

Secteur : **Métiers de L'Automobile**

Manuel de cours

M202: MOTEUR DIESEL

Option Automobile

Filière :

Électromécanique
des Engins Motorisés



Remerciements

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document :

Équipe de conception :

Mustapha BAIJI, *Directeur Centre de Développement des Compétences MA*

ZIRARI TAOUFIK, *Formateur Animateur*

Toufik EL HASSOUNI, *Formateur Animateur*

Nour Eddin EL AOUCATI, *Formateur Animateur*

ALLIOUI YASSINE, *Formateur*

Équipe de Lecture et Validation:

AYOUB MOUNIR, *Formateur*

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF et au CDC .Métiers De L'Automobile toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce module.

GENERALITES

Le moteur Diesel, appelé également moteur à allumage par compression, est un moteur à combustion et explosion dont la combustion est déclenchée lors de l'injection de carburant dans la chambre de combustion, par un **phénomène d'auto-inflammation lié aux températures élevées**. Ces températures de 700 à 900 °C sont atteintes grâce à un fort taux de compression (rapport volumétrique de 14 à 25:1). Le mélange air-combustible n'est jamais homogène car le combustible n'est injecté que vers la fin du temps de compression. Le carburant est introduit sous une pression élevée, de manière à obtenir un brouillard de gouttelettes très fines, dans la chambre de combustion remplie d'air comprimé et très chaud. La combustion dans les moteurs diesel met en jeu des phénomènes physiques et chimiques complexes.

I. Formation du mélange et déroulement de la combustion :

1. Les caractéristiques du Gazole :

Le gazole, gasoil, gas-oil, diesel, est un carburant pour moteur à allumage par compression (moteur Diesel)

La couleur : Jaune orangé, Rouge ou bleu

Le pouvoir calorifique : c'est le contenu énergétique du combustible, c'est à dire la quantité de chaleur donnée par la combustion théorique d'un Kg de combustible, pour le Gazole, il donne 10800 calories.

Masse volumique : Elle est variable suivant l'origine du pétrole brut et le mode de traitement subi (en moyenne, de 0.850 Kg/dm³ à 15°C) et elle diminue de 0.0007 pour chaque degré d'élévation de température.

Viscosité : environ 9.5 mm²/s à 20°C.

Indice ou nombre de cétane (C₁₆H₃₄) : (**Aptitude à l'inflammation rapide**)

Dans le moteur Diesel, il est nécessaire que le gazole présente une structure chimique favorable à l'auto-inflammation. Cette qualité s'exprime par l'indice de cétane. On appelle "indice de cétane" du combustible à étudier, le pourcentage de cétane contenu dans un mélange qui produit le même délai d'allumage que le combustible essayé.

Pour moteurs diesel ont un nombre de cétane compris entre 45 et 55 (pour le gazole moteur, l'indice doit être au moins égal à 48), **un indice de cétane élevé contribue à améliorer de nombreuses qualités d'utilisation : démarrage aisé, bruit moins intense, notamment au ralenti à froid, émissions moins élevées de fumées blanches et noires, rejets moindres de polluants gazeux (monoxyde de carbone, hydrocarbures).**

Température d'auto-inflammation : pour le gazole 250 °C.

Point d'éclair : température d'inflammation des vapeurs au contact d'une flamme, pour le gazole la valeur théorique minimum est 55°C, elle est en réalité 75 °C.

Volatilité : Pratiquement, la distillation du gazole commence vers 200°C et se termine aux environs de 370°C.

Teneur en soufre : 0,3%, il forme de l'acide sulfurique avec la vapeur d'eau et des dépôts abrasifs avec les résidus carbonés.

Teneur en cendre : 0,0005 maxi, c'est le pourcentage de la matière solide non combustible, c'est un abrasif très dangereux pour le moteur et l'équipement d'injection.

Équation de réaction chimique du gazole pour une combustion complète :



C _{7.25} H ₁₃ : gazole	O ₂ : dioxygène
N ₂ : diazote	CO ₂ : dioxyde de carbone
H ₂ O : eau	

2. Comparaison entre carburants pour moteur à essence et moteur diesel :

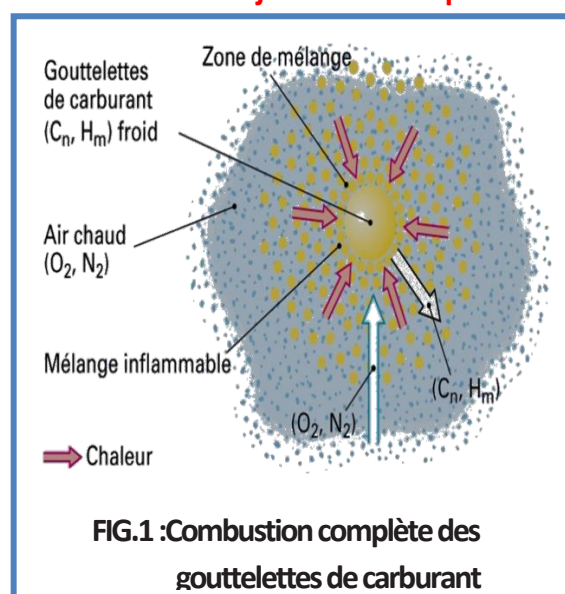
essence	diesel
Il est volatil	Il est peu volatil.
Il est introduit dans le moteur par courant d'air.	Il est introduit sous pression dans le moteur.
Il forme un mélange homogène.	Il forme un mélange homogène.
Vitesse d'oxydation faible. Incertitude sur le début d'inflammation : nécessité d'enflammer par étincelle.	Vitesse d'oxydation rapide mais il y a nécessité d'une pression et une température élevées pour l'inflammation et l'évaporation.
L'indice d'octane caractérise le pouvoir antidétonant de l'essence (évite l'auto-inflammation).	L'indice de cétane caractérise l'aptitude à l'inflammation spontanée.

3. Processus de formation du mélange et de la combustion : FIG1

Contrairement à la plupart des moteurs Otto (essence), 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.**

↳ **L'introduction : Injection sous pression des premières gouttelettes finement pulvérisées où l'air comprimé réchauffé est présent.**

↳ **Echauffement et vaporisation rapide des premières gouttelettes en contact de l'air chaud.**



- ↪ **L'auto-inflammation** : Inflammation des premières gouttelettes et dégagement d'une chaleur supplémentaire nécessaire à la vaporisation et l'inflammation du carburant non vaporisé.
- ↪ **La propagation de l'inflammation** : l'injecteur continue à introduire d'autres gouttelettes qui, avant d'avoir eu le temps de s'échauffer suffisamment, vont cependant se trouver au contact des gaz de combustion brusquement portés à forte température. Ce contact provoque l'inflammation en chaîne du combustible injectée et la combustion rapide qui en résulte, engendre un cognement caractéristique des moteurs diesel.

Un excès d'air est toujours nécessaire, car il permet :

- ↪ De mieux mélanger l'air et le combustible et d'enflammer les gouttelettes non mélangées à l'air au moment de l'injection.
- ↪ D'assurer la présence de la quantité d'oxygène nécessaire aux différentes phases de combustion (varie selon le remplissage et la température d'air aspiré).

Théoriquement il faut 20 à 22 g d'air pour brûler 1 g de gazole; en pratique, on utilise 25 à 30 g d'air, en moyenne, pour brûler 1 g de gazole.

II. DELAI D'INJECTION – DELAI D'ALLUMAGE

Le carburant (gasoil) à l'état liquide est injecté dans le cylindre à un moment précis pour assurer une pression de combustion qui pousse sur le piston ni trop tôt ni trop tard, soit entre 10° et 15° avant le PMH. Le carburant brûle seulement lorsqu'il est à l'état de vapeur (obtenu par l'addition de chaleur) et intimement mélangé à un approvisionnement d'oxygène.

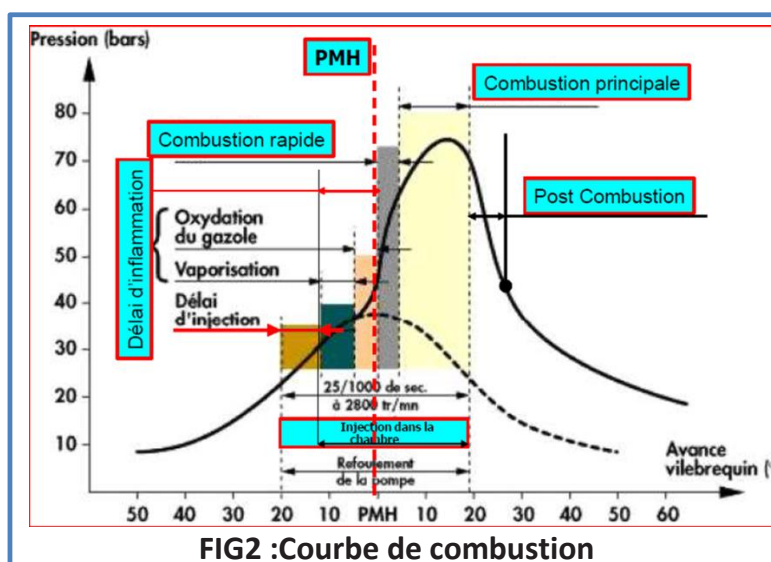
1. Nécessité de l'avance à l'injection

a) Délai d'injection :

C'est le temps très court qui s'écoule entre l'ouverture du clapet de refoulement de la pompe et le début de l'injection à la sortie de l'injecteur.

b) Délai d'allumage :

Le temps très court qui sépare le début de l'injection du début de l'inflammation du combustible est appelé « délai d'allumage ». Ce délai, qui fait intervenir certains phénomènes physiques et chimiques liés à la nature du combustible, se décompose en :



Délai physique :

C'est le temps pendant lequel les fines gouttelettes de gazole s'échauffent au contact de l'air chaud jusqu'à la vaporisation.

Délai chimique.

Pendant ce temps, qui précède l'inflammation, se réalise « l'oxydation » du gazole. En principe ce délai varie entre 0.001 et 0.002 seconde, mais durant ce temps très court, l'arbre manivelle balaye un angle de 10° à 20° suivant la vitesse du moteur.

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.

3- Facteurs agissant sur la valeur du délai d'allumage

- **Le combustible** : l'indice de cétane doit être élevé.
- **Température d'auto-allumage** du combustible : chaque combustible à sa température d'auto-allumage. Un bon gas-oil s'allume avec un délai d'allumage raisonnable ; si la température d'auto-allumage augmente, le délai d'allumage augmente.
- **Température de l'air** : chaque gouttelette de combustible subit de la part de l'air environnant un appoint de chaleur qui permet de la porter à la température d'allumage. Le délai sera plus court si la température est élevée.
- **La densité de l'air** : la quantité de chaleur emmagasinée est proportionnelle à la masse d'air. L'échauffement des gouttelettes se fera plus rapidement. Une augmentation de la densité de l'air entraîne une diminution du délai d'allumage.
- **Rapport de compression** : les deux facteurs précédents s'améliorent avec l'augmentation de la compression volumétrique, les fuites d'air augmentent le délai d'allumage.
- **Turbulence** : elle facilite les échanges de température donc diminuent le délai d'allumage.
- **Finesse de la pulvérisation** : elle diminue le délai d'allumage, cette condition dépend de la pression au début de l'injection et de l'injecteur.
- **Influence des parois** : une réfrigération trop poussée peut abaisser la température de l'air.
- **Avance à l'injection** : chaque type de moteur possède une avance optimale qui peut varier les conditions de fonctionnement.

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

- ↪ **La température en fin de compression est trop basse.**
- ↪ **trop d'avance à l'injection.**
- ↪ **pression d'injection trop faible.**
- ↪ **indice de cétane du carburant trop bas.**
- ↪ **faible tourbillonnement de l'air comprimé.**

↪ **Gros diamètre des gouttelettes de gasoil injecté.**

III. Combustion complète et incomplète :

Toutes les voitures, quel que soit leur carburant, rejettent différents produits de combustion : Le dioxyde de carbone (**CO₂**) ; Le monoxyde de carbone (**CO**) ; Le dioxyde d'azote (**NO_x**) ; Les hydrocarbures non brûlés (**HC**)

En plus de ces produits de combustion, les moteurs fonctionnant au gasoil rejettent des **particules de suie**.

Tous ces rejets sont à l'origine de différentes pollutions de l'air.

La combustion complète :

Dans des conditions de combustions optimales (**irréalisables dans un moteur**) :



C_{7.25}H₁₃: Gasoil; O₂: oxygène; N₂: azote ; CO₂ : dioxyde de carbone ;

Plus la combustion est complète, plus le rendement est important.

Plus le rendement est important, plus le moteur est performant.

Plus le moteur est performant, il consomme moins de carburant et émis moins des émissions polluantes.

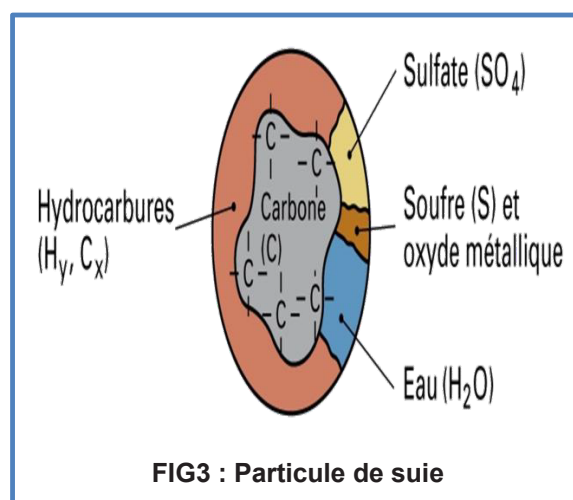
La Combustion incomplète :

En fonction de la charge, le moteur Diesel fonctionne avec différents excès d'air ($\lambda > A$ 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). Les suies (FIG3) sont des produits carbonés formés en raison de la combustion incomplète, les particules les plus petites sont les plus nocives car elles pénètrent plus activement dans le système respiratoire. Une autre conséquence préoccupante de ces suies dans l'atmosphère est leur influence négative sur le réchauffement climatique.



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.

La température de combustion dans un moteur gazole est plus importante que dans un moteur à essence, La production de dioxyde d'azote est donc plus importante :

Les oxydes d'azote NOx (formés de monoxydes d'azote NO et de dioxydes d'azote NO2) 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 NOx.**

IV. Les normes d'antipollution :

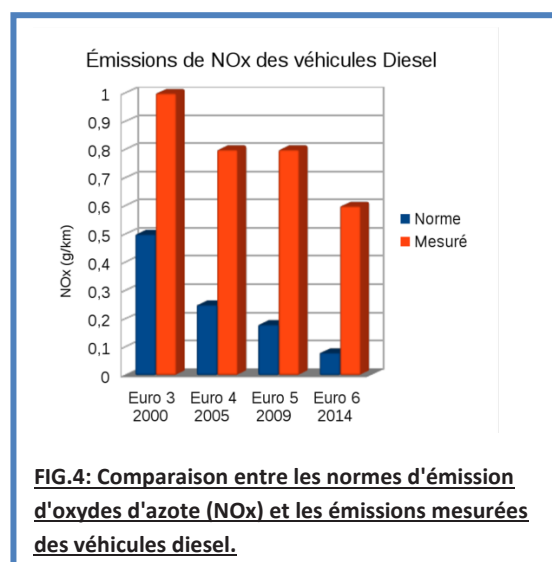
La Norme euro a pour but de réduire les émissions de gaz polluants provenant de véhicules routiers en forçant les constructeurs automobiles à produire des voitures et des camions plus propres. Pour cela, les constructeurs doivent respecter des taux d'émissions de particules de plus en plus bas.

Ces normes sont classées de 1 à 7. Plus la norme est élevée, plus elle sera récente.

Les oxydes d'azote (NOx) : Les normes Euro 1 et Euro 2 ne prenaient pas en compte ce polluant. Puis, en 2001, la norme Euro 3 a fixé la limite de 500 mg/km.

14 ans plus tard, le plafond a été ramené à 80 mg/km avec la norme Euro 6.

Pour les particules fines (PM) émises par le diesel, la norme Euro 1 les limitait à 140 mg/km alors que l'Euro 6 fixe le maximum à 4,5 mg/km.



Le tableau ci-dessous contient les valeurs limites européennes pour les nouveaux véhicules à moteur Diesel :

Norme	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6b	Euro 6c
Oxydes d'azote (NOx)	-	-	150	80	60	60	60
Monoxyde de carbone (CO)	2 720	1 000	640	500	500	500	500
Hydrocarbures (HC)	-	-	200	100	100	100	100
Particules (PM)	-	-	-	-	5	5	4,5

Valeurs exprimées en mg/km.

Remarque : La législation anti-pollution Euro 5/Euro 6 exige une interdiction de redémarrage si un agent de réduction supplémentaire est utilisé pour le post-traitement des gaz d'échappement aussi bien en cas de manque imminent d'urée (ADBLUE) qu'en présence de certains défauts dans le système. Le conducteur doit être mis en garde à temps et avec insistance par des moyens sonores et visuels pour empêcher que ne survienne l'interdiction de redémarrage.

Récapitulatif :

Les constructeurs sont retrouvés face à un ensemble des exigences et normes à respecter : le respect des normes anti-pollution, la fabrication des moteurs plus économiques et plus performants en même temps.

Le processus complexe du déroulement de la combustion est lié à la bonne formation du mélange qui est influencé par les caractéristiques principales suivantes :

Caractéristiques	Exemple de mesures d'amélioration
Combustible utilisé	Indice de cétane, l'ajout des additifs
Formation et homogénéité du mélange	Type de chambre de combustion (injection directe, préchambre, chambre de turbulence ...), canaux d'admission appropriés (forme, volet de tourbillon.....)
Pression d'injection, qualité de la pulvérisation	Evolution des Pompes d'injection et des injecteurs, la gestion électronique d'injection.....
Point d'injection et taux d'introduction.	Evolution des Pompes d'injection et des injecteurs, la gestion électronique d'injection.....
Pression de compression dans le cylindre moteur	lié au rapport volumétrique, état mécanique du moteur
Température de l'air et quantité d'oxygène au moment de l'injection.	Dispositifs de préchauffage, Refroidisseur air/air, suralimentation, pré injection,.....

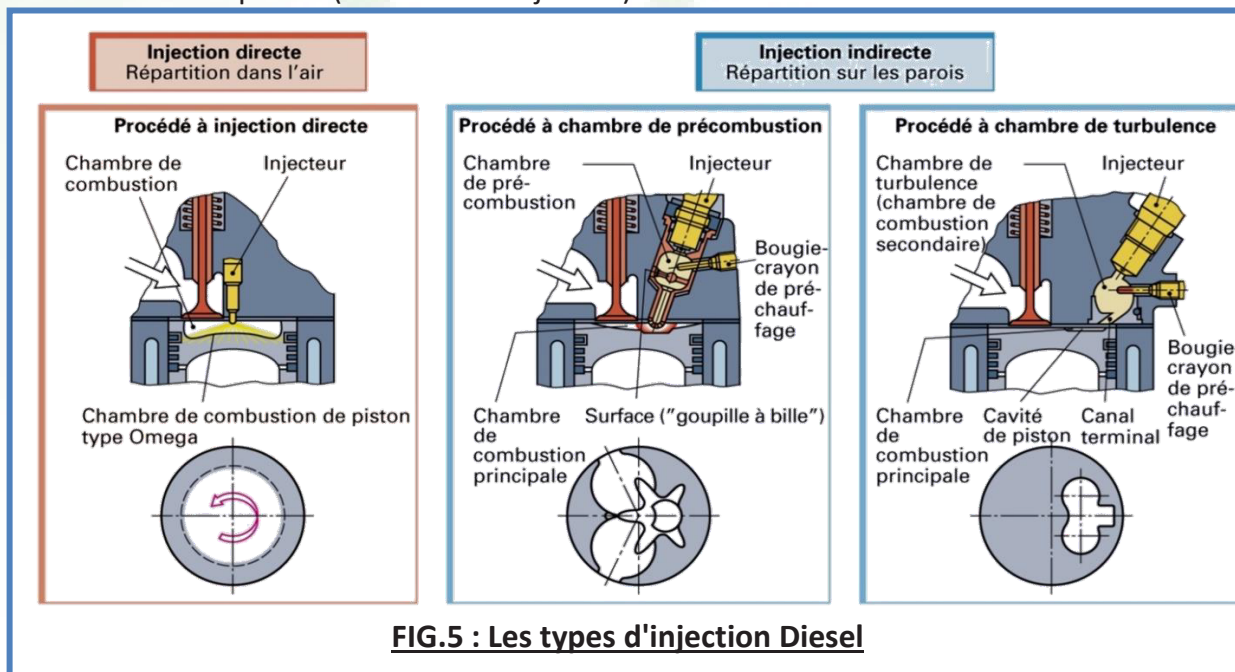
Plus la pression dans le système d'injection est élevée, plus de carburant peut être injecté dans le cylindre dans un laps de temps égal, plus les gouttelettes sont fines, par conséquent, plus de puissance peut être réalisée.

V. Les types des moteurs diesel : (FIG.5)

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

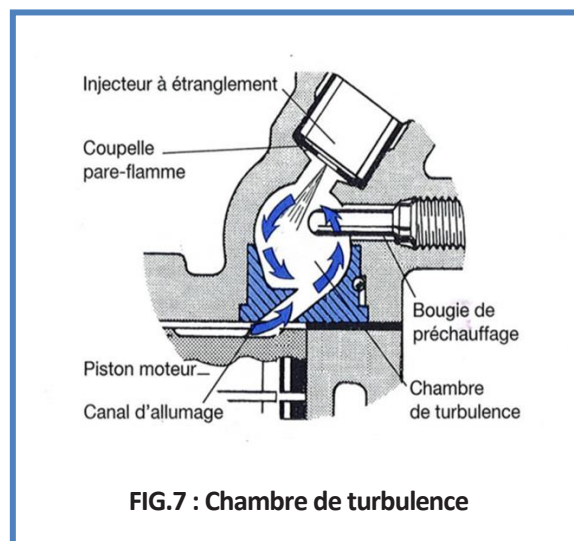
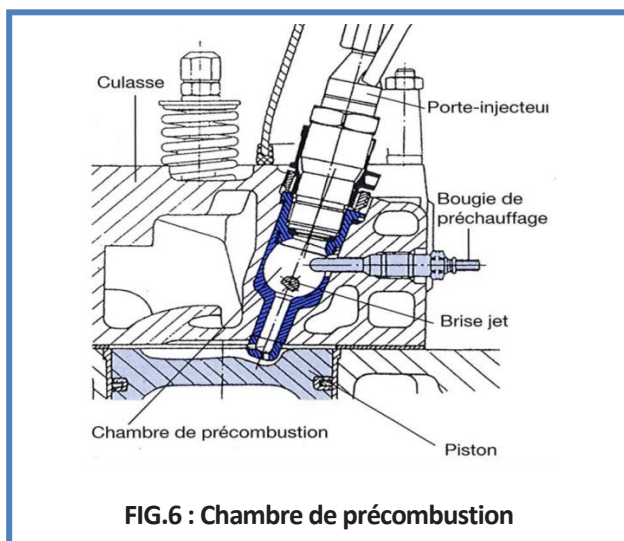
↳ L'injection directe dans une chambre de combustion unique (DI = direct injection).

L'injection indirecte dans une chambre secondaire lorsque la combustion est réalisée dans deux chambres séparées (IDI = indirect injection).



1. 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).



Fonctionnement : 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 bars, 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.

Avantages d'injection indirecte

- ✓ Le bruit de fonctionnement est moins faible
- ✓ Le système d'injection est moins sollicité que sur un moteur à injection direct (Pression de la pompe plus basse et tarage des injecteurs plus faible)
- ✓ La souplesse de fonctionnement est très bonne

Inconvénients d'injection indirecte :

- ✓ La consommation spécifique est plus élevée et le rendement thermique est plus faible : dans ce type de moteur, la grande surface des chambres de combustion provoque une perte de chaleur importante.
- ✓ 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.

2. Les moteurs Diesel à injection directe :

Le carburant est injecté par des injecteurs à trous, à une pression pouvant atteindre 2200 bars, 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. 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

Les avantages des moteurs à injection directe :

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.



FIG8 :Injection directe

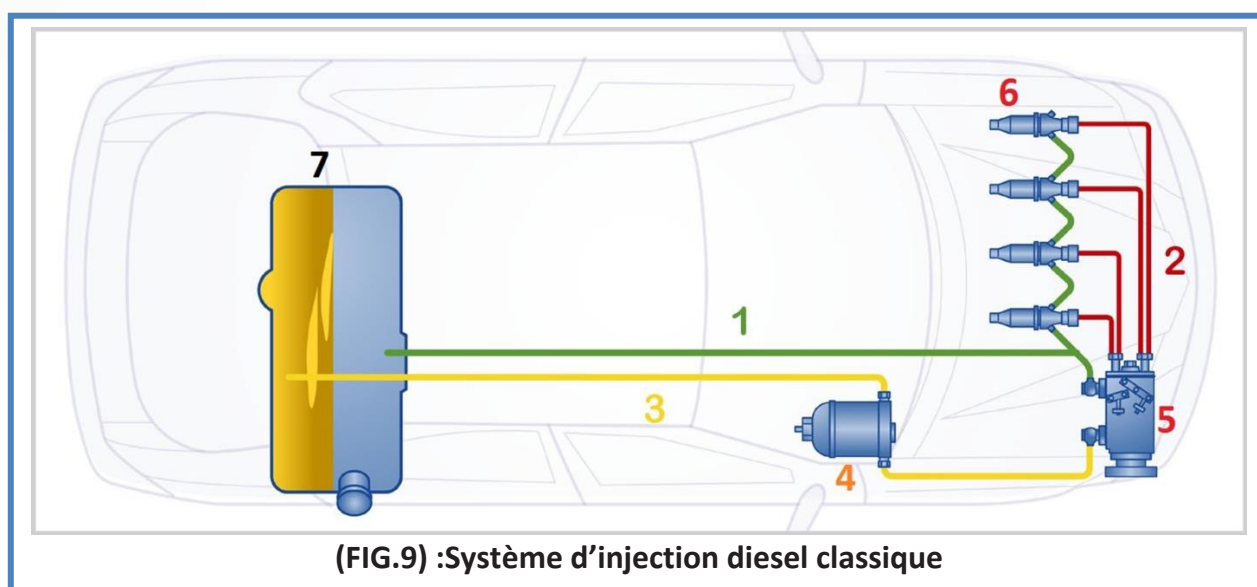
VI. Evolution des systèmes d'alimentation en carburant des moteurs Diesel

Le système d'alimentation en carburant permet d'introduire le gazole dans l'enceinte thermique afin de réaliser la combustion, en tenant compte des différents paramètres de fonctionnement (position accélérateur, régime moteur...).

Quel que soit le type du système d'alimentation (d'injection classique ou injection électronique), Ils ont pour tâche:

- ↪ De créer 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).
- ↪ De distribuer le carburant aux différents cylindres selon l'ordre d'injection

Les systèmes d'injections classiques : (FIG.9)



Le circuit d'alimentation Diesel est divisé en trois grandes parties:

Le circuit basse pression (3):

Permet l'alimentation en carburant de la pompe d'injection depuis le réservoir. Allant du réservoir(7) à l'entrée de la pompe haute pression(5) en passant par le filtre (4).

Le circuit haut pression (2):

Permet l'alimentation en carburant des injecteurs depuis la pompe d'injection. Il va de la sortie de la pompe haute pression(5) aux injecteurs(6).

(Pompe à injection, tubes d'injecteurs et injecteurs).

Le circuit de retour (1): la quantité de carburant envoyée aux injecteurs est toujours supérieure à celle injectée dans le cylindre. Le surplus des injecteurs et de la pompe d'injection doit retourner au réservoir via les circuits de retour tout en contribuant au refroidissement des éléments du circuit d'injection.

Remarque importante: Les ennemis des moteurs diesel qui résultent leurs dysfonctionnements et la détérioration des équipements d'injection sont :

- **L'eau** : il résulte sous l'effet de la condensation du carburant après l'augmentation de sa température, contre cela, il existe des décanteurs sur les filtres ou à la sortie du réservoir.
- **L'air** : les prises d'air résultent après le remplacement d'un composant, contre cela, il existe des purges sur le circuit de gazole. Les fissures des canalisations ou le mauvais serrage entre les composants du circuit basse pression provoque la naissance des prises d'air dans le circuit
- **La poussière et la poudre métallique:** à l'origine d'une mauvaise qualité du carburant et les résidus des équipements d'injection sous l'effet des frottements contre cela, il existe des filtres pour le gazole

Les composants communs des systèmes d'injections :

Le réservoir:

Il permet de stocker le gazole, il est muni d'une jauge qui informe le conducteur du niveau de carburant.

Afin de limiter la présence d'eau dans le circuit, un dispositif de refroidissement du carburant est ajouté sur le circuit de retour car les différences de températures créent de la condensation sur les parois des réservoirs.

Il est parfois muni d'un bouchon de purge permettant l'évacuation des impuretés.

Filtre décanteur: FIG.10

Il élimine les impuretés afin de ne pas endommager la pompe d'injection et les injecteurs. Il est souvent équipé d'un décanteur dont le rôle est de retenir l'eau contenue dans le gazole. Il peut aussi être doté d'un système de réchauffage du gazole afin de le rendre plus fluide. L'élément de filtrage est constitué de papier filtre spécial, Cet élément filtrant doit être remplacé à chaque périodicité de maintenance du filtre (env. 30 000 km). Si le carburant contient de l'eau, le filtre à enroulement papier retient cette eau d'un côté et la restitue de l'autre sous forme de grosses gouttes. **La durée de vie de l'équipement d'injection dépend en grande partie de la qualité du filtre et du respect des intervalles d'entretien.**

Le porte filtre est généralement muni d'une vis de purge permettant d'ôter l'air du circuit après une défaillance ou lors de l'échange des filtres.

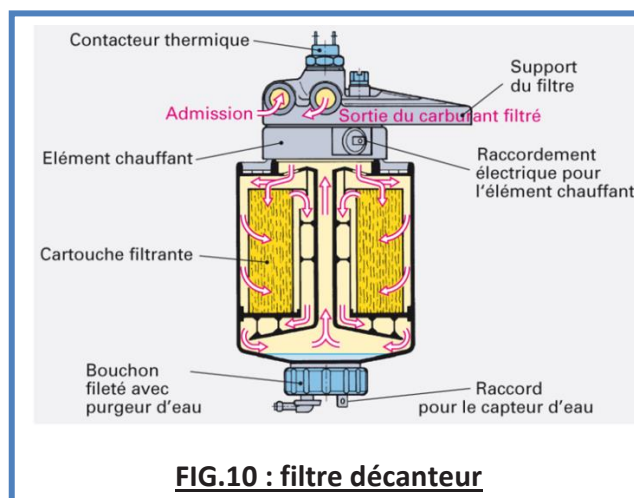


FIG.10 : filtre décanteur

L'eau du gazole peut être évacuée du circuit par l'intermédiaire de la vis se situant sous le carter des filtres.

La pompe basse pression

Elle sert à envoyer le gazole du réservoir à l'entrée de la pompe d'injection avec un débit et pression suffisante.

L'injecteur:

Il introduit en pulvérisant le carburant dans le cylindre à haute pression et à des fines gouttelettes en dosant avec précision le débit et le point d'avance. Son principe repose sur le fait de forcer le carburant à passer par un petit orifice.

Description d'un injecteur : FIG.11

Cet ensemble se compose de 2 grandes parties :

La porte injecteur : Il canalise l'arrivée et le retour du gazole et il supporte le ressort de tarage et possède un système de réglage de celui-ci.

L'injecteur : Il est lui-même composé de deux pièces :

A- L'aiguille ; B -La buse.

1	Canal d'arrivé	7	Filtre tige
2	Corps de porte injecteur	8	Raccords de récupération des fuites de carburant
3	Canal de refoulement	9	Rondelles de tarage
4	Disque intermédiaire	10	Ressort de pression d'injection
5	Écrou raccord d'injecteur	11	Tige poussoir
6	Écrou raccord pour la conduite de refoulement	12	Ergot de positionnement

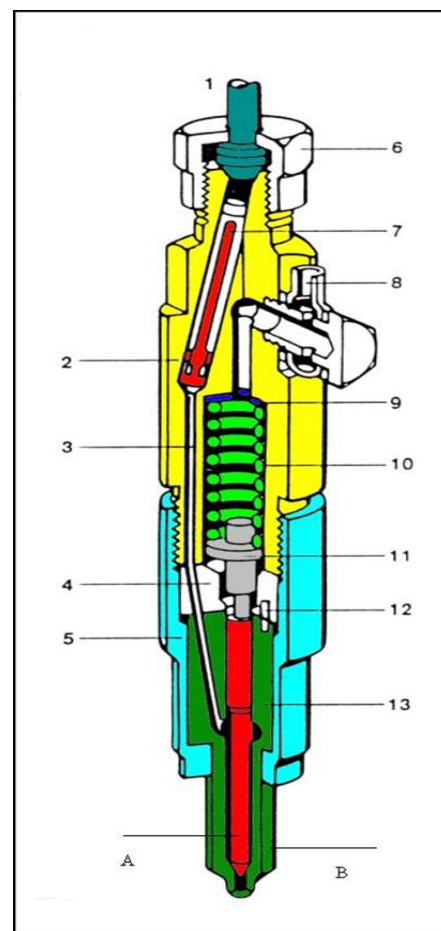


FIG.11 : Injecteur classique

Remarque :

- L'aiguille est lubrifiée et refroidie par le combustible (**faible fuite entre l'aiguille et la buse**).
- La pression d'ouverture de l'aiguille de l'injecteur dépend de la valeur de compression du ressort dans le porte injecteur et s'appelle, **pression de tarage de l'injecteur**.
- Le débit maximal d'un injecteur est déterminé par : **La section de passage du carburant dans la buse** (nombre et diamètre des orifices) et **par la levée d'aiguille** : La levée d'aiguille de l'injecteur à une grande importance sur la qualité de l'injection

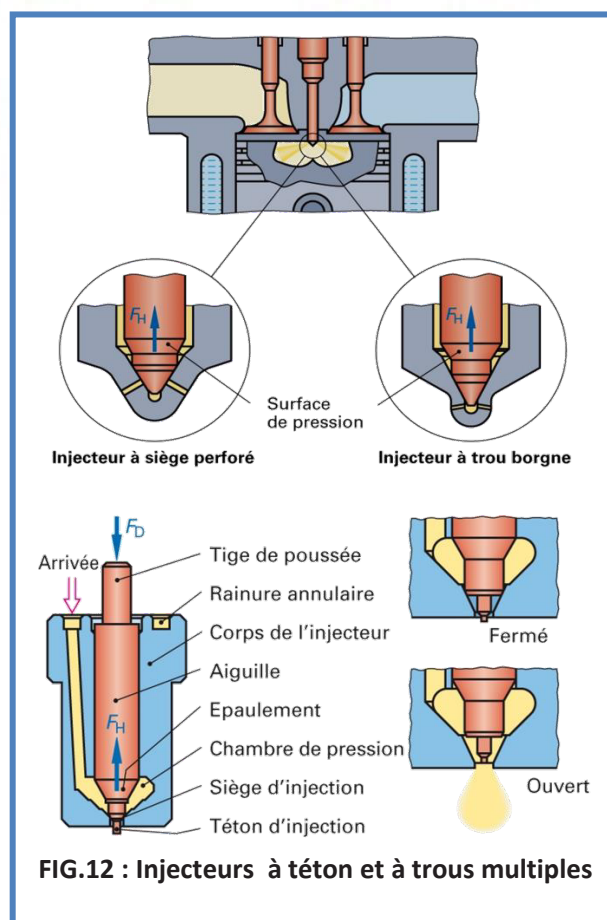
Les différents types d'injecteurs : FIG.12

Il y a 2 grands types d'injecteurs :

- Les injecteurs à béton.
- Les injecteurs à trous (un seul ou multiples).

Les injecteurs à béton : utilisés sur les différents systèmes à injection indirecte, Pression de tarage 100 à 150 bars. Le béton empêche la calamine de boucher la sortie et détermine la forme du jet. La répartition est assurée par la turbulence des gaz.

Les injecteur à trous : qui pulvérisent et répartissent bien le gasoil. Ils sont utilisés en injection directe avec des pressions de tarage importantes (200 à 400 bars). L'extrémité de la buse est percée d'un trou central ou de plusieurs trous, 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. **Ce type d'injecteur est sensible à l'encrassement.**



La pompe d'injection :

Elle sert à élever la pression du gazole afin qu'il puisse être pulvérisé au niveau de l'injecteur à des fines gouttelettes.

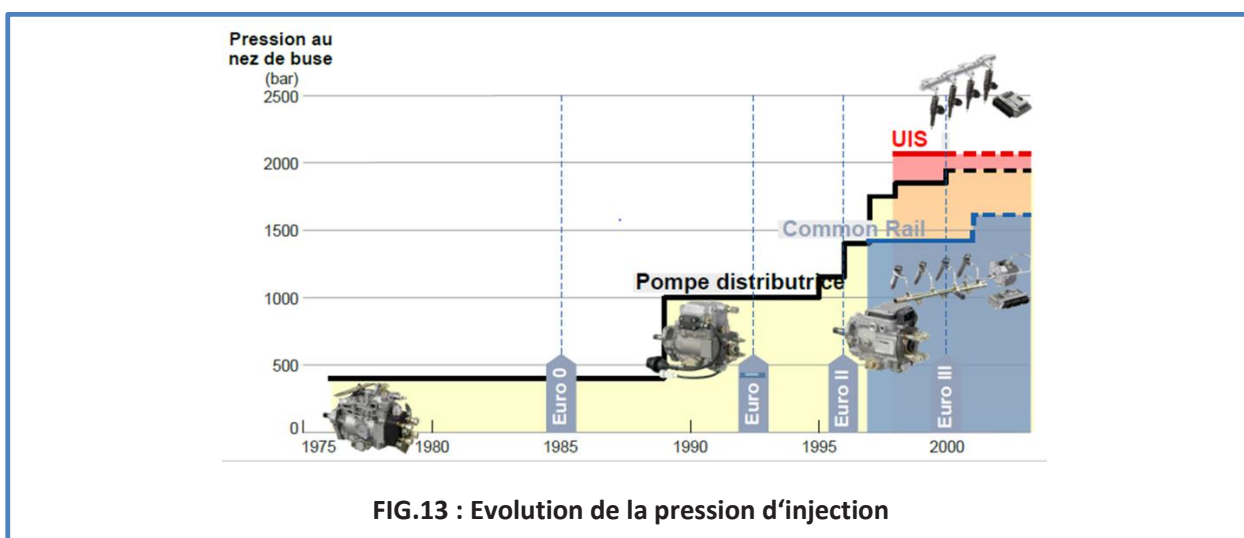


FIG.13 : Evolution de la pression d'injection

Afin de respecter les normes d'émissions de gaz polluants, d'améliorer les performances et de diminuer la consommation des moteurs Diesel, les systèmes d'injection modernes fonctionnent à des pressions toujours plus élevées (**FIG.13**) et de façon toujours plus précise, c'est pourquoi les constructeurs automobiles ont évolués les circuits d'alimentation en carburant.

Chronologie d'évolution des systèmes d'injection : **FIG.14**

- Circuit d'alimentation avec pompes distributrices à piston axial à régulation mécanique/électronique et injecteurs classique.
- Circuit d'alimentation avec pompes distributrices à pistons radiaux à régulation électronique et injecteur classique
- Circuit d'alimentation éléments injecteur-pompe avec dispositif de commande électromagnétique ou piézo-électrique.
- Injection électronique Common Rail avec injecteurs électromagnétique ou piézo-électrique.

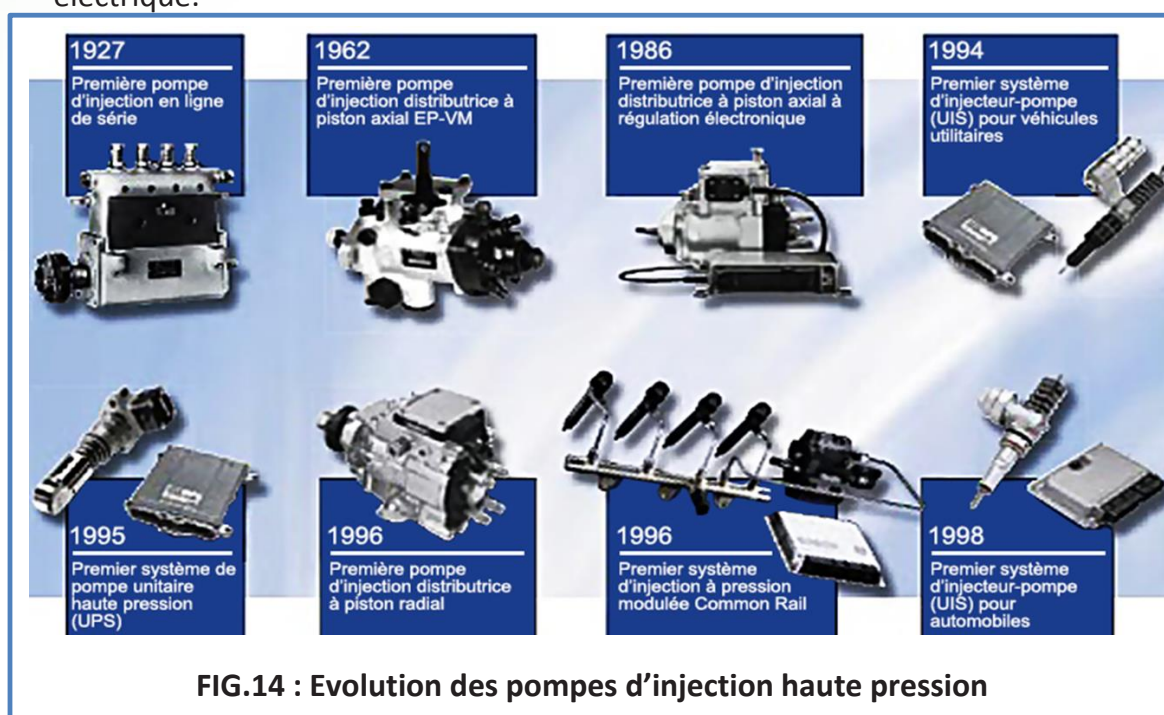


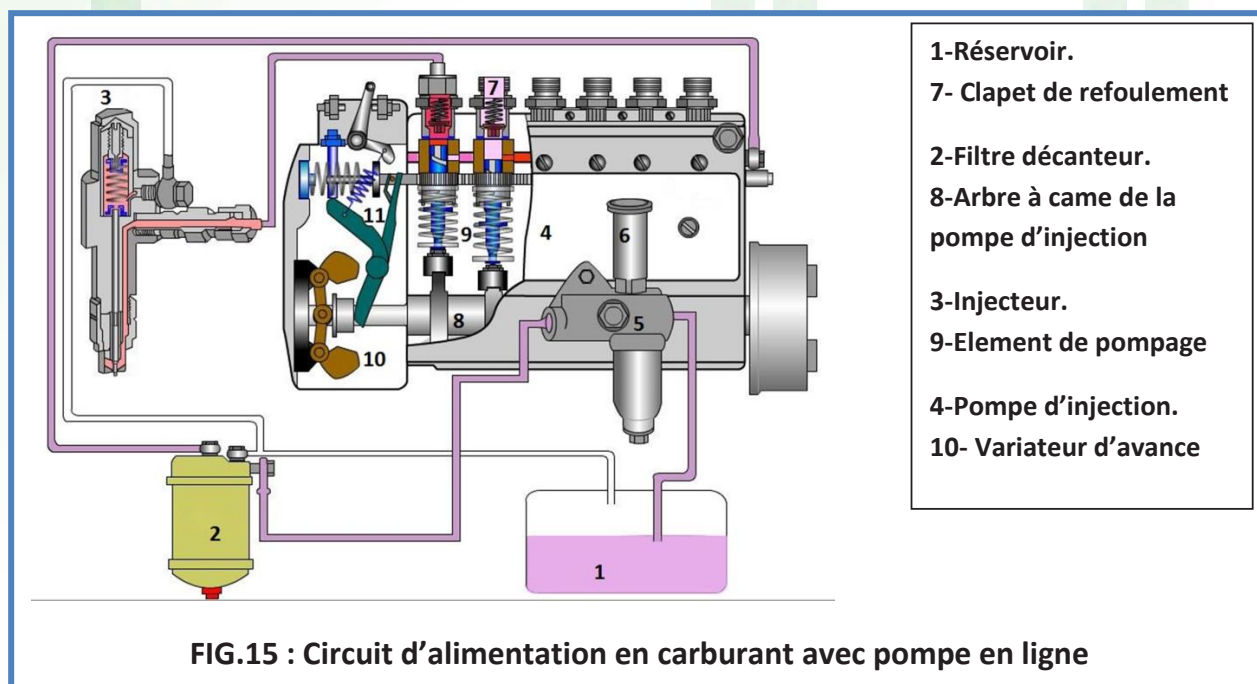
FIG.14 : Evolution des pompes d'injection haute pression

Alimentation avec Pompe d'injection en ligne FIG : 15

La pompe d'injection à éléments en ligne se compose d'autant d'éléments de pompe(9) que le moteur a de cylindres. Les pistons de pompe sont commandés par un arbre à cames(8) qui est entraîné par le moteur, et qui est placé à la partie inférieure de la pompe d'injection

- La pression d'injection se fait grâce au mouvement axial vertical, ce mouvement est donné par l'arbre à cames dans la pompe entraîné par le moteur via la distribution.
- La régulation de la dose à injecter (régime du moteur) se fait par la rotation du piston entraîné par la crémaillère qui fait tourner le secteur denté solidaire du piston.

- La distribution du carburant aux cylindres est assurée par l'arbre à came de la pompe d'injection **8** selon la position des cames, elle est adaptée selon l'ordre d'injection du moteur.



Un inconvénient de cette construction est de générer un débit irrégulier, dont le taux d'irrégularité est lié au nombre de pistons.

Alimentation avec pompe distributrices à piston axial à régulation mécanique :

- Un seul élément, le piston axial, assure le refoulement du gasoil quel que soit le nombre des cylindres moteur, ce qui favorise l'égalité de débit entre les cylindres
- Il y a toujours égalité des débits entre les cylindres.
- Le gasoil assure la lubrification et le refroidissement des éléments de la pompe d'injection.

La pompe se compose de quatre groupes fonctionnels : FIG.16

- La pompe d'alimentation à palettes (1).
- La pompe haute pression avec piston distributeur (5).
- Le régulateur de vitesse mécanique (4).
- Le variateur d'avance à l'injection (3).
- L'électrovanne(2) permet d'arrêter le moteur par la fermeture du canal d'alimentation de la chambre haute pression du piston distributeur. Electrovanne alimenté : canal d'alimentation ouverte. non alimenté : canal d'alimentation fermée.

