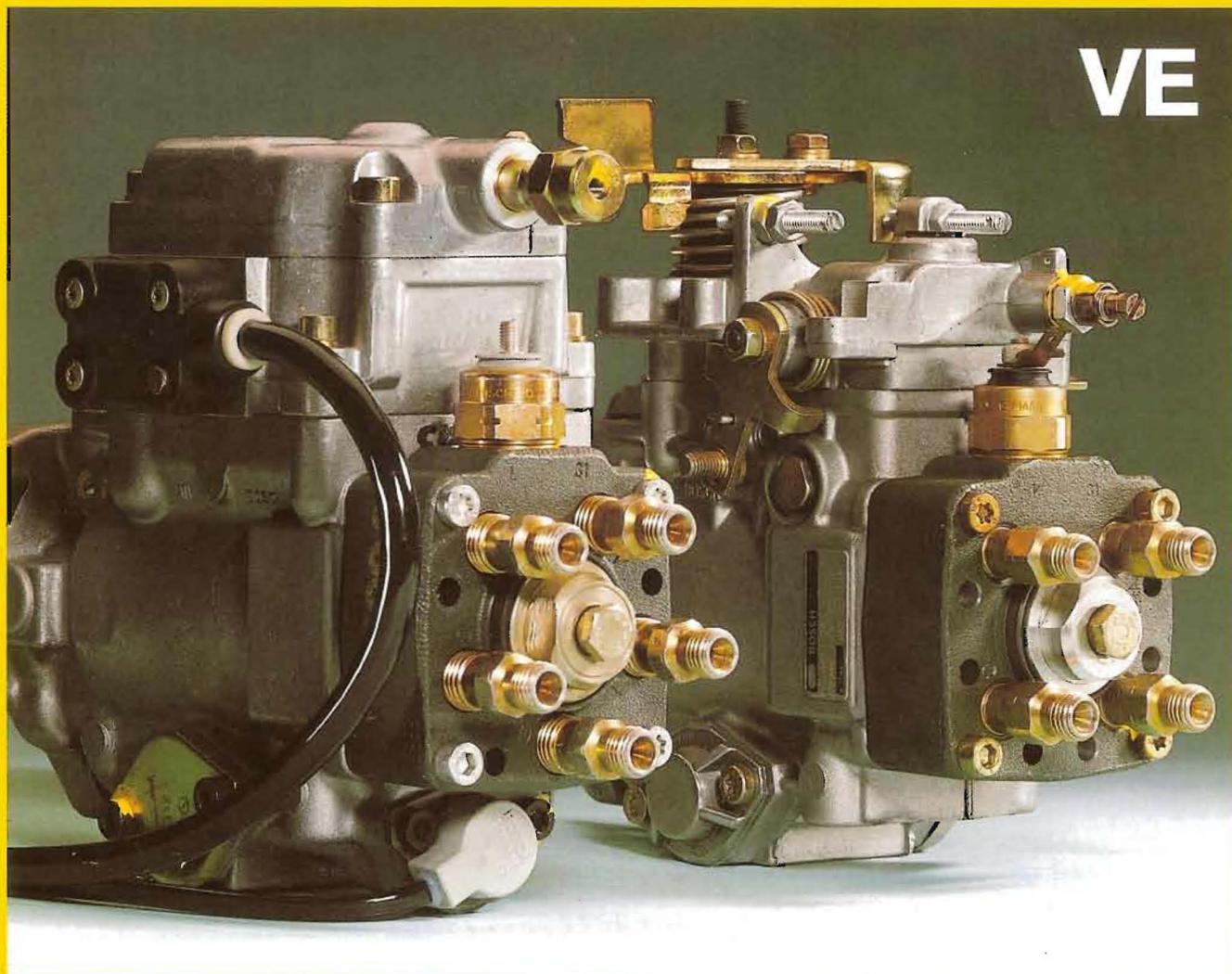


Commandes pour moteurs diesel

Pompes d'injection distributrices diesel

Edition 2000



VE

Cahier technique



BOSCH

Pompes d'injection distributrices diesel VE

Pourquoi les véhicules à moteur diesel bénéficient-ils d'une telle demande ? La réponse à cette question dévoile un motif évident : leur consommation est bien inférieure à celle des véhicules à moteur à essence. Par ailleurs, le comportement au démarrage et la souplesse de fonctionnement des moteurs à allumage par compression se rapprochent de plus en plus des propriétés du moteur à allumage commandé. Grâce à un pot catalytique, le niveau d'émissions polluantes gazeuses est identique à celui des moteurs à essence, voire même, dans certains cas, inférieur. Les émissions de CO₂, responsables de l'effet de serre, sont également d'un moindre niveau sur le moteur diesel – en raison de la plus faible consommation. Le rejet de particules polluantes, typique du moteur diesel, a pu être considérablement réduit au cours des dernières années.

Les systèmes d'injection diesel de Bosch ont aussi contribué à accroître la popularité des moteurs diesel à régime rapide qui équipent les voitures particulières. La haute précision de la pompe d'injection distributrice de type VE permet le dosage exact d'infimes quantités de carburant. Une variante spéciale de régulateur, conçue pour les voitures particulières, optimise les qualités de conduite d'une automobile moderne grâce à la sensibilité de réponse du moteur à chaque manœuvre de la pédale d'accélérateur.

Un autre perfectionnement important est obtenu par l'introduction de la régulation électronique diesel (RED)*.

Le présent Cahier technique décrit la conception de la pompe distributrice de type VE et la façon dont elle module le débit de carburant, le début et la durée d'injection en fonction des différents états de fonctionnement du moteur.

Combustion diesel	
Moteur diesel	2

Panorama de la technique d'injection diesel	
Applications, exigences, types	4

Pompes d'injection distributrices à piston axial à régulation mécanique VE	
Systèmes d'injection	8
Technique d'injection	9
Refoulement du carburant	12
Régulation mécanique de la vitesse de rotation	22
Avance à l'injection	29
Dispositifs d'adaptation et d'arrêt	32
Technique d'essai pour garages	45
Injecteurs et porte-injecteurs	46

Pompes d'injection distributrices à piston axial à régulation électronique VE-RED*	54
---	----

Pompes d'injection distributrices à piston axial commandées par électrovanne VE-MV	60
---	----

Auxiliaires de démarrage pour moteurs diesel	62
---	----

*Dans ce manuel en langue française, il est logique de donner la préférence à l'abréviation française RED (Régulation Electronique Diesel) sur l'acronyme anglais EDC (Electronic Diesel Control).

Combustion diesel

Moteur diesel

Principe du diesel

Le moteur diesel est un moteur à auto-allumage qui n'aspire que de l'air et le comprime fortement. Il constitue la machine à combustion interne qui présente le meilleur rendement global (certains moteurs de grosse cylindrée et à régime lent offrent un gain de rendement de 50% et plus).

La faible consommation de carburant qui en résulte, la forte diminution des polluants à l'échappement et l'abaissement substantiel du niveau sonore soulignent l'importance du moteur diesel.

Les moteurs diesel peuvent fonctionner soit suivant le cycle à deux temps, soit suivant le cycle à quatre temps. La plupart des véhicules automobiles sont toutefois équipés de moteurs diesel à quatre temps (figures 1 et 2).

Cycle de travail

Le pilotage du renouvellement des gaz d'un moteur diesel à quatre temps est assuré par des soupapes qui ouvrent ou ferment les canaux d'admission et d'échappement du cylindre.

Admission

Au cours du premier temps, l'admission, la descente du piston du moteur entraîne l'aspiration normale, c'est-à-dire sans étranglement, de l'air par la soupape d'admission ouverte.

Compression

Pendant le deuxième temps, la compression, la montée du piston induit la compression de l'air aspiré en fonction du taux de compression spécifique du moteur (14 : 1 à 24 : 1). L'air atteint alors une température pouvant

s'élever à 900 °C. A la fin de la phase de compression, l'injecteur envoie le carburant sous haute pression (2000 bar maximum) dans l'air comprimé et chaud.

Combustion et détente (temps moteur)

Une fois le délai d'inflammation écoulé, le carburant finement pulvérisé s'enflamme par auto-allumage au début du troisième temps, la combustion, et brûle presque complètement. La charge du cylindre continue de s'échauffer et la pression dans le cylindre augmente. L'énergie libérée par la combustion est transmise au piston. Celui-ci effectue alors un nouveau mouvement descendant et l'énergie de combustion est convertie en travail mécanique.

Echappement

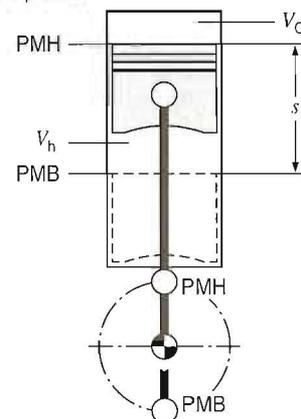
Au cours du quatrième temps, l'échappement, la descente du piston assure l'évacuation de la charge brûlée par la soupape d'échappement ouverte.

Le prochain cycle de travail s'annonce par une nouvelle aspiration d'air frais.

Figure 1

Principe du moteur à pistons alternatifs.

PMH point mort haut, PMB point mort bas, V_h cylindrée, V_c volume de compression, s course du piston.



UMM0001F

Chambres de combustion et suralimentation

Les moteurs diesel utilisent des procédés de combustion à chambre divisée ou à chambre non divisée (moteurs à préchambre/moteurs à injection directe).

Les moteurs à injection directe présentent un meilleur rendement et fonctionnent plus économiquement que les moteurs à préchambre. Leur application s'étend donc à tous les types de véhicules utilitaires. En raison de leur faible niveau sonore, les moteurs à chambre auxiliaire sont surtout destinés aux voitures où le confort de roulage joue un rôle essentiel. Par ailleurs, leur génération de polluants à l'échappement (HC et NO_x) est nettement moins importante et leurs coûts de fabrication bien moins élevés. A cause de leur surcroît de consommation (10 à 15%), ils sont cependant de plus en plus remplacés par des moteurs à injection directe. Comparée au moteur à essence, chacune des deux versions s'avère plus économique dans la plage de charge partielle.

