffeur combustible

5 :

6 : poulie pompe haute pression

7 :

8 :

9 : canalisation haute pression

10 :

11 :

12 :

13 : canalisation retour réservoir

14 : refroidisseur air/combustible

⇒ Sur le véhicule, identifier tous les éléments du circuit d'alimentation diesel haute pression.

⇒ Sur le véhicule, identifier les tuyaux BP du bloc filtre à gazoil et préparer les raccords nécessaire à l'installation des manomètres de pression.

⇒ Citer les précautions à prendre lors d'une intervention sur un élément du système d'alimentation diesel haute pression.

⇒ Sur le schéma électrique page 10/10, entourer la pompe à carburant et les injecteurs.

⇒ Sur le schéma électrique page 10/10, surligner en couleur, l'alimentation de la pompe à carburant.

⇒ Raccorder les manomètres de pression au véhicule.

Effectuer les mesures et reporter vos résultats dans le tableau ci-dessous :

Contrôle	Valeur constructeur	Valeur relevée	Conclusion
Pression : Arrivée Basse pression			
Pression : Retour réservoir			
Débit pompe à carburant			

⇒ Ranger les manomètres et reposer les raccords basses pressions du bloc filtre à gasoil.

⇒ Raccorder l'appareil de diagnostic au véhicule.

⇒ A l'aide de la fonction « lecture paramètres » de l'appareil de diagnostic, compléter le tableau ci-dessous : (précisez le **unités**)

Paramètres / Régime moteur	Régime ralenti ≈ 800 tr/min	Régime moyen ≈ 3000 tr/min
Haute pression carburant		
Tension injecteur		
Débit (quantité injectée)		
Durée pré-injection		
Désactivation 3° piston (oui ou non)		

⇒ Ranger le matériel et préparer le véhicule à la livraison

⇒ A partir du tableau ci-dessous, proposer des hypothèses de pannes :

Mesures effectuées au régime ralenti :

Contrôle	Valeur constructeur	Valeur relevée
Arrivée basse pression	2,6 ± 0,4 bars	1,5 bars
Retour réservoir	0,8 ± 0,2 bars	0,4 bars

Hypothèses de pannes :

-
-
-
-