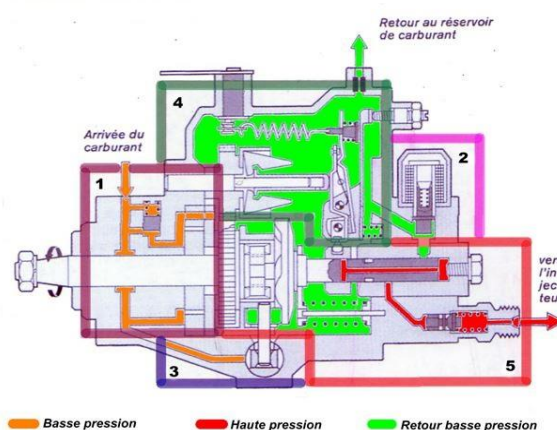
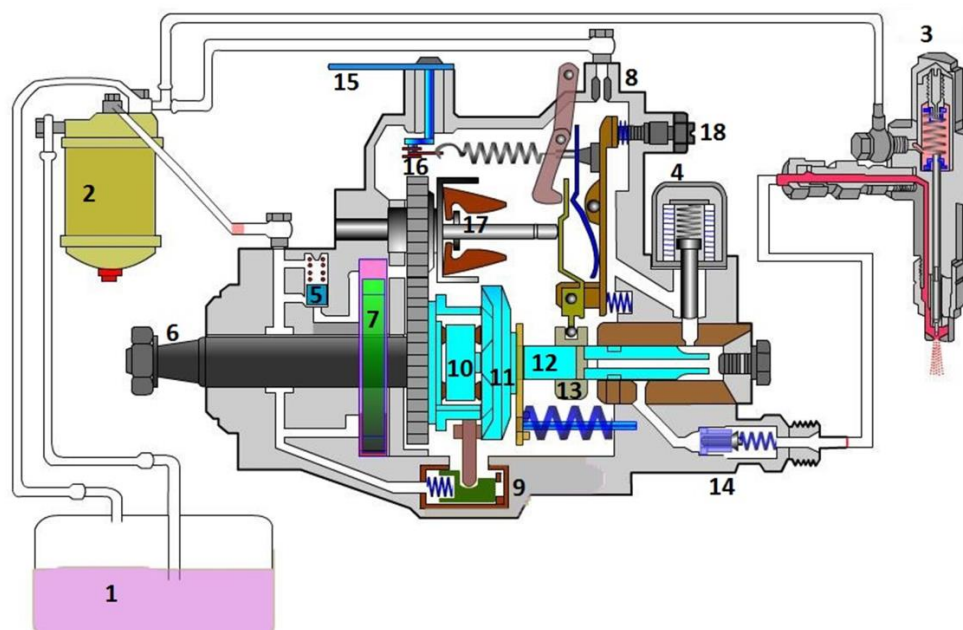


FIG.16



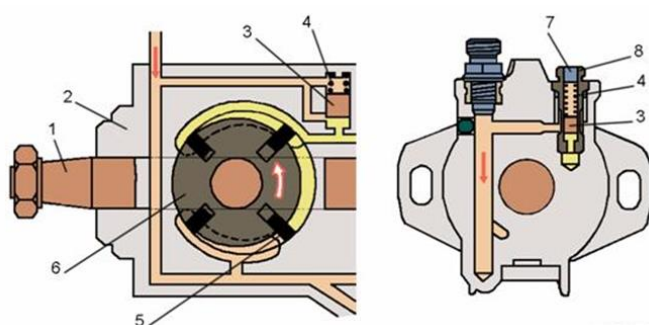
- 1- Réservoir 2- filtre décanteur 3- injecteur 4- électrovanne d'arrêt 5- soupape de décharge
6- Arbre d'entraînement 7- pompe à palette 8- orifice calibré de retour 9- variateur d'avance
10- Porte galets 11- disque à cames 12- piston distributeur 13- tiroir de débit
14- clapet de refoulement 15- levier de régulation de vitesse 16- pignon du régulateur de régime
17- régulateur centrifuge 18- vis de réglage du débit pleine charge.

FIG.17 : Circuit d'alimentation et description de la pompe distributrice à piston axial à régulation mécanique

Alimentation et refoulement basse pression :

La pompe à carburant basse pression (FIG.18) est située dans le boîtier de la pompe d'injection sur l'arbre d'entraînement et sert à prélever le carburant du filtre à carburant et à l'alimenter la pompe à injection. 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.

La pression d'alimentation de la pompe est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur, la soupape de décharge (5) et l'orifice calibré (8) assurent le maintien de la pression à l'intérieur de la pompe d'injection.

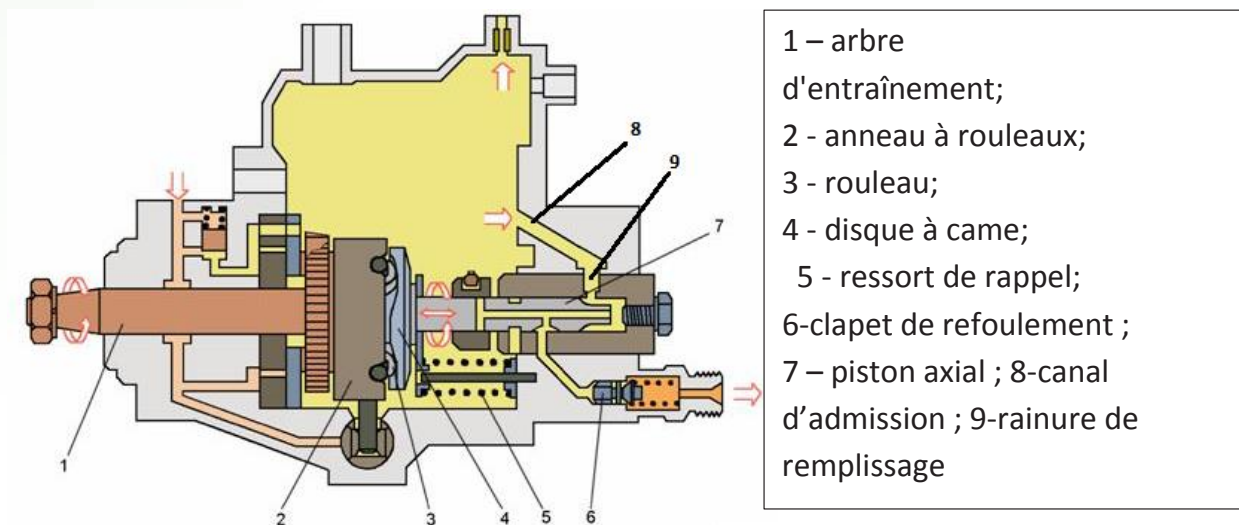


- 1 - arbre d'entraînement; 2 - corps de pompe ; 3 - soupape de régulation de pression ; 4 - ressort; 5 - palettes ; 6 - rotor; 7 - bouchon fileté; 8 - corps du régulateur de pression

FIG.18 - Schéma de fonctionnement de la pompe à carburant basse pression

Création de la haute pression et distribution du carburant: (FIG.18 et 19)

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. 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.



- 1 – arbre d'entraînement;
- 2 - anneau à rouleaux;
- 3 - rouleau;
- 4 - disque à came;
- 5 - ressort de rappel;
- 6-clapet de refoulement ;
- 7 – piston axial ; 8-canal d'admission ; 9-rainure de remplissage

FIG.19 : Schéma du mouvement du carburant dans la pompe d'injection de distribution

Injection du carburant 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 : 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.

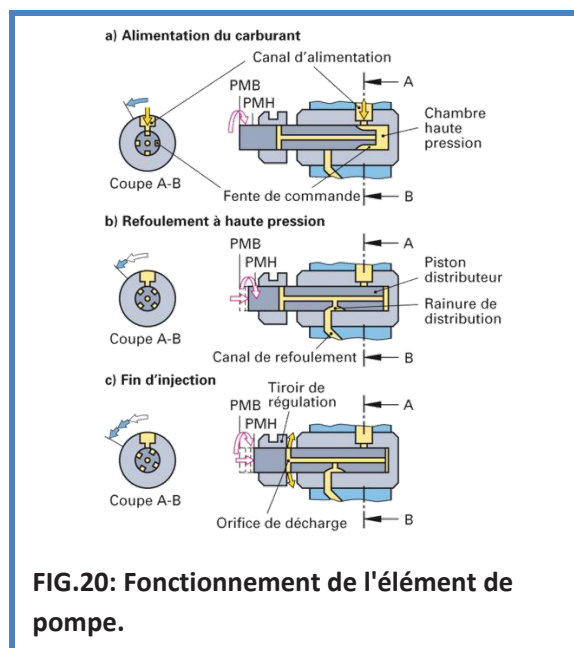


FIG.20: Fonctionnement de l'élément de pompe.

En plus de commander le mouvement du piston distributeur, le disque à cames ou bossages influence aussi la pression et la durée d'injection qui vont dépendre de la forme des cames (hauteur des cames et forme des rampes de cames).

Régulation de débit d'injection pression / régime : (FIG.21)

La position de la bague de débit ou de régulation sur le piston distributeur de la pompe d'injection qui détermine la quantité refoulée par la pompe d'injection, autrement dit la Le contrôleur de vitesse automatique comprend un régulateur mécanique avec des poids centrifuges et un système de leviers de commande qui relie le contrôleur et les éléments de réglage avec un embrayage de dosage

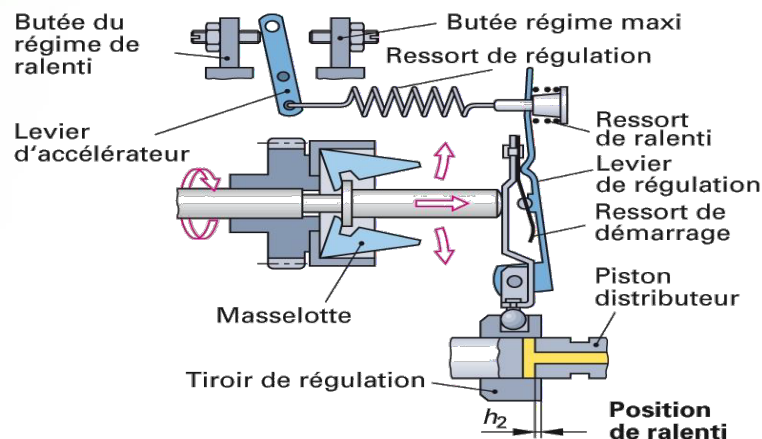


FIG.21 : Fonctionnement du régulateur centrifuge

Un régulateur de régime de type centrifuge, dont les masselottes et le manchon central sont entraînés par un engrenage, Assure les fonctions :

- **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.

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.

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 de l'avance à l'injection : (FIG.22)

L'angle d'avance d'injection de carburant optimal assure le déroulement normal du processus de combustion. Après le début de l'injection, un certain temps est nécessaire pour l'évaporation du carburant et la formation d'un mélange combustible. Ainsi, la période de retard à l'allumage dépend de l'indice de cétane du carburant, du taux de compression, de la pression, de la température de l'air et des caractéristiques d'injection et pulvérisation du carburant. La longueur de la période de retard en degrés augmente avec l'augmentation

du régime. Par conséquent, afin d'assurer la préparation du mélange air-carburant avec une vitesse croissante, il est nécessaire d'augmenter l'angle d'avance d'injection. Pour ce faire, un dispositif automatique d'avance à l'injection de carburant est installé dans la pompe à carburant (Figure 12).

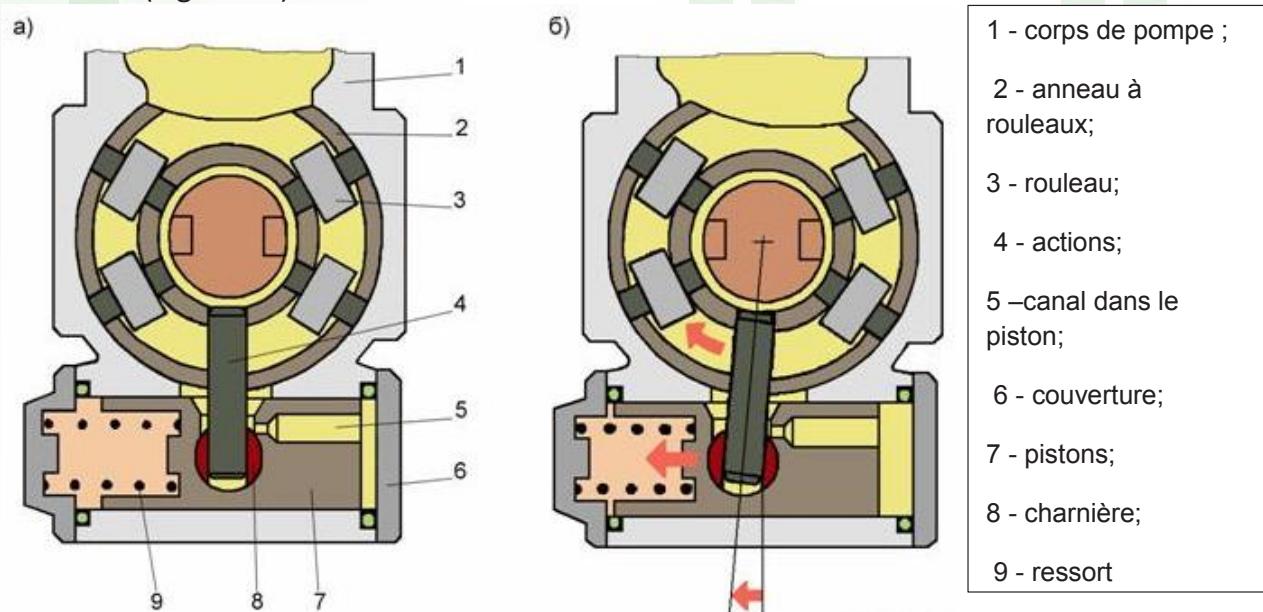


FIG.22 : Variateur hydraulique d'avance à l'injection

Dispositifs supplémentaires des pompes d'injection distributrice :

Correcteur de pression de suralimentation (LDA) : Ce dispositif est situé dans la partie supérieure de la pompe d'injection, Conçu pour ajuster l'alimentation en carburant en fonction du changement de pression de suralimentation, c'est-à-dire Ce correcteur s'installe sur la pompe d'injection des moteurs fonctionnant en suralimentation. La nécessité de son utilisation est due au fait qu'avec une diminution de la pression de suralimentation, la quantité d'air fournie aux cylindres du moteur diminue également, ce qui, à son tour, nécessite une diminution de la quantité de carburant fournie.

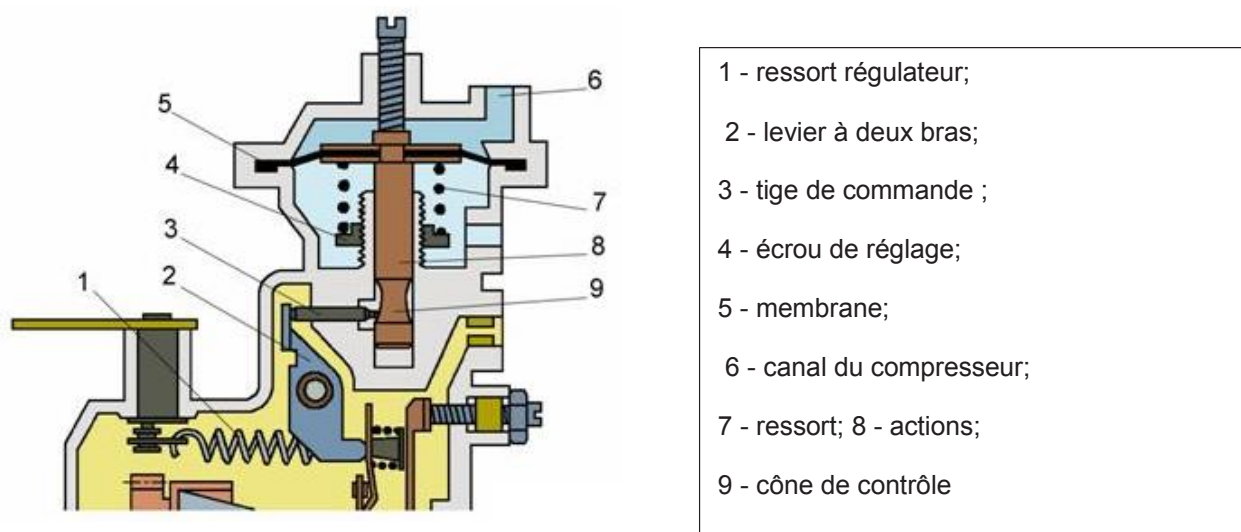


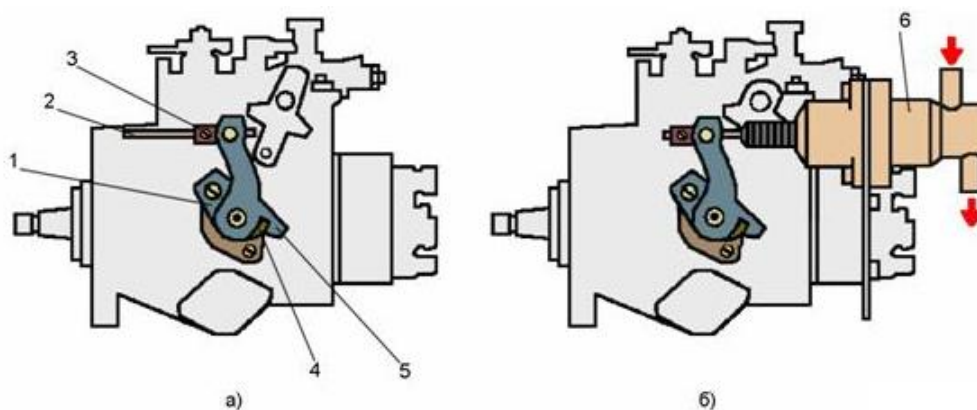
FIG.23 : Correcteur de pression de suralimentation LDA (limiteur de richesse)

Correcteur de pression atmosphérique (ADA) :

Conçu pour ajuster l'alimentation en carburant en fonction des changements de pression atmosphérique. La nécessité de son utilisation est due au fait qu'avec une diminution de la pression atmosphérique, le remplissage des cylindres en air diminue également, ce qui, à son tour, peut entraîner une augmentation de la fumée dans le moteur diesel. Le correcteur, ainsi que le correcteur de pression de suralimentation, est situé sur la partie supérieure du couvercle de la pompe d'injection, seulement au lieu d'une membrane, une chambre barométrique y est installée, dont la cavité interne communique avec l'atmosphère. Le fonctionnement du correcteur de pression atmosphérique est tout à fait similaire au fonctionnement du correcteur de pression de suralimentation.

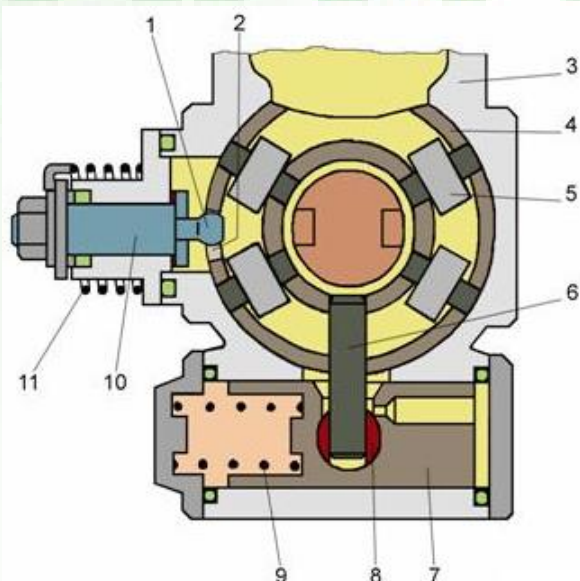
Accélérateur de démarrage à froid (KSB)

Afin de faciliter le démarrage d'un moteur diesel à basse température ambiante, il est nécessaire de modifier le début de l'injection de carburant, c'est-à-dire l'introduire plus tôt dans les cylindres du moteur. L'accélérateur de démarrage à froid est monté à l'extérieur du boîtier de la pompe d'injection. La tâche de l'accélérateur est d'augmenter l'angle d'avance de l'injection de carburant, qui est mis en œuvre manuellement (à l'aide d'une poussée depuis la cabine du conducteur) (FIG.24, a) ou automatiquement, en fonction de la température du moteur (FIG.24, b).



a) - manuel; b) - automatique ; 1 – tampon du levier de l'accélérateur ; 2 - poussée; 3 - retenue; 4 – ressort de rappel de l'accélérateur ; 5 - levier d'accélérateur ; 6 - dispositif automatique d'accélérateur;

FIG.24 - Schémas de l'accélérateur de démarrage du moteur à froid



- 1 - tige à rotule;
- 2 - rainure longitudinale;
- 3 - corps de pompe ;
- 4 - anneau à rouleaux;
- 5 - rouleau; 6 – axe d'entraînement ;
- 7 - pistons;
- 8 – coulisseau ; 9 - printemps; 10 - axe;
- 11 - ressort de rappel

FIG.25 - Accélérateur de démarrage à froid

La régulation électronique du moteur diesel apporte des fonctionnalités supplémentaires par rapport à la mécanique. Grâce aux mesures électriques, il permet un traitement électronique flexible du signal et la création d'une boucle de régulation avec des actionneurs électriques. De plus, un certain nombre de paramètres spéciaux peuvent être pris en compte, ce qui n'est pas possible avec une régulation mécanique.

Le système d'admission d'air

Introduction

Le système d'admission d'air est conçu pour laisser entrer la quantité d'air requise dans le moteur et former un mélange air-carburant.

Pour améliorer le remplissage des cylindres avec de l'air, augmenter la puissance dans les moteurs diesel, la suralimentation est utilisée.

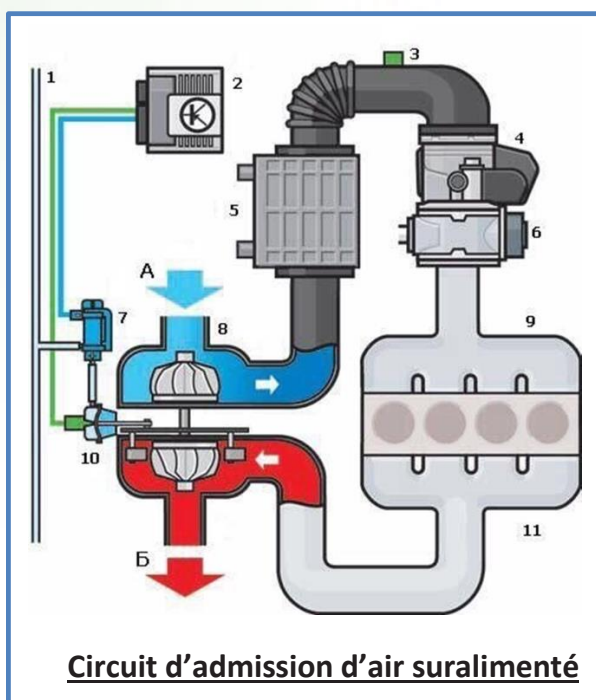
Dans les véhicules diesel modernes, le système d'admission interagit avec de nombreux systèmes du moteur, notamment le système d'injection, le système de recirculation des gaz d'échappement, le système de récupération des vapeurs d'huile, le servofrein à dépression. L'interaction de ces systèmes et d'un certain nombre d'autres systèmes est assurée par le système de commande du moteur.

Présentation du système :

Le système d'admission comprend une prise d'air, un filtre à air, un collecteur d'admission et le turbocompresseur. Sur certaines conceptions de moteurs, des volets de turbulence

d'admission et un papillon étouffoir (Papillon d'arrêt en douceur de la tubulure d'admission) sont utilisés. Tous les éléments du système d'admission sont reliés par des tuyaux.

Pour que le système de commande du moteur électronique contrôle le fonctionnement du circuit d'admission selon conditions de fonctionnement du moteur, des capteurs et des actuateurs sont montée sur le circuit.



- 1-tuyau de dépression ; 2- calculateur moteur
 - 3- capteur de pression de suralimentation
 - 4- Boîtier de papillon étouffoir; 5- Refroidisseur d'air
 - 6- vanne de recyclage des gaz d'échappement
 - 7- Electrovanne de suralimentation
 - 8- turbocompresseur ;9- Collecteur d'admission
 - 10- soupape de régulation de la pression de suralimentation
 - 11- Collecteur d'échappement
- A- Air d'admission
B- Gaz d'échappement

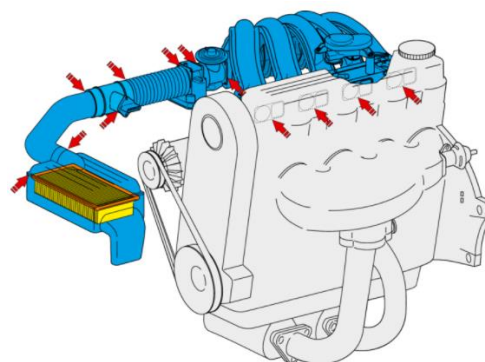
Le filtre à air :

Est utilisé pour nettoyer l'air des particules mécaniques. L'élément filtrant est en papier spécial et placé dans un boîtier séparé. L'élément du filtre à air a une durée de vie limitée. Selon les conditions de fonctionnement de la voiture, la durée de vie de l'élément filtrant peut varier.



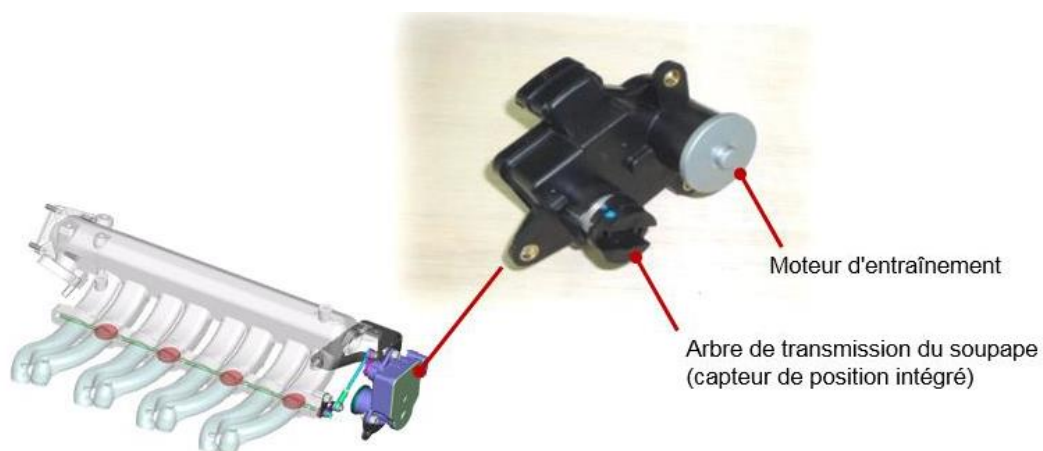
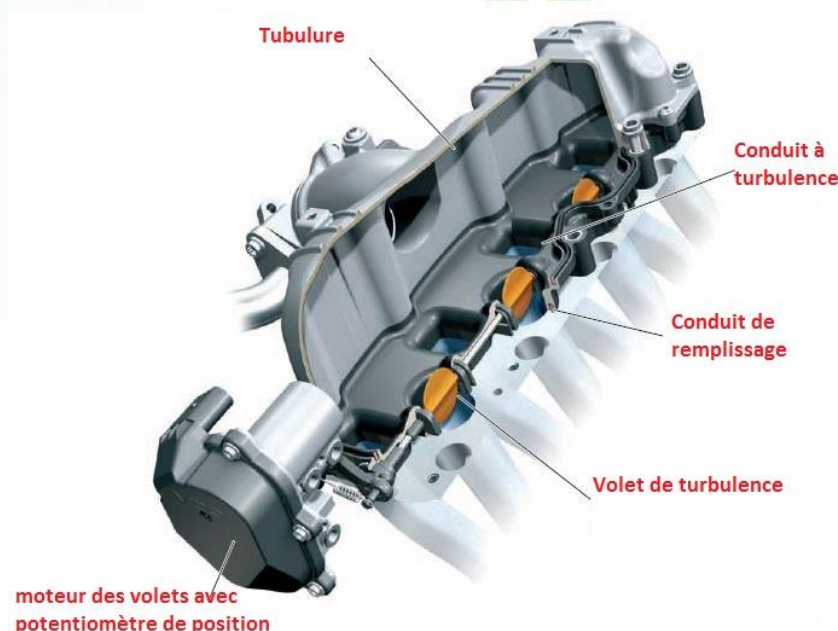
Le collecteur d'admission :

Distribue le flux d'air à travers les cylindres du moteur et lui donne le mouvement nécessaire. Sur certains le vide qui se produit dans le collecteur d'admission est utilisé dans le fonctionnement du servofrein à dépression, ainsi que pour entraîner les volets d'admission.



Volets d'admission de turbulence : (commande de tourbillonnement)

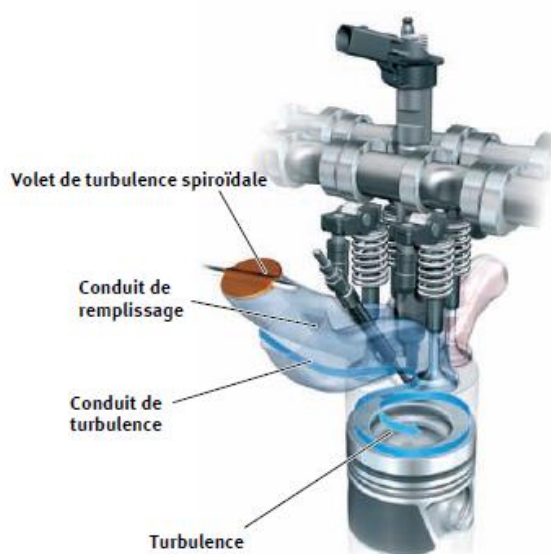
Permet d'augmenter la vitesse d'entrée d'air pour bien mélanger l'air avec le carburant, ce qui permet l'amélioration de la combustion et la réduction des rejets polluants.



En fonction du régime et de la charge du moteur, les volets adoptent une position déterminée pour qu'à l'intérieur du cylindre, la turbulence adéquate soit générée. La tubulure d'admission intègre un arbre à volets qui laisse libre ou empêche le passage de l'air à travers le conduit de remplissage maximal de chaque cylindre.

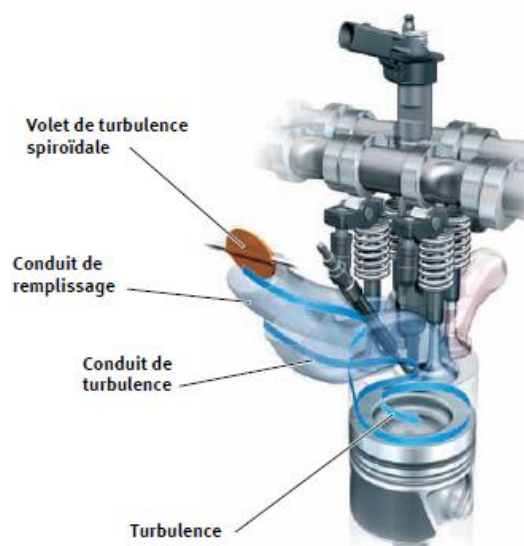
FONCTIONNEMENT À FAIBLE RÉGIME

Au ralenti et à faible régime, la vitesse d'entrée de l'air dans le cylindre est faible, car les pistons se déplacent lentement et la pression de suralimentation est faible. Dans ce cas, les volets à turbulence spiroïdale sont fermés, tout l'air aspiré passe donc par le conduit de turbulence spiroïdale. Cela permet d'augmenter la vitesse d'entrée de l'air dans le cylindre, car le flux passe à l'intérieur du cylindre par un seul conduit au lieu de deux. De plus, de par la forme du conduit, un intense effet de turbulence est généré, qui favorise l'homogénéisation du mélange.



FONCTIONNEMENT À MOYEN ET HAUT RÉGIME

À moyen et haut régime moteur, le temps disponible pour le remplissage des cylindres est plus court, il est donc intéressant d'augmenter au maximum la section d'entrée de l'air. C'est pour cela que les volets s'ouvrent, laissant passer l'air à travers le conduit de remplissage. Grâce au moteur, les volets peuvent se positionner à différents degrés d'ouverture en fonction de la charge et du régime moteur. À partir de 3 000 tr/min les volets sont entièrement ouverts.



Le dysfonctionnement du dispositif de turbulence résulte d'une mauvaise accélération du moteur ou d'une perte de puissance du moteur.

Les causes de dysfonctionnement du système de turbulence à volet :

- Dysfonctionnement du moteur de commande des volets (alimentation, court-circuit,...).
- Potentiomètre de position des volets défectueux.
- Le blocage des volets en raison des substances étrangères (calamine de combustion causé par un recyclage excessif des gaz d'échappement ou des vapeurs d'huile,..).



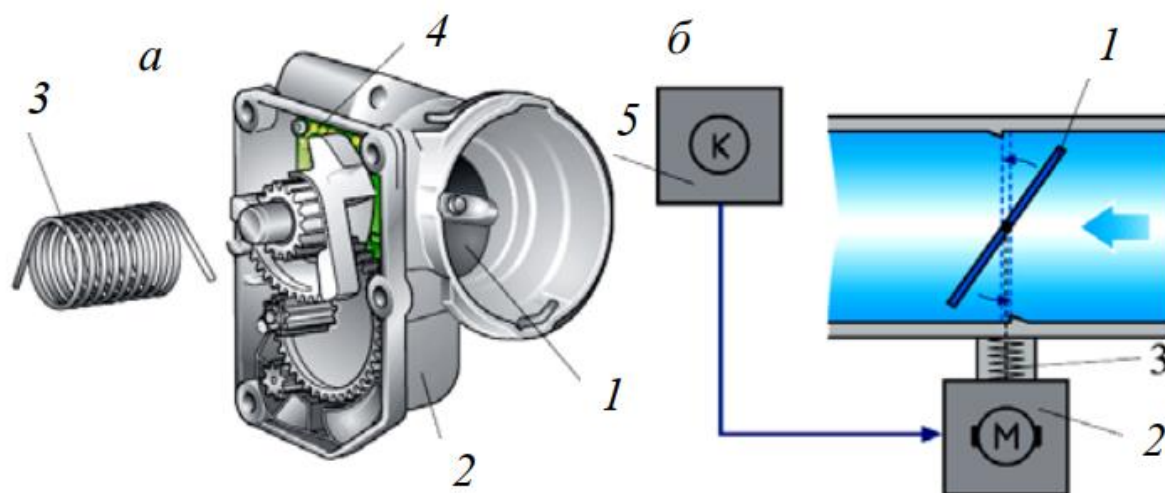
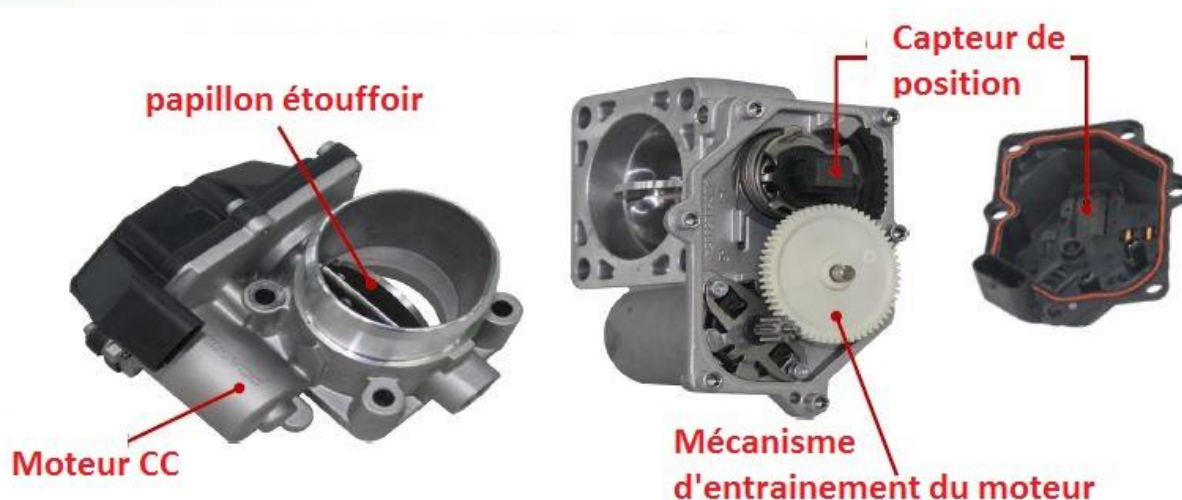
- Arbre de commande cassé ou bloqué.

Remarque :

Le remplacement du moteur de commande avec le potentiomètre de position des volets nécessite l'adaptation du capteur de position avec l'outil de diagnostic.

Le papillon étouffoir :

Un boîtier papillon montés sur le collecteur d'admission, comporte un moteur de commande, une soupape (papillon) et un capteur de position.



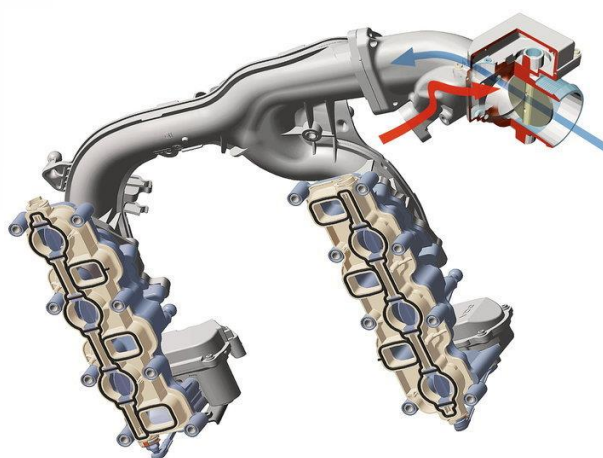
a - vue générale ; b - schéma de connexion ; 1 – papillon d'admission ; 2 - moteur électrique; 3 - ressort de rappel; 4 – régulateur électronique ; 5 - unité de commande du moteur

Les éléments de la fonction "Etouffoir"

Il permet de :

- créer une dépression dans le système d'admission, nécessaire à une recirculation efficace des gaz d'échappement à tous les régimes moteur
- Couper le moteur de manière optimale et "confortable" (moins de vibrations), cela permet aussi de limiter les risques d'emballement moteur puisqu'en coupant le contact le papillon fermé empêche l'arrivée d'air. Quand on coupe le moteur, le papillon se ferme pour l'étouffer.
- Participer à la régénération du FAP (filtre à particule) catalysé.

Le dysfonctionnement d'étouffoir résulte une mauvaise accélération du moteur ou une perte de puissance du moteur.



Amélioration de du recyclage des gaz d'échappement par le papillon

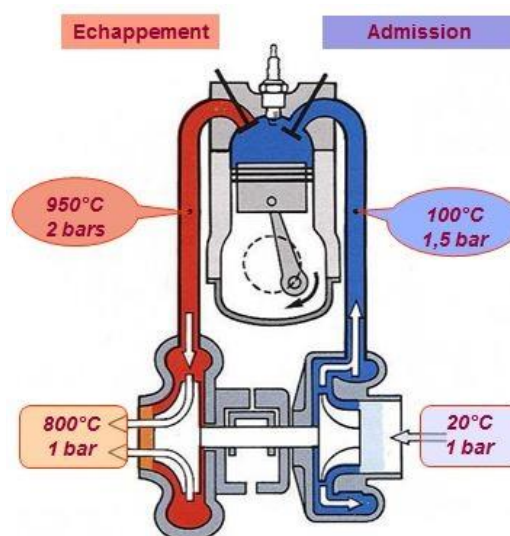
La suralimentation :

Fonction de la suralimentation :

Augmenter la quantité d'air et parallèlement la quantité de carburant introduite dans les cylindres pour une plage de fonctionnement moteur déterminée (amélioration du remplissage).

Augmenter la vitesse de l'air refoulé vers les cylindres, ce qui permet d'améliorer le tourbillonnement d'air et donc une bonne préparation du mélange.

Cette augmentation du mélange carburé améliore les performances du moteur, à savoir : couple, puissance, rendement et par conséquent diminue les gaz polluants rejetés à l'échappement.



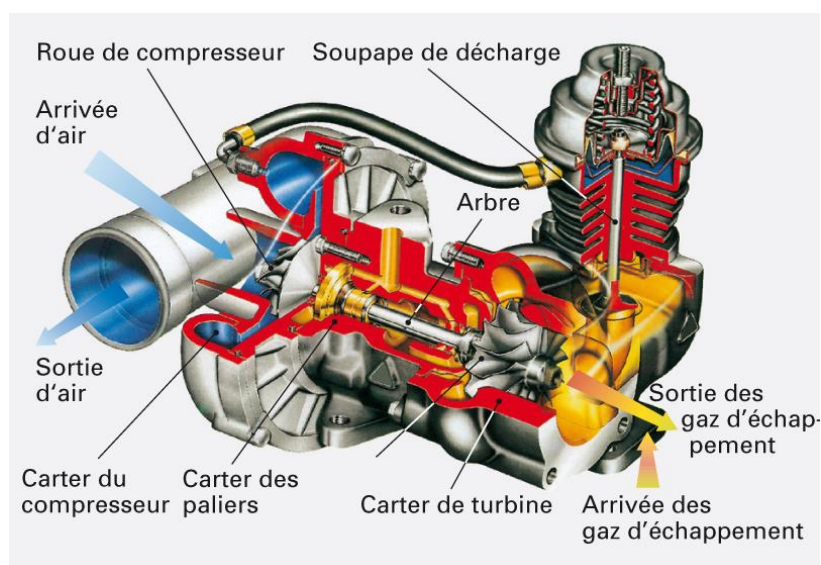
Principe de fonctionnement

Contrairement à un moteur atmosphérique où l'air pénètre dans les cylindres par différence de pression ($P_a > \text{pression tubulure}$), avec ce système l'air est introduit sous pression ($P_{\text{admission}} > P_{\text{atmosphérique}}$), à l'aide d'un compresseur ou d'un turbocompresseur. Le compresseur utilisé sur les véhicules automobiles est du type centrifuge (turbocompresseur).

Principe de fonctionnement du turbocompresseur

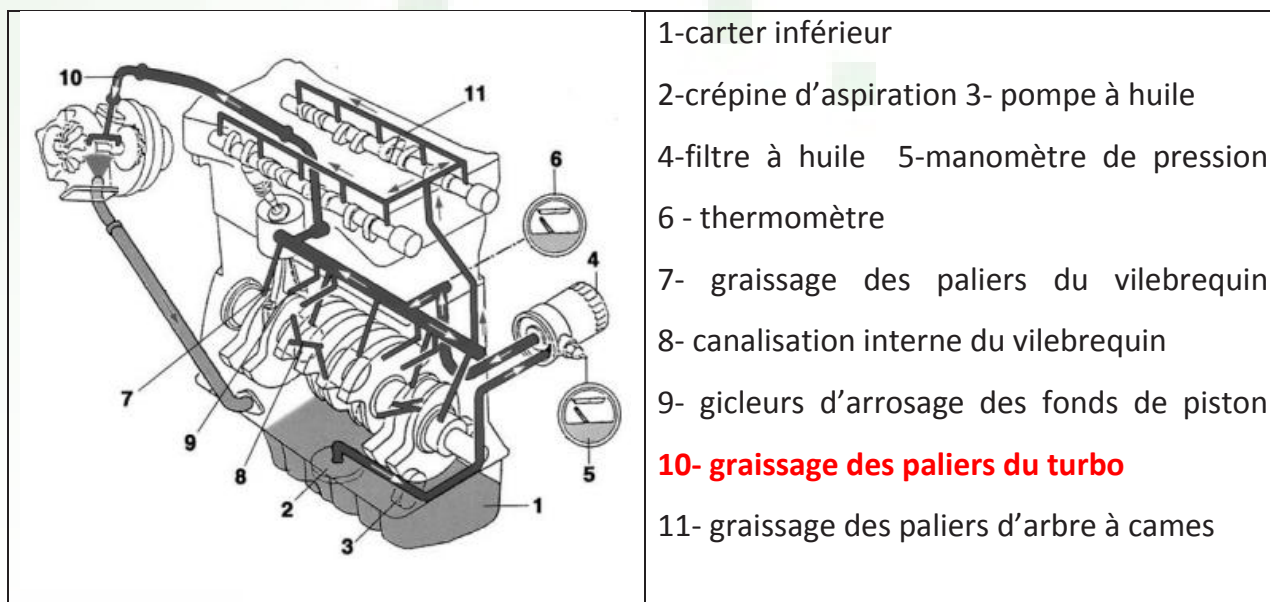
Le turbocompresseur utilise l'énergie des gaz d'échappement. Cette énergie fait tourner la roue de la turbine. Ensuite, cette rotation est transmise par l'arbre du rotor à la roue du compresseur. La roue du compresseur pompe l'air dans le système, après l'avoir comprimé. L'air refroidi dans le refroidisseur intermédiaire est fourni aux cylindres du moteur. À faible régime du moteur, la pression des gaz d'échappement est insuffisante pour permettre la suralimentation. Le moteur comporte donc deux phases de fonctionnement :

- A bas régime, le moteur fonctionne dans l'aide du turbocompresseur.
- A haut régime, une phase suralimentée dans laquelle l'action du turbocompresseur est à sa pleine efficacité, le taux de remplissage est alors supérieur à 1.



La vitesse de rotation élevée du rotor, qui peut atteindre 100 000 tr/min, l'arbre est montée sur des paliers hydrauliques dont l'huile de graissage est celle du moteur. D'autre

part, la température des gaz d'échappement se propagent par conduction à l'ensemble du turbocompresseur pouvant atteindre une moyenne de 400°C. Ce qui nécessite un refroidissement important de l'huile.

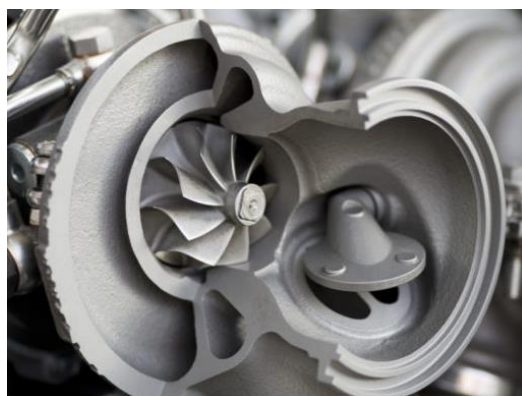


Remarque :

Un manque de graissage des paliers et de l'arbre entraîne la détérioration rapide du turbocompresseur.

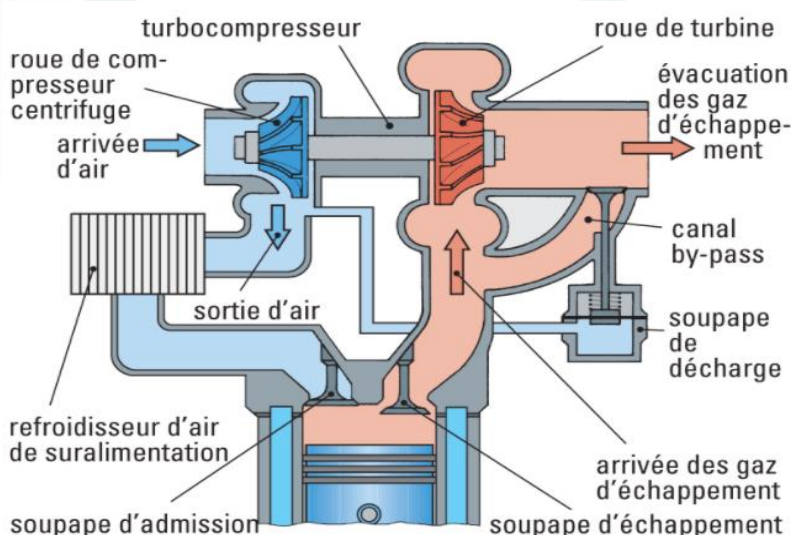
La régulation de la pression de suralimentation.