Le moteur diesel convient parfaitement au procédé de suralimentation par turbocompresseur à gaz d'échappement. Ce mode de suralimentation du moteur diesel augmente non seulement la puissance et, par conséquent, le rendement, mais réduit surtout le taux de polluants dans les émissions et abaisse le niveau sonore.

Gaz d'échappement du moteur diesel

La combustion du carburant diesel génère la formation de résidus de toutes sortes.

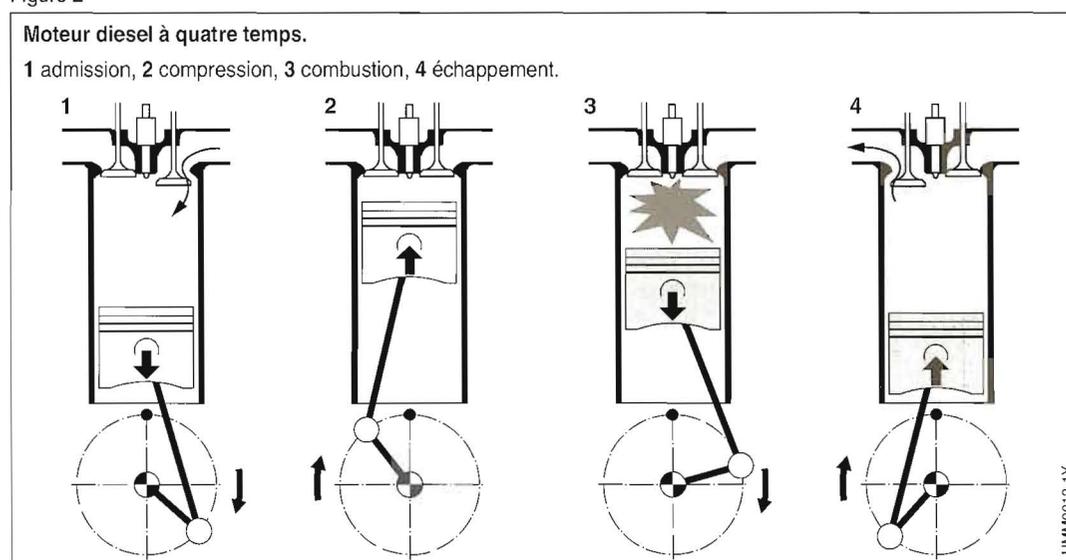
Ces produits de réaction dépendent de la conception, de la puissance et de la charge du moteur.

La combustion complète du carburant contribue à une nette réduction de l'émission de polluants. Ainsi, le conditionnement parfait du mélange air-carburant, son point d'injection exact et son brassage optimal permettent d'obtenir d'excellents résultats au niveau de la dépollution des gaz d'échappement. Dans un premier temps, il se forme de l'eau (H_2O) et du dioxyde de carbone (CO_2). Dans un deuxième temps, les produits suivants apparaissent en faibles concentrations :

- monoxyde de carbone (CO),
- hydrocarbures imbrûlés (HC),
- oxydes d'azote (NO_x) comme produits incidents,
- anhydride sulfureux (SO_2),
- acide sulfurique (H_2SO_4),
- particules de suie.

La formation d'anhydride sulfureux et d'acide sulfurique est proportionnelle à la teneur en soufre du carburant. Les hydrocarbures non oxydés ou partiellement oxydés, sous forme de gouttelettes se manifestant comme fumée blanche ou bleue, ainsi que des aldéhydes dégageant une forte odeur, constituent les composés directement perceptibles des gaz d'échappement d'un moteur diesel encore froid.

Figure 2



moteur diesel est réalisée en fonction du débit d'injection, sans étranglement du flux d'air d'admission.

Le système de régulation électronique diesel (RED) remplace de plus en plus les dispositifs mécaniques de régulation des équipements d'injection diesel.

Les nouveaux systèmes d'injection diesel des voitures et véhicules utilitaires sont tous régulés par RED.

Au stade actuel de la technique, les moteurs diesel automobiles sont surtout équipés des systèmes d'injection haute pression mentionnés ci-dessous.

Applications, exigences

Tableau 1
Caractéristiques et données techniques des systèmes d'injection diesel.

Système d'injection Type	Injection				Données spécifiques du moteur			
	Débit d'injection par course mm ³	Pression max. côté injecteur bar	m mécanique e électronique em électromécanique MV Electrovanne	DI Injection directe IDI Injection dans préchambre	VE Pré-injection NE Post-injection	Nombre de cylindres	Vitesse de rotation max. min ⁻¹	Puissance max. par cylindre kW
Pompes d'injection en ligne								
M	60	550	m,e	IDI	–	4...6	5000	20
A	120	750	m	DI / IDI	–	2...12	2800	27
MW	150	1100	m	DI	–	4...8	2600	36
P 3000	250	950	m,e	DI	–	4...12	2600	45
P 7100	250	1200	m,e	DI	–	4...12	2500	55
P 8000	250	1300	m,e	DI	–	6...12	2500	55
P 8500	250	1300	m,e	DI	–	4...12	2500	55
H 1	240	1300	e	DI	–	6...8	2400	55
H 1000	250	1350	e	DI	–	5...8	2200	70
Pompes d'injection distributrices à piston axial								
VE	120	1200/350	m	DI / IDI	–	4...6	4500	25
VE...EDC 1)	70	1200/350	e,em	DI / IDI	–	3...6	4200	25
VE...MV	70	1400/350	e,MV	DI / IDI	–	3...6	4500	25
Pompes d'injection distributrices à pistons radiaux								
VR...MV	135	1700	e,MV	DI	–	4,6	4500	50
Pompes/systèmes d'injection monocylindriques								
PF(R)...	150... 18000	800... 1500	m,em	DI / IDI	–	indifférent	300... 2000	75... 1000
UIS 30 2)	160	1600	e,MV	DI	VE	8 3a)	3000	45
UIS 31 2)	300	1600	e,MV	DI	VE	8 3a)	3000	75
UIS 32 2)	400	1800	e,MV	DI	VE	8 3a)	3000	80
UIS-P1 3)	62	2050	e,MV	DI	VE	6 3a)	5000	25
UPS 12 4)	150	1600	e,MV	DI	VE	8 3a)	2600	35
UPS 20 4)	400	1800	e,MV	DI	VE	8 3a)	2600	80
UPS (PF[R])	3000	1400	e,MV	DI	–	6...20	1500	500
Système d'injection à accumulateur « Common Rail »								
CRS 5)	100	1350	e,MV	DI	VE ^{5a)} /NE	3...8	5000 ^{5b)}	30
CRS 6)	400	1400	e,MV	DI	VE ^{6a)} /NE	6...16	2800	200

1) EDC: Electronic Diesel Control (régulation électronique diesel), 2) UIS Injecteur-pompe pour véhicules utilitaires, 3) UIS Injecteur-pompe pour voitures, 3a) Possibilité de couvrir un plus grand nombre de cylindres au moyen de deux centrales de commande, 4) UPS Pompe unitaire haute pression pour véhicules utilitaires et autobus, 5) CR 1^{ère} génération pour voitures et véhicules utilitaires légers, 5a) Sélection libre max. 90° vilebrequin avant le PMH, 5b) max. 5500 min⁻¹ en décélération, 6) CR pour véhicules utilitaires, autobus et locomotives diesel, 6a) max. 30° vilebrequin avant le PMH.

Types

Pompes d'injection en ligne

La pompe en ligne comporte pour chaque cylindre du moteur un élément de pompage constitué d'un cylindre et d'un piston. Le piston est déplacé dans le sens de refoulement par l'arbre à cames intégré dans la pompe et entraîné par le moteur. Son retour s'effectue sous l'action d'un ressort.

Le plus souvent, les éléments de la pompe sont disposés en ligne. La course du piston est constante. La variation du débit refoulé s'obtient en modifiant la course utile par l'intermédiaire d'une tige de réglage mobile (crémaillère) et de rampes hélicoïdales obliques, usinées dans le piston. La présence de soupapes de refoulement – adaptées aux caractéristiques d'injection – entre la chambre haute pression de la pompe et les départs des tuyauteries de refoulement s'impose pour obtenir la fin précise de l'injection, la réduction du « bavage » aux injecteurs et une cartographie de pompage homogène.

Pompe d'injection en ligne standard PE

Le début de refoulement est déterminé par un orifice d'admission qui est obturé par l'arête supérieure du piston. Une rampe hélicoïdale, qui est usinée obliquement dans le piston et libère l'orifice d'admission, détermine le débit d'injection. La position de la tige de réglage est sélectionnée au moyen d'un régulateur centrifuge mécanique ou d'un actionneur électrique.

Pompe d'injection en ligne à tiroirs

Ce type de pompe se distingue d'une pompe en ligne conventionnelle par la présence d'un tiroir qui coulisse sur le piston et induit ainsi une variation de la précourse, donc du début de refoulement et d'injection, par l'intermédiaire d'un axe de positionnement supplémentaire. La position du tiroir est réglée en fonction de différents paramètres d'influence. Comparée à une pompe en ligne standard PE, la pompe d'injection à tiroirs dispose d'un degré de liberté supplémentaire.

Pompes d'injection distributrices

La pompe d'injection distributrice est équipée d'un régulateur de vitesse mécanique ou d'un régulateur électronique avec variateur d'avance intégré. Elle ne dispose que d'un seul élément de pompage haute pression pour tous les cylindres.

Pompe d'injection distributrice à piston axial

Sur ce type de pompe d'injection, une pompe d'alimentation à palettes refoule le carburant dans la chambre de pompage. Un piston distributeur central, qui est mis en rotation par un disque à cames, assure la génération de pression et la répartition du carburant entre les différents cylindres. Pendant une rotation de l'arbre d'entraînement, le piston exécute autant de courses que le moteur compte de cylindres à alimenter. Les cames situées sur la face inférieure du disque à cames roulent sur les galets de la bague porte-galets, ce qui communique au disque à cames et au piston distributeur un mouvement alternatif en plus du mouvement rotatif.

Sur la pompe d'injection distributrice conventionnelle VE à piston axial, équipé d'un régulateur de vitesse mécanique ou d'un actionneur à régulation électronique, le tiroir de régulation détermine la course utile et dose le débit d'injection. Le début d'injection de la pompe peut être corrigé par la bague porte-galets (variateur d'avance). Sur la pompe distributrice à piston axial commandée par électrovanne, une électrovanne haute pression à commande électronique, qui remplace le tiroir de régulation classique, assure le dosage du débit d'injection. Les signaux de commande et de régulation sont traités par deux calculateurs électroniques (affectés à la pompe et au moteur). Le pilotage adéquat de l'actionneur entraîne la régulation de la vitesse de rotation.

Pompe d'injection distributrice à pistons radiaux

Sur ce type de pompe d'injection, une pompe à palettes se charge de l'alimentation en carburant. Une pompe distributrice, équipée d'une bague à cames et de deux à quatre pistons radiaux, assure la génération de la haute pression et le refoulement du carbu-

rant. Une électrovanne haute pression dose le débit d'injection. La correction du début d'injection est réalisée par rotation du disque à cames au moyen du variateur d'avance. Comme pour la pompe à piston axial commandée par électrovanne, le traitement des signaux de commande et de régulation est assuré par deux calculateurs électroniques (affectés à la pompe et au moteur). La régulation de la vitesse est obtenue par pilotage adéquat de l'actionneur.

Pompes d'injection unitaires

Pompes d'injection unitaires PF

Ce type de pompe, qui équipe les petits moteurs, les locomotives diesel, les moteurs marins et les engins de chantier, ne dispose pas d'un propre arbre à cames (F = entraînement externe). Son mode de fonctionnement correspond toutefois à celui d'une pompe en ligne PE. Sur les moteurs de grosse cylindrée, le régulateur hydromécanique ou électronique est monté directement sur le carter. La correction de débit déterminée par le régulateur est transmise par une timonerie intégrée au moteur.

Les cames de commande des différentes pompes unitaires PF sont solidaires de l'arbre à cames du système de distribution du moteur. Une correction du point d'injection par variation de la position angulaire de l'arbre à cames n'est donc pas possible. La variation de la position d'un élément intermédiaire (p. ex. basculeur entre l'arbre à cames et le poussoir à galet) peut générer un angle d'avance de quelques degrés.

Les pompes unitaires peuvent également être utilisées avec des huiles lourdes de haute viscosité.

Injecteur-pompe (Unit Injector System UIS)

La pompe d'injection et l'injecteur sont réunis pour constituer une seule unité. Un injecteur-pompe monté dans la culasse est affecté à chaque cylindre du moteur. Il est commandé directement par un poussoir ou indirectement par un culbuteur à partir de l'arbre à cames du moteur.

La suppression des tuyauteries haute pression permet d'obtenir une pression d'injection

bien supérieure (max. 2050 bar) à celle des pompes en ligne ou distributrices. Cette haute pression d'injection et la régulation cartographique électronique du début et de la durée (ou du débit) d'injection contribuent à une nette réduction des émissions de polluants du moteur diesel.

Les concepts électroniques de régulation permettent la réalisation de fonctionnalités supplémentaires.

Pompe unitaire haute pression (Unit Pump System UPS)

Le système « pompe-tuyauterie-injecteur » fonctionne suivant le même principe que l'injecteur-pompe. Il s'agit d'un système d'injection haute pression de conception modulaire. Contrairement à l'injecteur-pompe, l'injecteur et la pompe sont reliés par une courte tuyauterie d'injection. La pompe unitaire haute pression constitue un groupe d'injection (pompe, tuyauterie et ensemble injecteur/porte-injecteur) affecté à chaque cylindre et commandé par l'arbre à cames du moteur. Une courte tuyauterie haute pression, exactement adaptée aux différents composants, mène à l'ensemble injecteur/porte-injecteur.

L'adoption d'une régulation cartographique électronique du début et de la durée (ou du débit) d'injection donne une nette réduction des émissions de polluants du moteur diesel. L'utilisation parallèle d'une électrovanne à commutation rapide et pilotage électronique permet la détermination exacte de la caractéristique de chaque phase d'injection.

Système d'injection à accumulateur

Common Rail System CR

Le système d'injection à accumulateur « Common Rail » est basé sur la séparation de chacun des étages de génération de pression et d'injection. La pression d'injection est générée indépendamment de la vitesse de rotation du moteur et du débit d'injection. Elle est disponible dans le « rail » (accumulateur de carburant). Le point et le débit d'injection sont déterminés par un calculateur électronique et réalisés par un injecteur piloté par une électrovanne et affecté à chaque cylindre du moteur.

Pompes d'injection distributrices à piston axial à régulation méca- nique VE

Systèmes d'injection

Fonctions

Le système d'injection alimente le moteur diesel en carburant. A cet effet, la pompe génère la pression nécessaire à l'injection. Le carburant est envoyé vers l'injecteur via la conduite de refoulement et injecté dans la chambre de combustion.

Le système d'injection diesel (figure 1) comporte en outre : le réservoir et le filtre à gazole, la pompe d'alimentation en carburant, les injecteurs, les conduites de carburant, le régulateur et le variateur d'avance (optionnel).

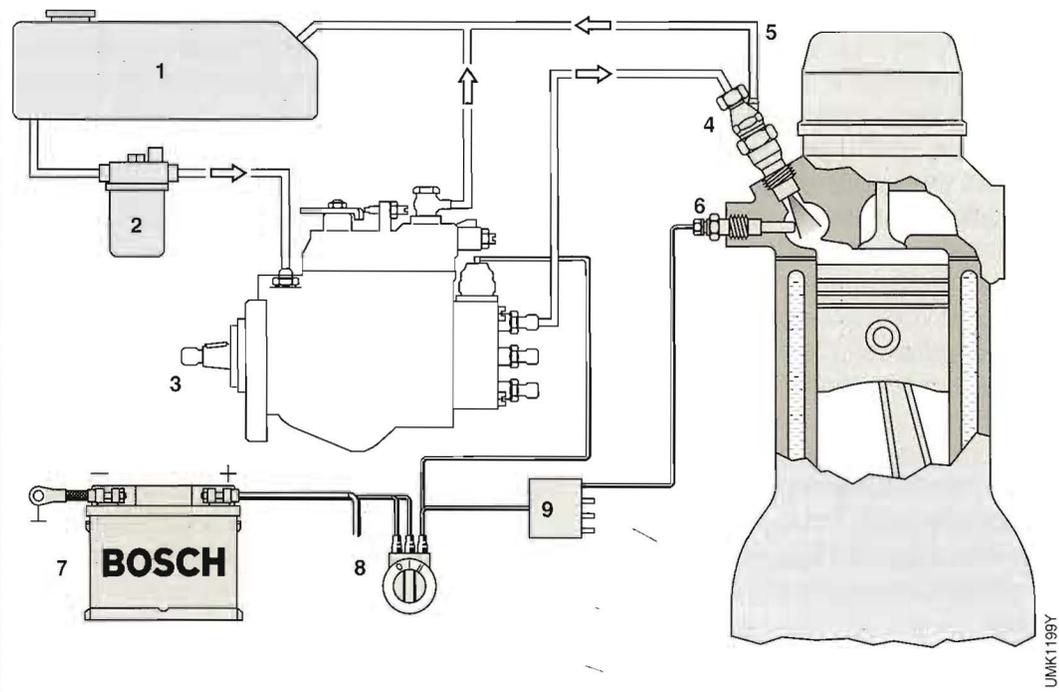
Les processus de combustion, qui se déroulent à l'intérieur du moteur diesel, dépendent surtout du débit, du mode de refoulement et de compression du carburant au niveau de la chambre de combustion.

Les principaux critères sont le point et la durée d'injection du carburant, sa répartition dans la chambre de combustion, le point du début de combustion, la quantité de carburant refoulée par degré de vilebrequin et la quantité globale de carburant distribuée en fonction de la charge du moteur. Il convient d'optimiser l'interaction de tous les paramètres d'influence en vue d'assurer le parfait fonctionnement du moteur diesel.

Figure 1

Système d'injection avec pompe distributrice à régulation mécanique.

1 réservoir de carburant, 2 filtre à carburant, 3 pompe d'injection distributrice, 4 ensemble injecteur/porte-injecteur, 5 conduite de retour du carburant, 6 bougie-crayon de préchauffage, 7 batterie, 8 commutateur de préchauffage-démarrage, 9 module de commande du temps de préchauffage.



Types

Des pompes d'injection de haute technicité ont été mises au point pour les applications les plus diverses dans le domaine de l'injection diesel. Les systèmes d'injection suivants correspondent au stade le plus récent de la technique :

- la pompe d'injection en ligne (PE) comportant un régulateur mécanique ou électronique et un variateur d'avance rapporté (optionnel),
- la pompe d'injection en ligne à tiroirs (PE) à régulateur électronique et début de refoulement modulable à volonté (sans variateur d'avance rapporté),
- la pompe d'injection monocylindrique (PF),
- la pompe d'injection distributrice (VE) avec régulateur mécanique ou électronique et variateur d'avance intégré,
- la pompe d'injection distributrice à pistons radiaux (VR),
- le système d'injection à accumulateur Common Rail (CRS),
- l'injecteur-pompe (UIS) ¹⁾,
- la pompe unitaire haute pression (UPS) ²⁾.

Technique d'injection

Applications

Les moteurs diesel de petite cylindrée à régime rapide exigent un système d'injection de faible poids et d'encombrement réduit. Les pompes distributrices VE (figure 2) satisfont à ces exigences en regroupant :

- pompe d'alimentation,
 - pompe haute pression,
 - régulateur de vitesse de rotation,
 - variateur d'avance
- en un module compact.