A haut régime, la pression de suralimentation est limitée par une soupape de régulation, ou appelée également «wastegate ». Elle a pour rôle de diminuer la quantité de gaz d'échappement, en contact avec la turbine, en commandant un volet par l'intermédiaire d'une capsule à pression. Les gaz déviés, sont rejetés directement dans le circuit d'échappement du véhicule, ce qui a pour effet de ralentir la vitesse du rotor de turbo.



La fonction première de la wastegate est de protéger le turbocompresseur ainsi que le moteur qui en est équipé d'une pression de suralimentation trop élevée.

Les gaz déviés, sont rejetés directement dans le circuit d'échappement du véhicule, ce qui a pour effet de ralentir la vitesse du rotor de turbo.

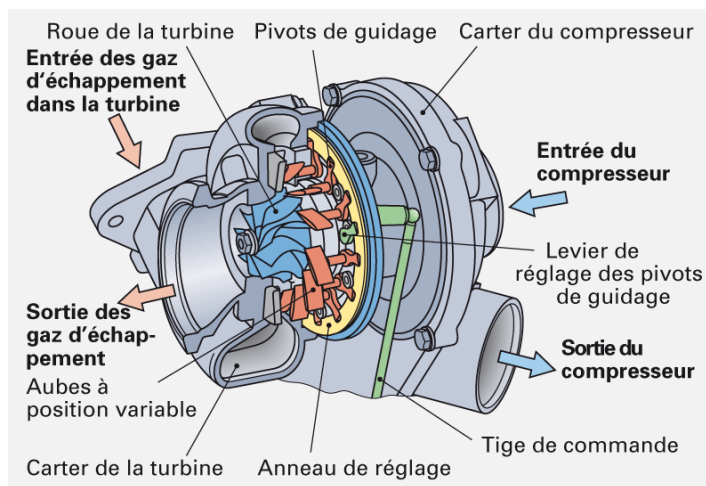


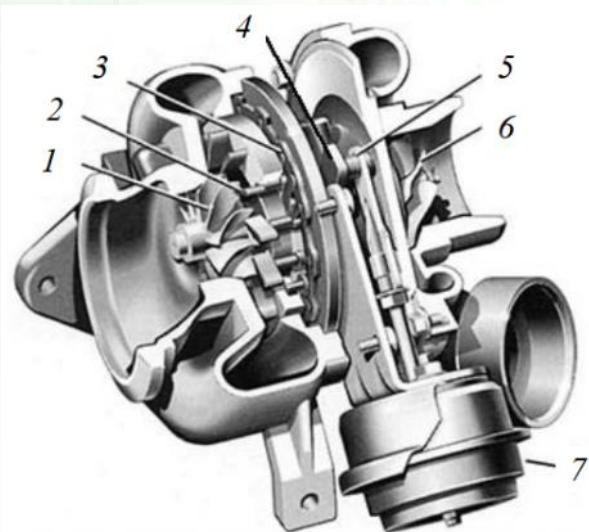
Turbocompresseur à géométrie variable

La pression du **turbocompresseur** dans le circuit d'admission doit être régulée pour éviter au moteur de s'emballer. En effet, si la pression augmente, le moteur monte en régime, puis les gaz d'échappement accélèrent la turbine et **le moteur se détériore**.

Un **turbocompresseur à géométrie variable** est pourvu d'un système de régulation composé d'ailettes articulées commandées par le moteur électronique.

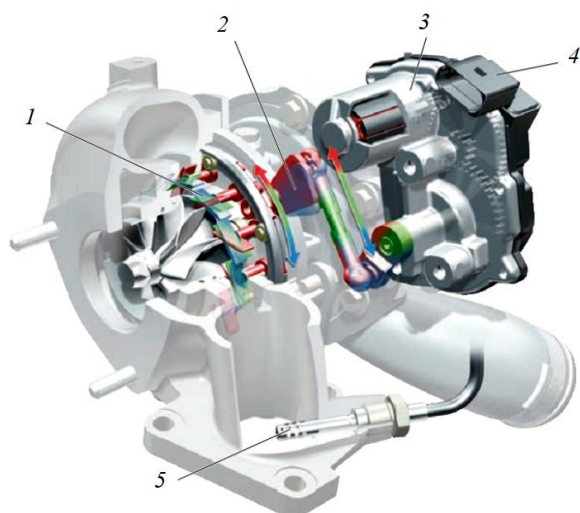
- **À bas régime**, les ailettes se ferment et tout le gaz d'échappement transite par la turbine.
- **Pendant que le régime moteur augmente**, les ailettes s'ouvrent progressivement, puis dévient les flux de gaz de la [turbine](#) pour la rendre inopérante.





1 - roue de turbine; 2 - aubes directrices mobiles; 3 - bague de contrôle ; 4 - levier de commande; 5 - tige de commande ; 6 - roue de compresseur ; 7 - capsule pneumatique de commande ; 8 - écoulement des gaz d'échappement

Turbocompresseur à géométrie variable à actionneur pneumatique

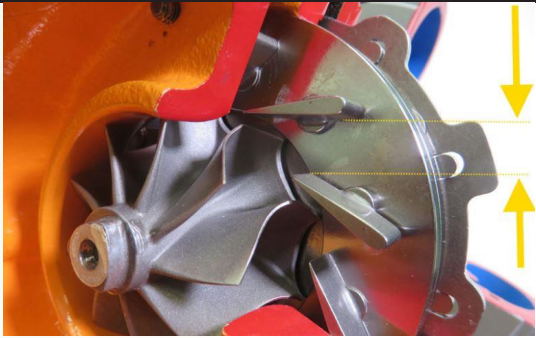
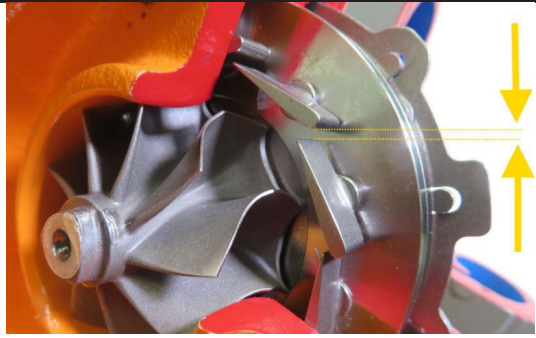


1 - aubes directrices ;
2 - lames de guidage à levier;
3 - servomoteur ; 4 - unité de commande du turbocompresseur avec potentiomètre de position ;
5 - capteur de température

Turbocompresseur à géométrie variable et servomoteur électrique

Un capteur de température des gaz d'échappement est installé devant le turbocompresseur. L'unité de commande du moteur utilise le signal du capteur de température des gaz d'échappement pour protéger le turbocompresseur contre des températures de gaz d'échappement trop élevées.

Principe de fonctionnement

	
<p>À charge élevée, les aubes directrices ouvrent une plus grande section transversale des canaux, ce qui réduit le débit du flux de gaz d'échappement. En conséquence, le turbocompresseur accélère moins avec la même quantité de gaz d'échappement et fonctionne à une fréquence inférieure avec plus de gaz.</p>	<p>À faible charge du moteur, les aubes mobiles ouvrent une petite section transversale des canaux de sorte que la contre-pression des gaz d'échappement augmente. Le flux de gaz développe une vitesse élevée dans la turbine, fournissant une fréquence de rotation élevée de l'arbre du soufflant</p>

Symptômes de dysfonctionnement

- Perte de la puissance du moteur et fumée noire à l'échappement -
 - Secousses du moteur lors de l'accélération - le symptôme le plus courant du blocage du système à géométrie variable,
 - L'apparition d'huile dans le système d'admission - un problème d'étanchéité du turbocompresseur,
 - Le moteur se met en mode dégradé en appuyant sur la pédale d'accélérateur - grippage du turbo à géométrie variable,
 - Bruits métalliques étranges - frottement de la roue de compression contre le carter du turbo, dus à un jeu trop important ou bien mauvais équilibrage (dans ce cas précis le turbocompresseur et HS),
- "Sifflement" à l'accélération- la roue du turbo (rotor) ou roue de compression endommagés.

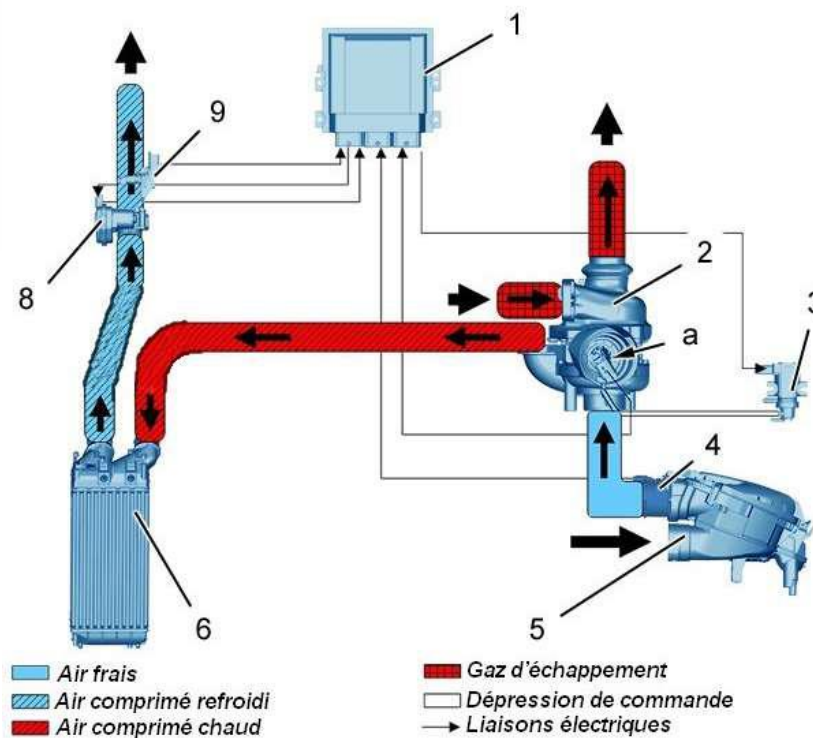
Régulation de la température de l'air admis :

L'air aspiré par le turbocompresseur se trouve en contact avec les parois chaudes (ex : 400° C) du système de suralimentation ce qui diminue le taux de remplissage des cylindres suite à une diminution de la masse gazeuse admise due à sa dilatation sous l'effet calorifique.

Pour remédier à cet inconvénient, un échangeur thermique assure le refroidissement par l'intermédiaire :

- De l'air atmosphérique ► échangeur air / air
- par l'eau du circuit de refroidissement ► échangeur air / eau.

Certains turbocompresseurs sont également refroidis par eau. (Système intercooler sur certains poids lourds).



"a" Poumon de commande des ailettes du turbocompresseur (Avec capteur de copie de position) ;(1) Calculateur contrôle moteur ;(2) Turbocompresseur à géométrie variable - (3) Électrovanne proportionnelle de commande turbocompresseur à géométrie variable (4) Débitmètre d'air massique ; (5) Boîtier filtre à air - (6) Refroidisseur d'air de suralimentation - (8) Boîtier doseur d'air admission ; (9) Capteur de pression et de température d'air d'admission

Les dispositifs d'aide au démarrage

ROLE:

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.

RRAISON D'ETRE

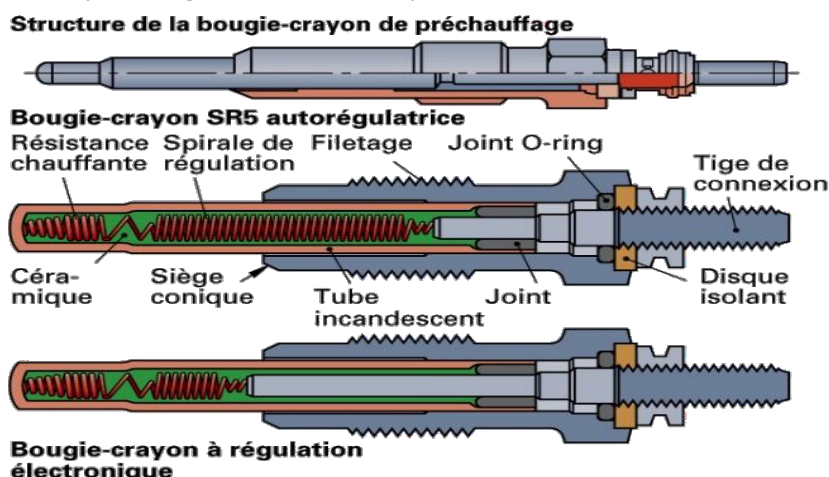
L'aptitude au démarrage des moteurs Diesel diminue à mesure que la température baisse. Lorsque le moteur est froid, les frottements mécaniques augmentent et la température de fin de compression est diminuée. Dans certaines conditions, le démarrage du moteur ne peut donc plus se faire sans l'aide d'un 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:

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



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).

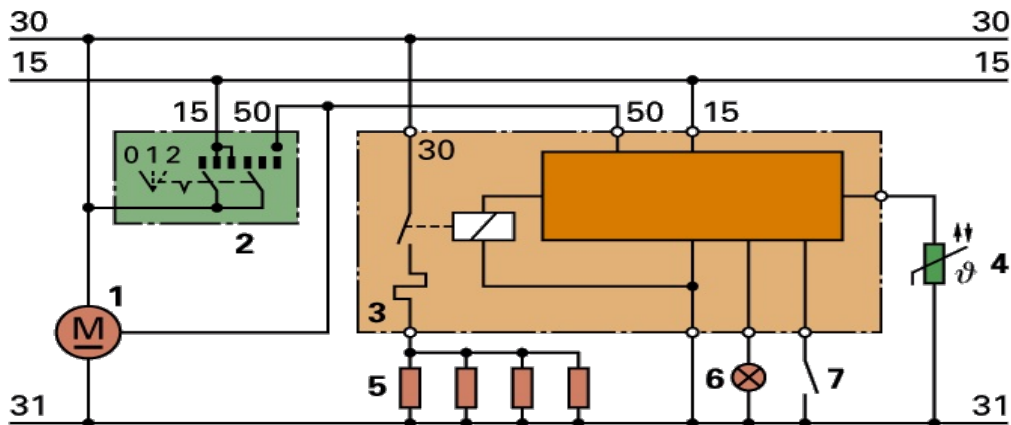
Autorégulation :

- 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.



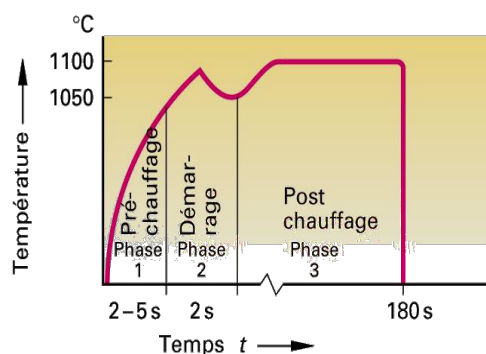
- 1 Démarreur 2 Commutateur de préchauffage-démarrage
3 Module de commande du temps de préchauffage
4 Capteur de température du liquide de refroidissement
5 Bougies-crayons 6 Lampe-témoin de démarrage
7 Contacteur de charge

La régulation électronique du préchauffage

Déroulement de préchauffage à régulation électronique :

Le processus de préchauffage a lieu en trois phases

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



Déroulement du préchauffage

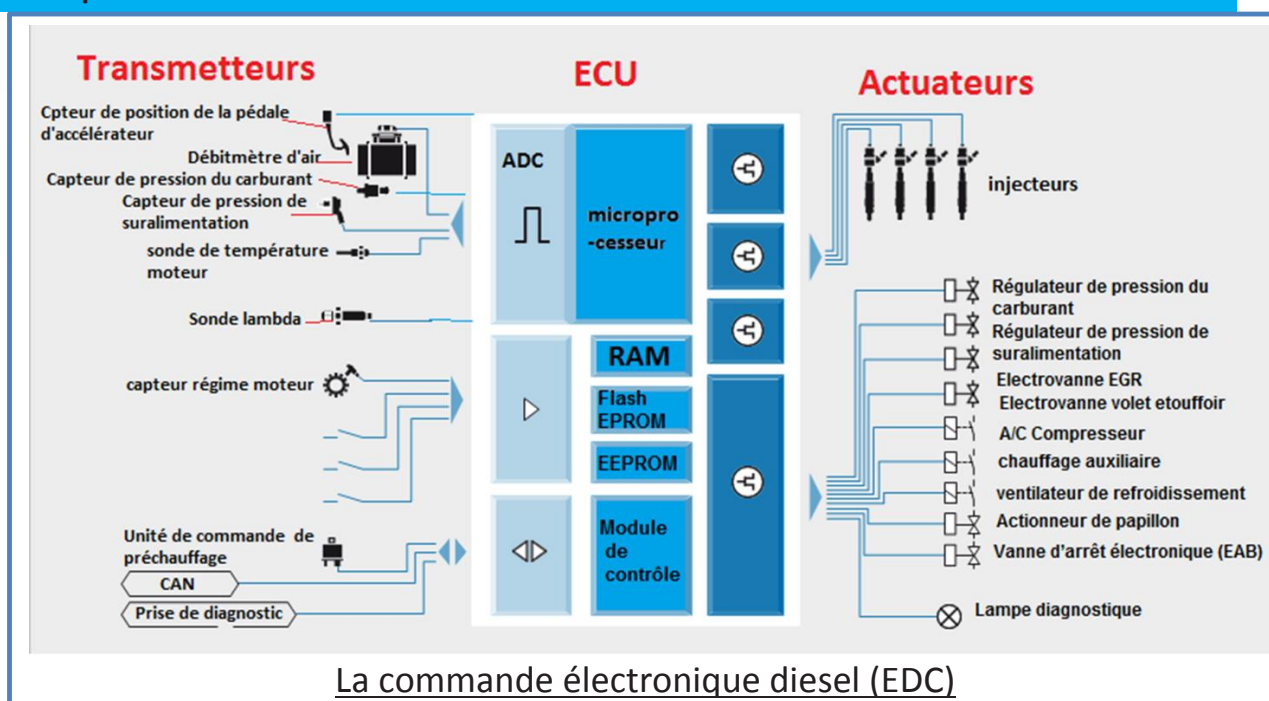
Contrôle électronique du diesel

Présentation du système

La commande électronique d'un moteur diesel permet une modulation précise et différenciée des paramètres d'injection de carburant. C'est le seul moyen par lequel un moteur diesel moderne est en mesure de satisfaire les nombreuses exigences qui lui sont imposées. La commande électronique diesel (EDC) est divisée en trois blocs de système :

- Les organes de mesure (transmetteurs)
- L'organe de régulation (unité de contrôle moteur)
- Les organes de contrôles (actuateurs)

Principe de fonctionnement :

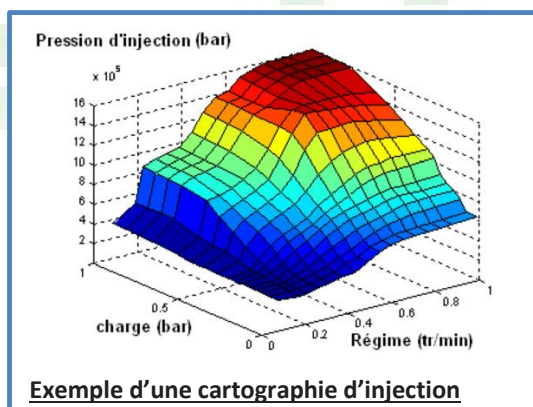


Contrairement aux véhicules diesel équipés de pompes à injection classiques en ligne ou de distributeurs, le conducteur d'un véhicule contrôlé par EDC n'a aucune influence directe, par exemple par la pédale d'accélérateur et le câble Bowden (régulation de débit mécanique), sur la quantité de carburant injecté, aussi la régulation de l'avance à l'injection et contrôlé hydrauliquement ou mécaniquement. Au lieu de cela, la quantité de carburant injecté et le moment d'injection sont déterminés suite à une gestion électronique :

1. Les capteurs détectent les conditions réelles de fonctionnement (charge du moteur, régime du moteur, température du moteur, température du carburant,.....) . Ils convertissent les variables physiques en signaux électriques et les envoient à l'étage

d'entrée du calculateur qui les transforme en signaux numérique, **ce sont les valeurs réelles détectés par les organes de mesure (les capteurs).**

2. L'ECU traite les informations provenant des capteurs (valeurs réelles) et les compare avec les valeurs de consignes qui sont enregistré se forme d'une cartographie d'injection dans le flash (EPROM) et en suivant un processus de calcul mathématique (algorithmes de contrôle en boucle ouverte et en boucle fermée), et détermine le moment d'injection et la quantité du carburant à injecter précisément, en suite Il contrôle les



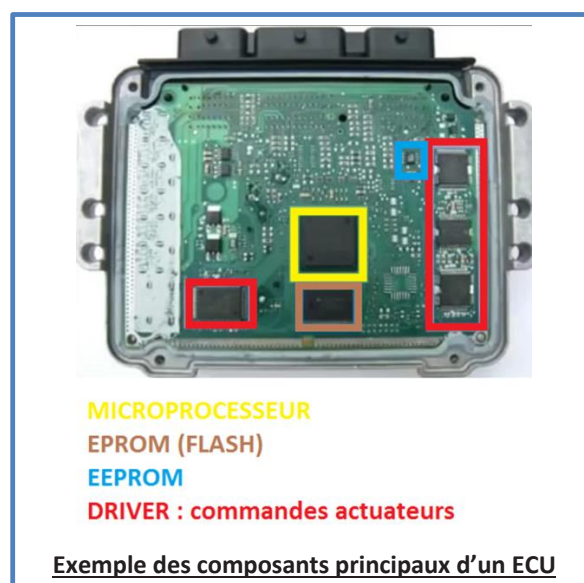
actionneurs (électrovanne d'avance, actuateur de débit, injecteurs.....) par des moyens de signaux de sortie électrique(TOR, RCO, Analogique) dans l'étage de puissance (transistors MOSFET/DRIVER). En outre, l'ECU agit comme une interface à d'autres systèmes (ABS, ASR, Climatisation, limiteur de vitesse, Anti-démarrage,.....) et au système de diagnostic du véhicule, ce qui permet la détection des éventuels dysfonctionnements et les mémorise sous forme des codes des défauts dans la mémoire EEPROM en facilitant le diagnostic du système et la recherche des pannes.

En plus de ça le calculateur assure le traitement des gaz d'échappement et le contrôle de la suralimentation.

3. Les actionneurs convertissent les signaux de sortie électrique du calculateur en variables mécaniques (p. ex : ouverture et fermeture des injecteurs, taux d'ouverture et de fermeture d'EGR, taux d'ouverture et de fermeture de régulateur de pression de la suralimentation,.....).

Remarque :

La mémoire FLASH (EPROM) : Conserve les informations sous forme d'une cartographie de la puissance du moteur, d'injection et de traitement des gaz d'échappement (EGR, FAP, SCR,....), elle est volatil (les données ne disparaissent) et non programmable, Seul le fabricant a le droit d'émettre des mises à jour afin d'améliorer le fonctionnement du système, elle est accessible par la prise OBD via l'outil de diagnostic par l'utilisateur (ex : lecture des valeurs de consignes).



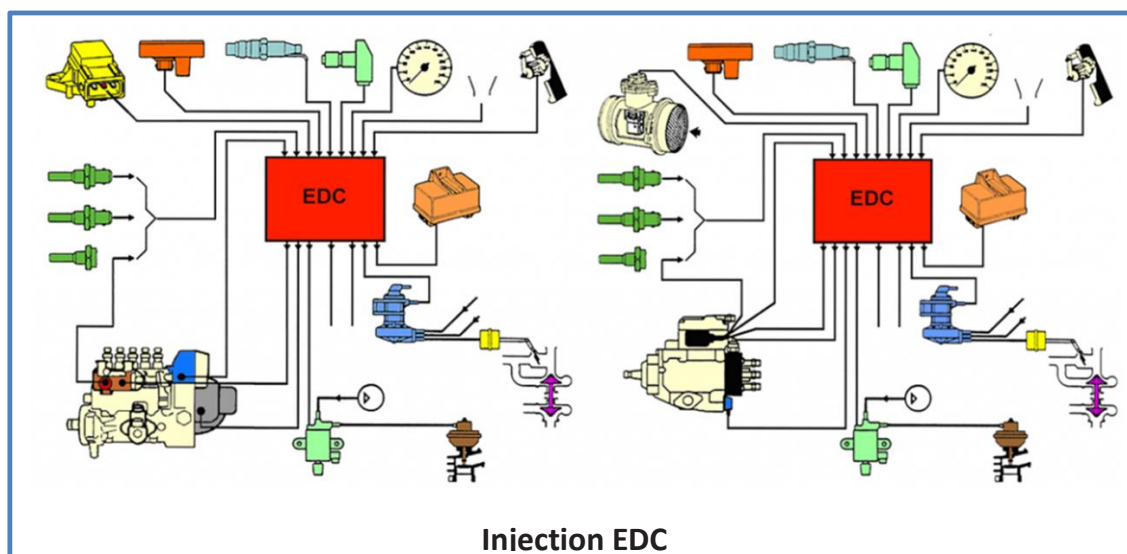
La mémoire EEPROM : Conserve les informations spécifiques pour chaque véhicule comme : les codes des défauts, les Codes des injecteurs, Code anti-démarrage, Systèmes qui équipe le véhicule (ex : avec ou sans climatisation/limiteur de vitesse/boite vitesse automatique/ESP), les positions des actuateurs (EGR, actuateur de suralimentation, moteur de papillon, volets de turbulence,...). Cette mémoire est programmable par outil de diagnostic (effacement des codes des défauts, codage des injecteurs, adaptation de position de soupape EGR/de suralimentation/les volets de turbulence,...)

Applications

Cette technologie a été appliquée pour les systèmes d'injection avec pompes rotatives, Les fabricants les ont abandonnés pour plusieurs raisons, Malgré la gestion électronique du début et le débit d'injection :

La génération de la haute pression est proportionnelle au régime moteur.

Sur ces systèmes le carburant est fourni aux injecteurs par la pompe d'injection qui assure la distribution, l'ouverture des injecteurs classiques n'est pas assez rapide et l'usure est toujours présent des éléments qui assurent la distribution et la génération de la haute pression. Tous ses facteurs influent sur la précision de régulation du débit et l'avance à l'injection.



LES PRINCIPES DE MESURE :

Dans l'injection classique le conducteur actionne la pédale d'accélérateur pour la régulation du débit d'injection, le régulateur d'avance est actionné sous l'effet de pression hydraulique en fonction du régime moteur, alors dans l'injection électronique ces paramètres de contrôles sont remplacés par des paramètres de mesure de base :

- Le capteur de position de la pédale d'accélération (mesure la charge du moteur).
- Le capteur de régime (mesure le régime du moteur).

La charge et le régime sont les valeurs d'asservissement principal nécessaire pour que l'unité de contrôle moteur puisse calculer le débit du carburant à injecter selon la demande du conducteur et le point d'injection selon le régime du moteur.

Sur les pompes d'injection classique, plusieurs dispositifs sont ajoutés (LDA, ADA, KSB) pour assurer la correction du début et le débit d'injection, alors ces paramètre dans l'injection électronique sont remplacés par les paramètres de mesure qui servent à la correction du débit et début d'injection :

- La température du moteur
- La température d'air
- La température du carburant
- La pression de suralimentation
- Le débit d'air

Alimentation avec pompe distributrices à piston axial à régulation électronique (EDC)

Dans ce type d'injection, l'électronique assure la régulation du début et débit de gasoil injecté, il assure aussi la régulation de la suralimentation et du recyclage des gaz d'échappement.

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.

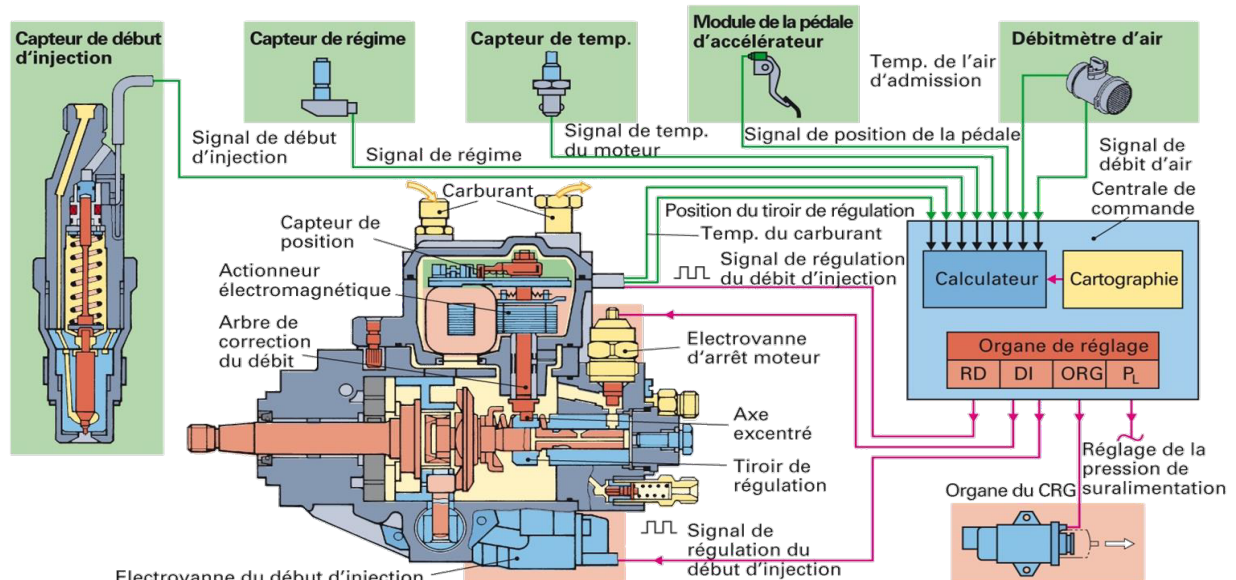


FIG.22 : Pompe d'injection distributrice à piston axial à régulation électronique EDC.

Le calculateur détermine, en fonction des paramètres d'entrée, LE DEBIT ET LE DEBUT THEORIQUE. Ce système fonctionne en boucle de régulation, c'est-à-dire que le DEBIT réel et le DEBUT réel sont mesurés en permanence. Ces mesures sont renvoyées vers la centrale de commande et comparées avec les DEBIT et DEBUT théoriques mémorisés sous forme de cartographie. Au besoin une correction est effectuée.

Régulation de débit d'injection :

Capteur de débit d'injection (FIG.23)

Un des injecteurs (souvent celui du 1er cylindre mais pas toujours) comporte **un capteur inductif de débit d'injection**.

Chaque levée de l'aiguille de l'injecteur produit une variation de flux magnétique dans la bobine. Cette variation de flux magnétique induit une tension dans la bobine. Ce signal est alors envoyé vers la centrale de commande. En fonction de ce signal ET de celui du capteur de régime, le calculateur peut déterminer le débit d'injection réel ET l'avance à l'injection réelle par rapport au PMH.

L'électrovanne d'avance à l'injection :

Une électrovanne à RCO (rapport cyclique d'ouverture) variable est montée en parallèle avec le vérin d'avance. Le gazoil qui exerce une force sur le côté droit du piston peut aussi retourner vers le réservoir si l'électrovanne est ouverte.

La pression interne de la pompe d'injection et donc aussi l'avance à l'injection, ne dépendront plus uniquement du régime moteur.

En fonction des valeurs de consigne et des valeurs réelles mesurées, le calculateur déterminera le RCO qui permettra d'avoir l'avance réelle égale à l'avance de consigne prélevée sur la cartographie du moteur.

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.



FIG.23 : Injecteur avec capteur de mouvement

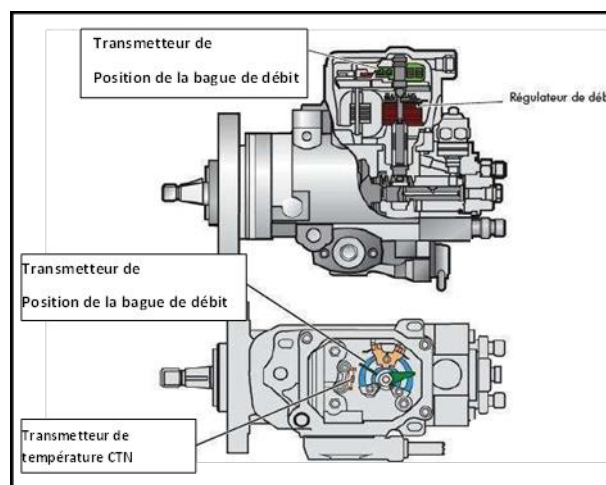


FIG.24

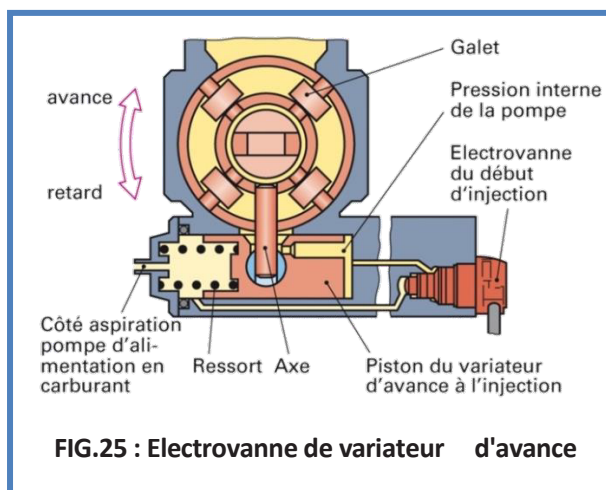


FIG.25 : Electrovanne de variateur d'avance

5. Le Circuit d'alimentation avec Pompe d'injection distributrice à pistons radiaux (VP44) :

Un système d'injection diesel, équipé d'une pompe distributrice à pistons radiaux VP 44, dispose de deux calculateurs pour la régulation électronique diesel : un calculateur moteur et un calculateur pompe. Cette organisation s'impose afin d'éviter, d'une part, la surchauffe de certains composants électroniques et d'autre part, l'influence de signaux parasites qui peuvent être générés au niveau de la pompe d'injection à cause des courants de forte intensité (de l'ordre de 20 A maximum). Le calculateur pompe enregistre les signaux émis par les capteurs d'angle de rotation et de température du carburant. Il les exploite pour l'adaptation optimale du point d'injection. Le calculateur moteur traite toutes les autres données spécifiques du moteur et de son environnement, et détectées par des capteurs externes. Il calcule, à partir de ces informations, les réglages à réaliser au niveau du moteur.

La « mise en réseau » de différents sous-ensembles du système permet :

- d'exploiter plusieurs fois les signaux,
- d'adapter les réglages avec précision,
- d'économiser du carburant,
- de ménager tous les composants fonctionnels.

L'échange des données entre le calculateur moteur et le calculateur pompe s'effectue par le bus de multiplexage CAN.

CONCEPTION ET FONCTIONNEMENT

Les sous-ensembles de la pompe d'injection distributrice à pistons radiaux VP 44 sont intégrés ou accolés au corps de pompe :

Pompe d'alimentation à palettes avec régulateur de pression et soupape de décharge à calibrage ;

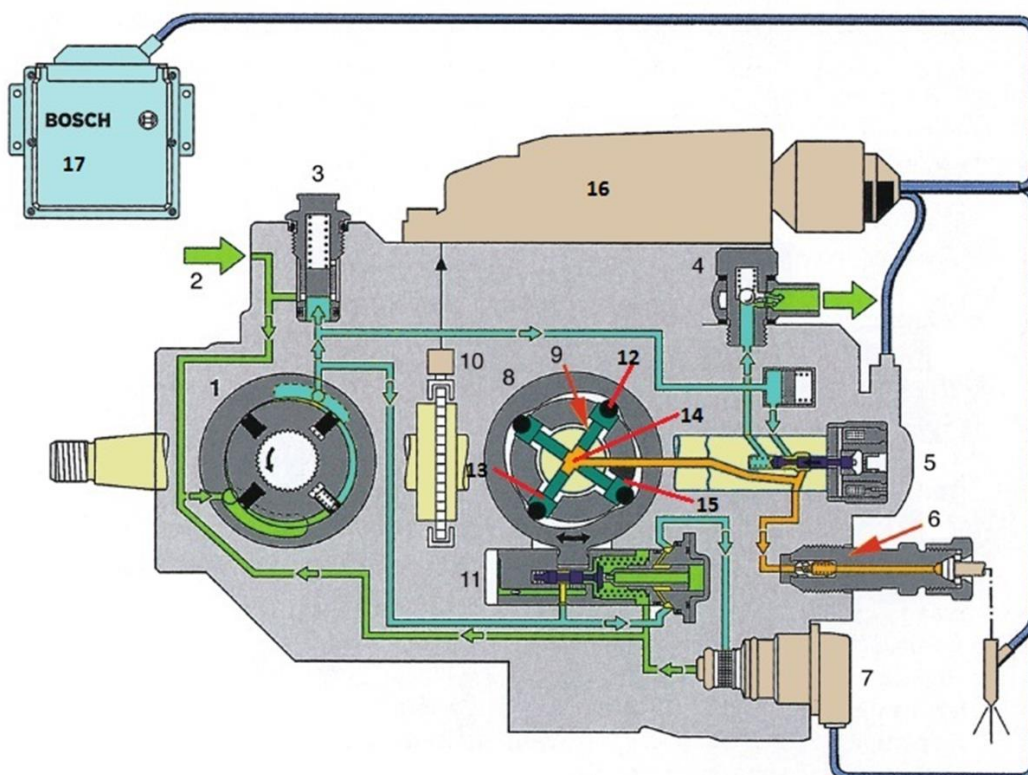
Pompe haute pression à pistons radiaux avec arbre distributeur et soupape de dosage ;

Électrovanne haute pression ;

Variateur d'avance et électrovanne, capteur d'angle de rotation ;

Calculateur pompe.

Voici une pompe VP44 (FIG.26) dont la position de certains composants a été changée afin de simplifier la représentation



1-pompe d'alimentation à palettes (tournée de 90°); 2- Régulateur de pression ; 3-Arrivé du carburant ; 4-soupape de décharge ; 5-Electrovanne haute pression ;6-Clapet de refoulement ; 7-Electrovanne d'avance à l'injection ; 8-pompe haute pression 9-Piston radial ; 10- capteur d'angle de rotation ; 11-Variateur d'avance ; 12-Galet ; 13- Patin-support ; 14-Chambre de compression ; 15- rainures de guidage aux patins-supports ; 16-Calculateur pompe ; 17-Calculateur moteur

FIG.26 : Pompe d'injection distributrice à pistons radiaux

CIRCUIT BASSE PRESSION (composants de la pompe d'injection) :

Le circuit basse pression met une quantité de carburant suffisante à la disposition du circuit haute pression. Ses principaux composants sont : la pompe d'alimentation à palettes, le régulateur de pression et la soupape de décharge (orifice calibré), le remplissage et la régulation de pression sont identiques de pompe distributrice à piston axial sauf que 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.

Phase de remplissage: (FIG.27)

En raison de la pression créée dans la pompe d'injection par la pompe à palette, et lorsque l'électrovanne est ouverte (non alimentée), le carburant est fourni à la chambre de compression.

Le carburant pénètre dans la pompe par le canal d'alimentation et s'écoule jusqu'à la chambre de compression. La pression de d'alimentation provoque, que les pistons sont pressés contre la bague à cames

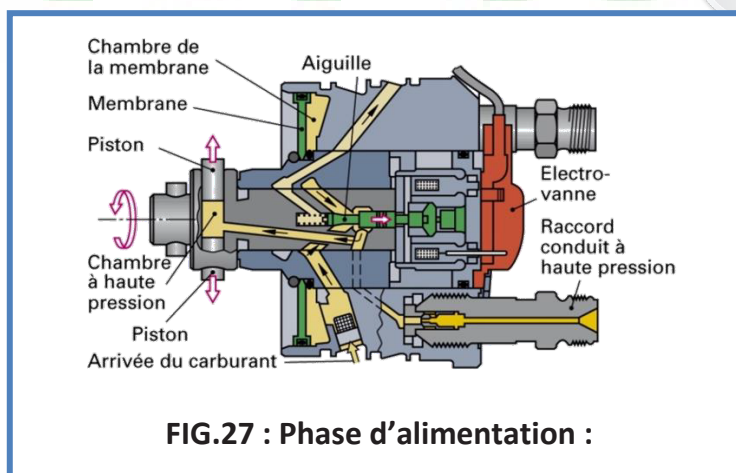


FIG.27 : Phase d'alimentation :

Phase d'alimentation / début de l'injection (Fig.28) :

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.

Dosage du carburant par l'électrovanne haute pression

L'aiguille 4 de l'électrovanne haute pression se ferme sous l'effet d'une impulsion de pilotage venant du calculateur pompe. Le point de fermeture de l'électrovanne détermine le début de refoulement de la pompe d'injection (électrovanne alimenté). La détection électronique du point de fermeture permet au calculateur pompe de disposer d'une information exacte sur le début de refoulement.

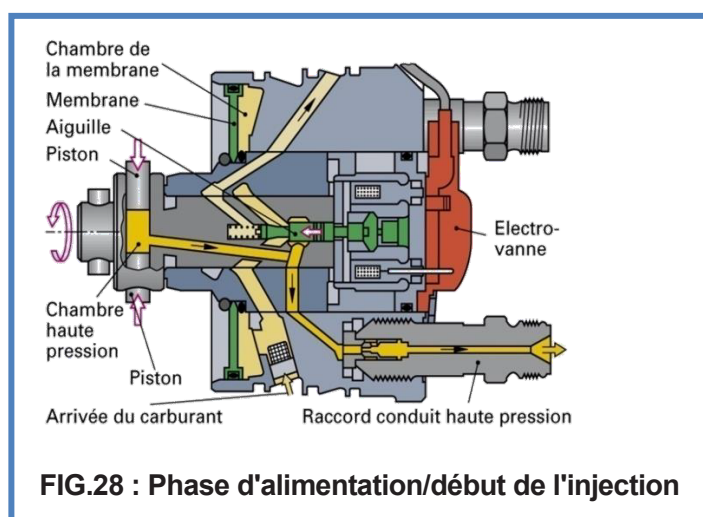


FIG.28 : Phase d'alimentation/début de l'injection

Le dosage du carburant a lieu entre le début de refoulement et la fin d'activation de l'électrovanne haute pression. Cette phase est appelée « durée de refoulement ». La durée de fermeture de l'électrovanne détermine donc le débit d'injection. L'ouverture de l'électrovanne matérialise la fin du refoulement haute pression. L'excédent de carburant, qui continue d'être refoulé jusqu'au point mort haut de la came, est envoyé dans l'accumulateur à membrane.

Les hautes pointes de pression, qui apparaissent alors côté basse pression, y sont amorties par la membrane de l'accumulateur. La quantité de carburant, qui est emmagasinée dans l'accumulateur, permet également d'assister la phase de remplissage avant la prochaine injection.

Variateur d'avance à l'injection FIG.29

Le rôle du système d'avance à l'injection, qui est constitué d'un capteur d'angle de rotation, d'un variateur d'avance et d'une électrovanne, est d'avancer le début de refoulement de la pompe d'injection par rapport à la position du vilebrequin lorsque le régime moteur augmente. Ce système assure l'adaptation optimale du point d'injection à l'état de fonctionnement du moteur par compensation du décalage de temps dû aux délais d'injection et d'inflammation.

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.

Circuit d'alimentation avec éléments injecteur-pompe

Définition

Comme son nom l'indique, la pompe-injecteur est une sorte hybride entre une pompe d'injection avec une unité de commande et un injecteur dans une seule unité.

Il y a un injecteur pompe pour chaque cylindre du moteur. Par conséquent, il n'y a pas de conduites de carburant haute pression disponibles sur un moteur avec une pompe à carburant haute pression.

Circuit d'alimentation du moteur diesel avec injecteurs pompes

Le circuit d'alimentation du moteur diesel avec injecteurs pompes se compose de trois sous-systèmes : alimentation en carburant basse pression, alimentation en carburant haute pression et circuit de retour.

Alimentation en carburant basse pression est nécessaire pour fournir du carburant aux injecteurs pompe et nettoyer le carburant.

Alimentation en carburant haute pression sert à créer une injection de carburant à haute pression dans la chambre de combustion.

Le circuit de retour : assure le refroidissement et le retour du surplus de carburant au réservoir.