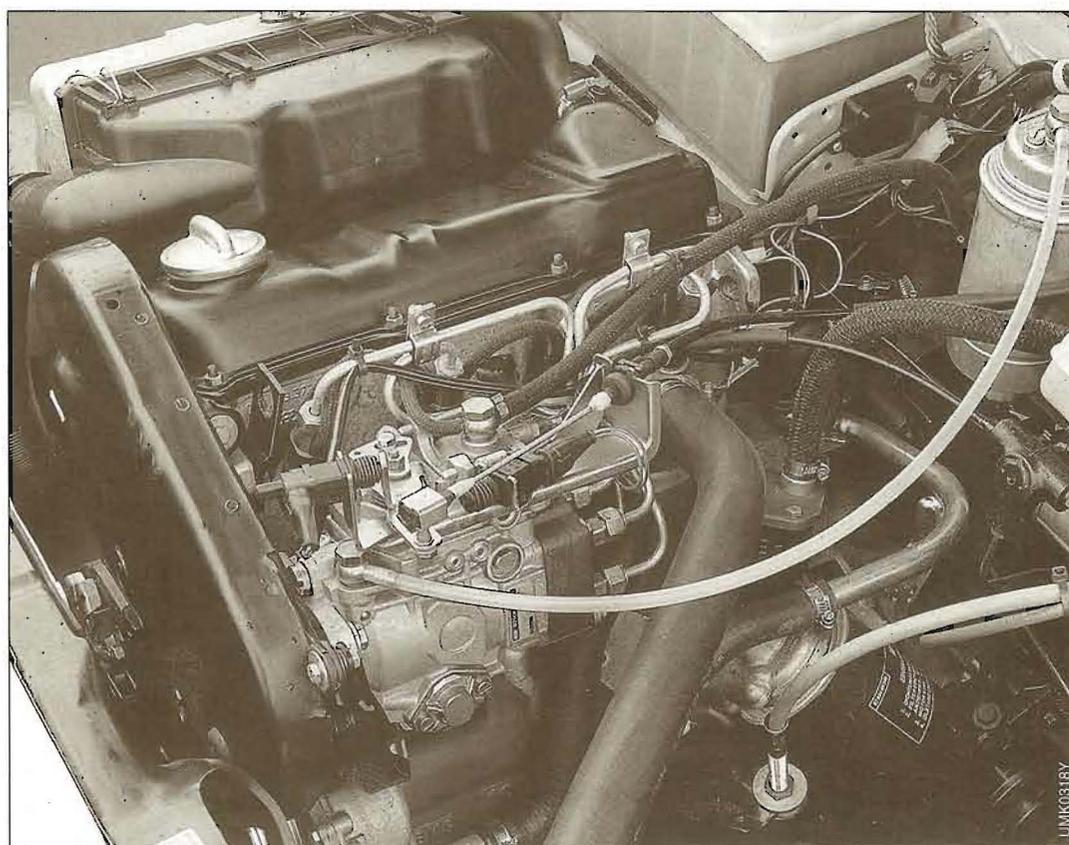
Le domaine d'application et la conception de la pompe distributrice sont déterminés par le régime nominal, la puissance et l'architecture du moteur diesel.

Les pompes distributrices sont utilisées sur les voitures particulières, les véhicules utilitaires, les tracteurs et les moteurs stationnaires.

¹⁾ Abréviation dérivée de l'anglais « Unit Injector System ».

²⁾ Abréviation dérivée de l'anglais « Unit Pump System ».

Figure 2 : pompe d'injection distributrice VE sur moteur diesel 4 cylindres.



Groupes fonctionnels

Contrairement à la pompe en ligne, la pompe distributrice du type VE ne dispose que d'un cylindre et d'un piston distributeur uniques, même pour les moteurs multicylindres. Une rainure de distribution assure la répartition du carburant refoulé par le piston de pompage entre les différentes sorties, qui correspondent au nombre de cylindres du moteur. Le corps monobloc de la pompe distributrice réunit les groupes fonctionnels suivants :

- pompe haute pression avec distributeur,
- régulateur de vitesse mécanique,
- variateur d'avance hydraulique,
- pompe d'alimentation à palettes,
- dispositif d'arrêt,
- groupes d'adaptation spécifiques du moteur.

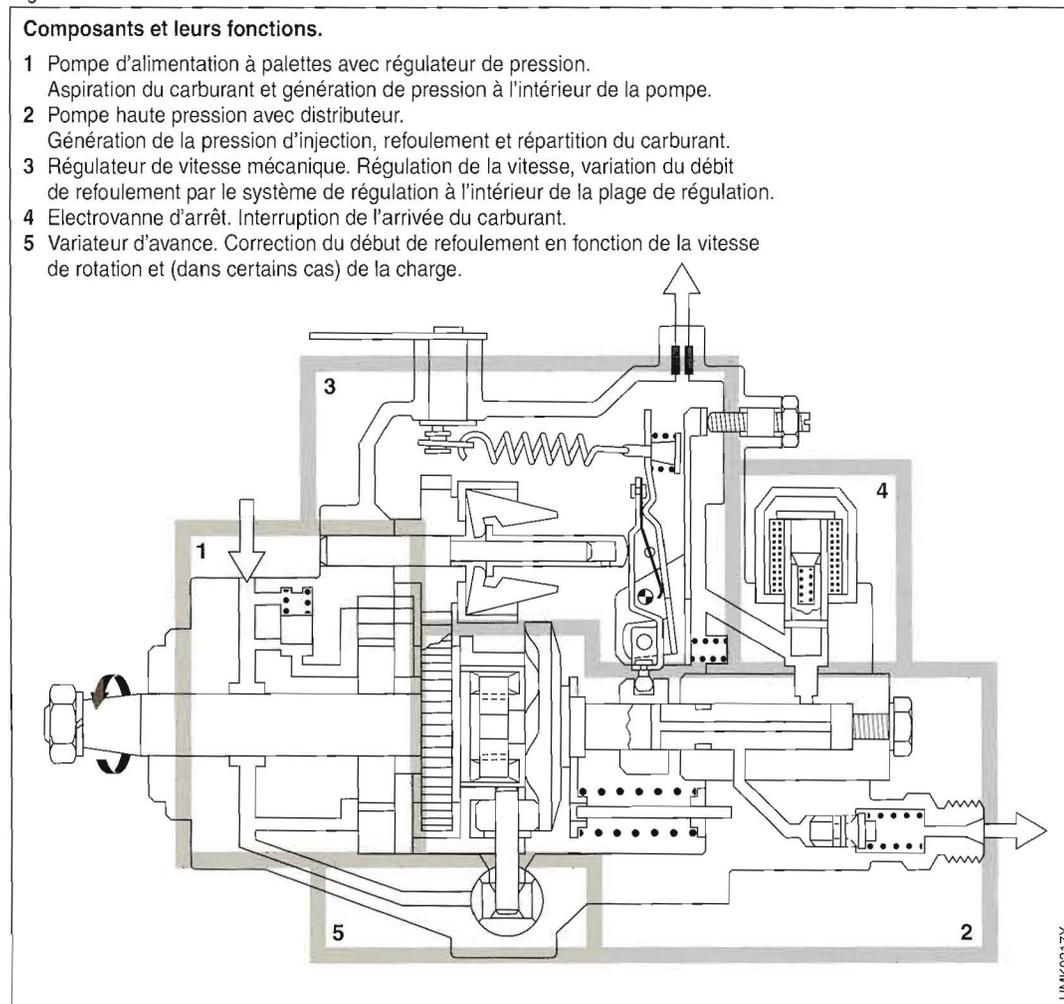
La figure 3 montre les différents groupes fonctionnels et leur interaction. La pompe dis-

tributrice peut également être équipée de divers dispositifs de correction. Ils permettent de réaliser une adaptation individuelle supplémentaire aux caractéristiques du moteur diesel.

Conception

La pompe d'alimentation à palettes est montée sur l'arbre d'entraînement de la pompe distributrice, lui-même logé dans des paliers intégrés au corps de pompe. La bague porte-galets, non solidaire du dispositif d'entraînement mais également logée dans le corps de pompe, se trouve derrière l'arbre d'entraînement. Le disque à cames, qui repose sur la bague porte-galets et qui est commandé par l'arbre d'entraînement, génère un mouvement à la fois alternatif et rotatif qui est transmis au piston distributeur. Le piston distributeur est guidé par la tête hydraulique, soli-

Figure 3



daire du corps de pompe. La tête hydraulique comporte le dispositif d'arrêt électrique, qui interrompt l'arrivée du carburant, le bouchon fileté et sa vis de purge, les clapets et les raccords de refoulement. Si la pompe est également équipée d'un dispositif d'arrêt mécanique, ce composant est alors incorporé au couvercle du régulateur.

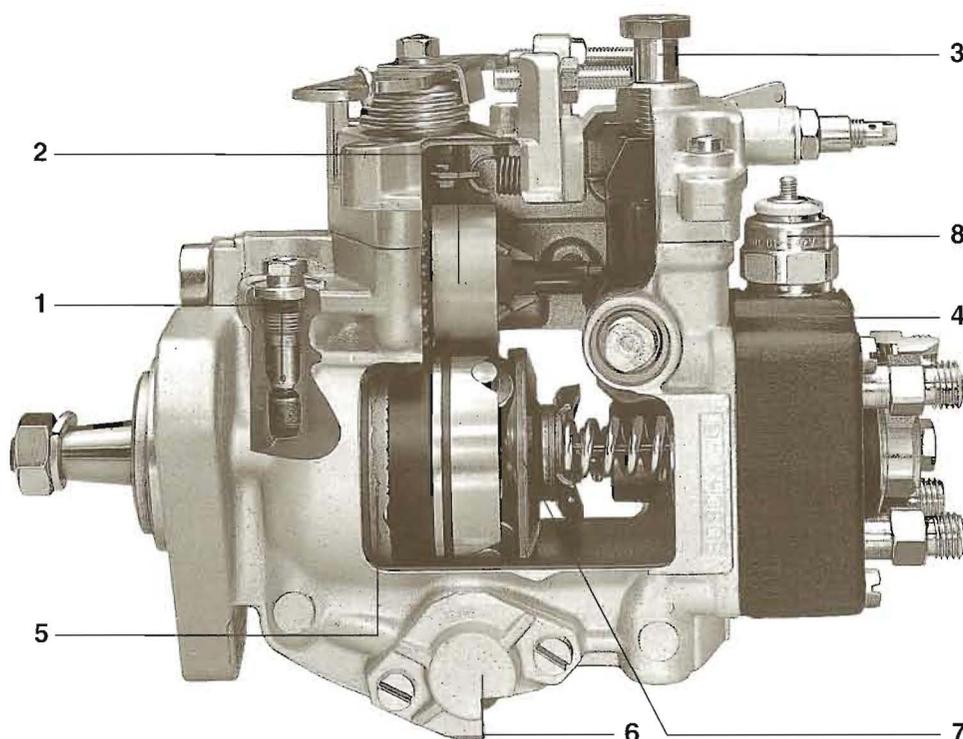
Une transmission par deux pignons assure la commande du bloc régulateur depuis l'arbre d'entraînement de la pompe (roue dentée avec amortisseur en caoutchouc). Le bloc régulateur est constitué des masselottes et du manchon central. Le mécanisme de détection du régulateur, qui comprend les leviers de réglage, de démarrage et de tension, tourne à l'intérieur du corps de pompe. Il sert à faire varier la position du tiroir de régulation qui agit sur le piston de pompage. Le ressort de régulation, qui est relié par un arbre au levier de commande extérieur, vient s'engager