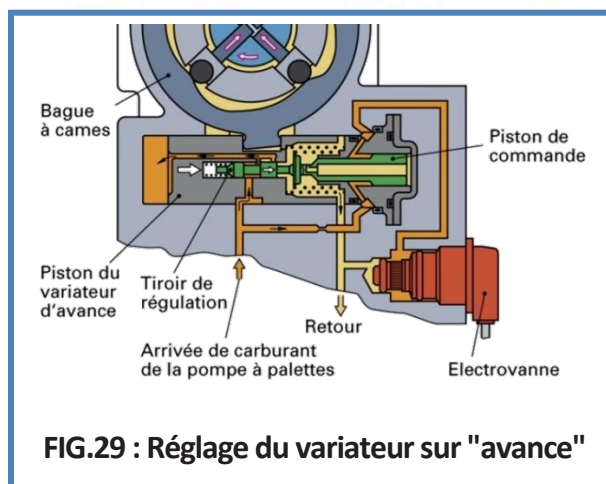


FIG.29 : Réglage du variateur sur "avance"

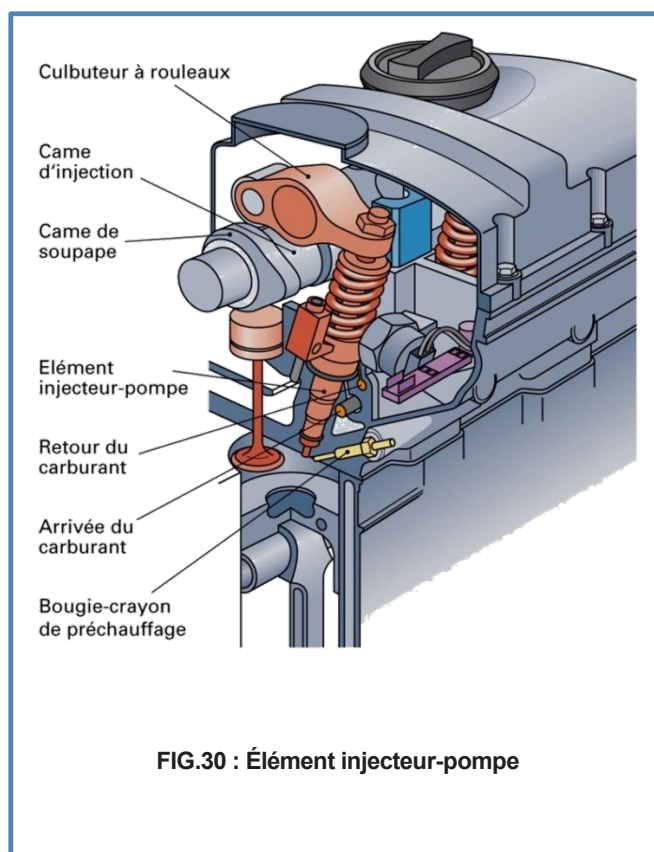
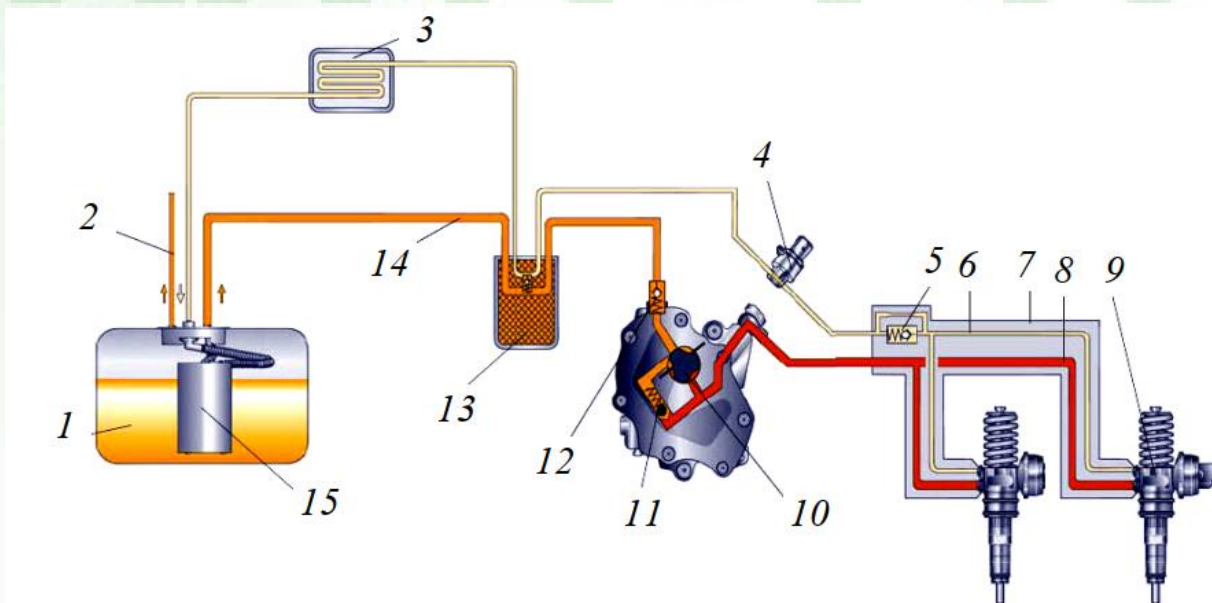


FIG.30 : Élément injecteur-pompe



1 - réservoir de carburant ; 2 - conduite de carburant vers le réchauffeur supplémentaire;
 3 – refroidisseur de carburant ; 4 - capteur de température de carburant ; 5 - clapet de régulation ; 6 – retour du carburant ; 7 - distributeur de carburant ; 8 - canalisation haute pression ; 9 - pompe-injecteur; 10 - pompe d'amorçage de carburant; 11 - soupape de réduction de pression dans la conduite d'alimentation en carburant; 12 - clapet anti-retour; 13 - filtre à carburant ; 14 - canalisation basse pression; 15 - pompe d'amorçage de carburant

FIG.31 : Système d'alimentation du moteur diesel avec injecteurs pompes

Principe de fonctionnement

Une pompe électrique d'amorçage de carburant 15 située dans le réservoir pompe le carburant vers le filtre.

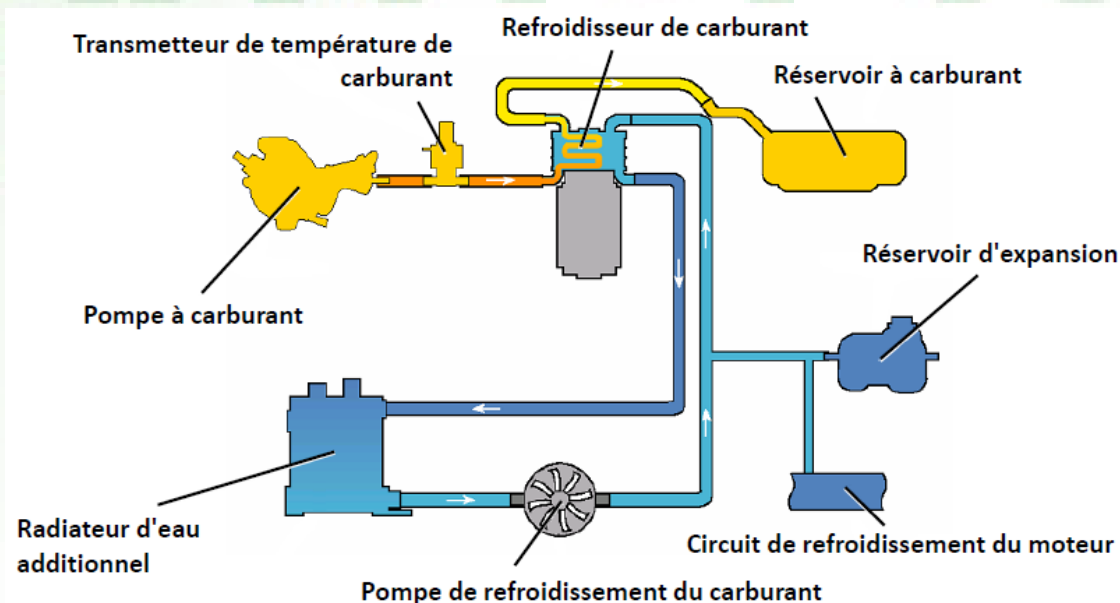
Le clapet anti-retour 12 empêche le carburant de s'écouler du distributeur 7 et de la canalisation basse pression 14 dans le réservoir après l'arrêt du moteur.

La pompe d'alimentation en carburant 10 sert à prélever du carburant du filtre et à l'amener sous haute pression aux injecteurs-pompes.

Le détendeur 11 maintient la pression du carburant fourni aux injecteurs-pompes à moins de 8,5 kgf/cm².

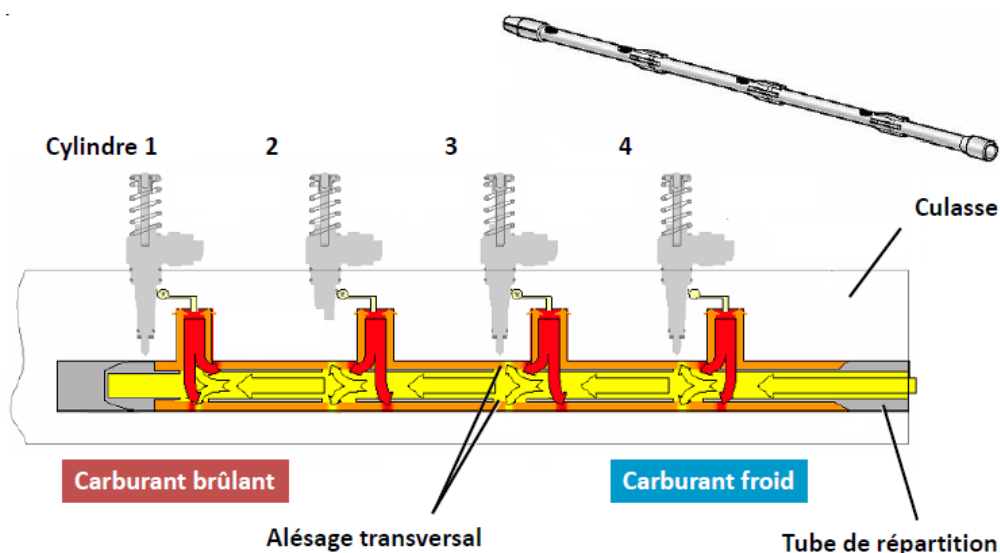
Le clapet de restriction 5 maintient la pression de carburant dans le tuyau de retour au niveau de 1 kgf/cm² ; grâce à cela, les pulsations de pression dans le système sont réduites.

Le carburant revenant des injecteurs traverse le refroidisseur 3 en dégageant de la chaleur dans le circuit de refroidissement. Le capteur de température de carburant 4 génère un signal vers l'unité de commande du moteur.



Refroidissement du carburant

Le distributeur 7, Sa fonction est d'assurer une distribution égale de carburant aux unités injecteur-pompe. Le carburant est mélangé avec du carburant chauffé, qui est expulsé des injecteurs unitaires dans la conduite d'alimentation. Cela permet d'obtenir la même température, et donc la même quantité de carburant fournie à tous les injecteurs-pompes, ce qui garantit un fonctionnement uniforme du moteur.

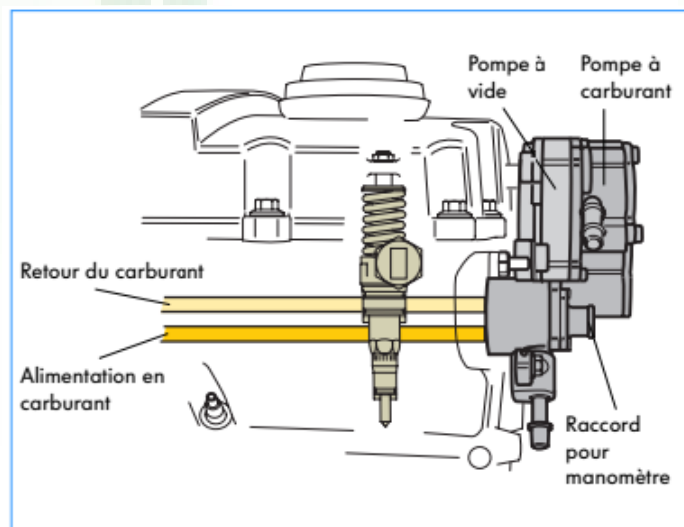


Mélange de carburant dans le tube répartition

La pompe à carburant :

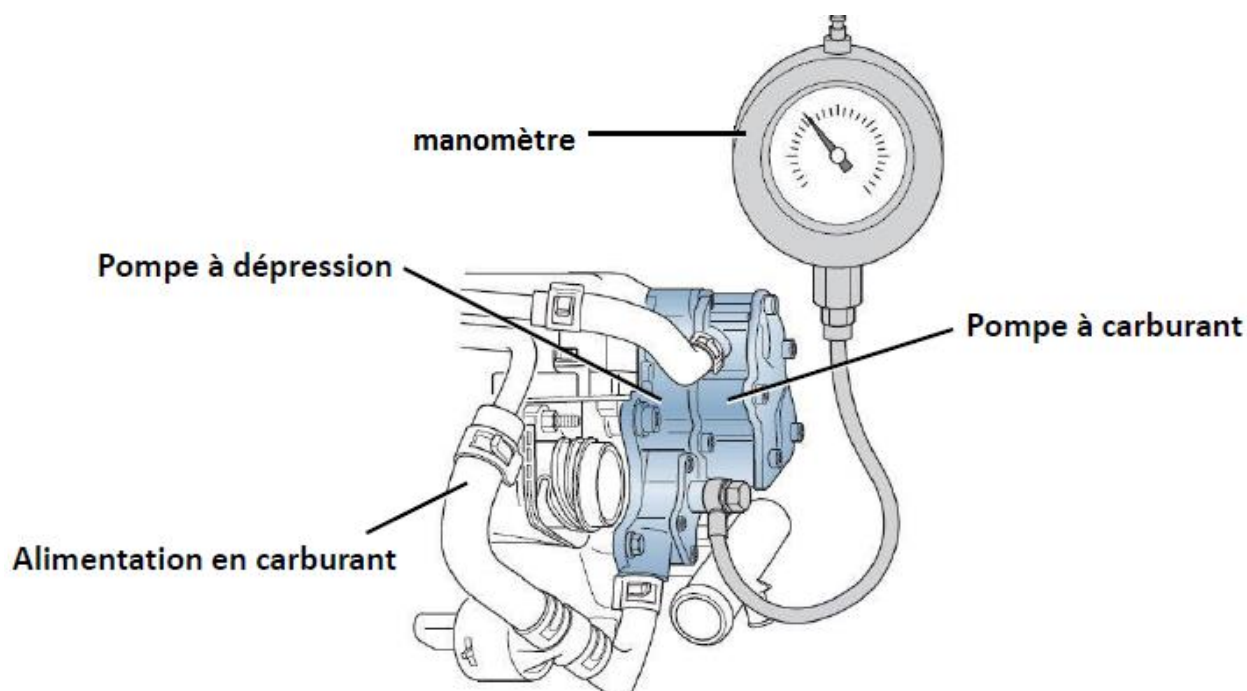
La pompe à carburant est située directement derrière la pompe à vide, sur la culasse. Elle a pour fonction de refouler le carburant du réservoir aux unités des injecteurs-pompe.

Les deux pompes sont entraînées conjointement par l'arbre à came, c'est pourquoi on parle du pompe tandem.



Pompe alimentation tandem injecteur pompe

Sur la pompe à carburant se trouve un raccord destiné au manomètre, qui permet de contrôler la pression du carburant dans le circuit d'alimentation.

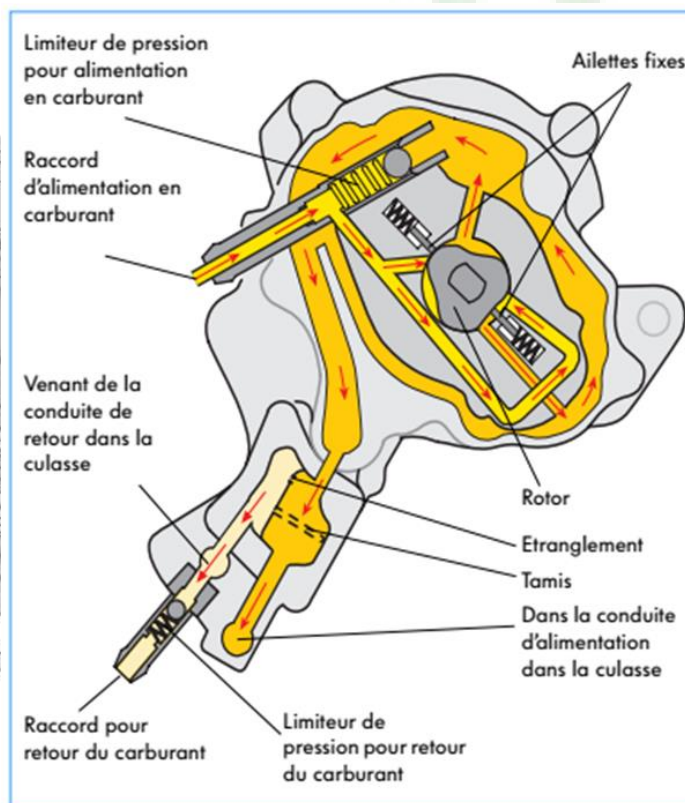
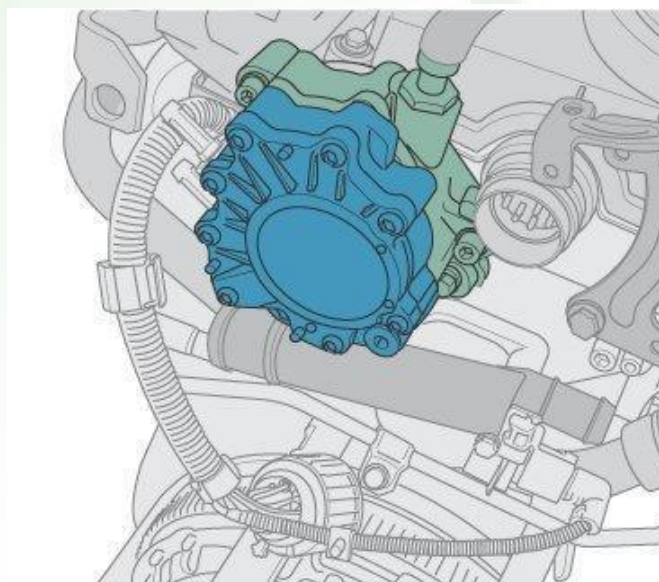


Contrôle de la pression du carburant dans le circuit d'alimentation avec pompe tandem

Le fonctionnement de la pompe

La pompe à carburant fonctionne selon le principe de l'aspiration par augmentation du volume et refoulement par réduction du volume. Le carburant est aspiré et refoulé dans

deux chambres respectives. Les chambres d'aspiration et de refoulement sont séparées par les ailettes fixes.



Description d'une pompe à carburant tandem

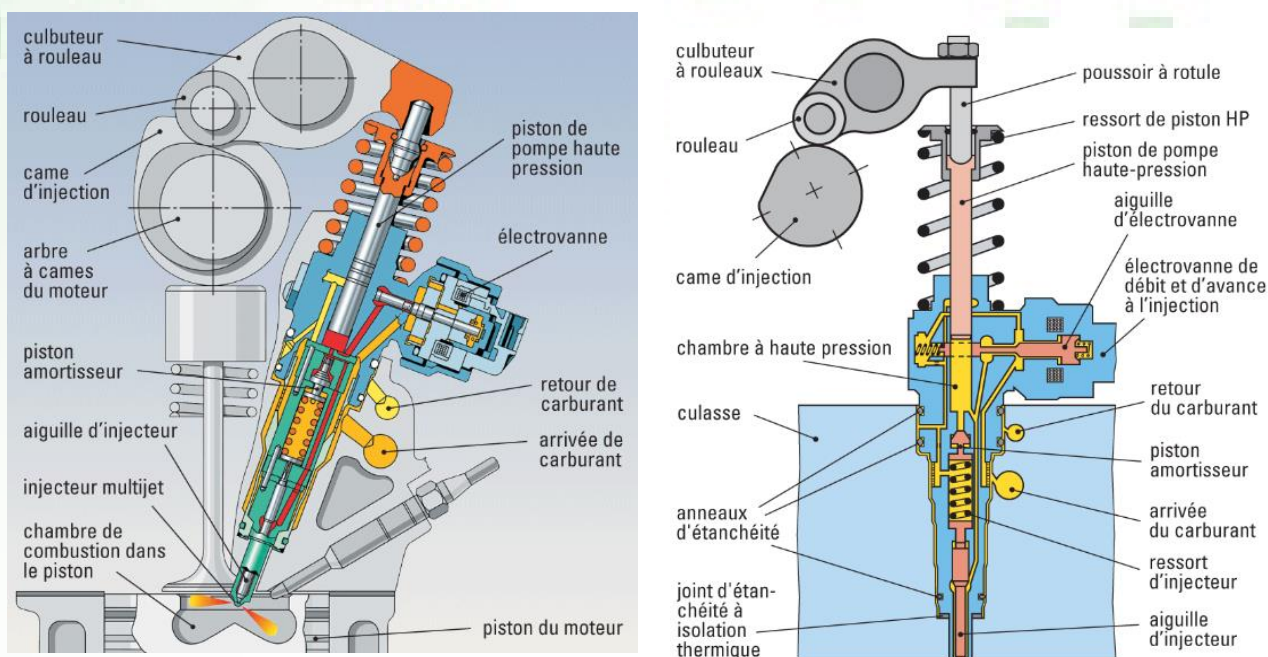
Injecteur pompe mécanique

Le principe de fonctionnement d'un injecteur-pompe mécanique est simple. La came d'arbre à cames pousse le piston de l'injecteur-pompe à travers le levier à bascule, grâce à quoi la pression dans celui-ci augmente brusquement et, lorsqu'elle atteint une certaine valeur, soulève l'aiguille de pulvérisation. Après cela, le carburant pénètre dans la chambre de combustion.

Injecteurs pompe électroniques

Les injecteurs-pompes à commande électronique fonctionnent un peu différemment des injecteurs mécaniques. La pression est créée de la même manière que dans un injecteur-pompe mécanique à l'aide d'un piston, mais l'unité de commande électronique du moteur "gère" le début et la durée de l'injection. Dans ce cas, le nombre de portions de carburant injectées dans le cylindre peut atteindre jusqu'à dix par cycle, réparties sur trois phases principales : Pré-injection ; Injection principale ; Post injection.

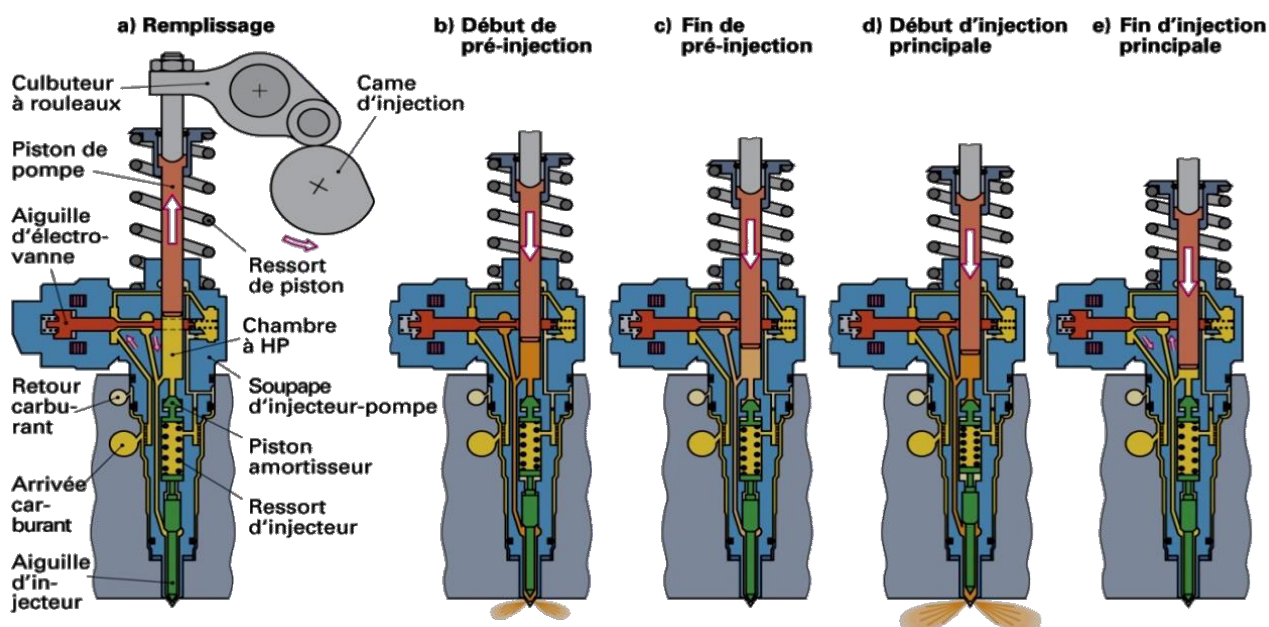
Injecteur pompe à commande électromagnétique



Présentation d'injecteur pompe à commande électromagnétique

Séquence de fonctionnement pompe-injecteur :

Le processus de fonctionnement des systèmes d'injection basés sur des injecteurs-pompes à un seul piston peut être divisé en quatre phases principales



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 bars, 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 bars, 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.

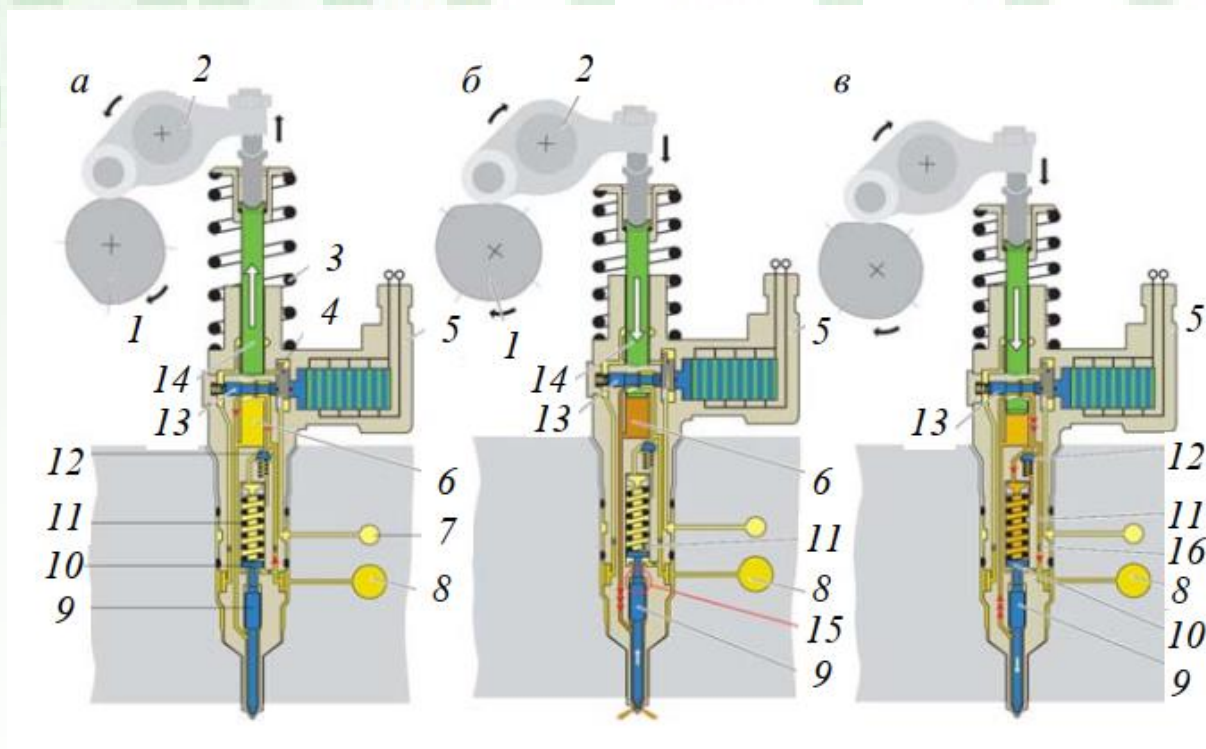
Le ressort pousse l'aiguille d'électrovanne, qui ouvre un passage entre la chambre HP et les circuits d'alimentation et de retour. La pression chute, l'injecteur se ferme et le ressort d'injecteur repousse le piston amortisseur en position repos. L'injection principale est terminée.

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.

Un injecteur pompe à commande piézoélectrique (injecteur piézoélectrique) (FIG.33)

Est le dispositif le plus avancé qui assure l'injection de carburant. Son principal avantage est la vitesse, **l'injecteur piézo se déclenche environ quatre fois plus vite que la buse contrôlée par une électrovanne.** Cela permet de délivrer plus de carburant au cylindre pendant le temps d'injection, un dosage plus précis de la portion de carburant, et aussi d'utiliser les avantages des injections multiples. Les injecteurs piézo sont contrôlés par un élément piézoélectrique (cristal piézoélectrique), qui est capable de se déformer, c'est-à-dire de changer de dimensions linéaires sous l'influence d'impulsions électriques.



1 - came d'entraînement de l'injecteur-pompe; 2 - bascule à rouleaux; 3 – ressort de piston ; 4 - multiplicateur à levier; 5 - vanne piézoélectrique ; 6 - cavité haute pression; 7 - conduite de vidange de carburant; 8 - conduite d'alimentation en carburant ; 9 - aiguille de pulvérisation; 10 - piston d'arrêt; 11 - ressort de buse; 12 - clapet anti-retour; 13 - aiguille de soupape; 14 - piston; 15 - volume d'amortissement au-dessus de l'aiguille; 16 – papillon dans le canal d'alimentation en carburant;

a - phase remplissage ; b - le début de l'injection ; c – fin de l'injection

FIG .33 : Schéma et principe de fonctionnement de l'injecteur-pompe piézoélectrique

Principe de fonctionnement de l'injecteur-pompe piézoélectrique

La course de l'actionneur piézo est d'environ 0,04 mm. Cependant, la course totale du pointeau de soupape 13 doit être de l'ordre de 0,1 mm. Pour résoudre ce problème, un levier multiplicateur 4 avec le rapport d'engrenage approprié est installé entre l'actionneur piézo et le pointeau de soupape.

En l'absence de tension de commande, l'actionneur piézoélectrique est dans sa position initiale. Dans ce cas, le clapet est ouvert, puisque son aiguille est soulevée du siège sous l'action d'un ressort de rappel (**FIG.35**). Lorsqu'une

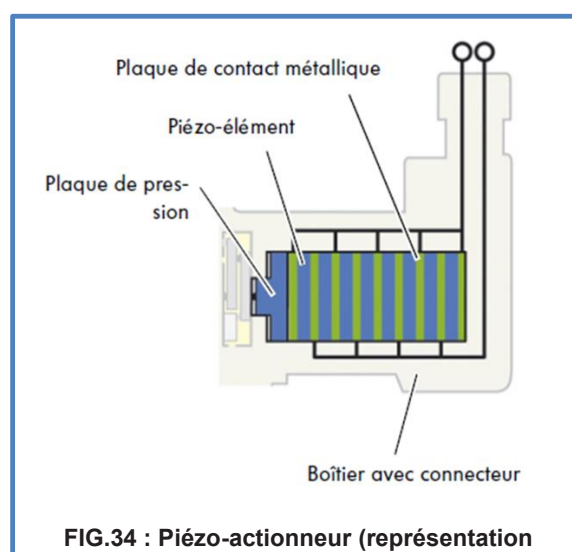
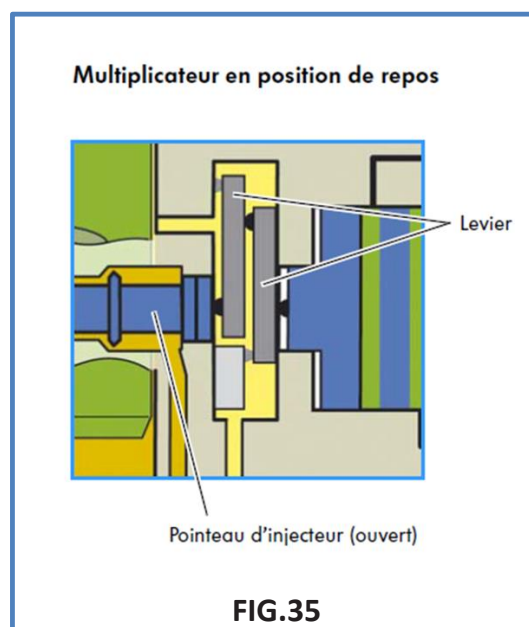
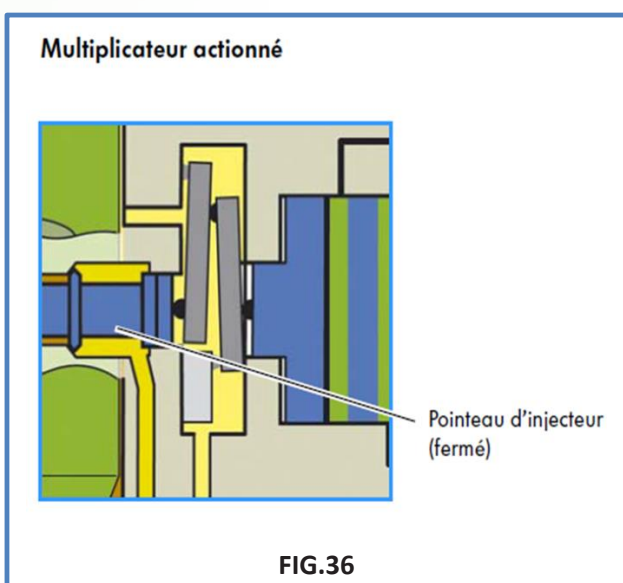


FIG.34 : Piézo-actionneur (représentation)

tension est appliquée, la plaque de pression active un multiplicateur qui déplace le pointeau de la soupape de 0,1 mm. Dans ce cas, la vanne se ferme et la pression commence à monter dans la cavité sous le piston (**FIG.36**).

Le processus de remplissage de la cavité sous le piston (Fig. 33, a). Le piston remonte sous l'action de son ressort suite à la rotation de la came et du galet basculeur de l'injecteur-pompe. La came est dotée d'une forme asymétrique, ce qui permet au piston de se déplacer vers le haut à une vitesse réduite. Dans ce cas, la cavité sous le plongeur est remplie de carburant venant par la vanne piézoélectrique ouverte depuis la ligne de son alimentation 8 vers l'injecteur-pompe.

En raison de la vitesse de commutation du nouvel injecteur piézo-électrique, pratiquement quatre fois plus rapide que l'ancien injecteur électromagnétique, il est possible de fermer et de rouvrir l'injecteur de commande pour chaque phase d'injection. Cela permet un pilotage à la fois plus souple et plus précis des phases d'injection et des quantités de carburant injectées.



Les Avantages des injecteur-pompe:

Le système pompe-injecteur présente un certain nombre d'avantages :

- Injection du carburant sous très haute pression (environ 2500 bars), qui peut diminuer le bruit de fonctionnement
- Une pression d'injection plus élevée permet un remplissage plus efficace des cylindres en carburant pour une période d'injection très courte avec une bonne pulvérisation
- le carburant brûle plus complètement. Par conséquent, augmentation de la puissance et diminution des émissions polluantes.

Les inconvénients des injecteur-pompe:

- ils sont très sensibles à la qualité du carburant et à l'encrassement.

- Forte usure des pièces de la partie pompage, car elles sont commandés mécaniquement par l'arbre à cames et à cause de la forte pression.
- Le est coût élevé et la réparation des injecteurs-pompes est difficile ;
- la conception de la culasse et des éléments d'entraînement est coûteux pour les constructeurs

Ces inconvénients ont considérablement affecté la popularité des injecteurs-pompes, et la plus part des constructeur ont les remplacés par l'injection à rampe commune.

Remarque :

Attention le remplacement d'un injecteur-pompe à injecteur électromagnétique par un injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique n'est cependant pas possible en raison des différences des raccords et commandes.

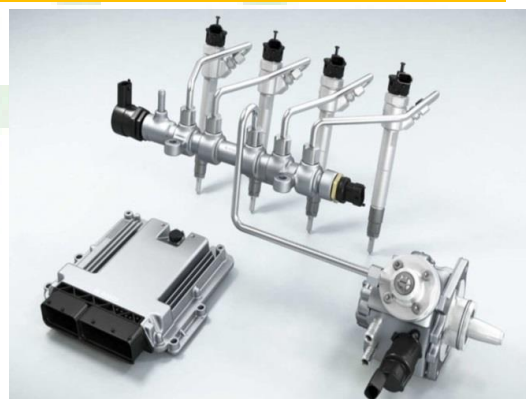
Aussi le contrôle la résistance sur un injecteur piézoélectrique est interdit, il peut engendrer sa détérioration. Pour augmenter la durée de vie des injecteurs-pompes, il est nécessaire de réduire l'intervalle de remplacement des filtres à carburant. De plus, il est nécessaire d'installer uniquement des éléments filtrants d'origine approuvés par le fabricant.

Injection diesel électronique Common Rail

Principales caractéristiques

Le système « **Common rail** » est un système d'injection Diesel dont :

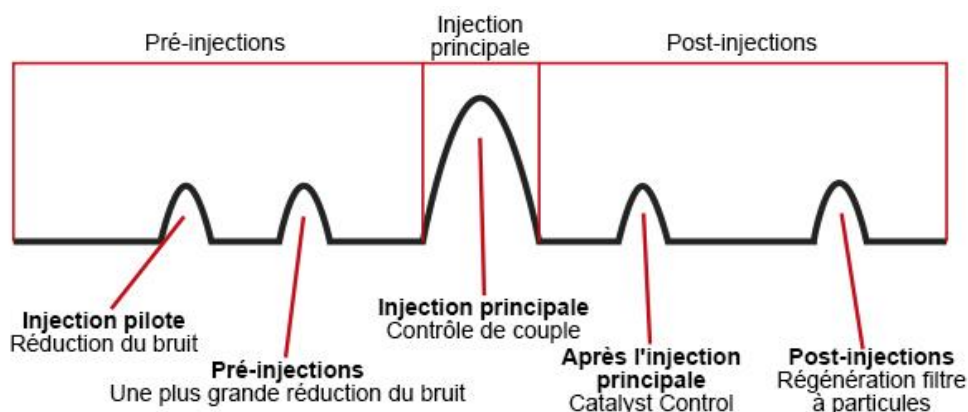
- L'alimentation en carburant des injecteurs en permanence à partir d'un accumulateur haute pression commun (rampe commune).
- la pulvérisation du carburant est extrêmement fine et sa vaporisation immédiate entraîne une très bonne qualité de mélange avec l'air grâce à la Séparation des processus de génération de pression et d'injection, la pression de carburant est gérée par le calculateur et reste indépendante de la vitesse de rotation du moteur contrairement aux systèmes à pompe rotative ou injecteur pompe.
- Lorsque le calculateur modifie le débit il agit sur la pression de rampe et sur le temps d'ouverture des injecteurs. Ce choix fait varier le taux d'introduction.
- La précision de l'injection (début et fin) et de la quantité de carburant injecté grâce au pilotage électronique des injecteurs, le système Common Rail met en œuvre plusieurs injections de carburant au cours d'un cycle moteur. On distingue :



La pré-injection d'une petite quantité de carburant est effectuée avant l'injection principale pour augmenter la température et la pression dans la chambre de combustion, accélérant ainsi l'auto-allumage de la charge principale, réduisant le bruit et la toxicité des gaz d'échappement.

L'injection principale assure le fonctionnement du moteur.

La post-injection est réalisée pour élever la température des gaz d'échappement et brûler les particules de suie dans le filtre à particules (régénération du filtre à particule).



- Le calculateur gère plusieurs paramètres pour calculer au plus précis le temps et moment d'injection (les valeurs d'asservissement principale et de correction).

Avantages du système Common Rail :

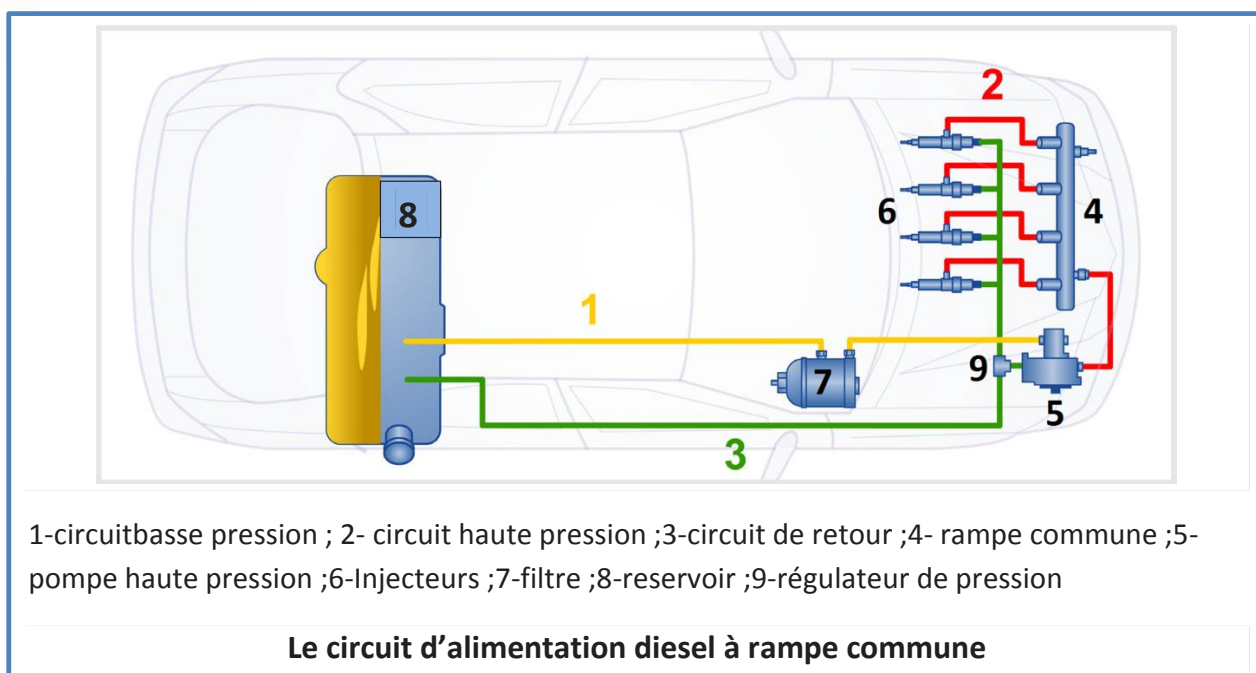
Une réduction de la consommation de carburant, de la toxicité des gaz d'échappement et du niveau de bruit du moteur diesel,

Un meilleur rendement aux différentes plages de fonctionnement du moteur.

Le circuit d'alimentation diesel à rampe commune

Le circuit d'alimentation diesel est constitué des trois circuits suivants (figure 37) :

- un circuit basse pression (1),
- un circuit haute pression (2),
- un circuit de retour (3).



Principe de fonctionnement

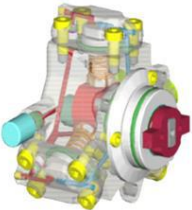
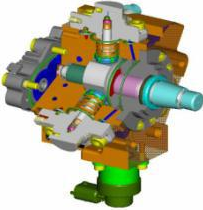
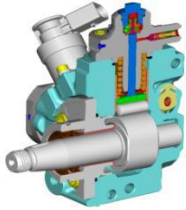
Les injecteurs sont reliés à la rampe commune et maintenus sous haute pression (200 bars au démarrage jusqu'à 2200 bars), alimentés en continu par la pompe haute pression.

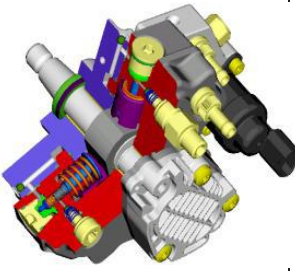
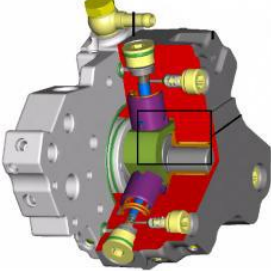
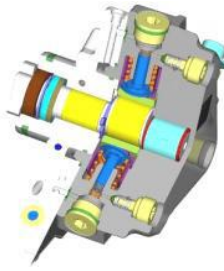
L'information du capteur d'arbre à came et de régime moteur permet au calculateur de piloter les injecteurs suivant l'ordre d'allumage.

La quantité de carburant injectée dépend du temps d'ouverture de l'injecteur et de la pression d'injection.

Evolution des systèmes communs rail :

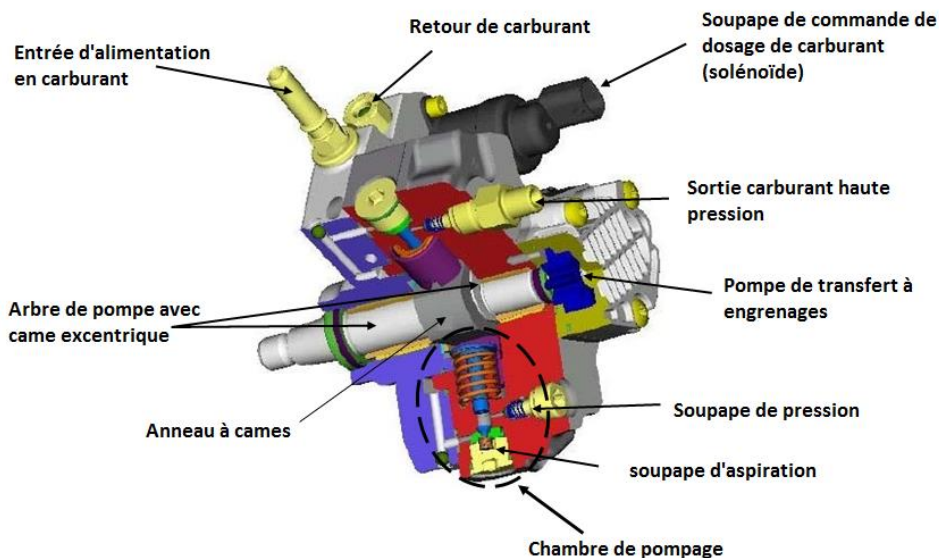
Les composants les plus importants du système d'injection de carburant commun rail sont la pompe de haute pression et l'injecteur. Divers types de pompe haute pression ont été conçus et depuis le début des années 2000 jusqu'à aujourd'hui, plusieurs ont été appliquées moteur diesel de nouvelle génération.

Type	CP1 (Euro-III)	CP1H (Euro-IV)	CP4 (Euro-V)
Forme			
Pression max.	1350 bar	1600 bar	1800 bar
Pompe de basse pression	Pompe électrique séparée	Pompe à engrenage intégrée	Pompe électrique séparée

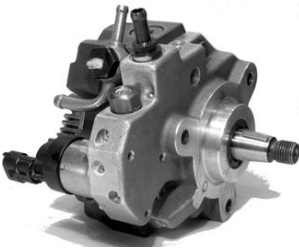

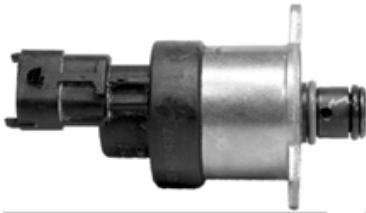
Type	CP3, 2 (Euro- II)	CP3, 2+ (Euro-IV)	CP3,3 (Euro-IV)
Forme			
Pression max.	1350 bar	1600 bar	1800 bar
Pompe de basse pression	Pompe à engrenage intégrée	Pompe électrique séparée	Pompe électrique séparée

Pompe haute pression Bosch CP3 :

Le système de pompage est identique à celle de pompe CP1, mais cette pompe comporte en plus une pompe basse pression à engrenages et une électrovanne de régulation de débit coté aspiration.



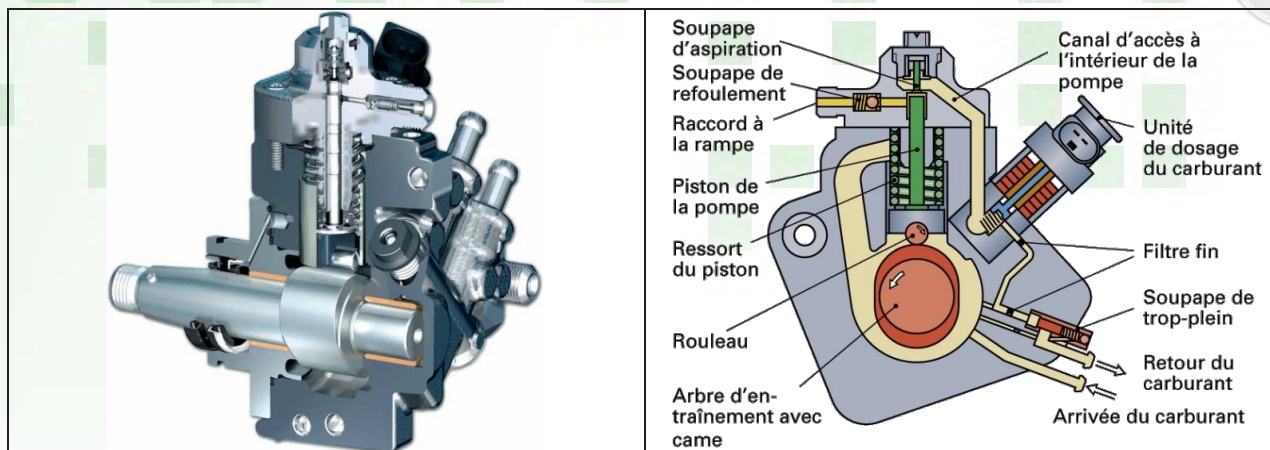
Pompe haute pression Bosch CP3

La pompe haute pression	La pompe de transfert	La vanne de dosage
		
La pompe haute pression permet de hausser la pression du carburant entre 200 et 2200 bar	La pompe de transfert fournit le carburant du réservoir de carburant aux chambres de pompage de la pompe haute pression.	La vanne de dosage de carburant régule le volume d'admission de carburant dans les chambres de pompage de la pompe haute pression.

Pompe haute pression Bosch CP4:

Les principales caractéristiques distinctives sont une réduction de la taille physique et la capacité de développer une pression de rail maximale allant jusqu'à 2000 bar. Le système a deux modifications : CP4.1 avec un piston et CP4.2 avec 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, **C'est pour cela que lorsque l'on remplace la courroie de distribution il faut synchroniser la pompe haute pression avec le vilebrequin.**



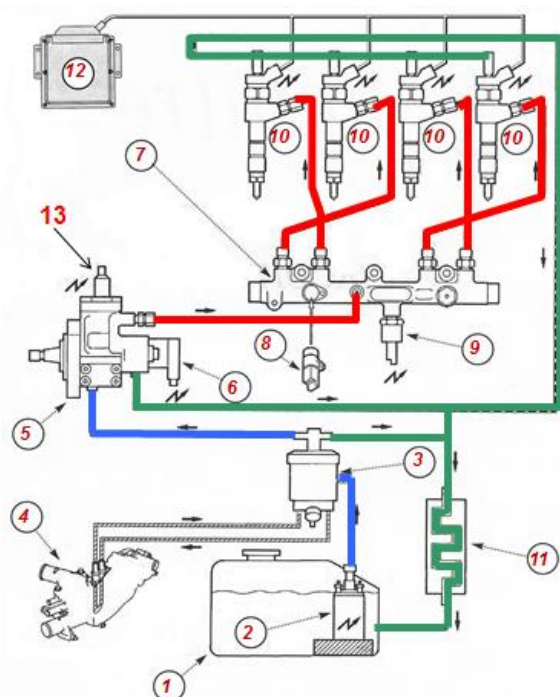
Pompe haute pression CP4.1 avec unité de dosage

L'avantage de cette conception est que la pompe d'injection n'a à générer des impulsions de pression que lorsque cela est nécessaire au fonctionnement du moteur. **Cela réduit la consommation d'énergie de la pompe haute pression et élimine le chauffage inutile du carburant.**

Unité de dosage :

Régule la quantité de carburant fournie à la pompe à carburant haute pression en fonction des besoins du moteur. La soupape est structurellement intégrée à la pompe d'injection. Le régulateur de pression de carburant est conçu pour contrôler la pression de carburant dans le système, en fonction de la charge du moteur et de la quantité du carburant à injecter. Il est installé dans la rampe de carburant.

Organisation du système :



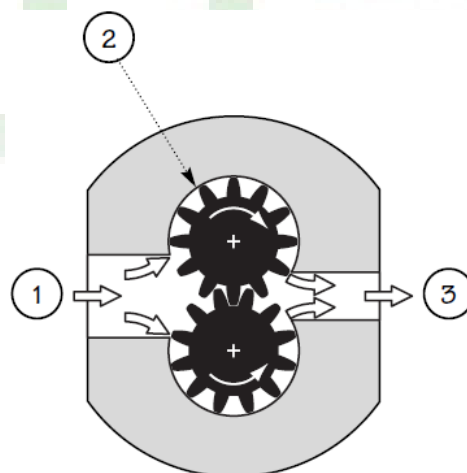
1. Réservoir
2. Pompe de gavage
3. Filtre à carburant + Décanteur d'eau
4. Réchauffeur de carburant
5. Pompe haute pression
6. Régulateur haute pression
7. Rampe commune
8. Sonde de Température du carburant
9. Capteur haute pression
10. Injecteurs
11. Réchauffeur de carburant

La pompe d'alimentation:

Elle refoule le carburant du réservoir vers la pompe haute pression, le débit et la pression de refoulement doivent être suffisante pour le bon fonctionnement du système d'alimentation.

Pompe à engrenages :

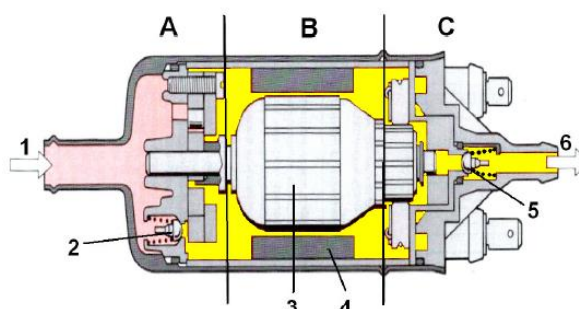
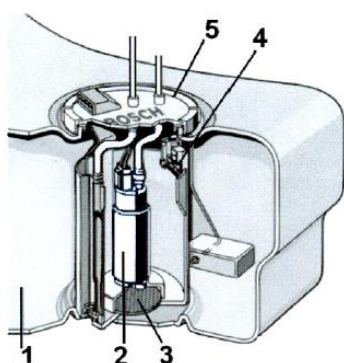
- 1 Chambre d'aspiration.
- 2 Pignon d'entraînement.
- 3 Chambre de refoulement.



Implantation :

Fixée sur le moteur ou Sur la pompe CP3

Pompe d'alimentation électrique :



Repère	Désignation
1	Réservoir
2	Pompe de gavage
3	Pré filtre
4	Capteur niveau carburant
5	Puits de jauge

Repère	Désignation
A	Élément de pompage
B	Moteur électrique
C	Couvercle de raccordement
1	Arrivée de carburant
2	Clapet de sécurité
3	Induit
4	Inducteurs (aimants)
5	Clapet anti retour
6	Sortie de carburant

Le filtre à carburant :

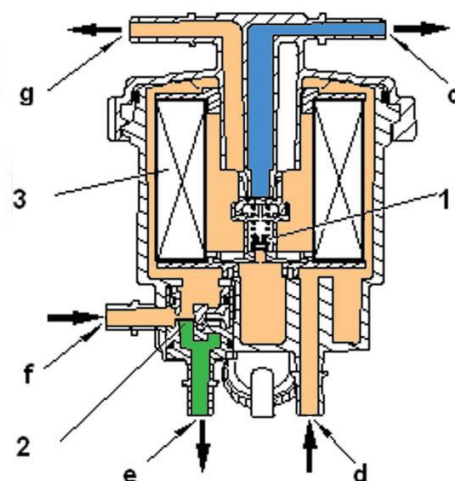
Le filtre à carburant permet de : Filtrer le carburant de toutes impuretés, Décanter l'eau du carburant, Contrôler le réchauffement du carburant et de Réguler la pression du circuit basse pression.

Description du filtre avec élément thermostatique

c -Retour réservoir à carburant ; **d** -Entrée carburant réchauffé (boîtier de sortie d'eau) ; **e** -Sortie : boîtier de sortie d'eau ; **f** -Entrée carburant ; **g** -Sortie : pompe haute pression carburant ; **1** -Régulateur de basse pression (clapet) ; **2** -Elément thermostatique ; **3** -Elément filtrant

Le régulateur de la basse pression contrôle la pression de carburant dans le circuit basse pression.

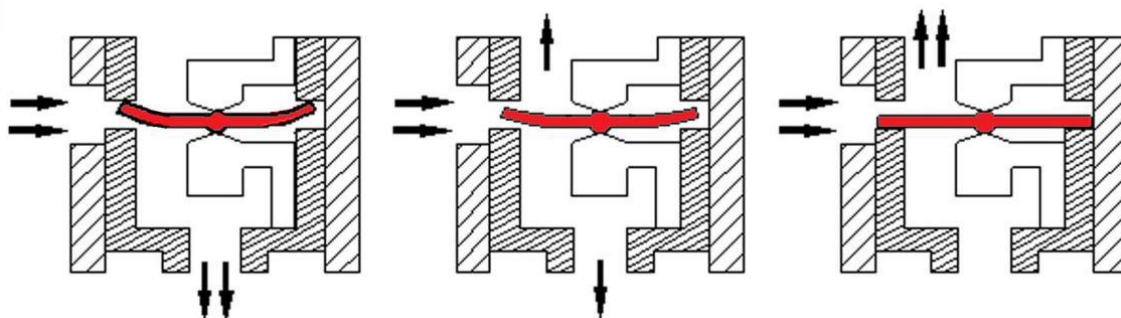
Pression dans le circuit : environ 2.5 bars.



Elément thermostatique permet :

À froid, de dévier une partie du carburant vers le réchauffeur de carburant,

À chaud, d'interdire le réchauffage du carburant.

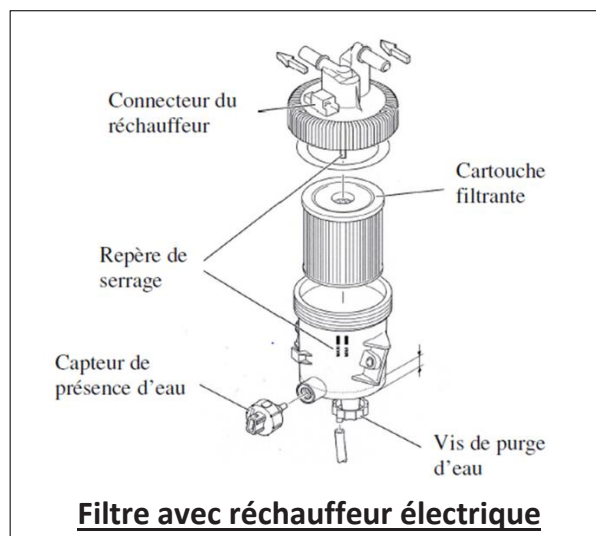


Température carburant < 15°C ; Température comprise entre 15°C et 25°C ; Température carburant > à 25°C

Description du filtre avec réchauffeur électrique

Il peut être muni d'un détecteur d'eau pour informer le conducteur via un témoin de présence d'eau, une eau dans le circuit peut endommager les équipements d'injection, pour cela il existe un vis de purge en bas du filtre.

Pour augmenter la durée de vie et protéger les équipements d'injection, il impérativement conseiller de respecter la durée d'entretien illustrée par le constructeur.





Exemples de témoin de présence d'eau dans le filtre à carburant

La pompe haute pression

Permet d'augmenter la pression du carburant, d'envoyer cette haute pression dans la rampe d'injection pour alimenter ensuite les injecteurs. La haute pression carburant varie entre 200 et 1800 bars suivant et la génération du système Common Rail.

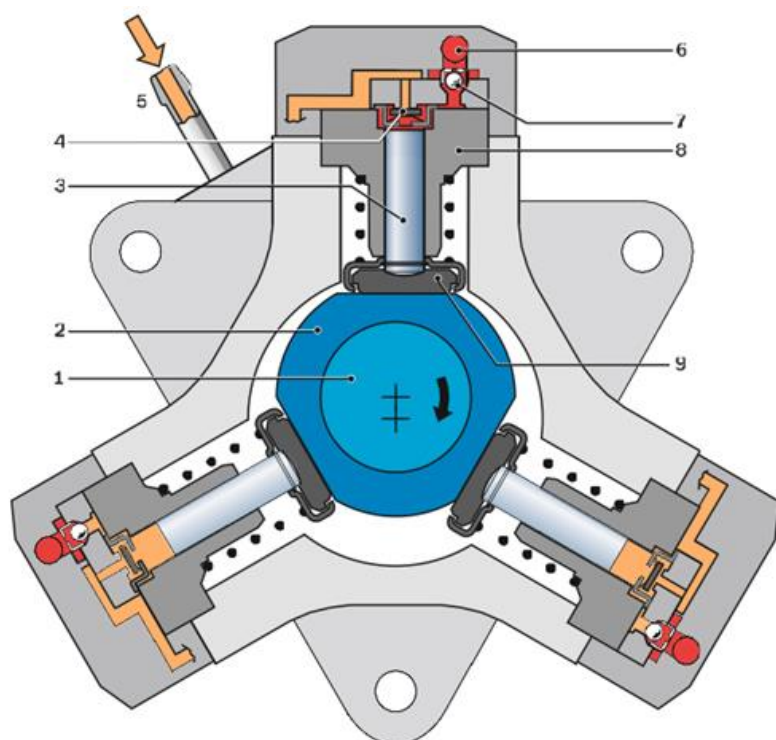
La haute pression carburant est contrôlée par le régulateur haute pression carburant en fonction du régime moteur et quantité du carburant à injecter.

Nota : La pompe haute pression CP1 n'est pas une pompe distributrice et ne nécessite pas de calage.

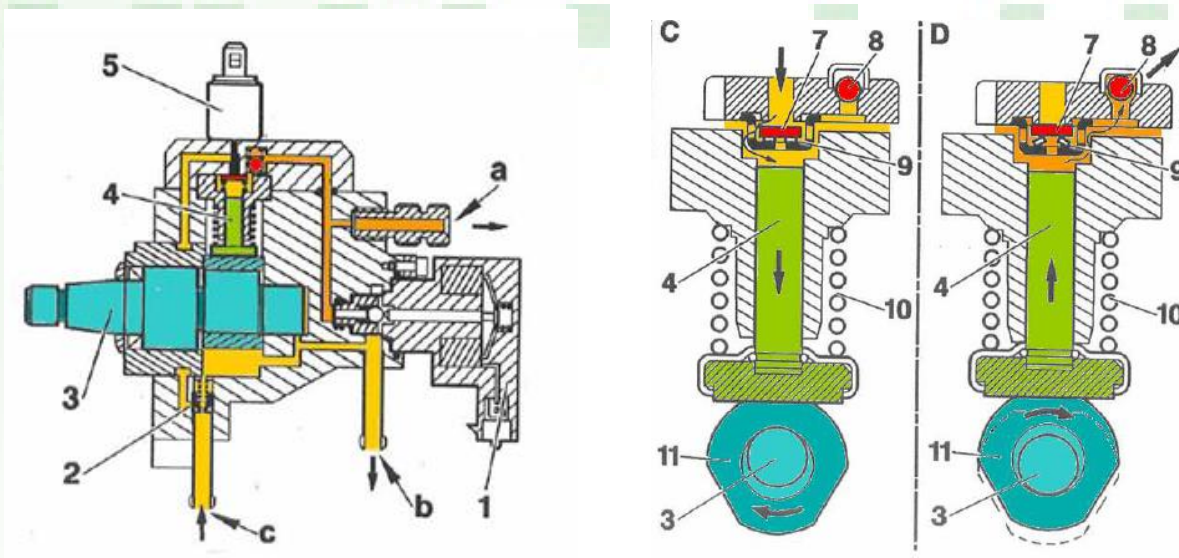
Description et fonctionnement d'une Pompe CP1

A une pression inférieure à 0.8 bars, le clapet de sécurité est fermé. Le carburant passe au travers d'un ajutage afin de permettre la lubrification et le refroidissement de la pompe.

A une pression supérieure à 0.8 bars, le clapet s'ouvre et permet l'alimentation des éléments de pompage



- 1-Arbre excentrique
- 2- arbre à came
- 3- piston
- 4- clapet d'aspiration
- 5-arrivé du carburant
- 6- sortie du carburant à haute pression
- 7- clapet de refoulement
- 8- cylindre de pompe
- 9- poussoir



a - Sortie haute pression carburant (vers la rampe d'injection commune) ; b-Retour réservoir carburant ; c - Entrée carburant (pompe de gavage) ; 1 Régulateur haute pression carburant ; 2-Clapet de lubrification ; 3- Arbre de pompe à excentrique ; 4 - Piston haute pression ; 5 - Désactivateur du 3^{ème} piston ; 7 - clapet d'aspiration de carburant ; 8- clapet de refoulement à bille ; 9-ressort de rappel du clapet d'aspiration ; 10-ressort de rappel du piston haute pression ; 11- came d'entraînement

Pompe BOSCH (type CP1 à 3 pistons radiaux)

Phase aspiration C :

La came descend. Le piston est repoussé par son ressort, entraînant une hausse du volume de la chambre de pression et par conséquent une chute de la pression. Le clapet d'aspiration s'ouvre et le carburant pénètre dans la chambre.

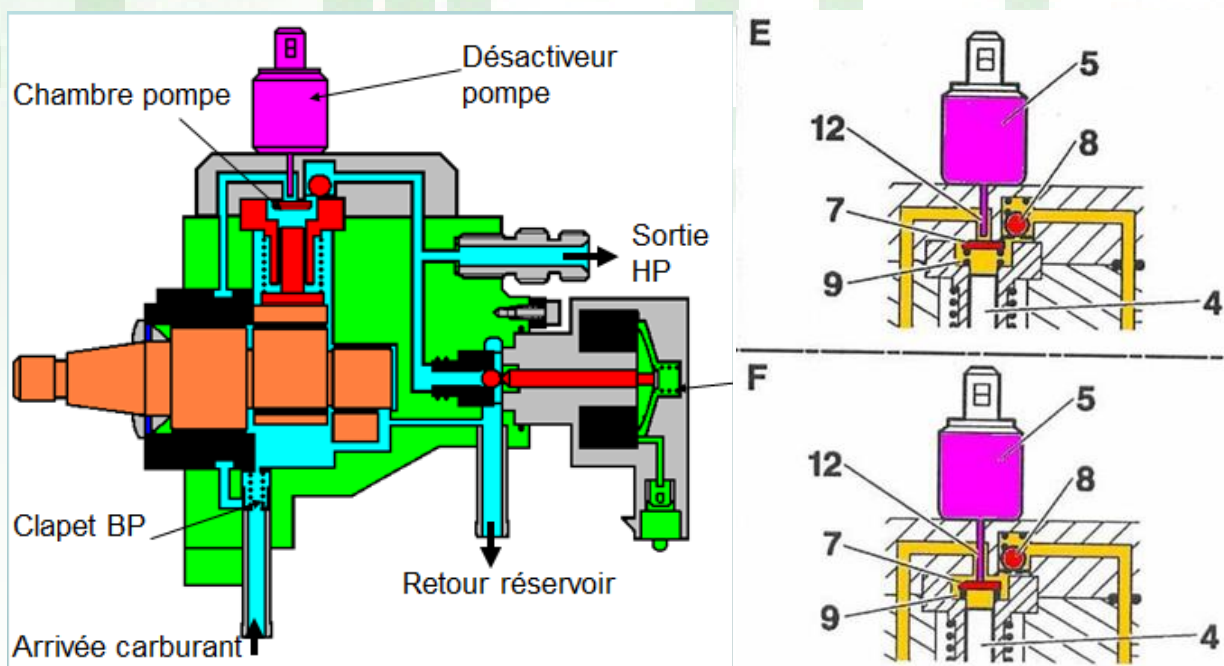
Phase refoulement D :

La came remonte. Le piston est poussé vers le haut entraînant une diminution du volume et une forte hausse de la pression. Le clapet d'aspiration se referme et le clapet de refoulement s'ouvre permettant au carburant de circuler en direction du rail.

Le Désactivateur du 3^{ème} piston

Pour de faibles "charges moteur", il diminue le débit de la pompe afin de réduire la puissance absorbée par celle-ci.

Il est commandé par le calculateur d'injection (commande "tout ou rien" par la masse). Il est constitué d'un électro-aimant et d'une tige de poussée se déplaçant sous l'action du champ magnétique.



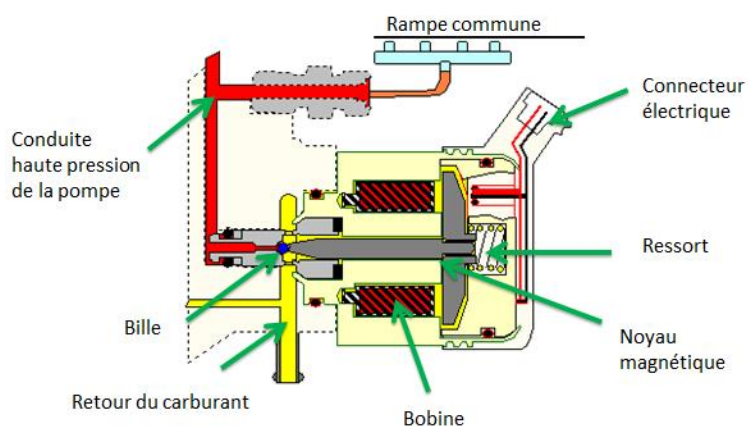
E - Utilisation des trois pistons ; F - Utilisation de deux pistons

4 - Piston haute pression ; 5 - Désactiveur du 3^{ème} piston ; 7 - clapet d'aspiration de carburant ; 8 - clapet de refoulement à bille ; 9 - ressort de rappel du clapet d'aspiration ; 12 - tige de poussée

Fonctionnements du Désactiveur du 3ème piston

Le régulateur de la haute pression

Le régulateur crée une fuite contrôlée pour réguler la pression dans le circuit haute pression selon les conditions de fonctionnement du moteur. Il est situé soit sur la pompe HP, soit sur la rampe.



Composant du régulateur de la haute pression

Le calculateur contrôle le débit du carburant à injecter en régulant la pression, l'instant et la durée d'injection. **Si la pression du carburant est insuffisante le calculateur augmente le courant de contrôle du régulateur de haute pression et celui-ci reste fermé et la pompe augmente la pression d'alimentation. (La création de la haute pression ne dépend pas à la vitesse de rotation du moteur)**

Pilotage mécanique

Le circuit haute pression carburant subit des variations de pression dans la rampe commune :

La pression augmente lors du refoulement d'un piston de pompe,

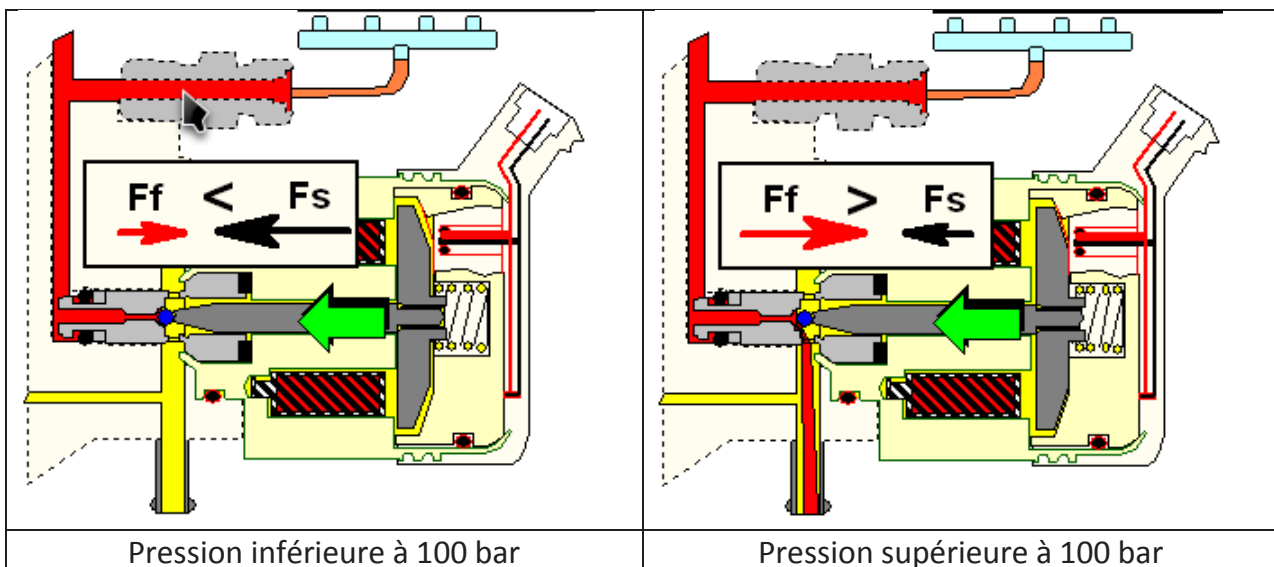
La pression diminue lors de l'ouverture d'un injecteur diesel.

Lorsque le régulateur haute pression n'est pas alimenté :

La haute pression carburant s'oppose à l'action mécanique du ressort.

Le régulateur s'ouvre pour une pression supérieure à la pression du ressort (100 b),

Le carburant libéré retourne au réservoir par la sortie.



Pilotage électrique

Phase " montée de pression "

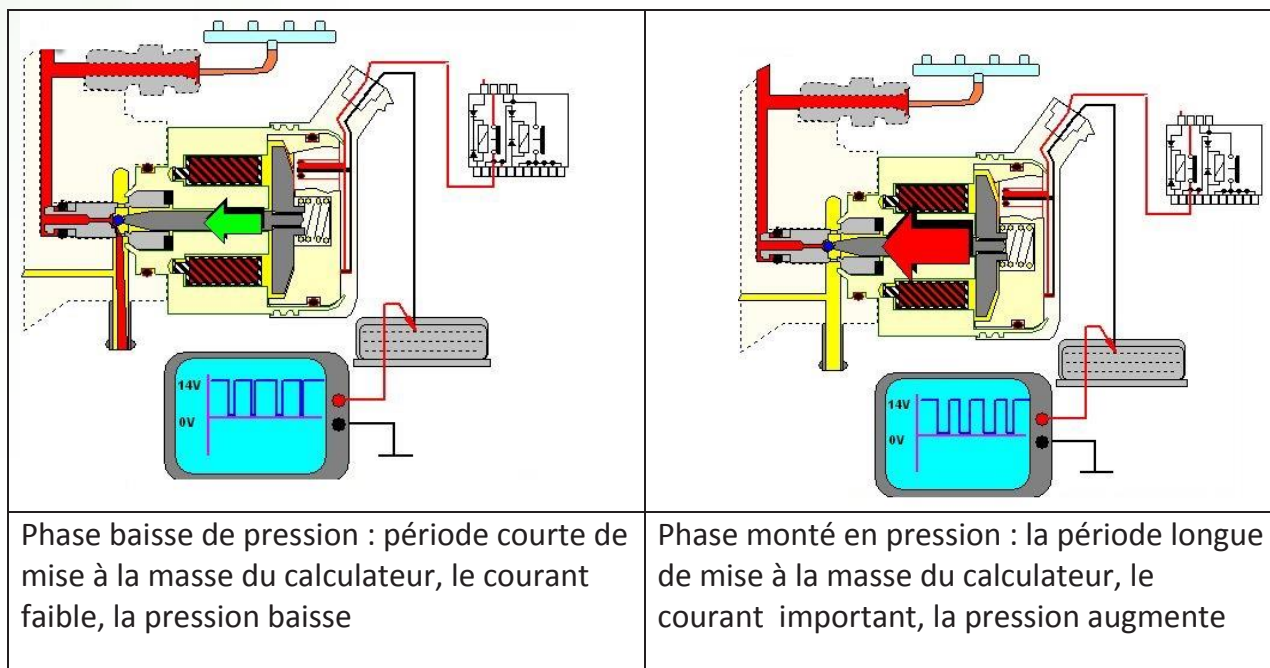
Le calculateur alimente le régulateur avec un courant RCO, la bobine du régulateur entraîne le noyau magnétique, l'effort appliqué sur la bille est l'addition de la force du ressort et de la force magnétique du noyau, la valeur de disjonction du régulateur augmente.

Phase " baisse de pression "

Le calculateur réduit le RCO, l'effort sur la bille diminue, la valeur de disjonction du régulateur diminue.

Nota : commande de la masse à tension variable par Rapport Cyclique d'Ouverture :

- tension maximale (RCO maximum) = pression maximale
- tension minimale (RCO minimum) = pression minimale



Régulation de la pression :

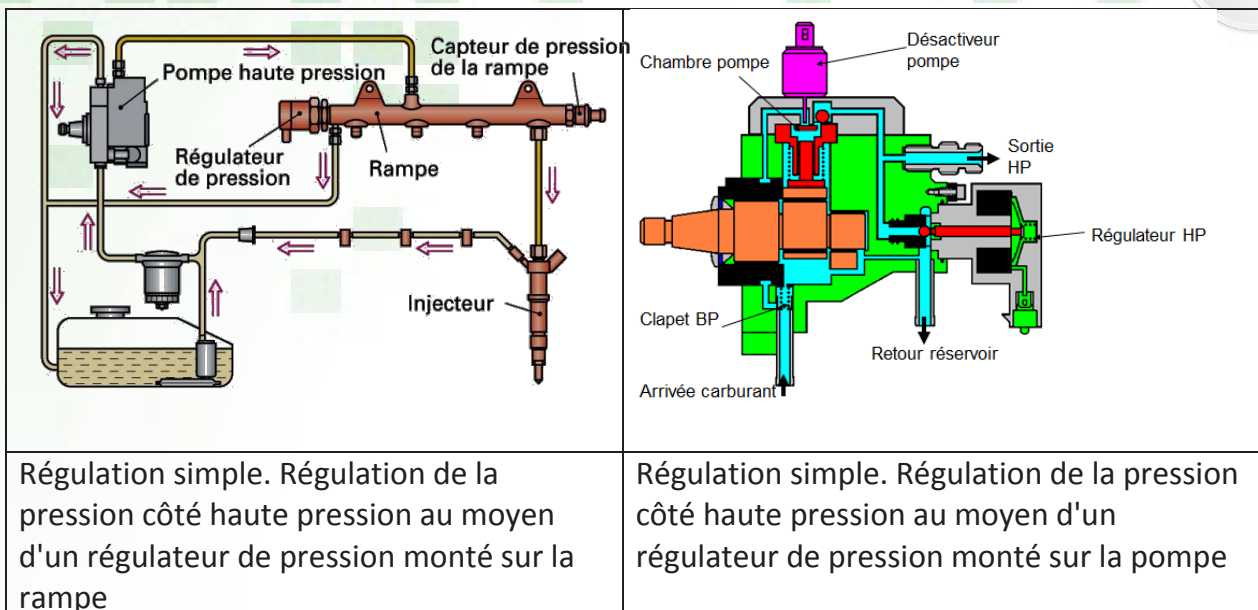
Dans les systèmes Common Rail, on distingue:

La régulation simple. Dans ce cas, la pression est régulée par un actuateur qui est monté soit du côté haute pression, soit du côté aspiration;

La régulation double. Dans ce cas, la pression est régulée par deux actuateurs qui sont montés du côté haute pression et du côté aspiration.

a) Régulation simple, côté haute pression

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.



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

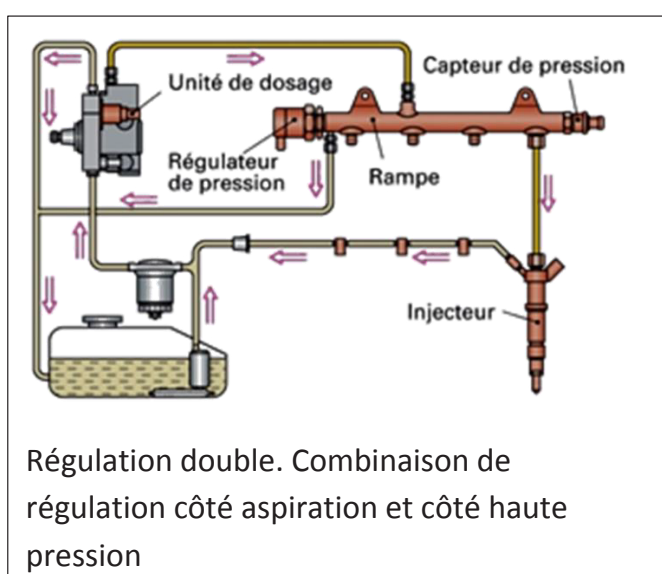
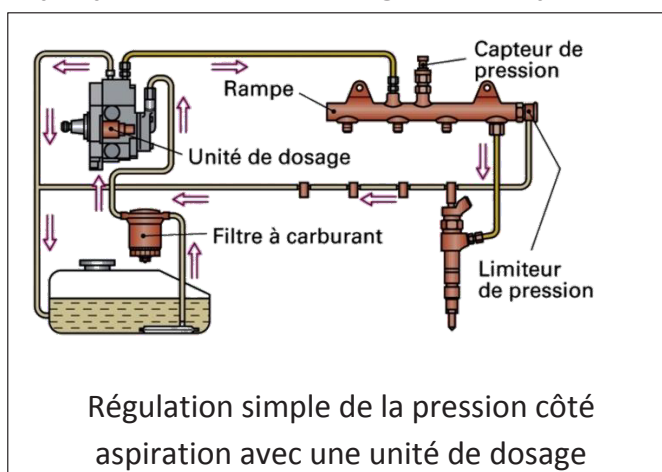
La pression de la rampe est réglée par une unité de dosage placée dans la pompe haute pression. Ainsi, grâce à la régulation de la pression côté aspiration, seule une petite quantité de carburant est sous pression, ce qui **permet de limiter l'échauffement du carburant et la puissance absorbée par la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

b) Régulation double :

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.

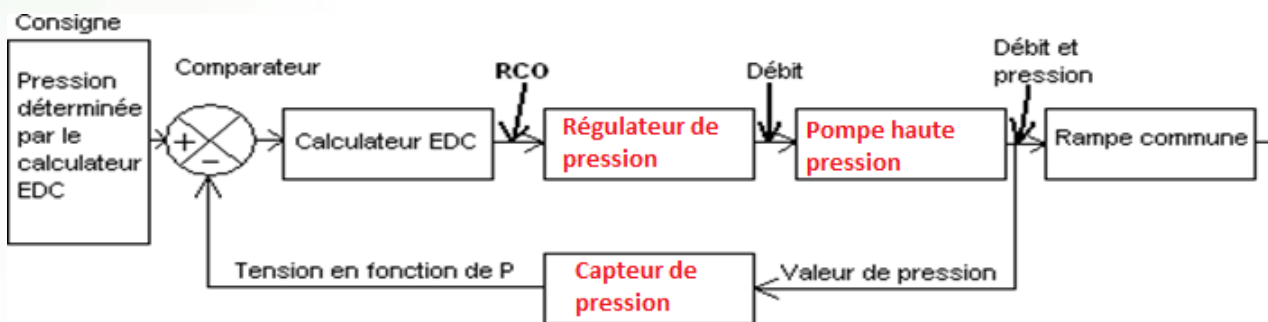
Fonctionnement :

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.



la boucle de régulation de pression du calculateur EDC

L'injecteur à commande électromagnétique

L'injecteur permet la pulvérisation du carburant dans la chambre de combustion en dosant avec précision le débit et le point d'avance.

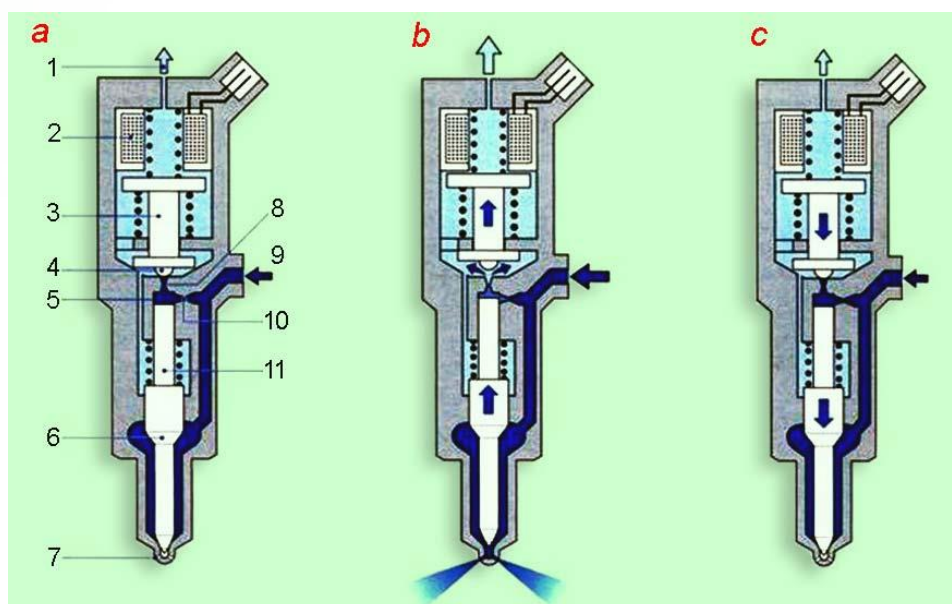
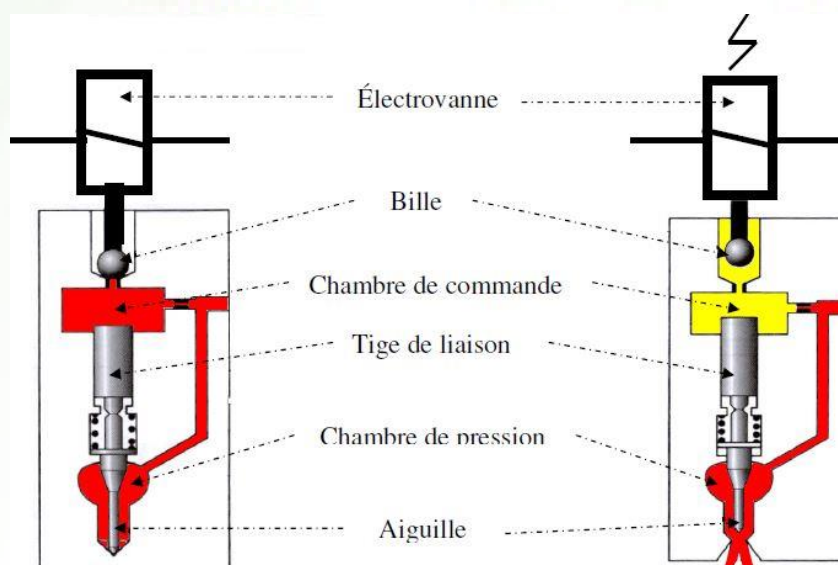
Il peut être décomposé en deux parties :

Partie inférieure : Injecteur à trous multiples semblable aux injecteurs classiques montés sur les moteurs à injection directe, l'évolution des injecteurs a permis de réduire l'émission des particules d'environ 90 % et des gaz polluants

Partie supérieure : Il comporte le dispositif de commande électrique et permet la commande de l'aiguille.

Le débit de carburant injecté sous pression est proportionnel au temps de mise en action de l'électrovanne qui est pilotée par le calculateur électronique à partir de courants et tensions très élevés pour assurer une ouverture rapide de l'injecteur et pour la mise en œuvre de plusieurs injections dans un délai très court.

Constitution et principe de fonctionnement :



a) injecteur au repos ; b) injecteur ouvert ; c) injecteur fermé ;

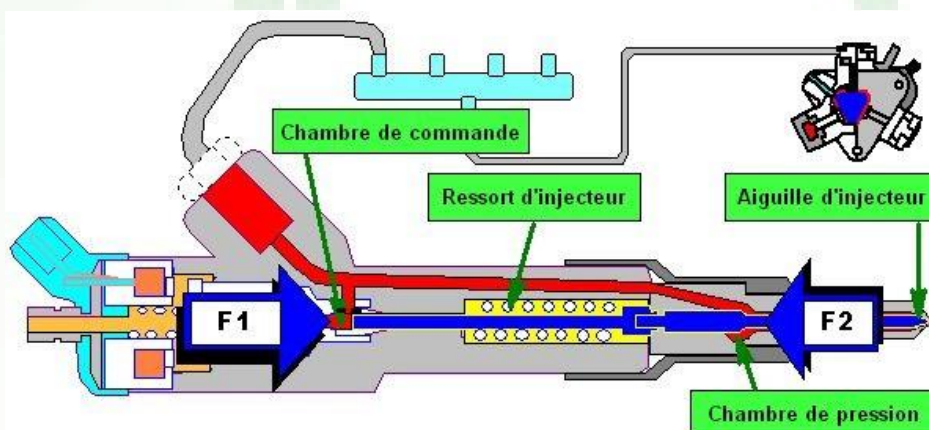
1 - Conduite de retour de carburant ; 2 - Bobine d'électroaimant ; 3 - Noyau magnétique ; 4 - Clapet à bille ; 5 - Chambre de commande ; 6 - Cône d'aiguille d'injecteur ; 7 - Trous d'injecteur ; 8 - Gicleur de retour ; 9 - Entrée haute pression ; 10 - Gicleur d'alimentation en carburant ; 11 - piston de commande

Principe de fonctionnement d'un injecteur

On distingue trois phases de fonctionnement :

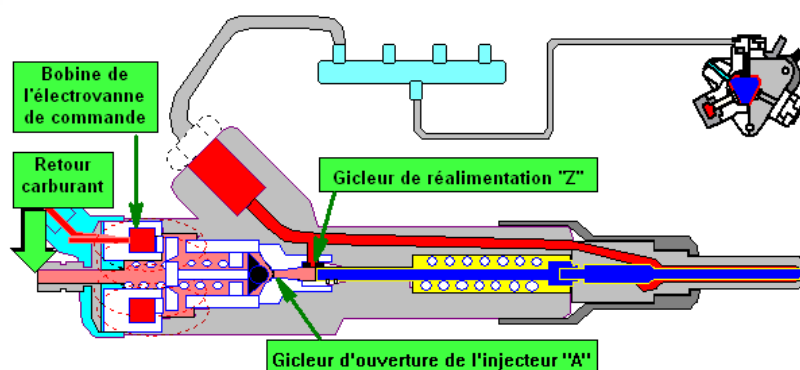
a- Injecteurs fermé (au repos) : L'électrovanne n'est pas alimentée (gicleur de retour fermé), Le ressort plaque la bille sur son siège. La pression de la chambre de commande est

égale à la pression dans la chambre de pression. Le ressort maintient l'aiguille de l'injecteur sur sa portée d'étanchéité. $F_1 + F$ du ressort est supérieure à F_2 (injecteur fermé).



b- Ouverture de l'injecteur :

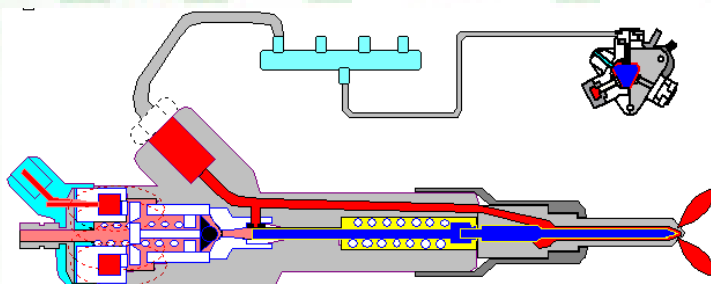
L'électrovanne est alimentée et engendre un champ magnétique. Le noyau magnétique comprime le ressort de rappel, la bille ouvre le circuit de retour et permet la fuite du circuit de retour. La pression dans la chambre de commande diminue.



L'ajutage du circuit d'alimentation évite l'équilibrage des pressions (le diamètre du gicleur de retour est supérieur à celui du gicleur d'alimentation), la force F_2 de la chambre de pression est supérieure à la $F_1 + F$ du ressort ce qui a pour effet de soulever l'aiguille.

La quantité de carburant injectée dépend des paramètres suivants :

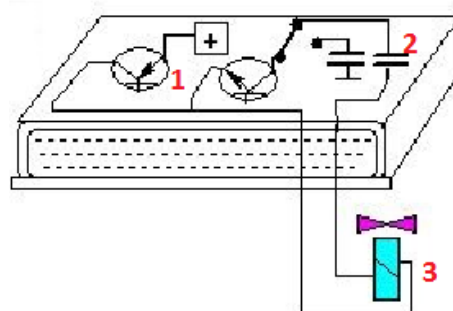
- Durée de la commande électrique (calculateur d'injection),
- vitesse d'ouverture de l'injecteur
- Débit hydraulique de l'injecteur (nombre et diamètre des trous),
- Pression de carburant dans la rampe d'injection haute pression carburant.



C) Fermeture de l'injecteur : L'électrovanne cesse d'être activée, le ressort de rappel pousse le noyau magnétique et entraîne la bille sur son siège, il n'y a plus de fuite. La pression s'équilibre à nouveau, le ressort repousse l'aiguille, il n'y a plus d'injection.

Commande de l'injecteur :

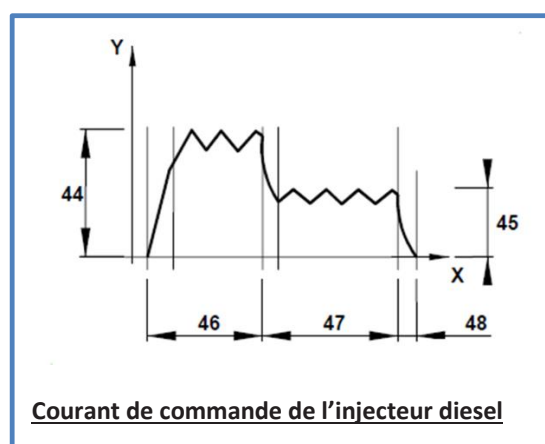
Pour assurer une ouverture /fermeture rapide de l'injecteur afin d'éviter le bavage de carburant au nez (grosse gouttelettes) et de pouvoir subdiviser l'injection en trois séquences (pré-injection, injection principale et post-injection) dans des délais très courts aux moments précis, il faut des électrovannes à faible temps de réponse.



- 1: Transistor**
- 2: Condensateur**
- 3: Electrovanne d'injecteur**

Fonctionnement du condensateur :

Au début de l'injection, le condensateur se décharge dans la bobine de l'injecteur, la tension est d'environ 70V à 100 V, pour une résistance de la bobine très faible (environ 0,5 Ω), donne un courant fort (environ 20A) permettant un déclenchement rapide de l'ouverture de l'injecteur. Ensuite le maintien de l'injecteur en position ouverte demande un courant moins fort.



Courant de commande de l'injecteur diesel

Y – Ampères ; X - Durée

44 - Courant d'appel ; 45 - Courant de maintien

46 - Phase d'appel ; 47 - Phase de maintien

48 - Fin de commande

L'alimentation électrique d'une électrovanne se décompose en 2 phases :

- phase d'appel (tension et courant d'appel),

- phase de maintien (tension et courant de maintien).

1 - Phase d'appel : La phase d'appel a pour but de provoquer une levée rapide de l'aiguille de l'électrovanne.

L'électrovanne d'injecteur diesel est alimentée de la façon suivante :

- une tension d'environ 80 V,
- un courant d'environ 20 A.

Nota : La phase d'appel est limitée à quelques millisecondes (0,3 ms).

2 - Phase de maintien : La phase de maintien permet de continuer à alimenter l'électrovanne en limitant la puissance électrique absorbée.