dans la partie supérieure du mécanisme de détection. L'arbre du levier de commande de la pompe est logé dans le couvercle du régulateur. Le couvercle du régulateur ferme la partie supérieure du corps de pompe. Il comporte en outre la vis de réglage du débit de pleine charge, le calibre ou la soupape de décharge et les vis de réglage de la vitesse de rotation. Le variateur d'avance hydraulique est monté à la partie inférieure du corps de pompe, perpendiculairement à l'axe longitudinal de la pompe. Son fonctionnement est influencé par la pression interne de la pompe d'injection – qui dépend de la pompe d'alimentation à palettes et du régulateur de pression. Le variateur est fermé par un couvercle de chaque côté de la pompe (figure 4).

Figure 4

Composants et leur organisation.

1 régulateur de pression, 2 bloc régulateur, 3 calibre de décharge, 4 tête hydraulique et pompe haute pression, 5 pompe d'alimentation à palettes, 6 variateur d'avance, 7 disque à cames, 8 électrovanne d'arrêt.



UMK0319Y

Entraînement de la pompe

L'entraînement de la pompe distributrice est assuré par l'intermédiaire d'un mécanisme de transmission du moteur diesel. Dans le cas d'un moteur à quatre temps, la vitesse de rotation de la pompe représente la moitié de la vitesse de rotation du vilebrequin du moteur diesel. Cela signifie que la pompe d'injection tourne à la vitesse de l'arbre à cames. L'entraînement de la pompe distributrice est en synchronisme total avec le mouvement des pistons du moteur.

Ce mode d'entraînement « forcé » est réalisé à l'aide d'une courroie crantée, d'un pignon coupleur, d'une roue dentée ou d'une chaîne. Il existe des pompes prévues pour rotation à droite ou à gauche. L'ordre d'injection dépend cependant du sens de rotation, mais les sorties refoulent toujours le carburant dans l'ordre géométrique de l'organisation.

Pour éviter toute confusion avec le code des cylindres du moteur, les sorties de la pompe distributrice sont repérées par les lettres A, B, C, etc. Les pompes distributrices sont prévues pour les moteurs de 6 cylindres maximum.

Refoulement du carburant

Le circuit de refoulement du carburant d'un système d'injection à pompe distributrice se subdivise en étages basse pression et haute pression (figure 1).

Etage basse pression

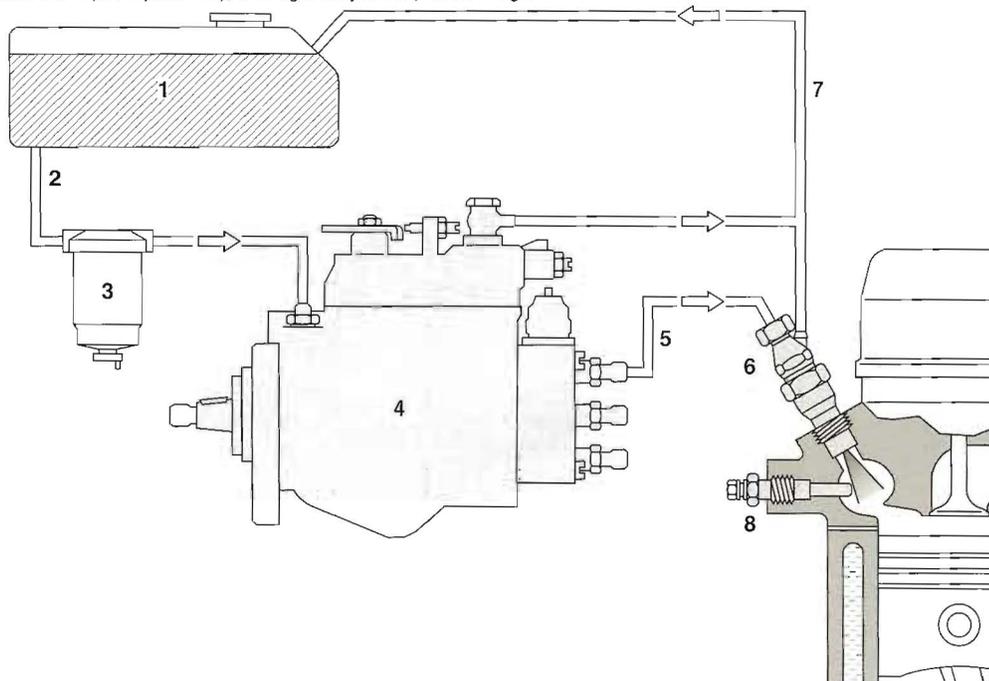
Circuit de carburant

Le circuit basse pression d'un système d'injection à pompe distributrice comprend le réservoir, les conduites, le filtre à carburant, la pompe d'alimentation à palettes, le régulateur de pression et le calibrage de décharge. La pompe d'alimentation aspire le carburant du réservoir et en envoie une quantité pratiquement constante à l'intérieur du corps de pompe, à chaque rotation. L'utilisation d'un régulateur de pression s'impose afin d'obtenir, à l'intérieur de la pompe, une pression bien définie en fonction de la vitesse de rota-

Figure 1

Refoulement du carburant dans un système d'injection avec pompe distributrice.

1 réservoir de carburant, 2 conduite d'alimentation en carburant (pression d'aspiration), 3 filtre à carburant, 4 pompe d'injection distributrice, 5 conduite de refoulement (haute pression), 6 injecteur, 7 conduite de retour du carburant (sans pression), 8 bougie-crayon de préchauffage.



tion. Ce composant permet de régler une pression spécifique pour une vitesse de rotation bien déterminée. L'augmentation de pression est donc proportionnelle à la vitesse de rotation (plus la vitesse croît, plus la pression interne augmente).

Une partie du carburant refoulé retourne vers le côté aspiration via le régulateur de pression. En vue d'assurer le refroidissement et le dégazage automatique de la pompe distributrice, du carburant retourne aussi au réservoir par le calibrage de décharge intégré au couvercle du régulateur (figure 2). L'emploi d'une soupape de décharge est également possible en remplacement du calibrage de décharge.

Disposition des conduites

Afin de garantir le bon fonctionnement de la pompe d'injection, il est indispensable de transporter le carburant en continu, sans bulles et sous pression vers l'étage haute pression de la pompe. Sur les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers, la différence de hauteur entre le réservoir de carburant et la pompe d'injection est généra-

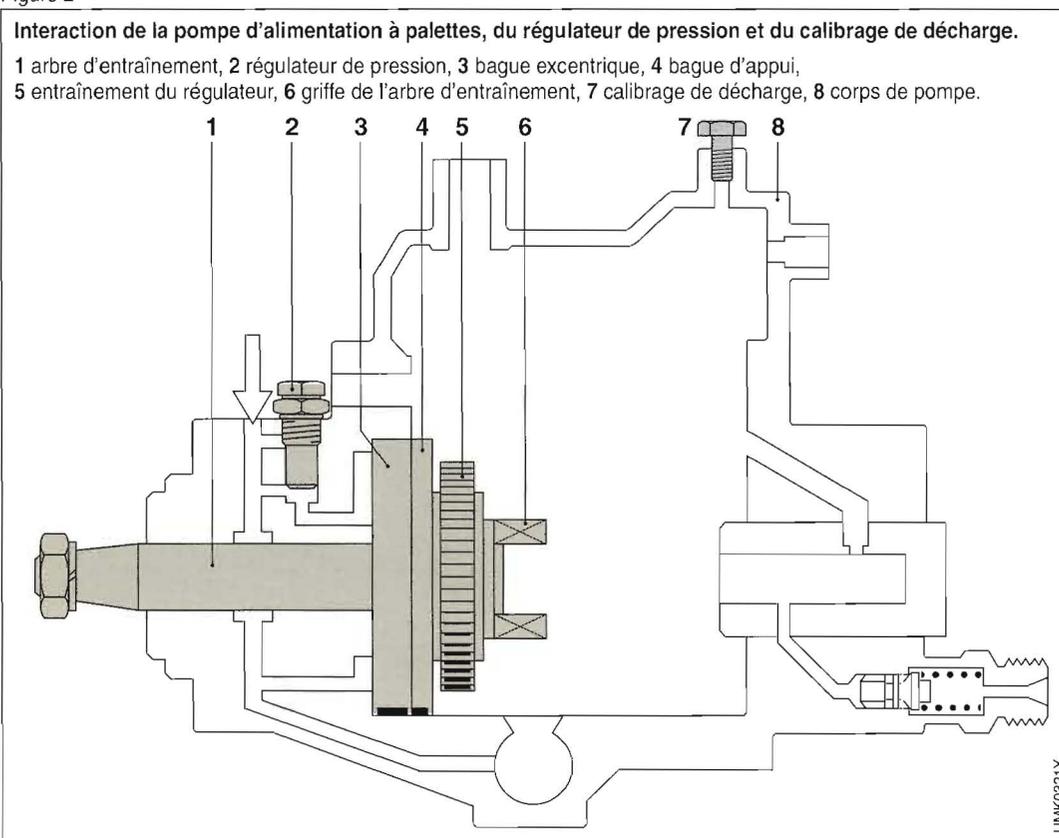
lement faible. Les conduites présentent une longueur et une section favorables. Leur dimensionnement adéquat permet donc à la pompe d'alimentation à palettes intégrée à la pompe distributrice de disposer d'une puissance d'aspiration suffisante.