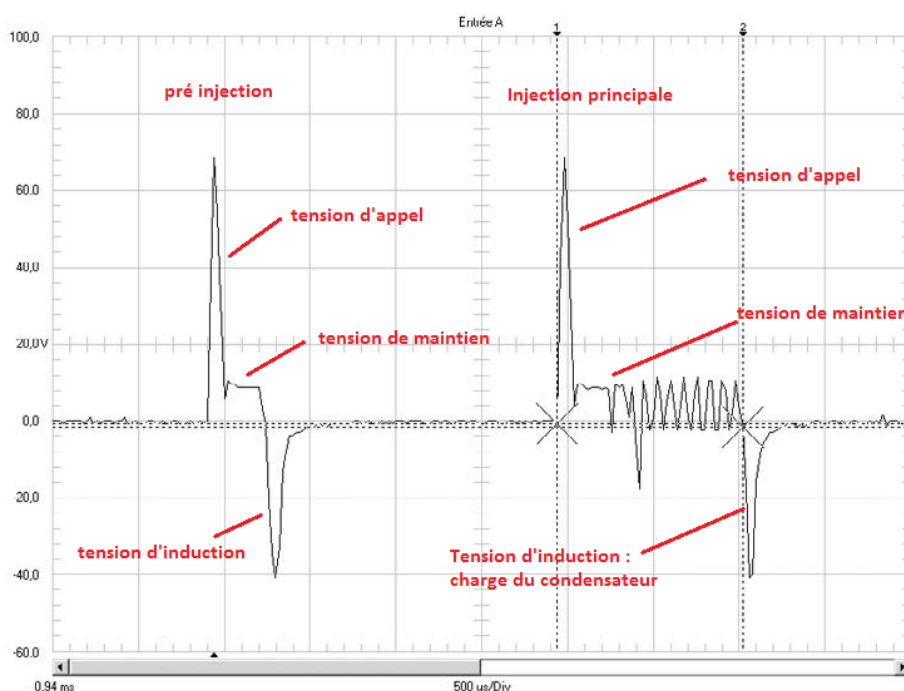
L'électrovanne d'injecteur diesel est alimentée de la façon suivante :

- une tension d'environ 50 V,
- un courant d'environ 12 A.

Attention : Il est interdit d'alimenter un injecteur diesel en 12 V (destruction de l'électrovanne)

Charge du condensateur :

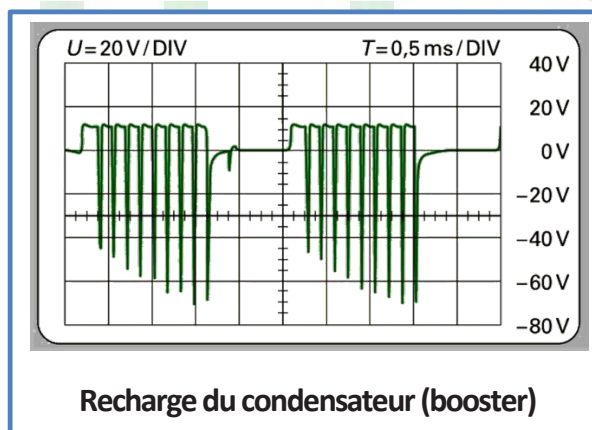
Le condensateur du calculateur est chargé avec les impulsions en courant fréquentes et très courtes, ces impulsions est envoyés dans la bobine de l'injecteur, y créent une tension induite. C'est ce phénomène qui permet de charger les condensateurs à une tension supérieur à 70 V.



Tension de commande d'un injecteur électromagnétique

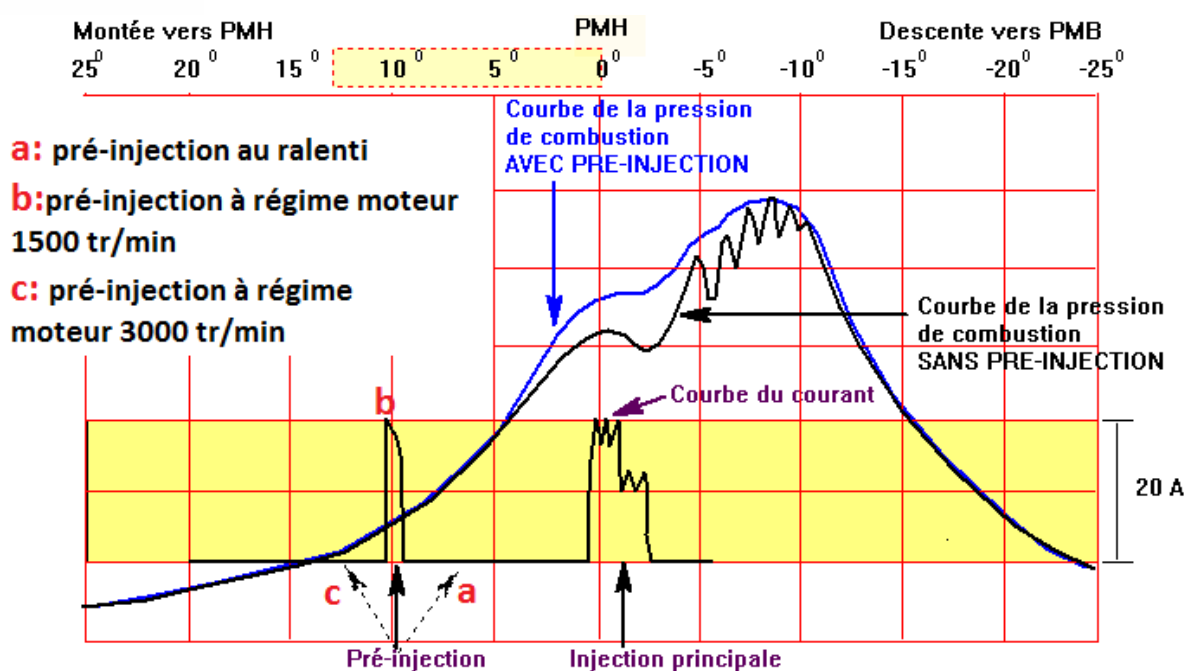
Recharge du condensateur (booster) :

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.



La pré-injection :

Grace à la rapidité de déclenchement de fonctionnement de l'injecteur, l'injection peut être réalisée en plusieurs phases. Une petite quantité de carburant peut être injecté avant l'injection principale pour chauffer l'air dans le cylindre afin de réduire le délai d'inflammation et d'obtenir une montée en pression plus régulière, ce qui réduit très sensiblement le bruit. Ainsi l'augmentation de la température est limitée ce qui réduit les émissions des oxydes d'azote.



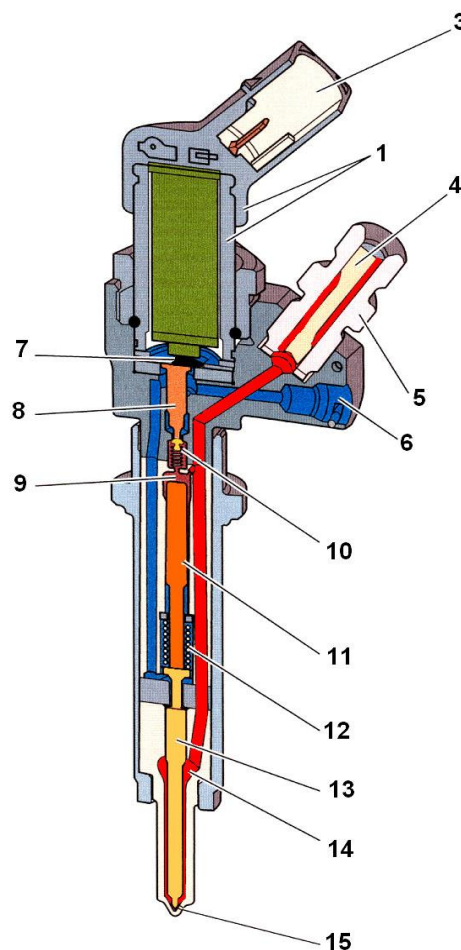
Remarque :

Avec l'augmentation du régime la pré-injection avance aussi avant le PMH, lorsque le régime moteur atteint 3200 tr/min, la pré-injection sera supprimée.

L'injecteur Piézo-électrique

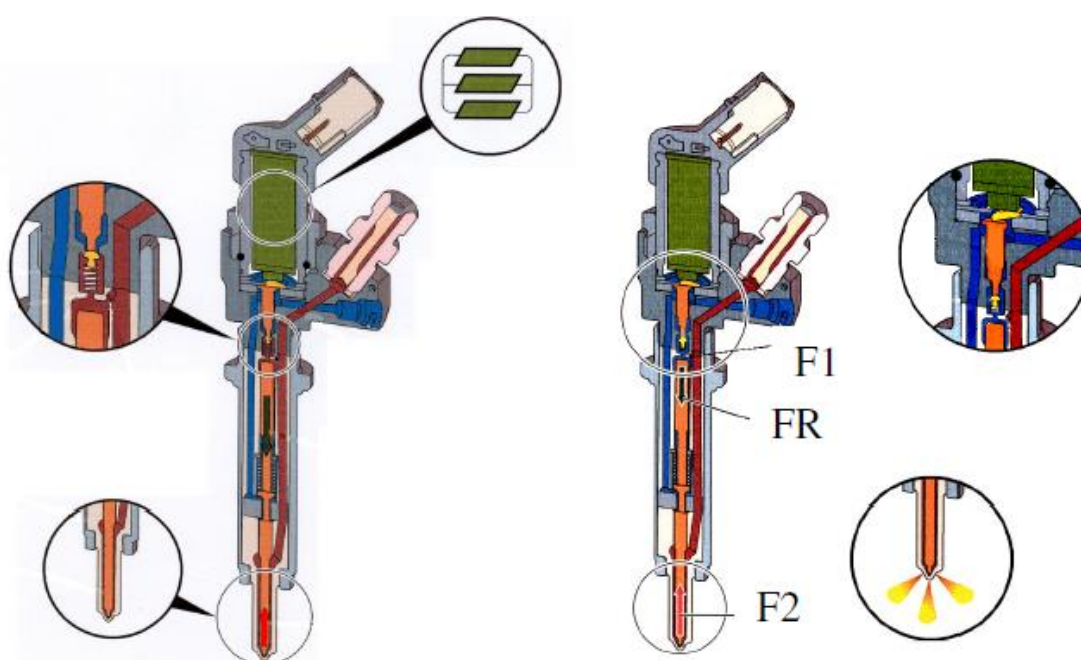
Constitution :

- 1- Actuateur Piézo-électrique
- 2- Écrou de serrage ; 3- Connecteur électrique
- 4- Filtre entrée ; 5- Raccord haute pression
- 6- Raccord retour carburant ; 7- Levier amplificateur
- 8- Piston de commande ; 9- Chambre de commande
- 10- champignon de fermeture; 11- Tige de liaison
- 12- Ressort de rappel ; 13- Aiguille d'injecteur
- 14- Chambre de pression ; 15- Trou d'injecteur



Avantages des injecteurs piézo :

- vitesse et fréquence de fonctionnement rapide
- nombre d'injections par cycle d'injection
- précision du dosage du carburant
- réduction du bruit du moteur
- fonctionnement de la buse à haute pression
- respect de l'environnement



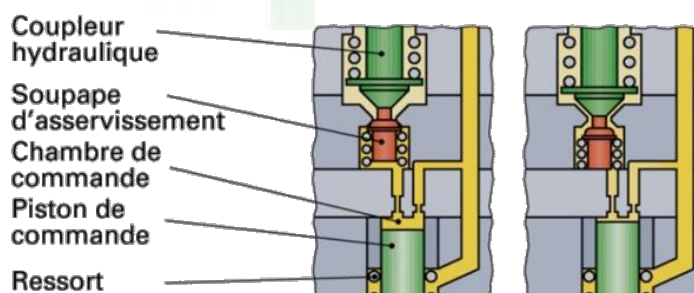
Principe de fonctionnement :

Injecteur fermé : La pression exercée dans la chambre de pression est égale à la pression dans la chambre de l'injecteur.

Début d'ouverture : Le calculateur alimente sous une tension d'environ 70V l'élément piézo électrique de commande, qui s'allonge (40 μ m). Le levier amplificateur de déplacement

déplace le piston de commande. Le piston de commande déplace à son tour le champignon de fermeture. Dès lors, une fuite est créée dans la chambre de commande qui n'est pas

compensée par le gicleur. L'équilibre entre la pression dans la chambre de commande et la chambre de haute pression de l'aiguille est rompu. Le piston de commande de l'aiguille se déplace, l'aiguille de l'injecteur se soulève.



Maintien de l'ouverture de l'injecteur :

Le calculateur cesse d'alimenter l'élément piézo électrique de commande. Celui-ci reste allongé, le condensateur reste chargé.

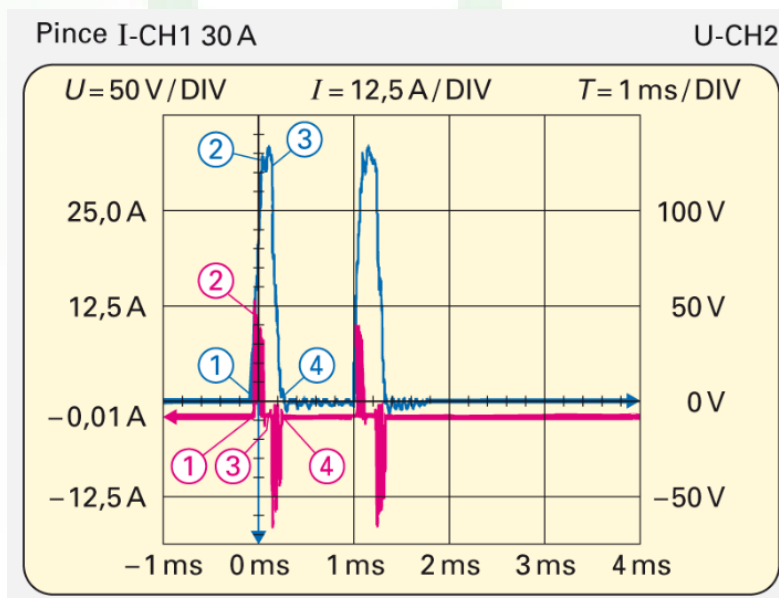
Fermeture de l'injecteur :

Après un temps d'injection déterminé par le calculateur, le condensateur, par sa décharge, entraîne la rétraction de l'élément piézo électrique. L'élément piézo électrique interrompt la fuite dans la chambre de commande. La pression s'établit de nouveau. Le ressort de rappel ainsi que la différence de section de l'aiguille de l'injecteur permet une fermeture franche et étanche de l'ensemble.

Commande d'un injecteur piézo-électrique

- 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. **Pour cette raison, il ne faut pas déconnecter un injecteur piézoélectrique moteur en marche. Il pourrait rester ouvert et causer ainsi des dommages importants au moteur.**

- 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.



Signal de commande d'un injecteur piézo-électrique

Remarque :

- Il est formellement interdit de débrancher le connecteur d'un injecteur piézo-électrique moteur tournant.
- Il est interdit d'alimenter un injecteur en 12V (destruction de l'injecteur). Toute inversion de polarité des fils de commande d'injecteur diesel entraîne la destruction de l'élément piézo électrique.
- Il est interdit de contrôler la résistance d'un injecteur piézo électrique.

Le code de calibration

Du fait des dispersions de fabrication, les caractéristiques de débit des injecteurs ne sont pas parfaitement identiques, ce qui peut entraîner des irrégularités de fonctionnement moteur et une augmentation des émissions polluantes. Certains injecteurs reçoivent un code appelé code de calibration, ce code correspond à l'écart de débit par rapport à un injecteur de référence. Le calculateur





d'injection corrige le temps d'ouverture de l'injecteur en fonction des codes de calibration.

IMA = Ajustage du débit de l'injecteur ; ISA = Ajustage de tension de l'injecteur

Le code de calibration doit être mémorisé dans le calculateur d'injection à l'aide de l'outil de diagnostic et dans l'ordre de repérage des cylindres.

Un code de calibration mal renseigné dans le calculateur peut provoquer des démarrages difficiles et/ou un ralenti instable.

	
<p><u>Injection électromagnétique:</u> En raison des tolérances de fabrication; l'électronique moteur doit adapter la commande EURO 3: 6 caractères EURO 4: 7 caractères</p>	<p><u>Injection piézo-électrique:</u> comme injecteur électromagnétique avec en plus le calibrage de l'élément piézo-électrique. Seulement 6 chiffres pour le tarage hydraulique, le 7ème chiffre correspond au calibrage de la tension de l'injecteur</p>

Accumulateur haute Pression (RAIL) :

Les taches de l'accumulateur sont d'accumuler le carburant et d'empêcher les variations de pression par un volume satisfaisant (le grand volume de stockage permet d'amortir les oscillations de pression générées par le pompage et l'injection du carburant).

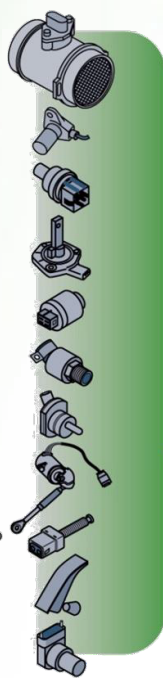
L'accumulateur haut pression est un tube, fabriqué en acier forgé. Suivant le moteur, il a un diamètre intérieur d'environ 10 mm et une longueur de 280 à 600 mm.

Pour éviter les variations de pression, il faut essayer d'avoir le plus grand volume possible, autrement dit ; le plus long possible avec un gros diamètre.

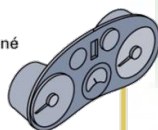
LES CAPTEURS ET LES ACTIONNEURS PÉRIPHÉRIQUES

Capteurs

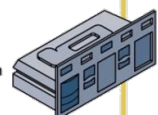
- Débitmètre d'air à fil chauffant
- Capteur de fréquence de rotation du moteur
- Capteur de température du liquide de refroid.
- Capteur de température de l'huile
- Capteur de température du carburant
- Capteur de pression du carburant
- Capteur de pression de suralimentation
- Capteur de pédale d'accélérateur et contacteur de ralenti
- Interrupteur de feux-stop et contacteur de pédale de frein
- Contacteur de kick-down
- Capteur des phases d'arbre à cames



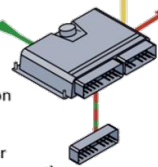
Processeur combiné installé dans le tableau de bord



Commande et unité de contrôle de la climatisation

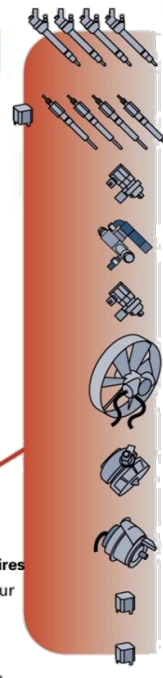


Appareil de commande pour le système d'injection Common Rail
Branchement pour équipement de diagnostic



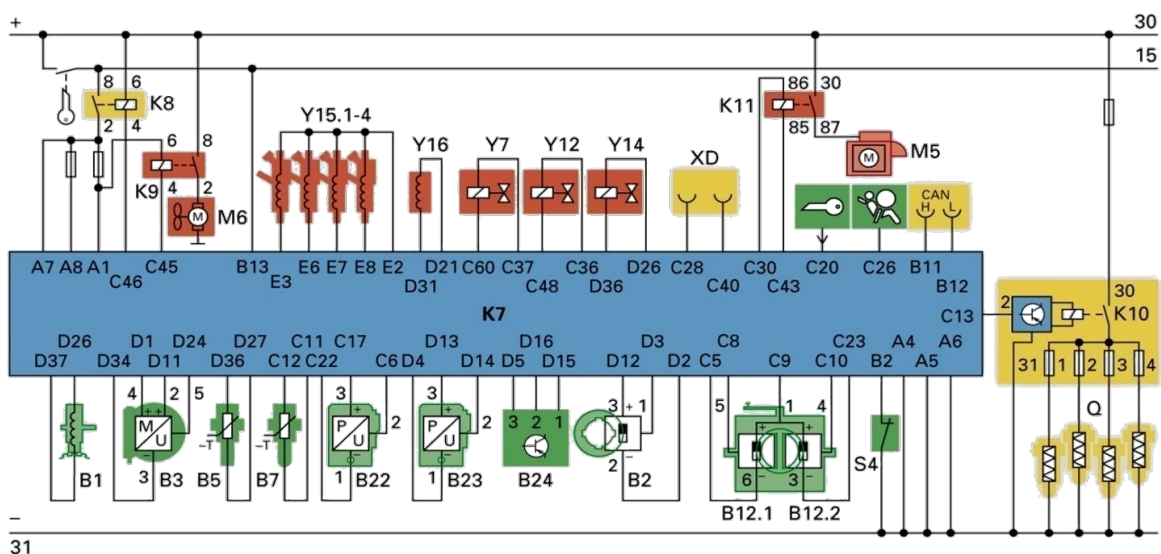
Actuateurs

- Electrovannes pour les injecteurs des cylindres 1 à 4
- Relais pour les bougies de préchauffage des cyl. 1 à 4
- Soupape d'inversion pour les clapets de remplissage
- Soupape de régulation pour pression du carburant
- Electrovanne pour le recyclage des gaz d'échappement
- Electrovanne pour le réglage du ventilateur
- Electrovanne gauche/droite pour la suspension électrohydraulique du moteur
- Electrovanne pour la limitation de pression de suralimentation
- Relais pour le refroidissement de la pompe et de l'air de suralimentation
- Relais de la pompe électrique à carburant

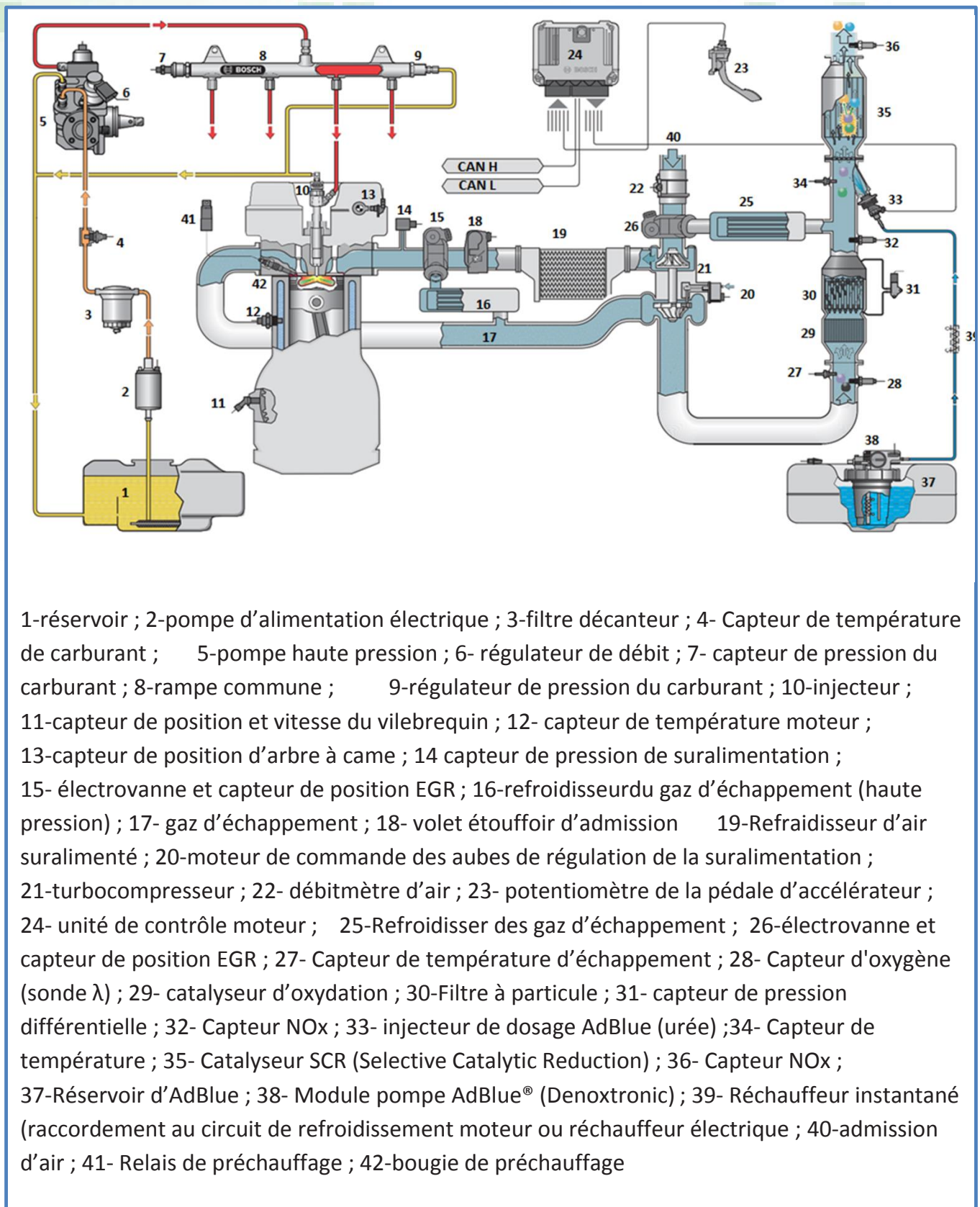


Signaux supplémentaires
Compresseur de climatisation
Chauffage additionnel du liquide de refroidissement

Schéma général d'un EDC avec système Common Rail



- | | | |
|--|---|--|
| B1 Capteur fréquence de rot. vilebrequin | K7 Centrale de commande pour injection Common Rail | S4 Contact. de la pédale d'embrayage |
| B2 Capteur de phase d'arbre à cames | K8 Relais principal | Y7 Electrovanne pour le recyclage des gaz d'échappement |
| B3 Débitmètre d'air | K9 Relais du ventilateur | Y12 Electrovanne pour la régulation de la pression de suralimentation |
| B5 Capteur de temp. du moteur | K10 Bloc de comm. préchauffage | Y14 Soupape de coupure |
| B7 Capteur de temp. d'air d'adm. | K11 Relais du démarreur | Y15.1 ... Y15.4 Injecteurs |
| B12 Capteur de position de pédale d'acc. | M5 Démarreur | Y16 Régulateur de pression de la rampe |
| B22 Capteur de pression de suralim. | M6 Moteur du ventilateur | XD Branchement pour équipement de diagnostic |
| B23 Capteur de pression de la rampe | Q Bougies de préchauffage | |
| B24 Capteur pour pression, quantité et température de l'huile | | |



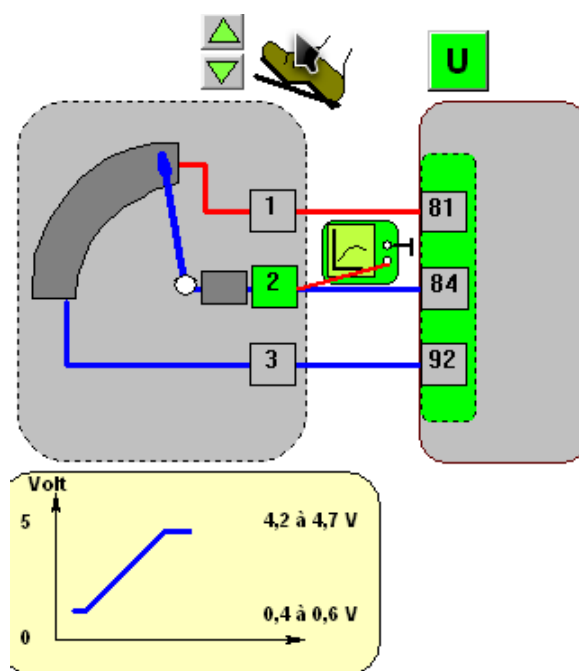
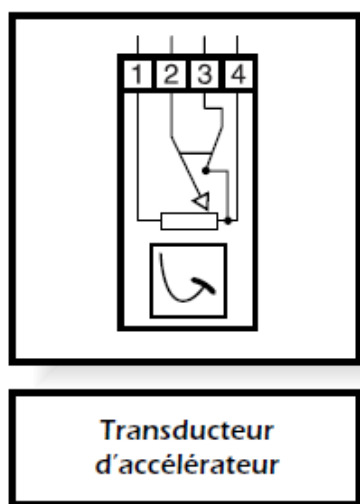
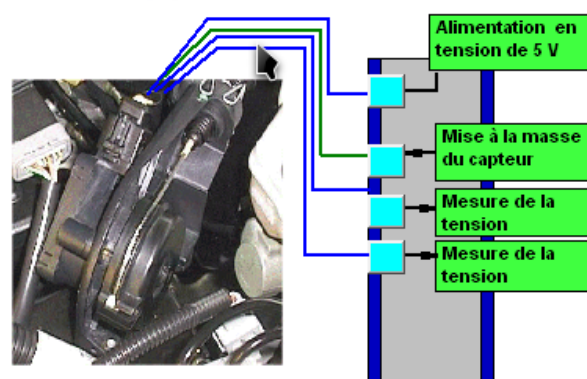
Capteur de pédale d'accélérateur :

Ce capteur est composé de deux potentiomètres. Il transforme le souhait du conducteur en information « charge » au calculateur. Les deux signaux de tension des pistes, comparés en permanence, permettent au calculateur de détecter un dysfonctionnement du capteur.

Le calculateur avec ce capteur et d'autres informations effectue des tests de plausibilité

Les données provenant du capteur de pédale d'accélérateur sont utilisées pour :

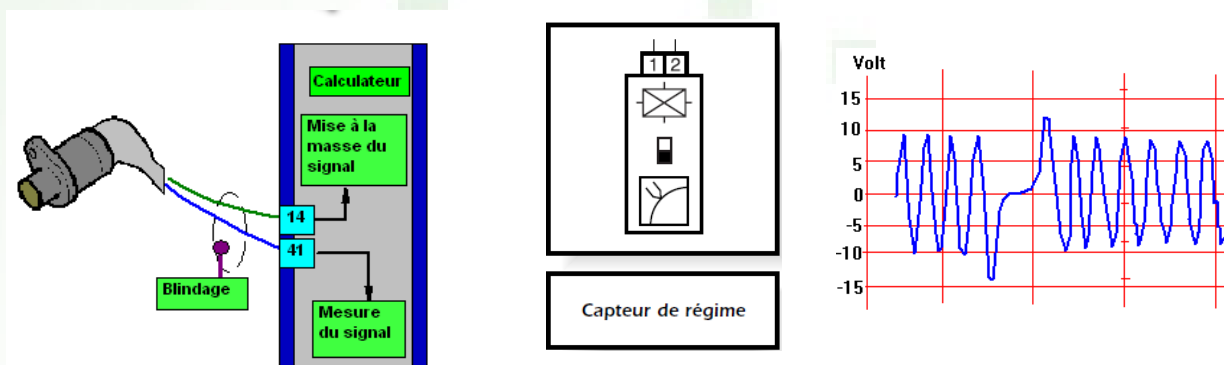
- la régulation du débit de l'injection
- la régulation de l'avance à l'injection
- la commande de la vanne EGR
- la régulation de la suralimentation
- la coupure d'injection au freinage moteur



En cas de défaillance du capteur, une valeur de consigne fixe de faible charge est appliquée : augmentation du régime de ralenti, p. ex. en cas d'absence de valeurs d'asservissement principales

Capteur Régime moteur :

il informe le calculateur de la vitesse de rotation du moteur par des dents, au nombre de 58, et de la position PMH du cylindre n° 1 par deux fausses dents.

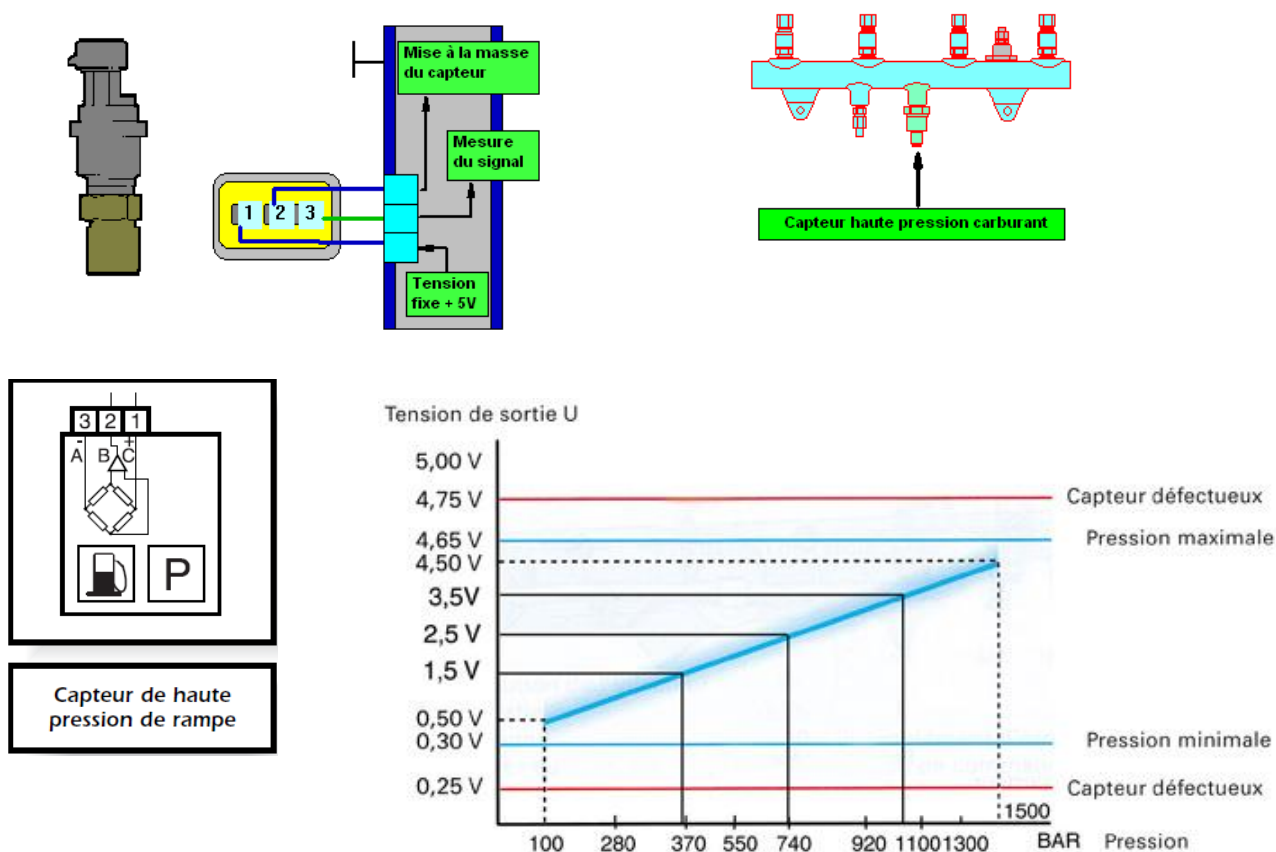


Signal du capteur inductif

En cas de coupure du circuit : arrêt du moteur.

Capteur de pression du carburant :

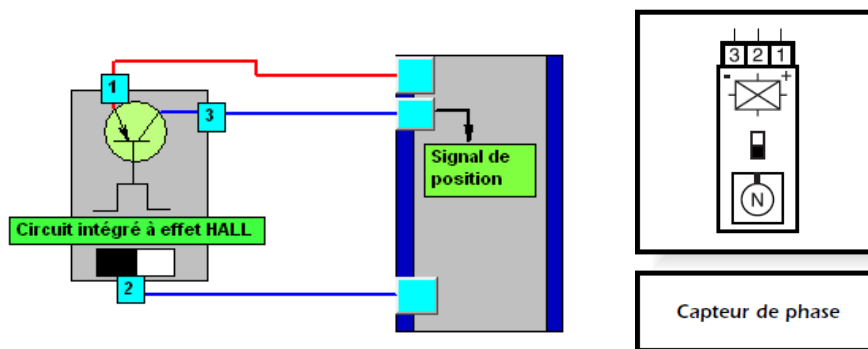
Ce capteur est du type piézo-résistif. Le capteur est fixé sur la rampe d'injection commune haute pression. Le signal fourni par le capteur est proportionnel à la pression de carburant dans la rampe d'injection. Cette information sert au calculateur à déterminer la quantité de carburant à injecter, soit le temps d'injection, et pour le contrôle de la régulation de pression dans la rampe.



En cas de défaut du capteur, le calculateur réduit le débit, soit une perte de puissance moteur.

Capteur de phase

Ce capteur est du type à effet Hall (signal carré). Il est situé dans la culasse, au niveau de l'arbre à cames. Certains constructeurs permettent le réglage de l'entrefer. Il permet au calculateur de connaître la position du moteur du premier cylindre.



En cas d'absence du signal, le moteur continuera de tourner jusqu'à l'arrêt, mais ne démarre plus ensuite.

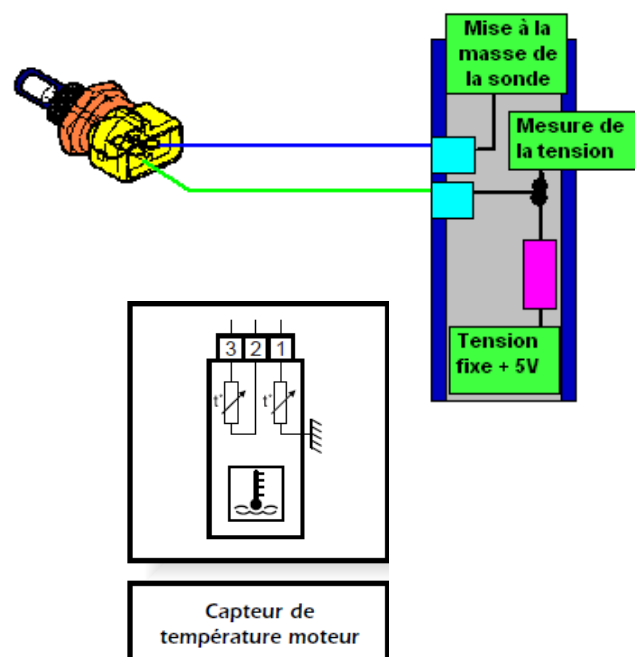
Capteur de température moteur :

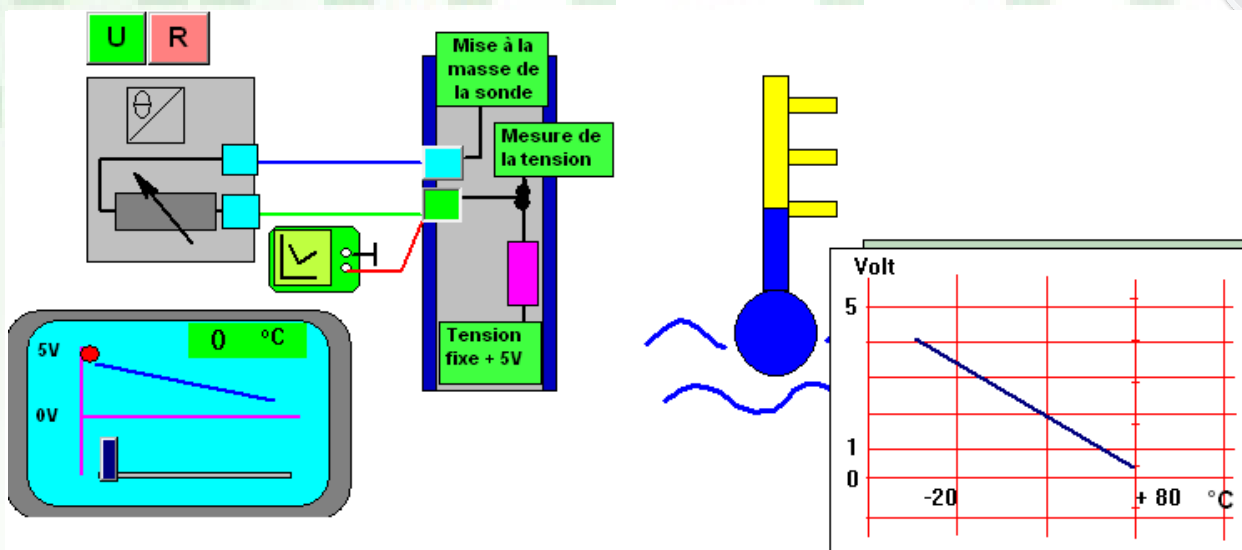
Le capteur de température moteur est du type CTN.

Il est implanté sur le circuit du liquide de refroidissement du moteur.

Ce signal sert au calculateur à déterminer :

- le débit de démarrage ;
- le débit de ralenti ;
- le temps de préchauffage ;
- le temps de post-chauffage ;
- le recyclage des gaz d'échappement ;
- le débit de pleine charge ;
- la commande du voyant d'alerte.

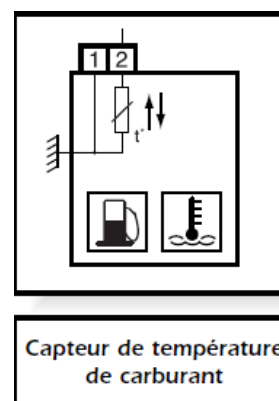




En cas de défaut du capteur, le calculateur adopte une valeur de remplacement, et déclenche le fonctionnement du moto-ventilateur.

LE CAPTEUR DE TEMPÉRATURE DE CARBURANT

Le capteur est du type CTN. Il est fixé soit sur la rampe HP ou sur le circuit de retour au réservoir. Il permet au calculateur d'apporter des corrections sur le débit injecté (variation de viscosité du carburant).



En cas de température anormalement élevée, sur certains montages, le calculateur désactive le 3ème piston.

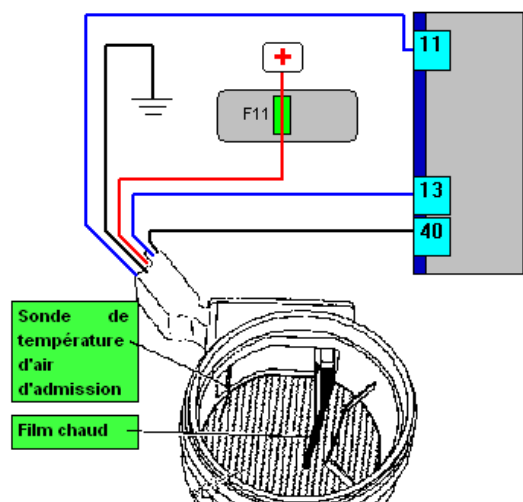
Si le capteur est défectueux, le calculateur utilise une valeur de remplacement fixe.

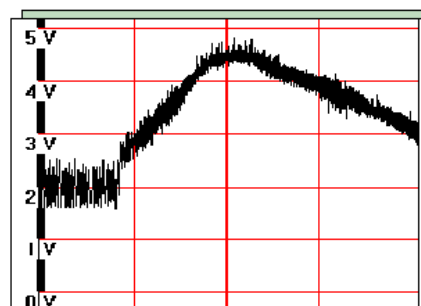
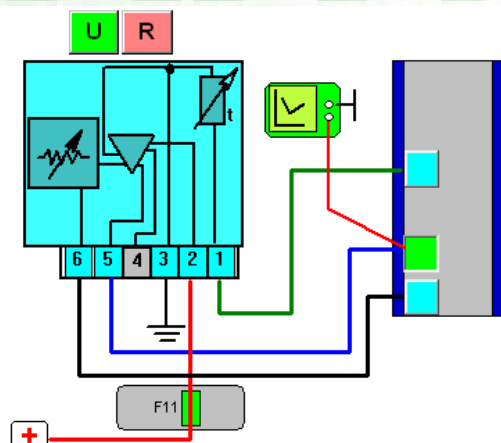
LE DÉBITMÈTRE D'AIR À FILM CHAUD ET LE CAPTEUR DE TEMPÉRATURE D'AIR D'ADMISSION

Le débitmètre est du type à film chaud. Il est situé entre le filtre à air et la tubulure d'admission. Il permet au calculateur, avec l'information température d'air, de déterminer la masse d'air introduite dans le moteur.

Les données provenant du débitmètre sont utilisées pour :

- Réguler le débit et début d'injection.
- Participer « au bouclage » du circuit EGR.
- Réguler la pression de suralimentation





- Signal à vide
- Signal lors d'une accélération brusque

En cas de d'anomalie, le calculateur remplace les données par une valeur fixe :

- **Le mode débit réduit est activé.**
- **Le RGE est supprimé.**

LE CAPTEUR DE PRESSION D'AIR D'ADMISSION

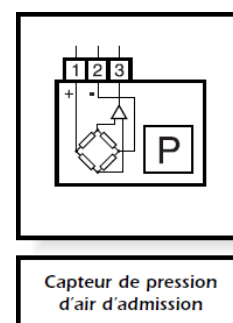
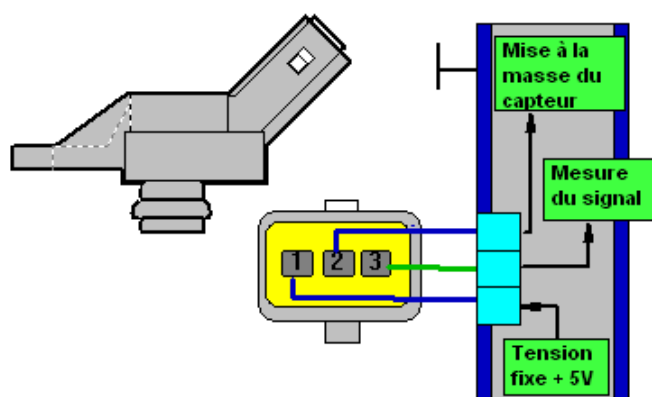
Le capteur de pression d'air collecteur est du type piézo-résistif. Il sert à mesurer la pression dans le collecteur d'admission. La tension du signal est proportionnelle à la pression du collecteur.

Le calculateur règle, à partir de ses données :

- la pression de suralimentation ;
- le débit injecté.

En cas de défaut, le calculateur règle la pression en phase atmosphérique.

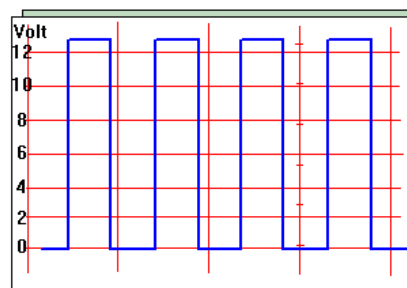
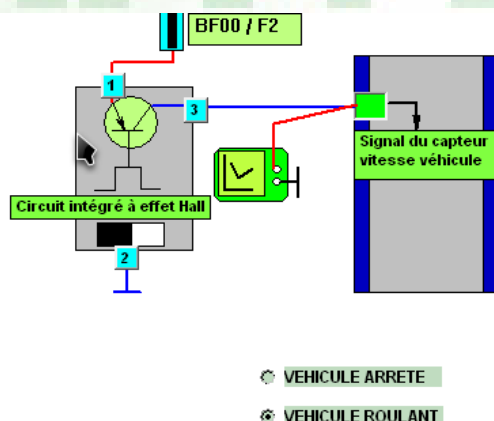
Le RGE est supprimé



LE CAPTEUR DE VITESSE D'AVANCEMENT

Le capteur est soit du type inductif ou soit à effet Hall. Il est situé en sortie boîte de vitesse. Le capteur permet au calculateur de connaître différentes situations du véhicule :

- **à l'arrêt ou roulant ;**
- **en décélération ou accélération ;**
- **rapport de boîte de vitesse engagé etc.**



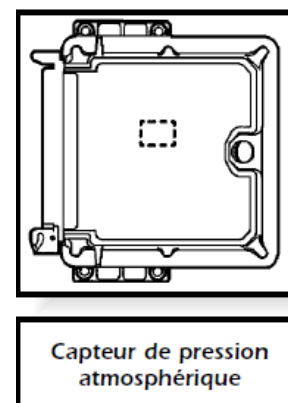
- ⊗ VEHICULE ARRETE
- ⊙ VEHICULE ROULANT

En cas d'anomalie, limitation de la vitesse maxi d'avancement et limitation du débit injecté.