Les véhicules, sur lesquels la différence de niveau entre le réservoir et la pompe d'injection est insuffisante et/ou la distance entre ces deux composants est trop importante, peuvent être équipés d'une pompe de préalimentation. Elle permet de surmonter les résistances au niveau des conduites et des filtres. Le fonctionnement avec réservoir en charge est essentiellement réservé aux moteurs stationnaires.

Réservoir de carburant

Les réservoirs de carburant doivent résister à la corrosion et rester étanches sous une double pression d'utilisation ou sous une surpression de 0,3 bar maximum. Toute surpression supérieure doit pouvoir être neutralisée automatiquement par des orifices appropriés, des valves de sécurité ou similaires. Du carburant ne doit pas s'échapper par le

Figure 2



*Pompes
distributrices
à piston axial
VE*

bouchon de l'orifice de remplissage ou par le système de compensation de pression, même en position inclinée, dans les virages et en cas de collision. Le réservoir doit se trouver à une distance du moteur excluant tout risque d'inflammation, y compris en cas d'accident. Les véhicules à cabine ouverte, les tracteurs et les autobus, sont soumis à des prescriptions spécifiques qui définissent la hauteur de montage et le mode de protection du réservoir de carburant.

Conduites de carburant

Des tubes d'acier rigides et des flexibles à tresse métallique, difficilement inflammables, peuvent être utilisés pour l'étage d'alimentation basse pression. Ils doivent être disposés de manière à ne pas être exposés aux détériorations mécaniques, et à éviter l'accumulation et l'inflammation de gouttelettes ou de vapeurs de carburant.

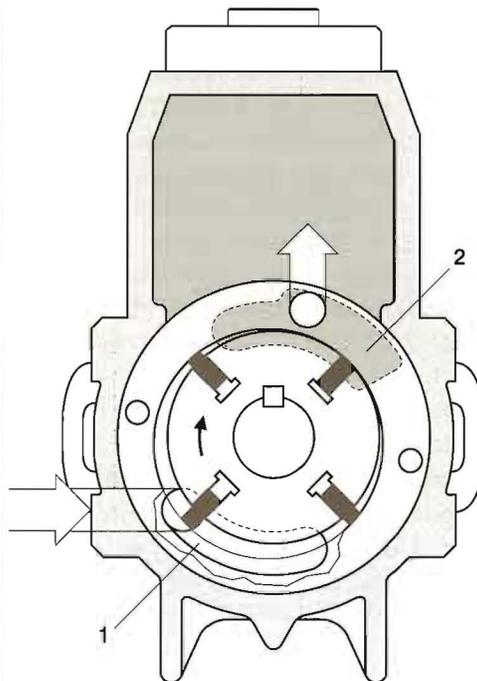
Filtre à carburant

Le circuit haute pression de la pompe d'injection et l'injecteur sont fabriqués avec une

Figure 3 : pompe d'alimentation avec rotor à palettes solidaire de l'arbre d'entraînement.

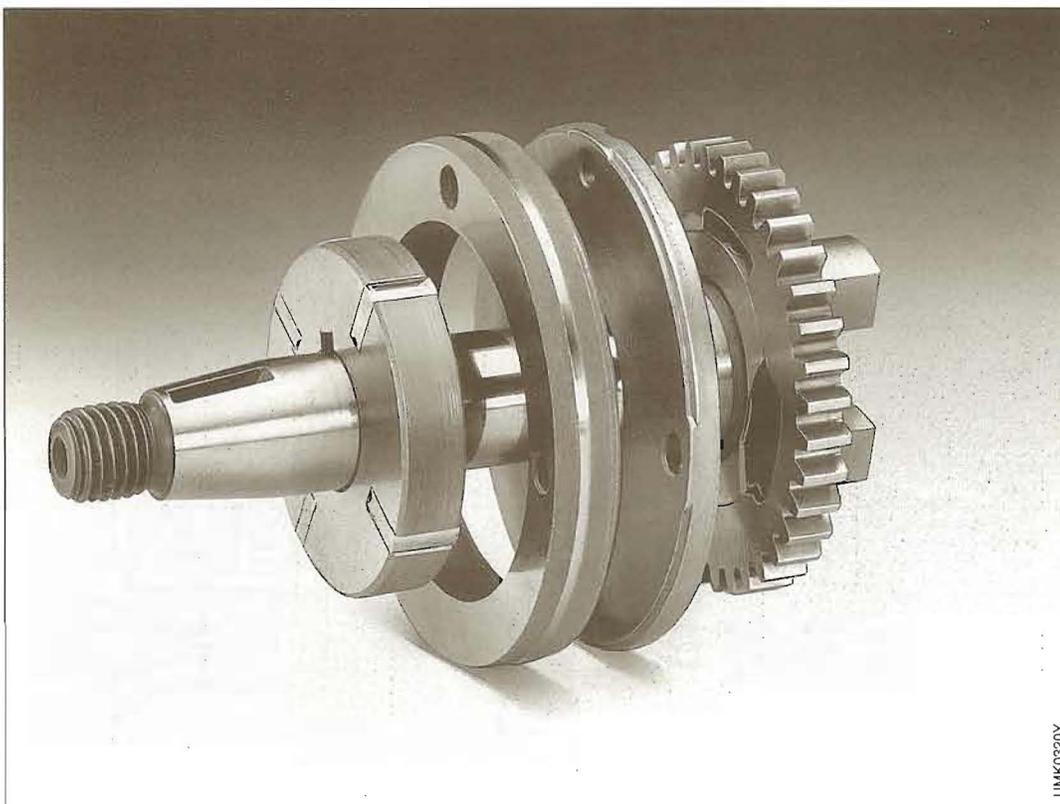
Pompe d'alimentation à palettes pour le refoulement basse pression.

1 entrée, 2 sortie.



UMK0324Y

Figure 4



UMK0320Y

précision de l'ordre de quelques millièmes de millimètre. Cela signifie que les impuretés en suspens dans le carburant peuvent nuire au fonctionnement de la pompe. Une insuffisance de filtration peut provoquer des dégâts aux composants de la pompe, aux clapets de refoulement et aux injecteurs. L'emploi d'un filtre à carburant spécialement adapté aux exigences du système d'injection est donc impératif pour garantir un bon fonctionnement et une grande longévité. Le carburant peut contenir de l'eau sous forme liée (émulsion) ou non (p. ex. formation d'eau de condensation suite à une variation de température). Si cette eau parvient à la pompe d'injection, les dommages dus à la corrosion sont inévitables. Les pompes distributrices ont donc besoin de filtres à carburant contenant un collecteur d'eau. L'eau doit être vidangée à intervalles réguliers. L'utilisation croissante du moteur diesel sur les voitures nécessite le montage d'un dispositif automatique d'alerte en cas de présence d'eau. Celui-ci signale, par un témoin d'alerte, la nécessité d'effectuer une vidange d'eau.

Pompe d'alimentation à palettes

La pompe d'alimentation à palettes (figures 3 et 4) de la pompe distributrice est disposée autour de l'arbre d'entraînement. Le rotor à palettes est centré sur l'arbre et entraîné par une clavette-disque. Il est enveloppé par une bague excentrique, logée dans le corps de pompe.

Sous l'effet du mouvement de rotation et de la force centrifuge résultante, les quatre palettes du rotor sont poussées vers l'extérieur et viennent au contact de la bague excentrique. Ce déplacement des palettes vers l'extérieur est assisté par l'action du carburant qui circule entre la face inférieure des palettes et le rotor. Le carburant atteint le corps de la pompe d'injection par le canal d'alimentation et passe, par un évidement réniforme, dans la chambre délimitée par le rotor, la palette et la bague excentrique. Sous l'effet de la rotation, le carburant qui se trouve entre les palettes est transporté vers la boutonnière supérieure et pénètre à l'intérieur de la pompe par un canal d'accès. Une partie du carburant arrive simultanément, par un second canal, au régulateur de pression.

Régulateur de pression

Le régulateur de pression (figure 5) communique, par un canal, avec la boutonnière supérieure réniforme et se trouve à proximité immédiate de la pompe d'alimentation. Il est constitué d'une navette tarée par un ressort, qui permet de faire varier la pression régnant à l'intérieur de la pompe en fonction du débit de carburant refoulé. Si la pression du carburant dépasse un seuil pré-réglé, le piston de soupape dégage l'orifice de retour et le carburant peut alors retourner vers le côté aspiration de la pompe d'alimentation par un canal approprié. Si la pression du carburant est

Figure 5

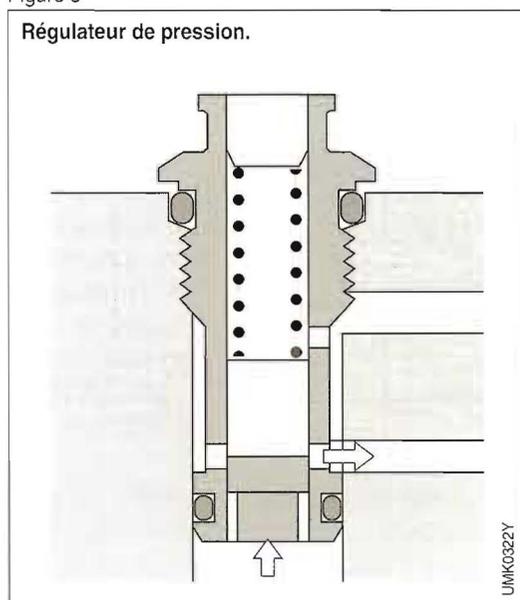
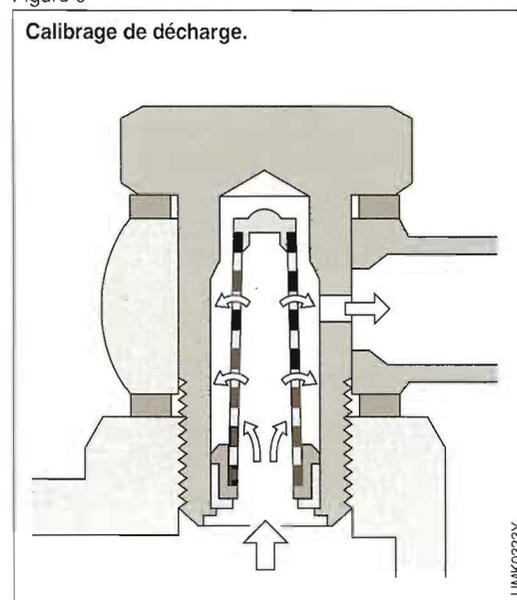


Figure 6



trop faible, l'orifice de retour reste fermé sous l'action du ressort.

La pression d'ouverture est déterminée par le tarage du ressort de compression.

Soupape de décharge

La soupape de décharge (figure 6) est vissée dans le couvercle du régulateur de la pompe distributrice et communique avec la chambre intérieure de celle-ci. Elle laisse s'écouler une quantité variable de carburant de retour vers le réservoir par l'intermédiaire d'un orifice calibré.

Cet orifice représente une résistance pour le flux de carburant, si bien que le niveau de pression est maintenu à l'intérieur de la pompe. La valeur exacte de la pression à l'intérieur de la pompe étant déterminée en fonction de la vitesse de rotation, il convient de réaliser l'appariement du calibrage de décharge et du régulateur de pression.

Etage haute pression

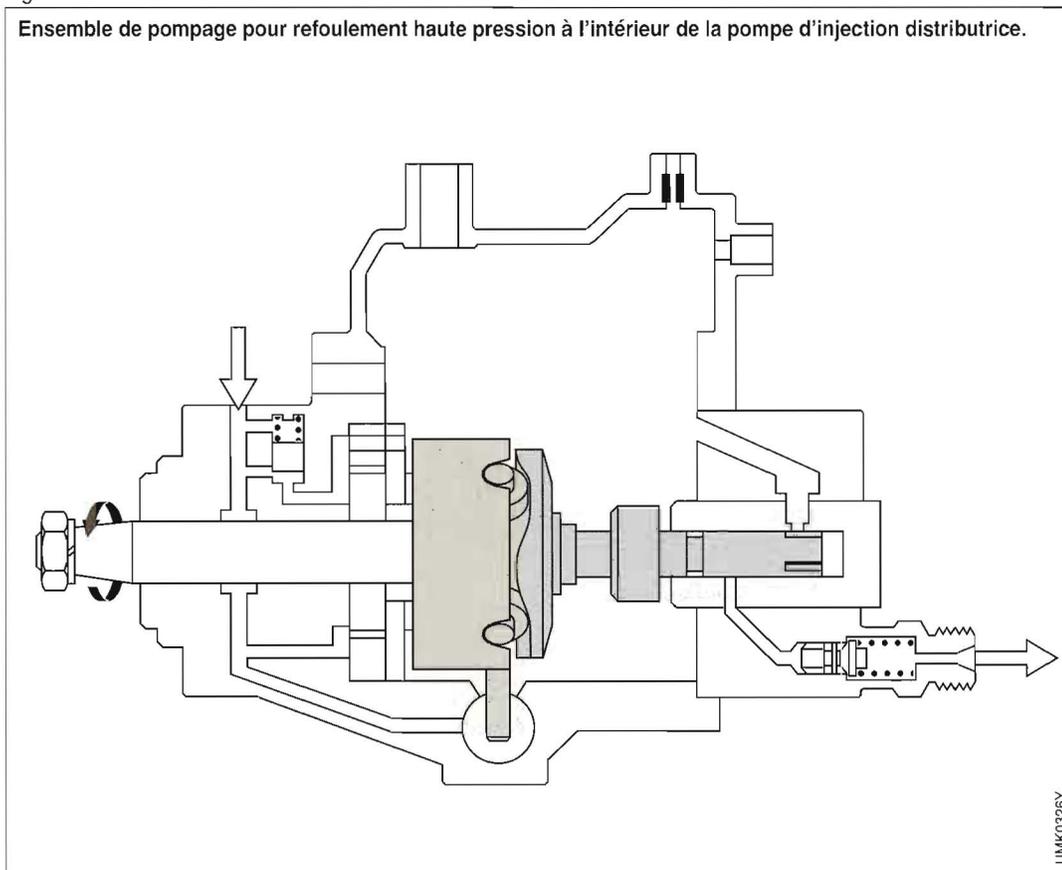
La pression de carburant nécessaire à l'injection est générée dans l'étage haute pression de la pompe d'injection. Le carburant y est refoulé vers l'injecteur par l'intermédiaire d'une soupape et d'une conduite de refoulement, de même que d'un porte-injecteur.

Entraînement du piston distributeur

Le mouvement de rotation de l'arbre d'entraînement est transmis au piston distributeur par un accouplement (figure 7). Les griffes de l'arbre d'entraînement et du disque à cames s'engagent dans le croisillon intercalé. Le disque à cames (cames axiales) transforme la simple rotation de l'arbre d'entraînement en mouvement à la fois alternatif et rotatif. Le roulement des bossages sur les galets de la bague porte-galets engendre ce double mouvement. Le piston distributeur est solidaire du disque à cames par l'intermédiaire d'une cale cylindrique. Il est positionné par un talon entraîneur. Le déplacement du piston distributeur en direction du point mort haut (PMH) est

Figure 7

Ensemble de pompage pour refoulement haute pression à l'intérieur de la pompe d'injection distributrice.



Ensemble de pompage avec tête hydraulique.

Engendre la haute pression et répartit le carburant entre chacun des injecteurs.

1 croisillon, 2 bague porte-galets, 3 disque à cames, 4 pied du piston distributeur, 5 piston distributeur, 6 portique, 7 tiroir de régulation, 8 bloc distributeur, 9 ensemble de clapet de refoulement, 10 ressort de rappel du piston. 4...8 tête hydraulique.

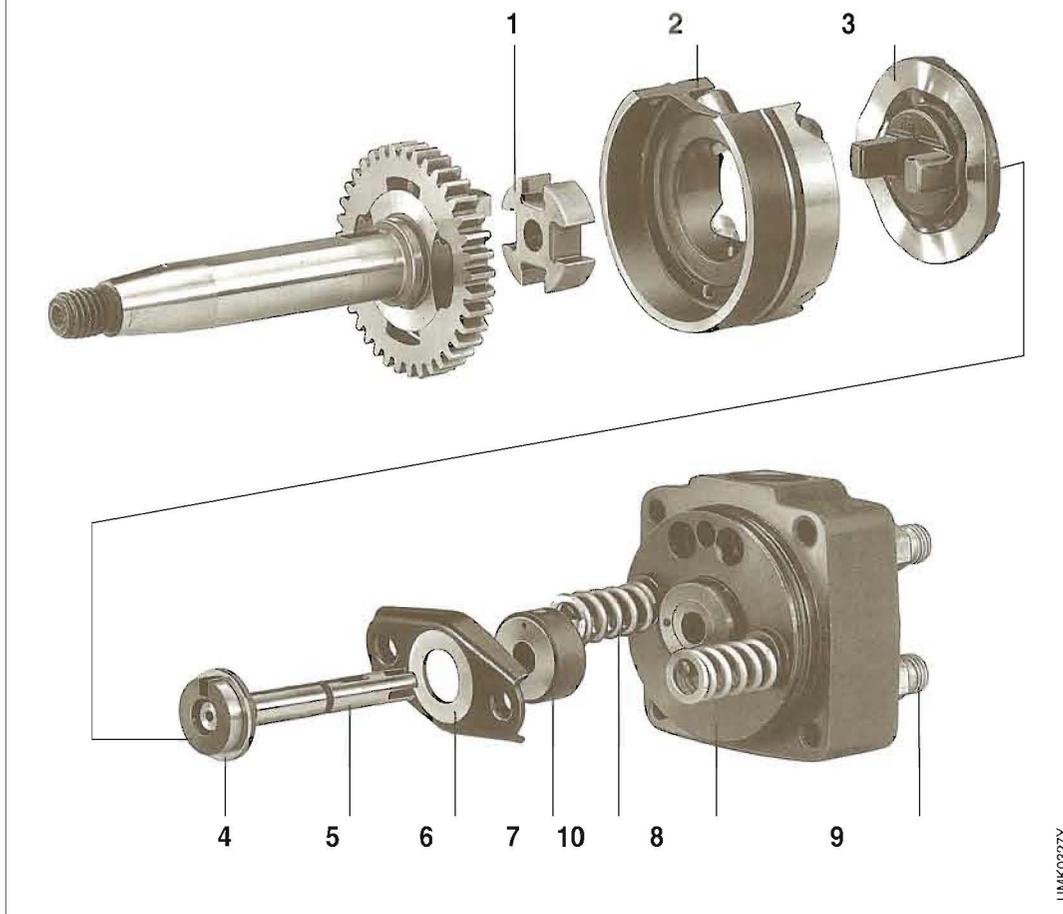


Figure 8

assuré par le profil du disque à cames. Les deux ressorts de rappel du piston, disposés symétriquement, provoquent le déplacement du piston vers le point mort bas (PMB).

Ils reposent sur la tête hydraulique et agissent sur le piston distributeur par l'intermédiaire d'un portique. En outre, les ressorts de rappel empêchent le disque à cames de se désolidariser des galets de la bague porte-galets par suite d'une forte accélération. Les ressorts de rappel du piston sont appariés en hauteur avec précision (figure 8), afin que le piston distributeur ne puisse quitter sa position centrale (décentrage).

Disques à cames et formes des cames

Le disque à cames influence aussi la pression et la durée d'injection. La levée de came et la vitesse de levée constituent les critères es-

sentiels. Une adaptation spécifique des conditions d'injection doit être réalisée en fonction de la chambre et du procédé de combustion des divers types de moteurs. Un profil de came spécial est donc défini pour chaque type de moteur. Cette configuration est alors « imprimée » sur la face frontale du disque à cames. Le disque spécifique est ensuite monté dans la pompe distributrice correspondante. Les disques à cames ne sont donc pas interchangeables entre différentes variantes de pompes distributrices.