LE CAPTEUR DE PRESSION ATMOSPHERIQUE

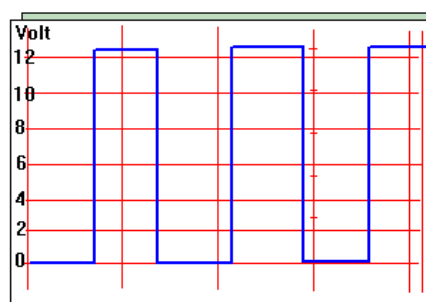
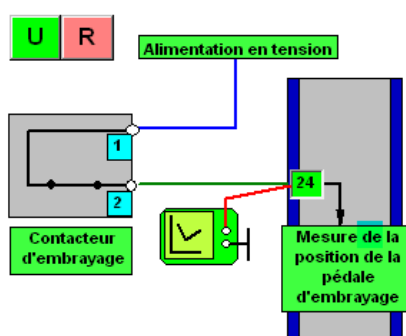
Ce capteur est du type piézo-électrique. Il est implanté dans le calculateur. A partir de ce signal, de tension proportionnelle à la pression, le calculateur détermine la densité de l'air et interdit le RGE en altitude.

En cas de défaut : valeur de remplacement calculateur, et réduction du débit. La défaillance du capteur nécessite un remplacement du calculateur.



LES CONTACTEURS DE STOP ET D'EMBRAYAGE

Les contacteurs de frein et d'embrayage permettent au calculateur de vérifier la cohérence avec l'information charge du transducteur d'accélérateur.



⊙ Signal du contacteur d'embrayage

En d'anomalie, réduction du débit injecté. La régulation de vitesse est supprimée.

LA DEPOLLUTION DANS UN MOTEUR DIESEL

Constituants des gaz d'échappement et des gaz présents dans le carter :

Les quatre principaux polluants combattus par les constructeurs sont les suivants :

CO Oxyde de carbone :

L'oxyde de carbone (CO) se dégage lorsqu'il y a manque d'oxygène à la suite d'une combustion incomplète de combustibles carbonés. C'est un gaz incolore, inodore et insipide.

HC Hydrocarbures :

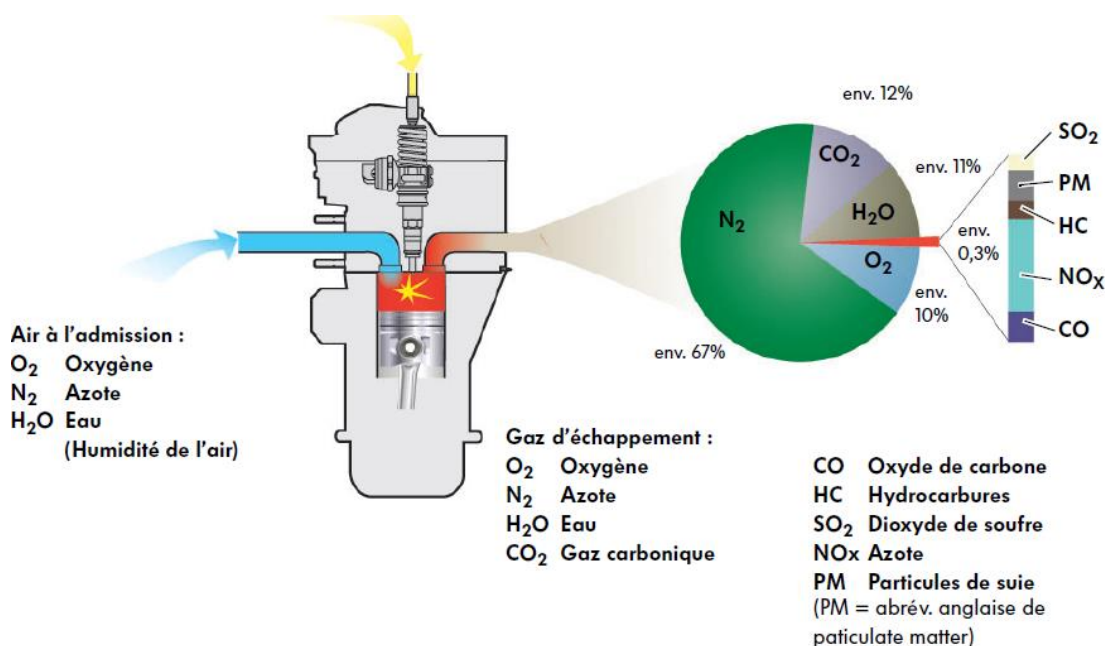
On désigne par hydrocarbures une multitude de différents composés qui se dégagent après une combustion incomplète (Fuites et vapeurs d'huile, Fuites et vapeurs de carburant, Combustion riche...)

NOx Oxydes d'azote :

Les oxydes d'azote (par exemple NO, NO₂, . . .) se forment à forte pression, température élevée et en présence d'un excès d'oxygène pendant la combustion dans le moteur.

Particules de suie :

En cas de manque d'oxygène, il peut se former des particules de suie à la suite d'une combustion incomplète, dans des Zones riches du mélange.



Le gaz carbonique, gaz contenu naturellement dans l'atmosphère, se place dans une zone limite en ce qui concerne sa classification. Il n'est en effet pas toxique mais passe pour être un générateur d'effet de serre lorsque sa concentration augmente. Par contre, l'oxyde de carbone, les hydrocarbures, le dioxyde de soufre, les azotes et les particules de suie sont nocives.

Les mesures visant à réduire les émissions de gaz d'échappement du moteur Diesel

La diminution des émissions de gaz d'échappement du moteur Diesel constitue un des objectifs majeurs de son perfectionnement technologique.

Il existe une série de solutions techniques pour réduire les émissions de gaz d'échappement.

Il convient de différencier les mesures internes et les mesures externes au moteur.

Les mesures internes

Optimisation de la combustion par l'amélioration de la formation du mélange, 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 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 post-chauffage 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.
- La technique multi-soupape;
- 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 :

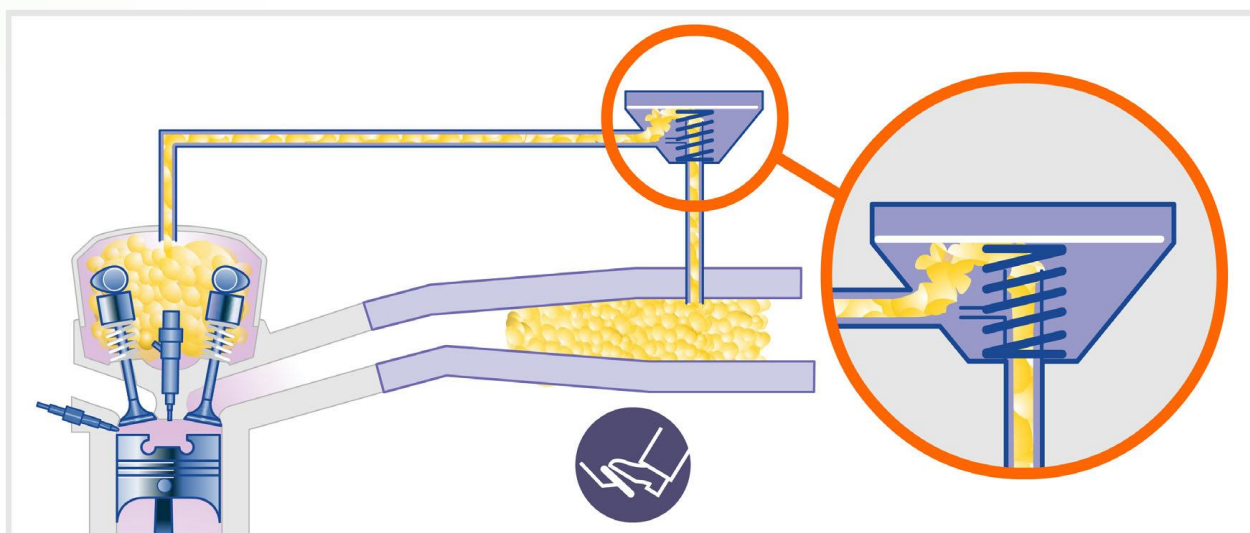
Sur les motorisations diesel des systèmes de dépollution sont installés comme :

- système de Récupération des vapeurs d'huile
- système de Recirculation des gaz d'échappement
- Catalyseurs (catalyseur d'oxydation ; catalyseur SCR ; catalyseur accumulateur NOx)
- Filtre à particules

Système de Récupération des vapeurs d'huile :

Le circuit de réaspiration des vapeurs d'huile sert à recycler les vapeurs de carburant contenues dans l'huile.

Les vapeurs sont acheminées dans la tubulure d'admission via une soupape régulatrice pour être finalement brûlées à la combustion.



A faible charge, les vapeurs d'huile sont recyclées en grande quantité dans la tubulure d'admission.

A forte charge, les vapeurs d'huile sont recyclées en faible quantité via un orifice calibré.

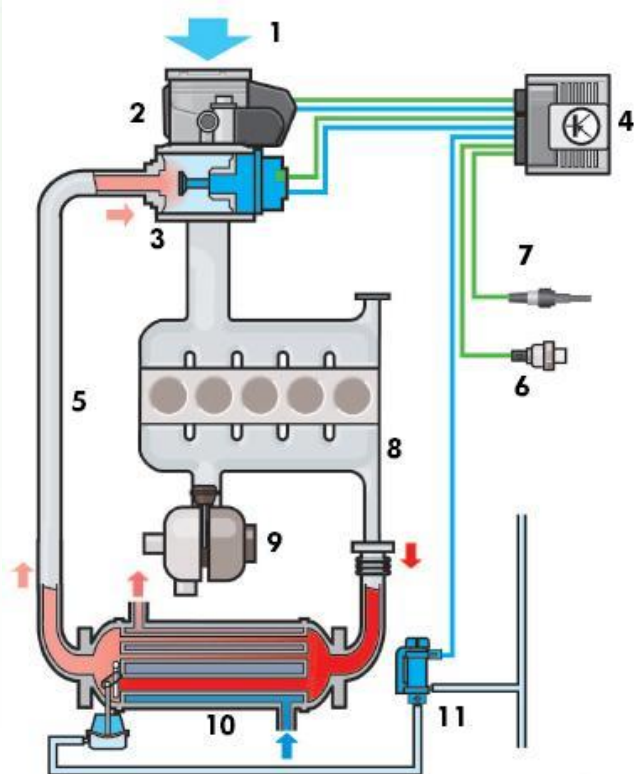
Système de Recirculation des gaz d'échappement

La fonction "Recirculation des gaz d'échappement" ou EGR permet de réduire la teneur en oxydes d'azote des gaz d'échappement.

Principe de fonctionnement :

La vanne EGR est pilotée par un courant pulsé modulé (RCO). En envoyant des gaz d'échappement qui ont déjà brûlé à l'admission, la quantité d'oxygène qui participe à la combustion diminue et donc réduction de la température dans le cylindre en raison de la

capacité calorifique plus élevée des gaz inertes qui ne participent pas à la réaction par exemple, le CO₂.



1 - air d'admission ; 2 - volet de collecteur d'admission avec capteur de position de volet et moteur (étouffoir) ; 3 - soupape de recirculation des gaz d'échappement ; 4 - unité de commande du moteur ; 5 - conduite d'alimentation en gaz d'échappement ; 6 - capteur de température du liquide de refroidissement ; 7 - sonde lambda ; 8 - collecteur d'échappement ; 9 - turbocompresseur ; 10 - radiateur de refroidissement des gaz d'échappement ; 11 - vanne de commutation du radiateur de recirculation

Schéma de recyclage des gaz d'échappement à commande électronique

La quantité des gaz d'échappement à recycler :

La quantité des gaz d'échappement recyclée dépend de :

- Régime moteur
- Volume d'air d'admission
- la température du moteur
- La température et de la pression de l'air d'admission
- la quantité de carburant injecté

Le calculateur moteur détermine la masse d'air entrant dans les cylindres à l'aide d'un débitmètre et calcule la pression dans la tuyauterie d'admission correspondant à sa valeur. Lors de la recirculation des gaz d'échappement, leur masse s'ajoute à la masse d'air frais et la pression dans le collecteur d'admission augmente en conséquence. Le capteur de pression dans le collecteur d'admission réagit à cela en modifiant la tension à sa sortie, qui est transmise à l'entrée de l'unité de commande du moteur. La valeur de ce signal détermine la quantité totale d'air et de gaz d'échappement entrant dans les cylindres du moteur. La quantité de gaz d'échappement contournée est déterminée en soustrayant la quantité d'air frais de la valeur totale.

Dans la conduite de gaz d'échappement devant le filtre à particules se trouve une sonde lambda à large bande 7, dont le signal est utilisé comme valeur de correction pour régler la quantité de gaz d'échappement recerclés. Si la teneur en oxygène dans les gaz d'échappement diffère du paramètre défini pour la caractéristique de recirculation des gaz d'échappement, l'unité de commande du moteur 4 envoie un signal de commande à la soupape de recirculation 3 et modifie en conséquence la quantité de recirculation des gaz d'échappement.

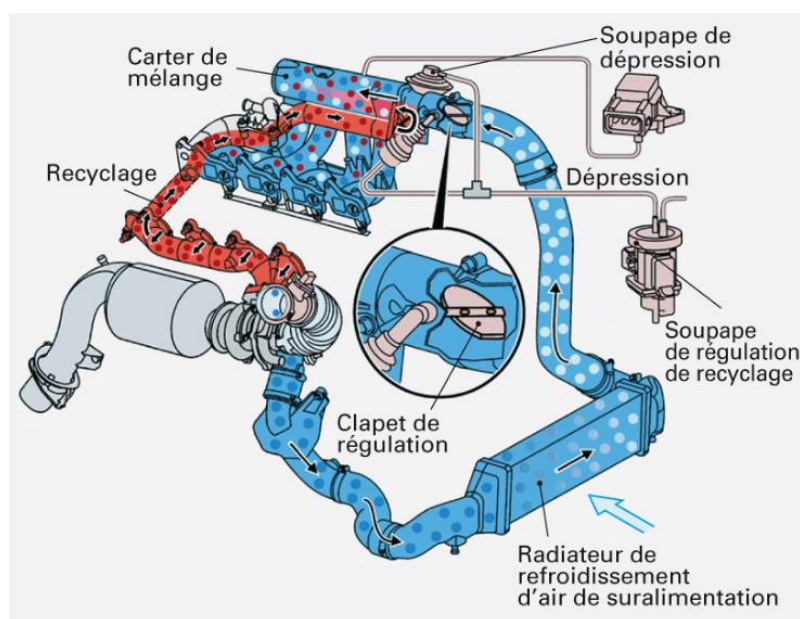
Le refroidisseur de recirculation des gaz d'échappement 10 refroidit les gaz d'échappement recerclés. Cela réduit encore la température de combustion et permet de recycler davantage de gaz d'échappement.

Cependant, indépendamment de l'état thermique du moteur, **le refroidissement des gaz recerclés entraîne une augmentation des émissions d'hydrocarbures et de monoxyde de carbone.** Par conséquent, dans le système de recirculation, une vanne de commutation de radiateur de recirculation 11 est utilisée, qui, en fonction de la température du liquide de refroidissement (généralement inférieure à 50 ° C), dirige les gaz d'échappement vers le radiateur ou le contourne.

Systemes de recirculation haute pression

L'EGR haute pression est installé sur les moteurs diesel qui répondent aux exigences de la norme Euro 4. La teneur autorisée en oxyde d'azote dans les gaz d'échappement selon ces exigences ne doit pas dépasser 0,25 g / km. Le système de recirculation haute pression élimine partiellement les gaz d'échappement du collecteur d'échappement.

L'EGR haute pression dévie les gaz d'échappement à haut débit et à forte suie avant qu'ils ne pénètrent dans le filtre à particules diesel, la suie pouvant se combiner à la vapeur d'huile pour former un encrassement (colmatage d'admission). Les gaz sont ensuite renvoyés dans le collecteur d'admission. Une vanne secondaire est également utilisée pour créer un vide dans le collecteur d'admission, car celui-ci n'est pas naturellement présent dans les moteurs diesel.



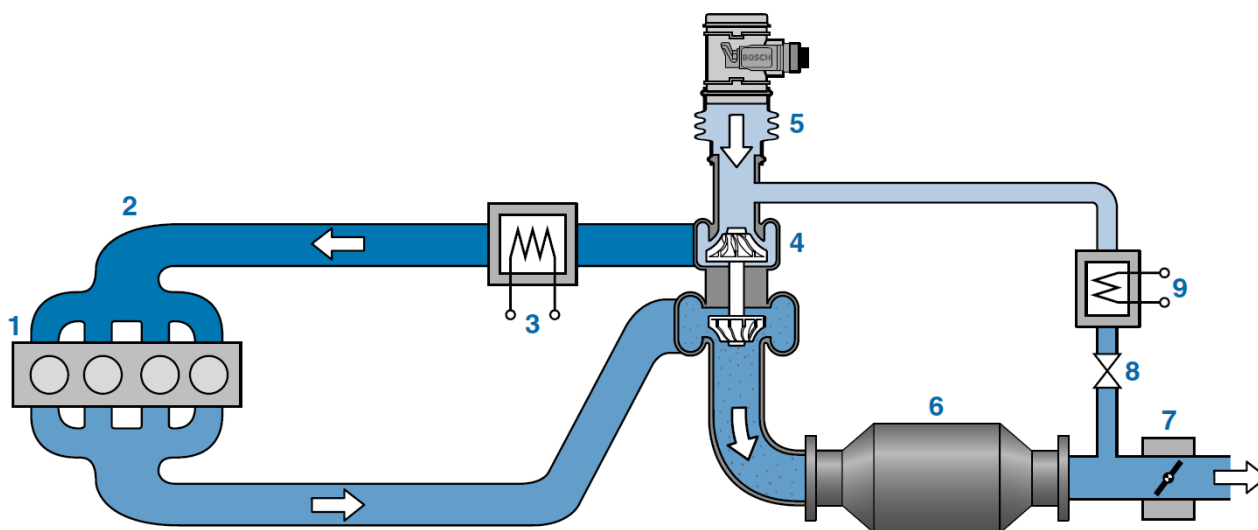
Systèmes de recirculation basse pression

Les moteurs diesel à combustion interne conformes à la norme Euro 5 impliquent un niveau d'oxyde d'azote dans les gaz d'échappement qui ne doit pas dépasser 0,18 g / km. Ces moteurs ont un système EGR basse pression. Une caractéristique de ce système est que les gaz d'échappement sont éliminés derrière le filtre à particules diesel. De plus, les gaz pénètrent dans le radiateur du système de recirculation pour un refroidissement supplémentaire. L'étape suivante est le passage des gaz à travers la vanne de recirculation et la pénétration dans l'admission devant la turbine du turbocompresseur.

Le système EGR basse pression offre les avantages suivants :

- Réduire la quantité de particules de suie ;
- La température des gaz d'échappement est efficacement abaissée;
- Une réduction significative du niveau d'oxydes d'azote dans les gaz d'échappement;

Un avantage supplémentaire est que les gaz d'échappement traversent le turbocompresseur. Cela permet à ce système de recirculation de fonctionner efficacement sans réduire la pression de suralimentation. Il s'avère que le moteur tourne sans perte de puissance.



- 1-Moteur à combustion interne ; 2-collecteur d'admission
 3-refroidisseur intermédiaire (turbocompresseur) ; 4-turbocompresseur
 5-compteur de masse d'air d'admission
 6-catalyseur d'oxydation diesel (DOC) et filtre à particules diesel (DPF)
 7-gaz d'échappement ; 8-Vanne EGR ; 9-Refroidisseur EGR

Système de recirculation des gaz d'échappement (EGR) à basse pression

Désavantages d'EGR basse pression :

- L'augmentation de la température des gaz d'admission peut provoquer une défaillance thermique du compresseur (ce risque peut être atténué en refroidissant les gaz d'échappement)
- La condensation d'eau peut provoquer une érosion (dommage physique) de la roue du compresseur
- Inertie du gaz plus élevée en raison d'un circuit EGR plus long, temps de réponse plus court lors du réglage du taux EGR

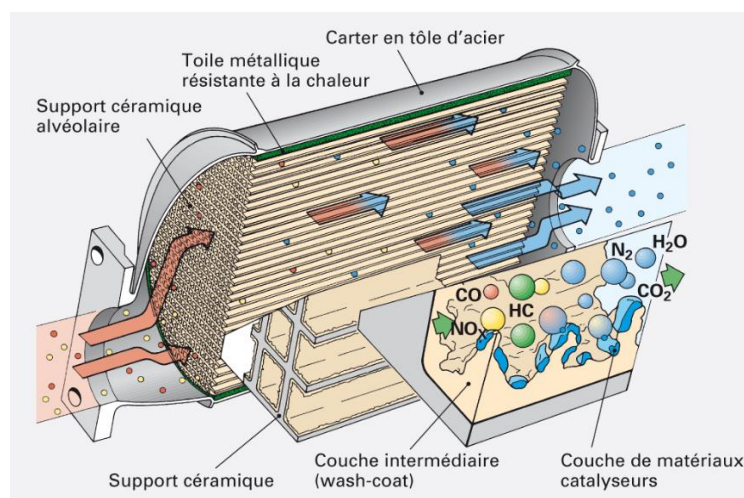
Catalyseur d'oxydation

Le catalyseur d'oxydation (DOC – Diesel Oxidation Catalyst) remplit plusieurs rôles :

- Oxydation des HC (pour former du dioxyde de carbone CO_2 et de l'eau H_2O): plus de 95% de réduction à haute température
- Oxydation du CO (pour former du CO_2): plus de 85 % de réduction à haute température
- Réduction des émissions de particules (fraction organique): de l'ordre de 10% à 30%
- Oxydation du monoxyde d'azote (NO) pour former du dioxyde d'azote (NO_2): de 0 à 30 % des NO_x , le NO_2 représente 20 % à 50 % des NO_x après le passage dans le DOC

Ces réactions se font normalement à très haute température, qui n'est normalement pas atteinte par les gaz d'échappement. Afin de faciliter les réactions chimiques à des températures plus faibles, le catalyseur est imprégné de métaux précieux tels que le platine (Pt) et le palladium (Pd).

Cette montée en température est contrôlée par les sondes de température amont et aval.



Conception et principe de fonctionnement d'un catalyseur en céramique

LES SONDES DE TEMPERATURE

- En amont du catalyseur.
- En aval du catalyseur.

Le capteur de température sur le catalyseur (amont), informe le calculateur d'injection de la température des gaz d'échappement en entrée du catalyseur.

Le capteur de température gaz (aval) en sortie catalyseur donne la température après la catalyse.

La comparaison entre amont et aval permet de savoir si le seuil maximal de conversion du catalyseur est atteint pour une régénération efficace.

Filtre à particules

ROLE :

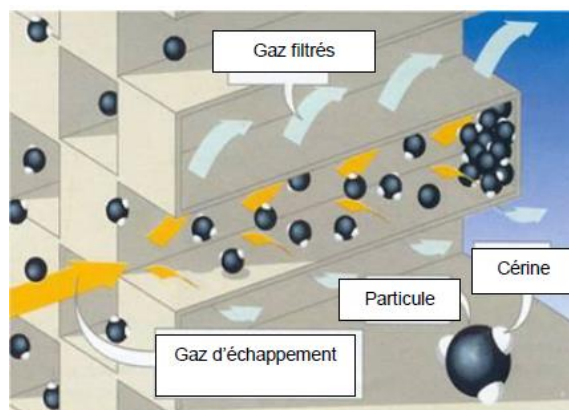
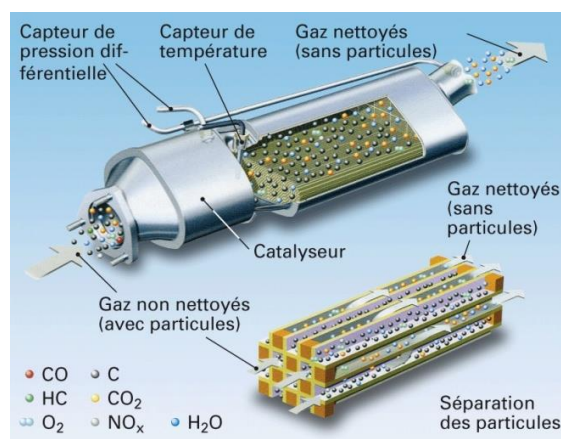
Le FAP est un filtre en carbure de silicium placé sur la ligne d'échappement qui permet de diminuer la pollution des véhicules diesel en filtrant et piégeant plus de 99% des particules et des éléments solides des gaz d'échappement.

Il convient de distinguer deux systèmes le filtre à particules (pour moteur Diesel) avec additif et le filtre à particules sans additif.

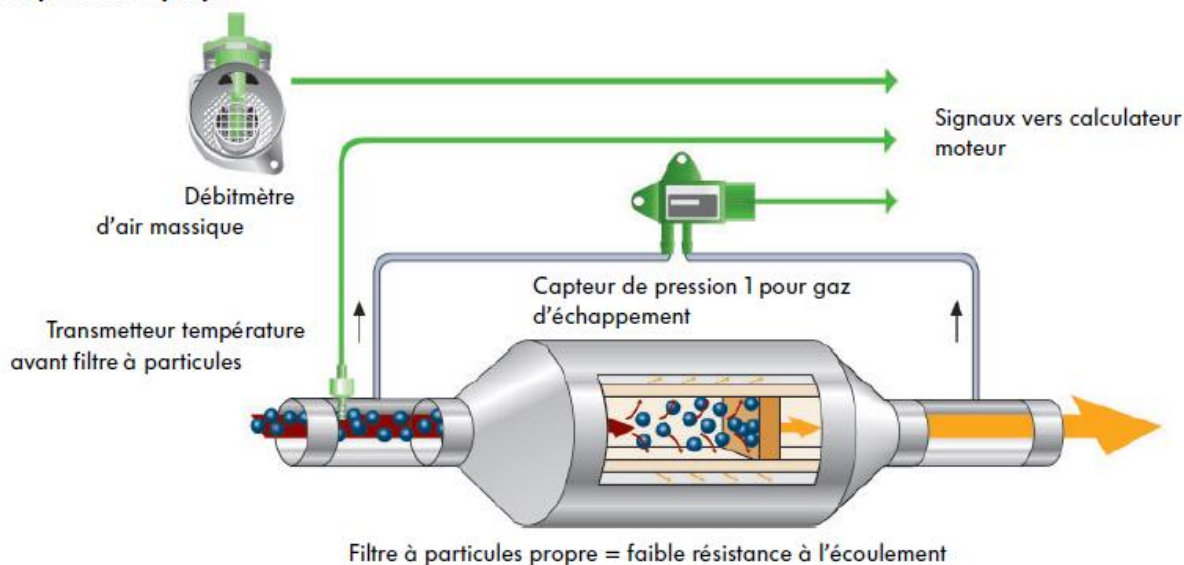
Composants retenus dans le filtre :

- Résidus issus de l'huile et de l'usure du moteur.
- Particules de carbone.
- Cérine (additif acide. Il est conçu pour améliorer la qualité de régénération des FAP avec additif, employé par le constructeur automobile français PSA)
- Cendres (sulfates de Calcium, Zinc, phosphates, chaux)

Les suies provenant de l'échappement, s'accumulent dans le filtre et le colmatent.



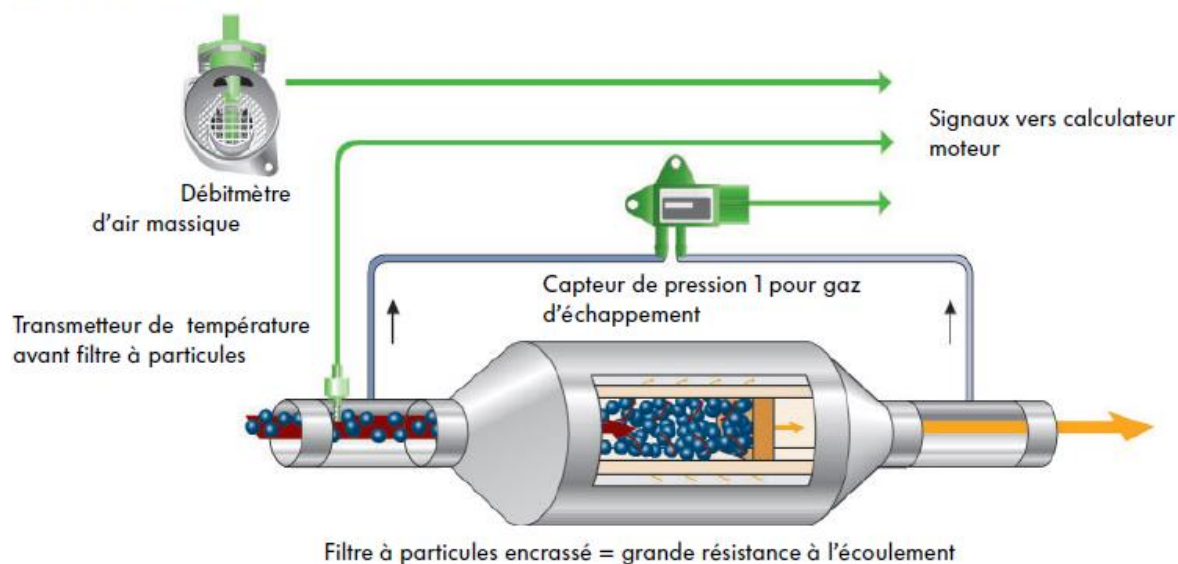
Filtre à particules propre



Une régénération du filtre, c'est à dire une combustion des suies, est alors nécessaire.

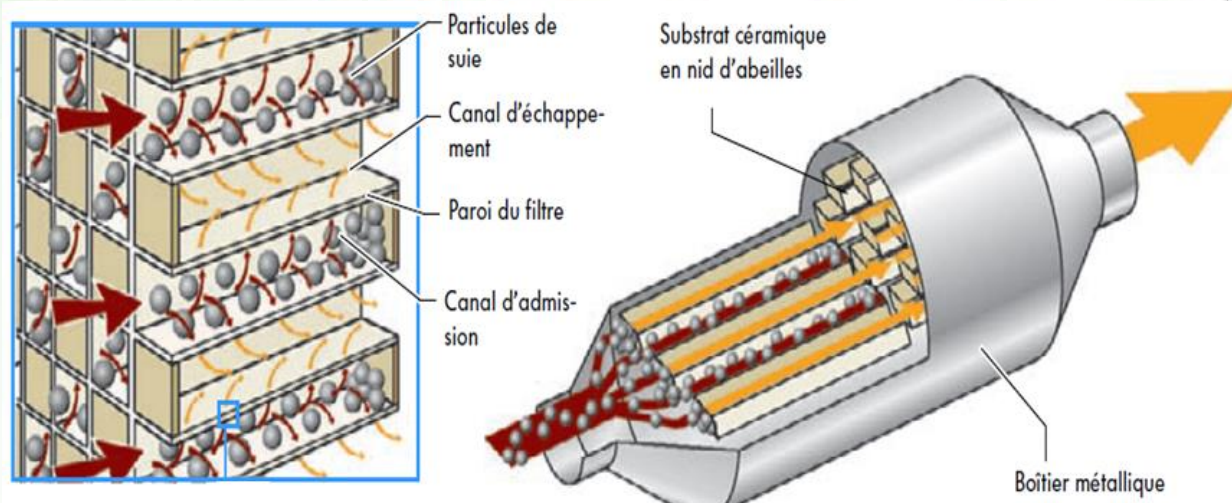
Un remplacement ou un nettoyage sera effectué afin d'éliminer les dépôts après un certain nombre de kilomètres. Les cendres, les résidus (Cérine et particules solides), colmatent le filtre à long terme car ils ne brûlent pas.

Filtre à particules encrassé



Constitution

Le filtre à particules se compose d'un corps en céramique à nid d'abeilles en carbure de silicium logé dans un boîtier de métal. Le corps en céramique est subdivisé en une multitude de petits canaux microscopiques, disposés en parallèle, qui se ferment en alternance.



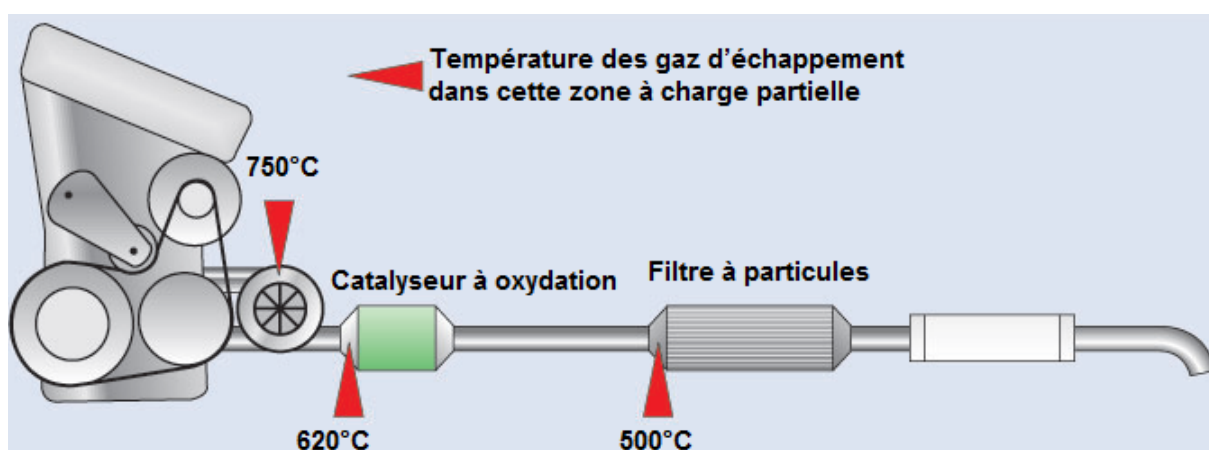
Le carbure de silicium est bien approprié comme matériau de filtrage en raison des caractéristiques suivantes :

- résistance mécanique élevée
- très bonne tenue aux alternances de température
- bonne tenue aux sollicitations thermiques et bonne conductibilité
- forte résistance à l'usure

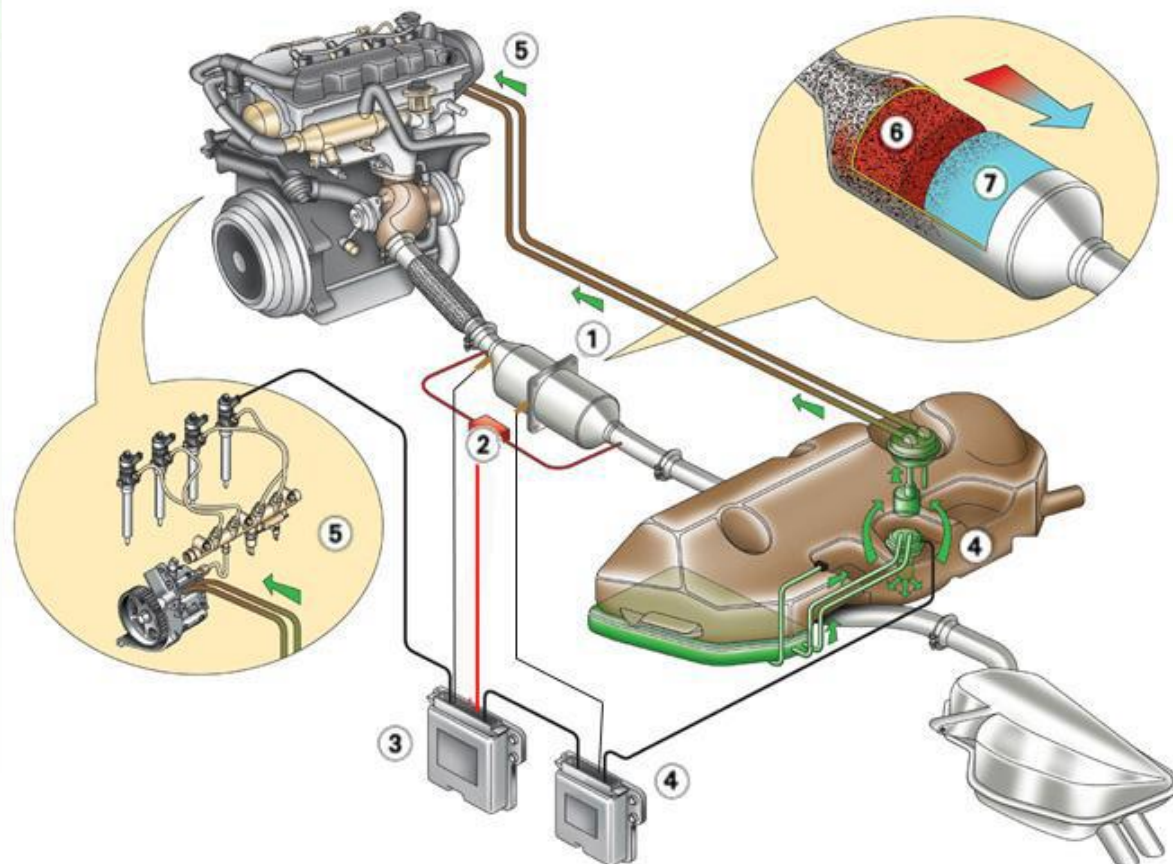
Conception et fonctionnement

Systeme avec additif

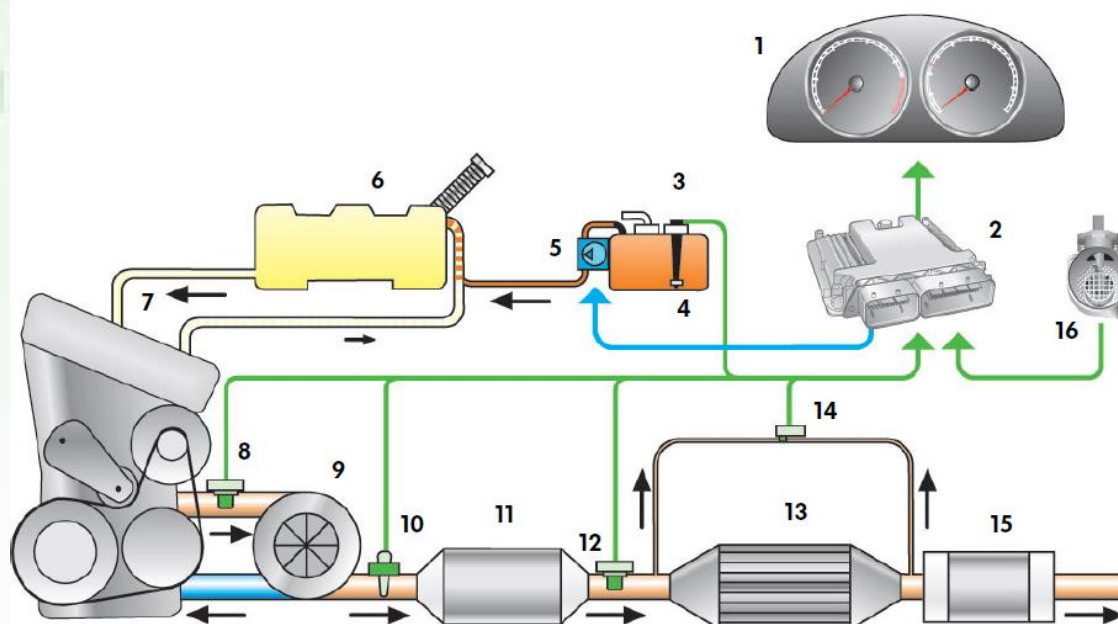
Ce système est utilisé sur les véhicules avec filtre à particules situé loin du moteur. En raison de la longue distance à parcourir par les gaz d'échappement entre le moteur et le filtre à particules, la température d'allumage nécessaire à la combustion des particules ne peut être atteinte qu'avec l'adjonction d'un additif.



Constitution



- 1) Un support filtrant en carbure de silicium associé à un catalyseur placé en amont.
- 2) Des capteurs de contrôle de la température et de la pression régnant dans le filtre à particules.
- 3) Un logiciel évolué de commande et de contrôle du moteur "Common rail". Intégré dans le calculateur "Common rail", ce logiciel constitue le cœur du système. Il pilote la régénération du filtre et assure l'autodiagnostic du système.
- 4) Un système d'additivation du carburant, intégré au véhicule, qui injecte dans le réservoir, à chaque ajout de carburant, les quantités appropriées d'additif à base de cérine.
- 5) Une commande spécifique du moment d'injection pour la gestion de la température des gaz d'échappement : " la post-injection «.
- 6) Un catalyseur d'oxydation.
- 7) Un filtre à particules.

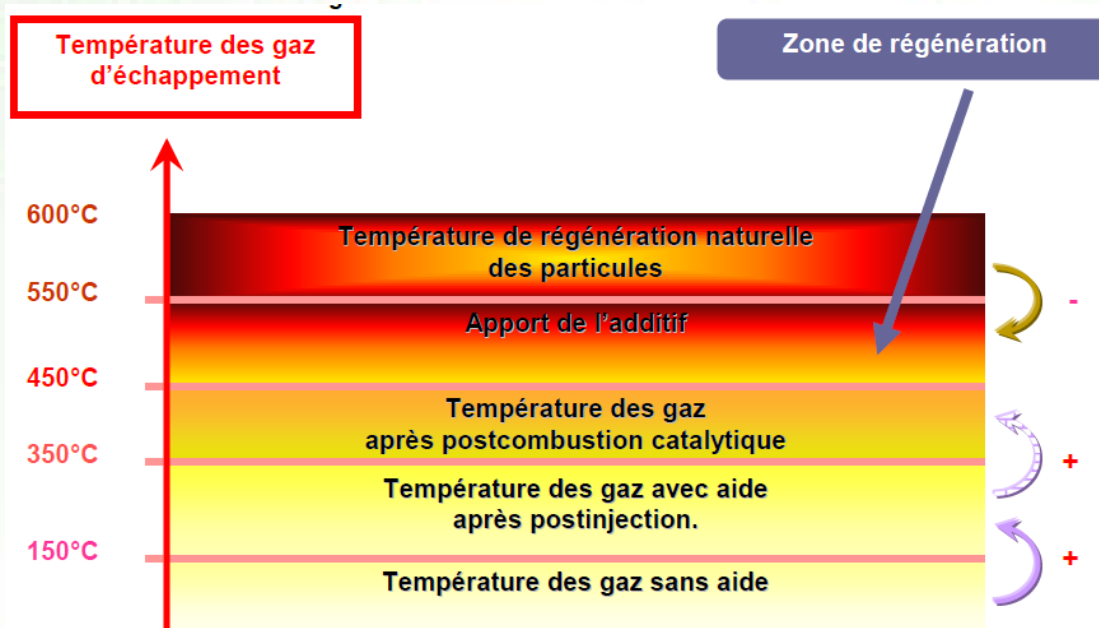


- 1 Calculateur dans porte-instruments ; 2 Calculateur moteur ; 3 Réservoir à additif
 4 Transmetteur de réservoir à additif au carburant ; 5 Pompe pour additif de filtre à particules ; 6 Réservoir à carburant ; 7 Moteur Diesel ; 8 Transmetteur de température en amont du turbocompresseur ; 9 Turbocompresseur ; 10 Sonde lambda G39
 11 Catalyseur à oxydation ; 12 Transmetteur de température en amont du filtre à particules
 13 Filtre à particules ; 14 Capteur de pression 1 pour gaz d'échappement
 15 Silencieux ; 16 Débitmètre d'air massique

Filtre à particule avec additif

La combustion des particules du FAP avec additif

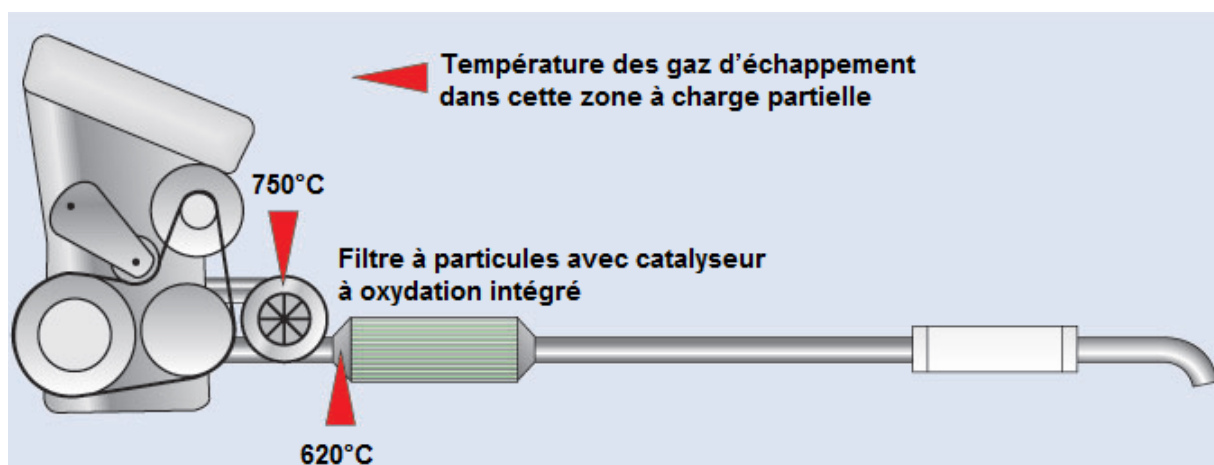
L'accumulation de particules dans le filtre conduirait à terme à son colmatage. C'est pourquoi il est nécessaire de les brûler périodiquement. La température de combustion de ces particules se situe aux alentours de 550 °C. Cette température est difficile à atteindre au niveau du FAP. Par exemple en condition de conduite urbaine, la température atteinte est d'environ 150°C. **Pour augmenter la température des gaz d'échappement, on a recours à une (ou deux) post-injection(s) et on charge éventuellement le moteur par l'utilisation de consommateurs électriques.** Cette action permet d'augmenter la température d'environ 300°C. On atteint donc dans des conditions défavorables environ 450°C. Afin de réussir la régénération, on utilise un additif dans le carburant qui permet aux suies de se consumer à la température de 450°C ; c'est le rôle de la "cérine".



La régénération du FAP avec additif

Systeme sans additif

Ce système est utilisé sur les véhicules avec filtre situé près du moteur. Comme la distance à parcourir par les gaz d'échappement entre le moteur et le filtre à particules est courte, la température des gaz d'échappement sera suffisante pour brûler les particules.



Régénération du filtre à particules

La régénération consiste à brûler périodiquement les particules accumulées dans le filtre pour permettre son maintien en zone de fonctionnement optimal et conserver les meilleures prestations du moteur.

Lors de roulage à faible vitesse, la température des gaz d'échappement est insuffisante pour obtenir la régénération spontanée.

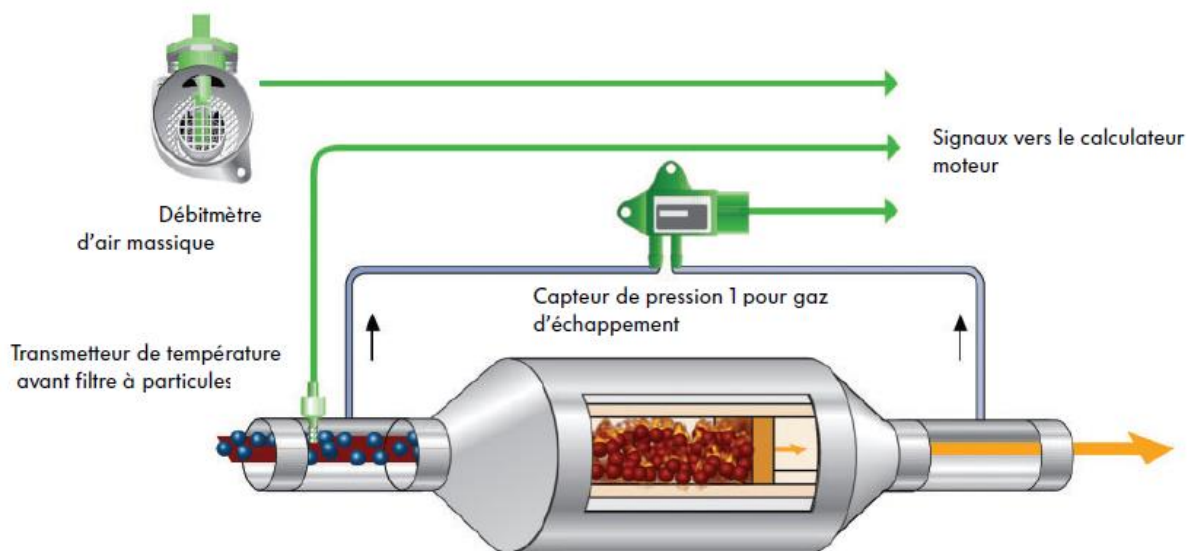
Le calculateur d'injection dispose de plusieurs stratégies permettant d'atteindre la température nécessaire à la combustion des particules.

Le calculateur évalue le besoin de régénérer en fonction des critères suivants :

- **le type de roulage (Roulage type ville et route ou Type autoroute)**
- **la distance parcourue depuis la dernière régénération,**
- **la masse de particules estimée dans le filtre.**

Le capteur de pression différentielle 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 °.

Régénération du filtre à particules



Il existe deux cas de régénération :

- **Régénération naturelle.**

Lorsque la température de l'échappement atteint d'elle-même le seuil de régénération (avec additivation $T^\circ > 450 \text{ }^\circ\text{C}$), les particules brûlent naturellement dans le filtre.

Aucune action extérieure n'est effectuée pour entraîner la régénération.

Les conditions de roulage influent directement sur la température des gaz d'échappement, et en conséquence sur la température interne du filtre.

- **Régénération artificielle.**

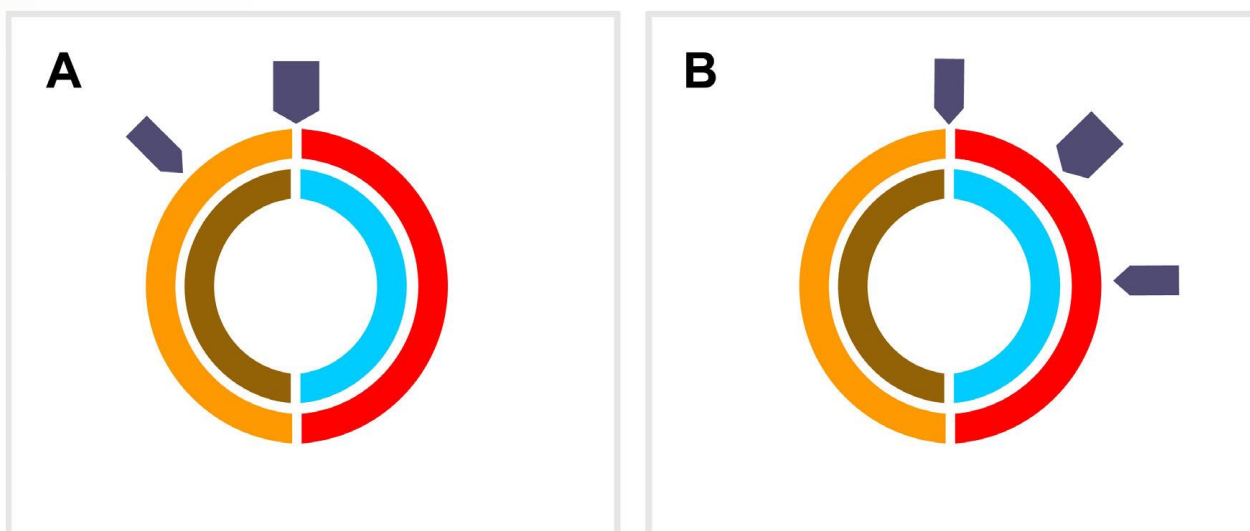
L'aide à la régénération est un ensemble de dispositions géré par le calculateur moteur, ayant pour but d'augmenter la température des gaz d'échappement jusqu'au seuil de combustion des particules.

Le mode d'injection spécifique

Lorsque le calculateur détermine qu'il devient nécessaire de régénérer le filtre à particules, il passe en mode d'injection spécifique

En fonctionnement normal, l'injection de carburant se passe en deux temps (A).

Une pré-injection avant le Point Mort Haut et une injection principale au niveau du Point Mort Haut. En mode d'injection spécifique, la pré-injection et l'injection principale sont décalées (B). Une post-injection intervient également après le Point Mort Haut.



L'injection normale et l'injection spécifique.

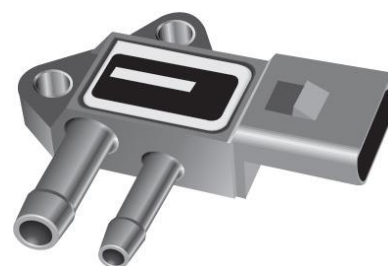
LE CAPTEUR DE PRESSION DIFFERENTIELLE

Composition :

Le capteur est composé des éléments suivants :

- D'une carte électronique pour l'amplification du signal,
- D'une membrane étanche.

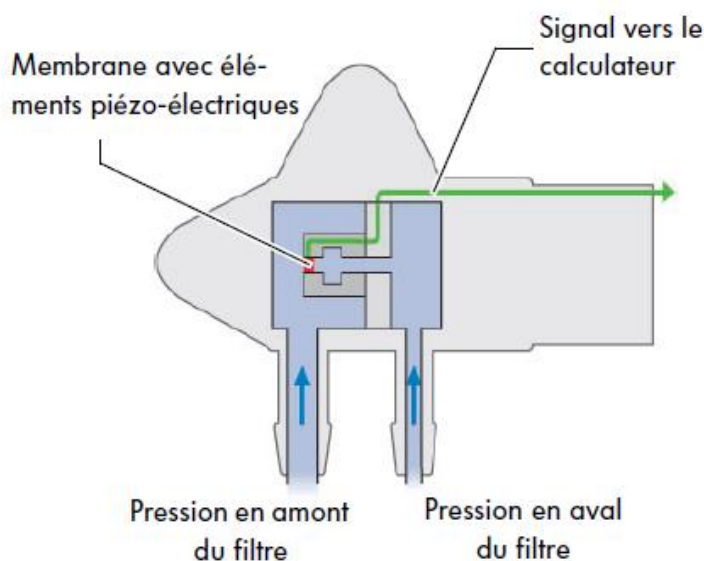
Ce capteur est de type "piézo-résistif".



La membrane est soumise aux pressions suivantes :

- la pression d'entrée du filtre à particules (amont)
- la pression de sortie du filtre à particules (aval)

Le capteur fournit une tension proportionnelle à la pression différentielle mesurée par la membrane. (Delta Pression = Pression amont – Pression aval).

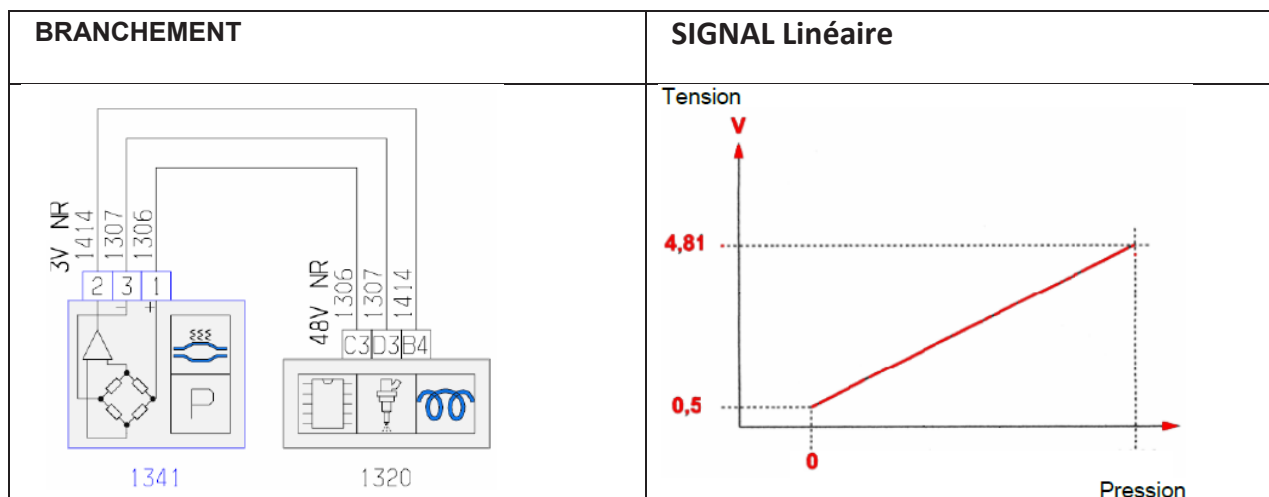


Rôle :

Le capteur mesure en permanence la différence de pression des gaz d'échappement, entre l'amont du catalyseur et l'aval du filtre à particules, pour calculer la charge de l'ensemble.

La quantité de particules présente dans le filtre fait varier sa perte de charge, (pression différentielle entrée / sortie). Cette valeur, mesurée en permanence, représente le niveau de charge du filtre à particules. Les cartographies du calculateur d'injection diesel intègrent plusieurs niveaux de fonctionnement déterminés par des courbes, à partir du calcul du débit volumique des gaz d'échappement. Le débit volumique des gaz d'échappement est calculé principalement à partir des paramètres suivants :

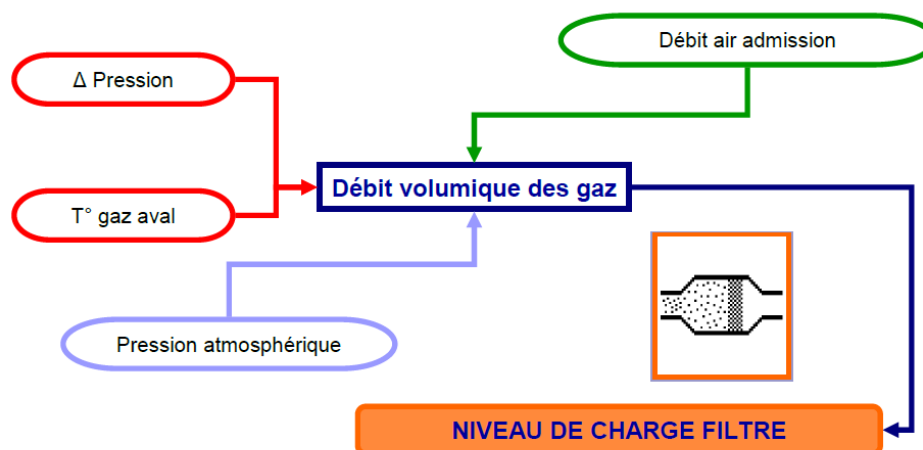
- pression différentielle,
- débit d'air à l'admission,
- pression atmosphérique,
- température gaz d'échappement (en aval du catalyseur).



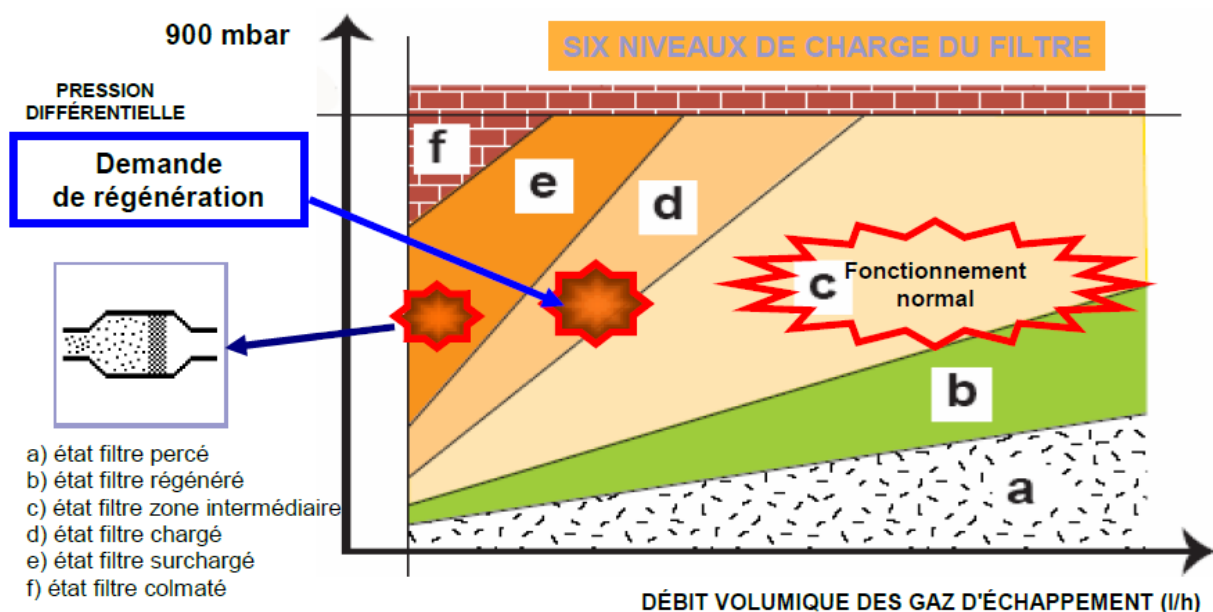
DETERMINATION DES NIVEAUX DE CHARGE DU FILTRE :

La quantité de particules présentes dans le filtre, la cérine et les résidus, font varier sa perte de charge (la pression d'entrée est différente de la pression de sortie). Cette valeur mesurée en permanence, représente le niveau de charge du filtre. Les cartographies du calculateur d'injection intègrent six niveaux de fonctionnement déterminés par des courbes, à partir du calcul du débit volumique des gaz d'échappement. Le débit volumique des gaz d'échappement est calculé principalement à partir des paramètres suivants :

- la pression différentielle,
- la température gaz échappement aval catalyseur,
- le débit d'air à l'admission,
- la pression atmosphérique.



Tracé de la pression différentielle



Les zones de "a" à "f" représentent les différents états de charge gérés par le calculateur moteur. Le but de la régénération est de maintenir le filtre entre les états "b" ou "c" quel que soit le kilométrage véhicule et la conduite adoptée. **Le calculateur demande**

l'activation de la fonction aide à la régénération dans les cas suivants :

- filtre passant de la zone "c" à "d",
- filtre en zone "e",
- filtre en zone "c" et conditions de roulage favorables à la régénération (conditions où la régénération sera plus rapide).

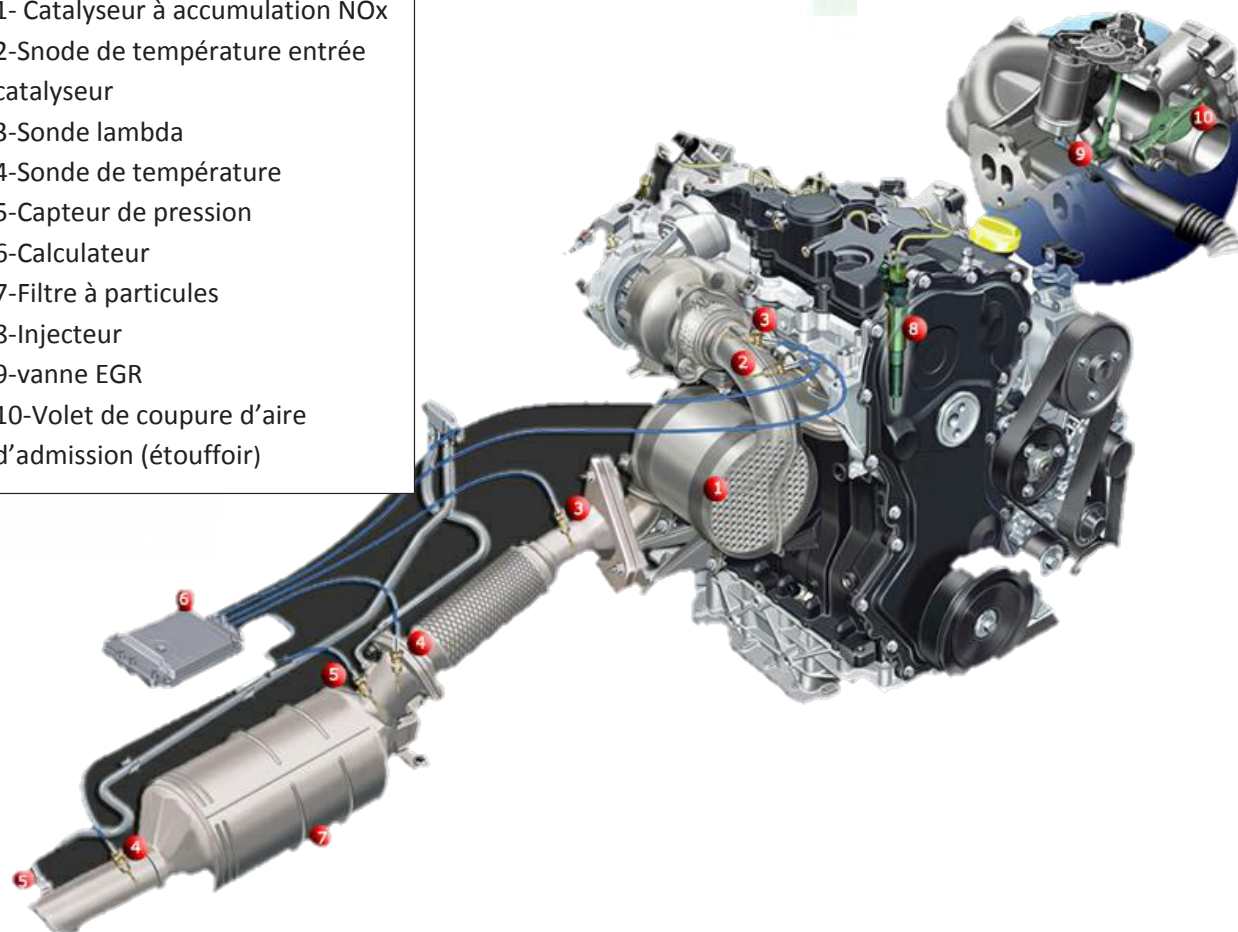
Zone normale de fonctionnement : «de b à d». Lorsque l'on sort de la zone "c" pour aller vers la zone "d" (plus ou moins vite en fonction des conditions de roulage), le calculateur d'injection effectue une demande d'aide à la régénération pour revenir en zone "b" ou éventuellement "c" (suivant les conditions de roulage).

Zone particulière de fonctionnement "e" . Lorsque la régénération s'effectue dans de très mauvaises conditions (extrêmes), la quantité de particules stockée dans le filtre n'est que partiellement détruite. Les particules non brûlées vont surcharger le filtre, la pression différentielle aux bornes du filtre augmentera plus rapidement, le calculateur d'injection passera dans l'état filtre surchargé et activera le pictogramme FAP. **Il s'agit d'un état d'alerte. Zone anormales de fonctionnement "a et f».** Les zones "a" et "f" sont des zones où la pression différentielle est anormale. **Zone "f" filtre colmaté.** La pression différentielle est supérieure à 900 mbar en permanence ou supérieure à un seuil qui est fonction du débit volumique. Lorsque le calculateur d'injection passe dans l'état "**filtre colmaté**" il active le voyant de diagnostic. **Zone "a" filtre percé.** La pression différentielle est inférieure à un seuil, qui est fonction du débit volumique. Lorsque le calculateur d'injection passe dans l'état filtre percé il active le voyant de diagnostic

Catalyseur à accumulation NOx :

C'est un filtre, placé entre le bloc moteur et le filtre à particule, constitué de métaux rares qui capte ces gaz et les accumule. Une fois le stock plein, le système procède à une régénération qui permet de les brûler en repassant dans le moteur mélangé avec le carburant.

- 1- Catalyseur à accumulation NOx
- 2-Sonde de température entrée catalyseur
- 3-Sonde lambda
- 4-Sonde de température
- 5-Capteur de pression
- 6-Calculateur
- 7-Filtre à particules
- 8-Injecteur
- 9-vanne EGR
- 10-Volet de coupure d'air d'admission (étouffoir)



Ligne d'échappement avec Catalyseur à accumulation NOx

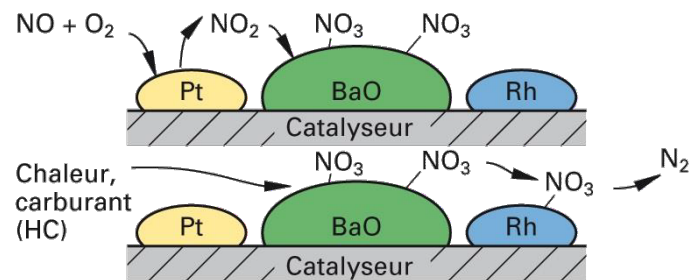
Conception :

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

- 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 NO₂ réagit et se dépose sous forme de nitrate (NO₃) 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 N₂ 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 (SO₂), 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

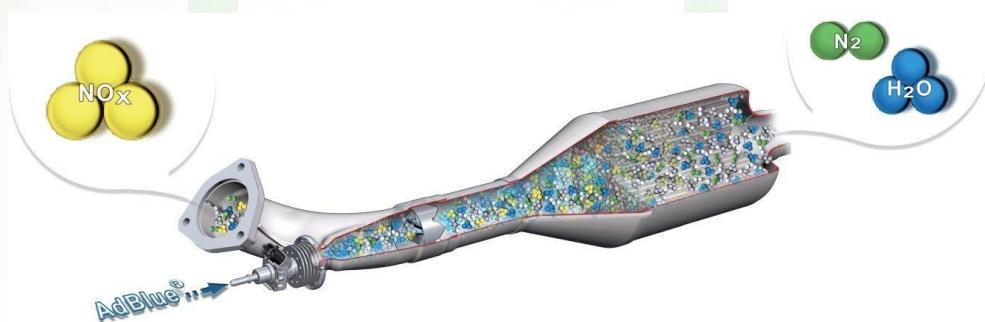


Phase de charge et de régénération d'un catalyseur à accumulation NO_x, pour Diesel

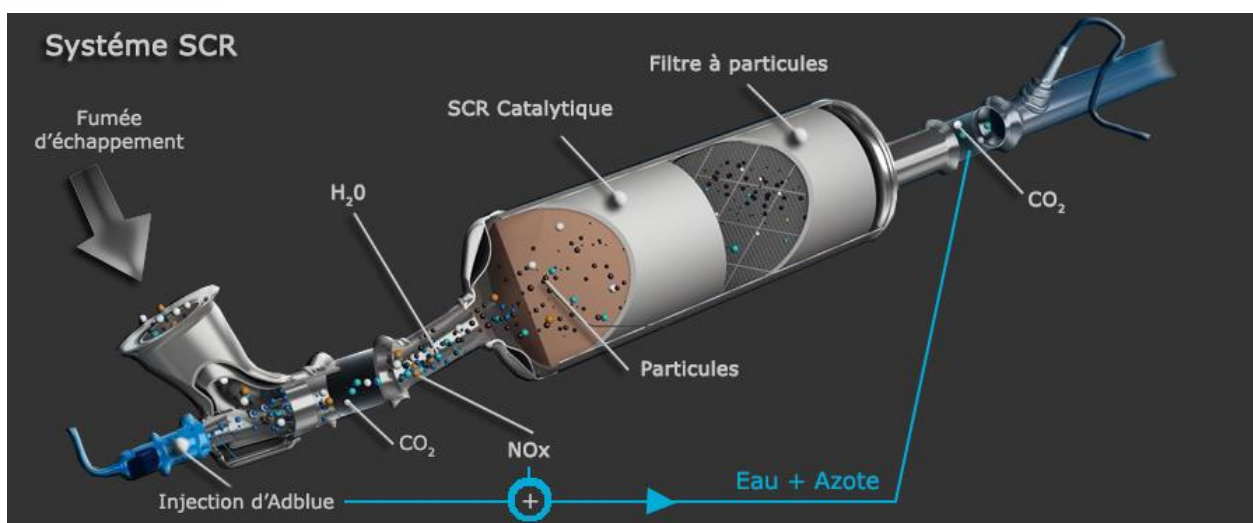
Les limites techniques du LNT (Lean NO_x Trap ou piège à NO_x) ne permettent pas une dépollution dans toutes les phases de roulage. A froid ou en circulation urbaine, son rendement est très faible. Il est moins efficace que le SCR, en 2018 afin de respecter la nouvelle norme Euro 6c de 2017 et surtout répondre aux exigences du RDE (mesures d'émission en conditions de conduite réelles).

Catalyseur SCR (Bluetec) :

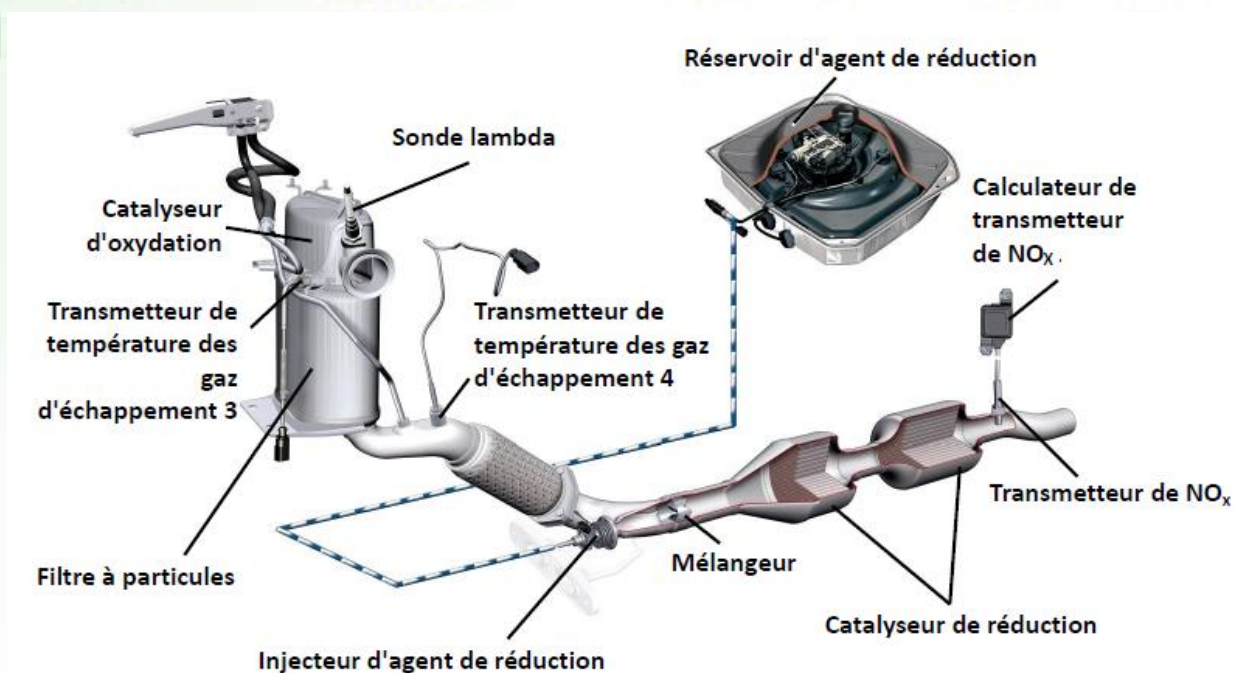
La réduction catalytique sélective (SCR) est un système qui permet la conversion des NOx en azote et en vapeur d'eau, des composants inoffensifs et totalement naturels. Pour ce faire, le système SCR effectue une réaction chimique à l'échappement, au passage des oxydes d'azote et avant leur rejet.



Le SCR fonctionne grâce à l'AdBlue, un fluide qui est injecté à l'échappement par le système. L'AdBlue est composé d'eau déminéralisée et d'urée. La chaleur d'échappement convertit l'AdBlue en ammoniac, ce qui crée la réaction chimique nécessaire pour convertir les oxydes d'azote en azote et en vapeur d'eau.



Constitution et principe de fonctionnement :



Catalyseur SCR (Bluetec)

Le catalyseur de réduction atteint sa température de service à une température de l'ordre de 200 °C. Le calculateur du moteur reçoit du transmetteur 4 de température des gaz d'échappement l'information relative à la température des gaz d'échappement en amont du catalyseur de réduction.

L'agent de réduction AdBlue® est aspiré par la pompe d'agent de réduction dans le réservoir d'agent de réduction et pompé avec une pression d'env. 5 bars dans la conduite d'alimentation chauffante allant à l'injecteur d'agent de réduction.

L'injecteur d'agent de réduction est piloté par le calculateur du moteur et injecte l'agent de réduction dosé dans la ligne d'échappement. L'agent de réduction injecté est entraîné par le flux des gaz d'échappement et réparti uniformément dans les gaz d'échappement par le mélangeur. Dans le circuit allant au catalyseur de réduction, également appelé circuit d'hydrolyse, l'agent de réduction est décomposé en ammoniac (NH₃) et dioxyde de carbone (CO₂). Dans les catalyseurs de réduction, l'ammoniac (NH₃) réagit avec les oxydes d'azote (NO_x) pour donner de l'azote (N₂) et de l'eau (H₂O). Le rendement du système SCR est enregistré par le transmetteur de NO_x.

Les conditions suivantes doivent être remplies pour que le calculateur du moteur injecte l'agent de réduction :

- Le catalyseur de réduction a atteint sa température de service d'env. 200 °C.

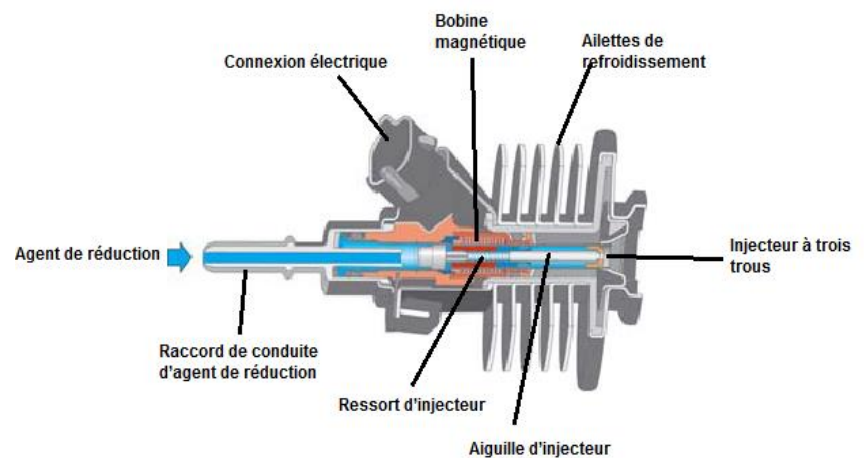
- Une quantité suffisante d'agent de réduction pour l'injection doit être garantie à des températures extérieures basses.

Dans les conditions suivantes, l'injection de l'agent de réductions est interrompue par le calculateur du moteur :

- Dans le cas d'un flux massique de gaz d'échappement trop faible, au ralenti par exemple.
- Lorsque la température des gaz d'échappement chute trop et que la température de service du catalyseur de réduction n'est pas atteinte.

Injecteur d'agent de réduction

Il a pour fonction d'injecter l'agent de réduction préalablement dosé dans le flux de gaz d'échappement. Il est piloté par le calculateur du moteur par un signal à modulation de largeur d'impulsion.



La pression de l'agent de réduction, générée par la pompe d'agent de réduction, est appliquée dans l'injecteur.

En position de repos, l'aiguille de l'injecteur ferme les orifices d'échappement sous l'effet de la force du ressort d'injecteur.

Pour injecter l'agent de réduction, la bobine magnétique est pilotée par le calculateur du moteur. Il y a alors génération d'un champ magnétique, qui soulève le noyau mobile d'injecteur et l'aiguille d'injecteur. L'injecteur s'ouvre et l'agent de réduction est injecté.

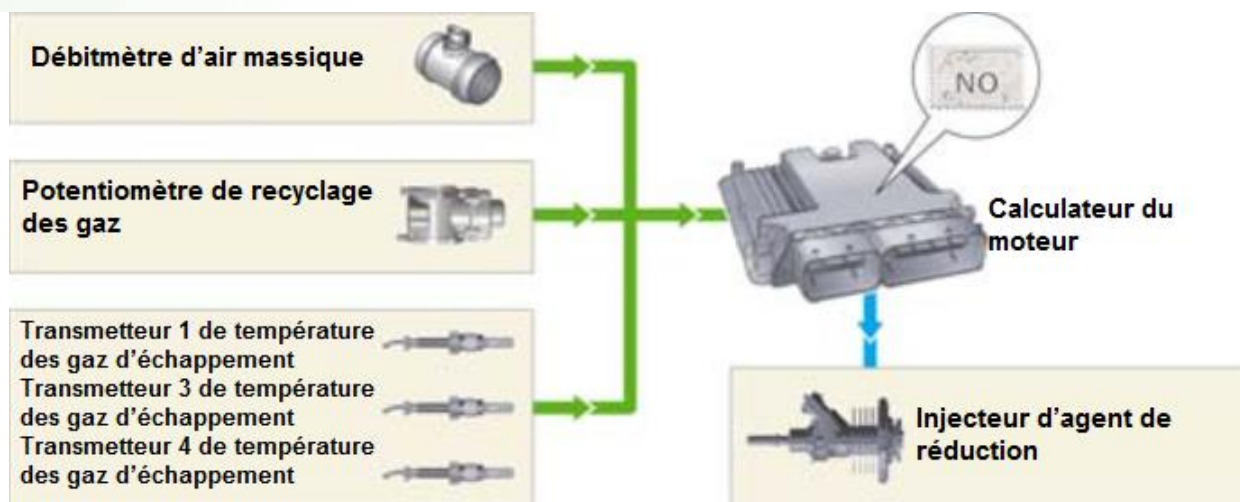
Lorsque la bobine magnétique n'est plus pilotée, le champ magnétique est supprimé et l'aiguille d'injecteur est fermée sous l'effet de la force du ressort d'injecteur.

Dans le cas d'un injecteur défectueux, l'injection d'agent de réduction dans le système d'échappement n'est pas possible. Les teneurs en polluants des gaz d'échappement ne peuvent plus être respectées. Le témoin de dépollution (MIL) et le témoin d'alerte AdBlue® indiquant un défaut du système à l'écran du combiné d'instruments sont activés.

Calcul de la quantité d'injection d'agent de réduction

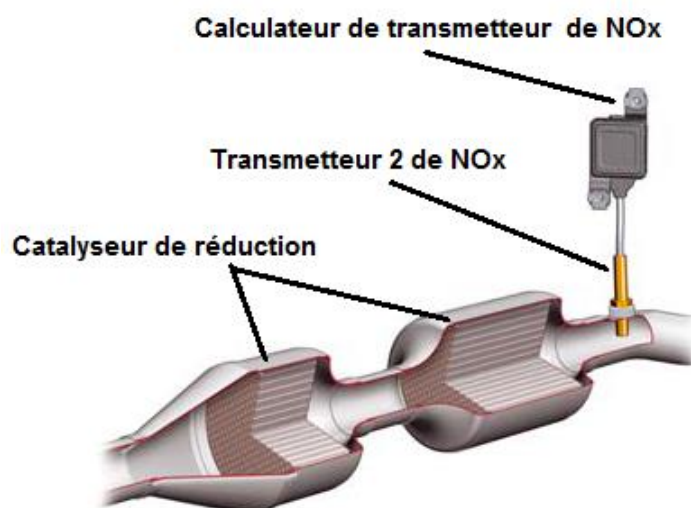
La quantité d'injection d'agent de réduction requise est calculée par le calculateur du moteur et dépend des facteurs suivants :

- État de service du moteur
- Température des gaz d'échappement
- Teneur en oxydes d'azote dans le flux massique de gaz d'échappement



Capteur d'oxydes d'azote

Le transmetteur de NOx est vissé directement en aval du catalyseur de réduction dans le tuyau d'échappement. Il sert à la détermination de la teneur en oxydes d'azote dans les gaz d'échappement, qui est ensuite évaluée par le calculateur de transmetteur de NOx.



le rendement du catalyseur de réduction est déterminé à l'aide du signal du transmetteur de NOx. Pour cela, la valeur mesurée est comparée à un modèle de calcul des oxydes d'azote mémorisé dans le calculateur du moteur. Si un rendement défini n'est pas atteint,

le témoin de dépollution. (MIL) et le témoin d'alerte AdBlue® indiquant un défaut du système sont activés et un défaut est mémorisé dans la mémoire de défauts.

Fonctionnement du transmetteur de NOx

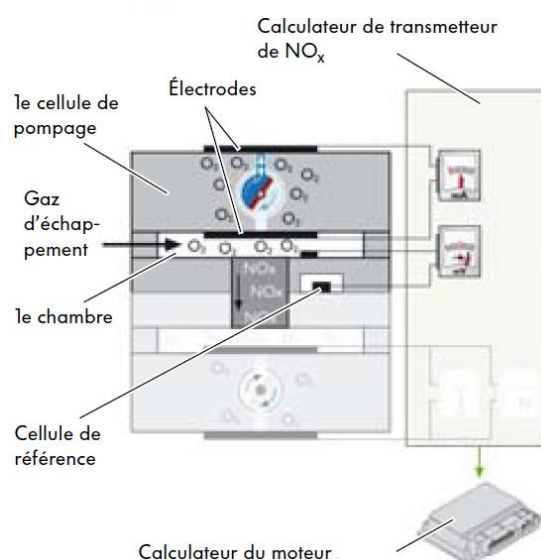
Le fonctionnement du transmetteur de NOx se base sur la mesure de l'oxygène et est dérivé d'une sonde lambda à large bande.

Fonction de la première chambre

Une partie des gaz d'échappement est refoulée dans la première chambre.

Dans la première chambre, la concentration d'oxygène est réduite pour pouvoir mesurer la faible teneur en oxydes d'azote dans les gaz d'échappement.

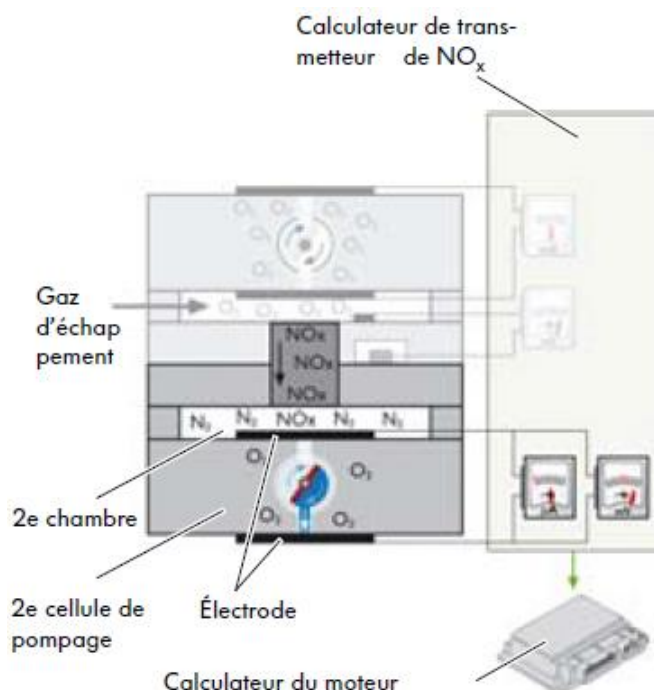
En raison des teneurs différentes dans les gaz d'échappement et de la cellule de référence, une tension électrique est mesurable au niveau des électrodes. Le calculateur de transmetteur 2 de NOx règle cette tension à une valeur constante. Cette valeur correspond à un rapport air-carburant de lambda 1. La cellule de pompage aspire ou ajoute de l'oxygène par pompage, permettant de réguler la concentration d'oxygène dans la première chambre à une valeur définie.



Fonction de la deuxième chambre

Les gaz d'échappement sont refoulés de la première dans la deuxième chambre. Les molécules de NOx contenues dans les gaz d'échappement sont scindées en N2 et O2 au niveau d'une électrode spéciale.

Comme une tension homogène de 400 mV est régulée au niveau des électrodes intérieure et extérieure, les ions d'oxygène migrent de l'électrode intérieure vers l'électrode extérieure. Le flux d'oxygène pompé refoulé constitue la mesure de la teneur en

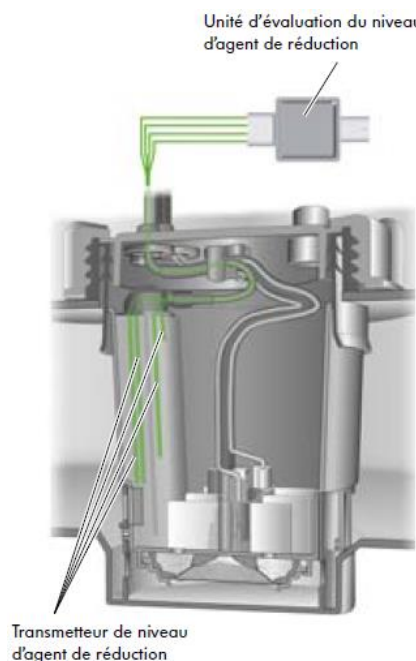


azote dans la deuxième chambre. Comme le flux d'oxygène pompé présente un rapport identique à celui de la teneur en oxydes d'azote dans les gaz d'échappement, il est possible, à partir de là, de déterminer la teneur en oxydes d'azote.

En cas de défaillance du signal, un défaut est mémorisé dans la mémoire de défauts du calculateur du moteur ; le témoin de dépollution (MIL) et le témoin d'alerte AdBlue® indiquant un défaut du système s'allument à l'écran du combiné d'instruments.

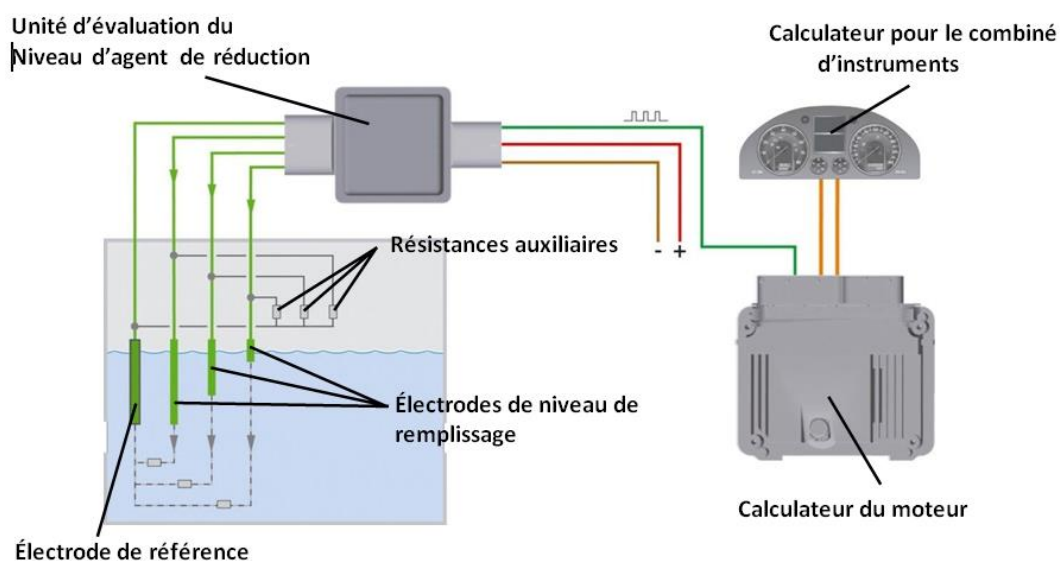
Transmetteur de niveau d'agent de réduction avec unité d'évaluation du niveau d'agent de réduction :

L'unité d'évaluation évalue les signaux du transmetteur de niveau d'agent de réduction et transmet un signal à modulation en largeur d'impulsion (MLI) au calculateur du moteur. Elle est fixée à l'extérieur du réservoir, sur le dessus de ce dernier.



Fonction

À l'aide des signaux du transmetteur de réservoir d'agent de réduction, l'unité d'évaluation détermine 3 différents niveaux du réservoir rempli d'agent de réduction. Les trois mesures de niveau différentes sont utilisées pour différents niveaux de signalisation d'alerte de ravitaillement en agent de réduction.



Transmetteur de niveau du réservoir

Principe de fonctionnement

Pour déterminer le niveau de remplissage du réservoir, il est fait appel à la conductivité électrique de l'agent de réduction entre les indicateurs de niveau (électrodes de travail) et l'électrode de référence.

L'unité d'évaluation applique à intervalles consécutifs rapprochés une tension alternative au niveau des électrodes de travail et de l'électrode de référence. Un courant électrique peut circuler entre deux indicateurs de niveau (électrode de travail et électrode de référence) si tous deux sont plongés dans l'agent de réduction.

L'unité d'évaluation détermine sur la base de la conductivité électrique si le niveau se trouve au-dessus ou en dessous de l'indicateur de mesure considéré.

La présence et l'absence d'agent de réduction provoque une modification de la résistance entre les deux indicateurs de mesure. Cette variation de la résistance est enregistrée par l'unité d'évaluation et convertie en signal à l'attention du calculateur du moteur. Les « états de fluctuation » sont « amortis » électroniquement par l'unité d'évaluation.

Un appoint d'agent de réduction est détecté avec une temporisation par le système du fait de l'« amortissement électronique ».

Afin de signaler au conducteur, en cas de niveaux bas, qu'il faut faire l'appoint d'agent de réduction, le calculateur du moteur transmet un signal au calculateur dans le combiné d'instruments.

En cas de défaillance de l'indicateur de niveau, il n'est plus possible de déterminer le niveau de remplissage du réservoir d'agent de réduction. Le système SCR reste toutefois actif. Sur l'écran, le témoin d'alerte AdBlue® indiquant un défaut du système est allumé et le témoin de dépollution est activé.

Exigences de la législation : En cas d'utilisation d'un agent de réaction supplémentaire pour le post-traitement des gaz d'échappement, **la législation régissant la norme antipollution Euro 5 exige une interdiction de redémarrage** dans les conditions suivantes :

- Le niveau d'agent de réduction dans le réservoir est insuffisant.
- Le dosage d'agent de réduction (injection) n'est pas possible en raison de défauts du système.
- La qualité de l'agent de réduction est insuffisante.
- La consommation d'agent de réduction diffère de la valeur de consigne.
- Le catalyseur d'agent de réduction est défectueux.