Tête hydraulique

Le piston distributeur, la chemise et le tiroir de régulation sont ajustés (par rodage) dans la tête hydraulique avec des tolérances si étroites qu'ils assurent une excellente étanchéité, même pour des pressions très éle-

UMK0327Y

vées. De faibles fuites sont inévitables, voire indispensables à la lubrification du piston distributeur. Il faut donc toujours remplacer la tête hydraulique complète et jamais séparément le piston, la tête hydraulique ou le tiroir de régulation.

Dosage du carburant

Le refoulement du carburant par la pompe d'injection est un processus dynamique. Il se compose de plusieurs courses successives (figure 9). La pression nécessaire à l'injection est engendrée par la pompe à piston.

Les phases de déplacement du piston distributeur, schématisées à la figure 10, décrivent le dosage du carburant pour un cylindre du moteur. Dans le cas d'un moteur à quatre cylindres, le piston distributeur décrit un quart de tour entre les positions de point mort bas et de point mort haut, et un sixième de tour dans le cas d'un moteur à six cylindres. Lorsque le piston distributeur se déplace du point mort haut au point mort bas, le carburant afflue dans la chambre haute pression située au-dessus du piston distributeur via le canal d'arrivée ouvert. Du fait de la rotation, le canal d'arrivée est fermé dans la plage de point mort bas et la rainure de distribution dé-

masque un orifice de sortie bien défini (10a). La pression, qui règne dans la chambre haute pression et dans le canal intérieur, ouvre le clapet de refoulement et le carburant est « pressé », via la conduite de refoulement, vers l'injecteur monté dans un porte-injecteur (10b). La course utile est terminée dès que l'orifice de distribution transversal du piston distributeur atteint la rampe-pilote du tiroir de régulation (fin du refoulement en raison de la chute de pression). Dès cet instant, l'injecteur ne reçoit plus de carburant et le clapet de refoulement obture la conduite. Le carburant retourne vers la pompe par la liaison qui existe alors entre l'orifice de distribution et l'intérieur de la pompe, lors du déplacement du piston jusqu'au point mort haut. Pendant cette phase, le canal d'arrivée est de nouveau ouvert (10c). Le retour et le mouvement alternatif/rotatif du piston entraînent la fermeture de l'orifice de distribution transversal du piston distributeur.

Figure 9 : le roulement du profil ondulé du disque à cames sur les galets de la bague porte-galets engendre un mouvement alternatif de levée (point mort haut) et descente (point mort bas) du disque à cames.

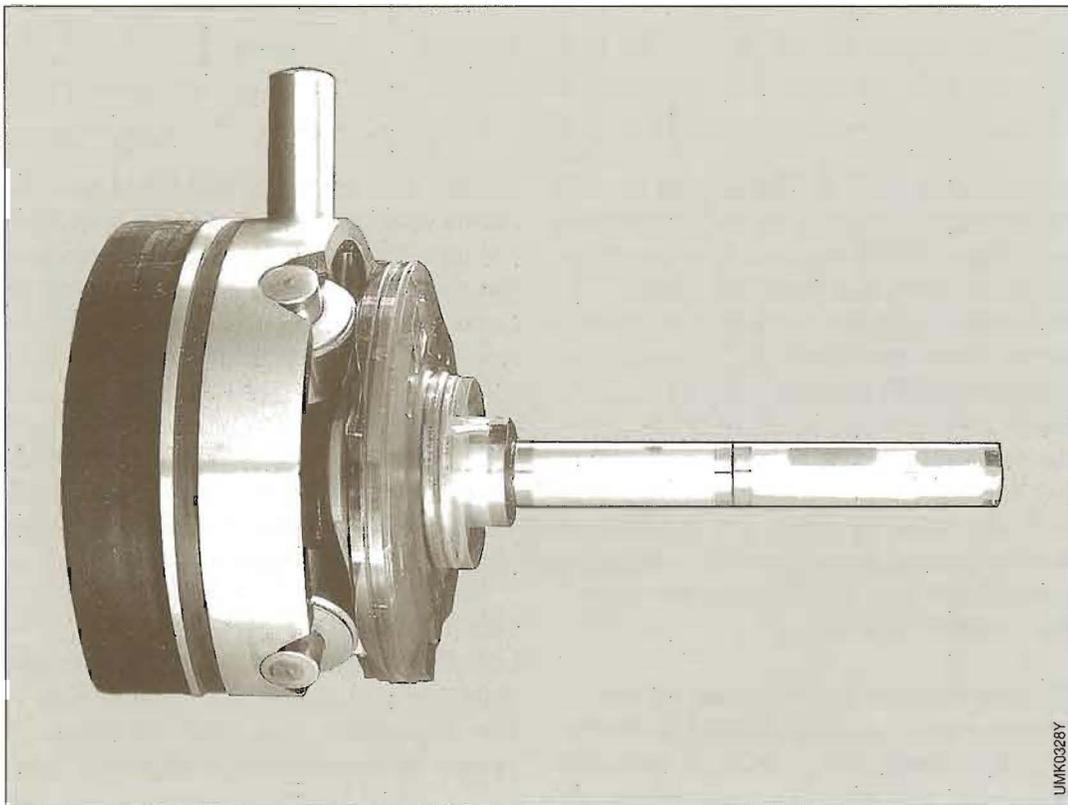
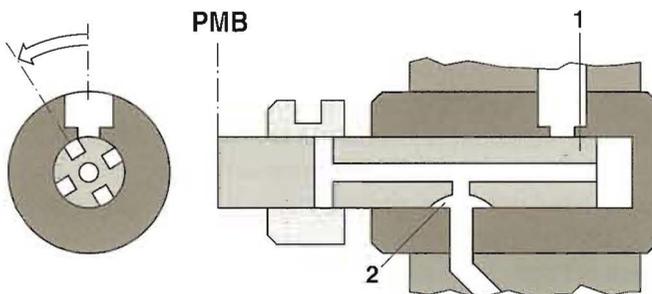


Figure 10

Phases de déplacement du piston distributeur.

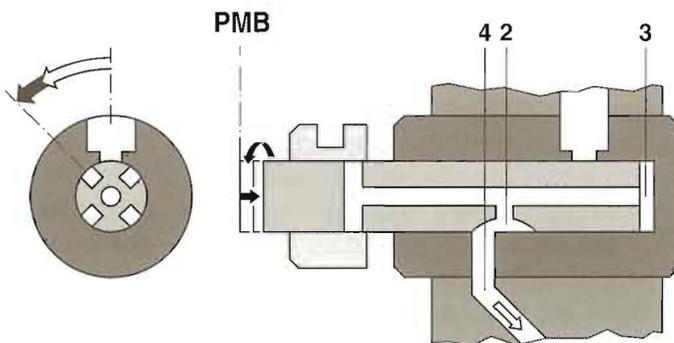
a Fermeture du canal d'arrivée.

Au PMB, la fente d'étranglement (1) ferme le canal d'arrivée et la rainure de distribution (2) ouvre l'orifice de sortie.



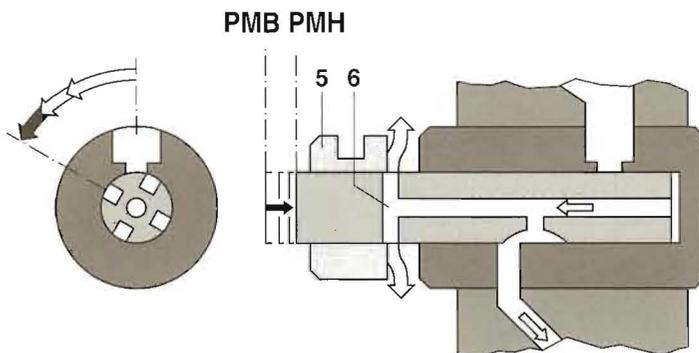
b Refoulement du carburant.

Au cours du mouvement alternatif (levée), le piston distributeur comprime le carburant dans la chambre haute pression (3). Le carburant est refoulé via l'orifice de sortie (4) en direction de l'injecteur.



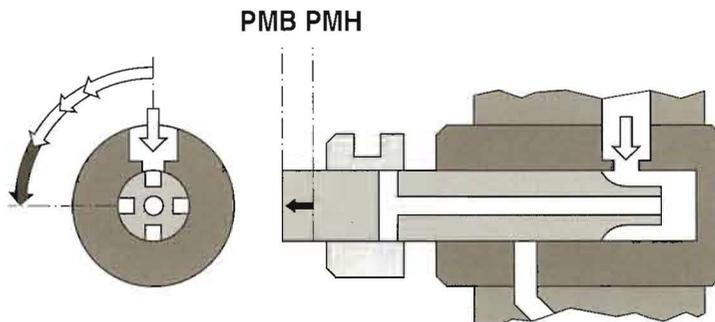
c Fin du refoulement.

Le refoulement du carburant est terminé dès que le tiroir de régulation (5) ouvre la section de décharge de l'orifice de distribution (6) transversal.



d Arrivée du carburant.

Le canal d'arrivée est ouvert juste avant le PMH. Pendant le retour du piston au PMB, la chambre haute pression est remplie et la section de décharge de l'orifice de distribution transversal est refermée. L'orifice de sortie est également obturé.



Refoulement du carburant

UMK0329Y

La chambre haute pression se remplit à nouveau de carburant à partir du canal d'arrivée ouvert (10d).

Clapet de refoulement

Le clapet de refoulement isole la conduite d'injection de la pompe. Son rôle est de décharger la conduite d'injection dès la fin de la phase de refoulement par le prélèvement d'un volume bien défini de pression d'injection. Cette solution permet d'obtenir une fin de fermeture précise de l'injecteur dès que l'injection est terminée. Simultanément et indépendamment du débit d'injection momentané, l'équilibre des pressions dans la conduite de refoulement doit être assuré pour les différentes phases d'injection.

Le clapet de refoulement constitue une vanne à piston. Il est ouvert par la pression du carburant et fermé sous l'effet d'un ressort. Le clapet de refoulement reste fermé entre chaque course d'admission du piston distributeur pour un cylindre bien déterminé du moteur. De ce fait, la conduite de refoulement et l'orifice de sortie correspondant de la tête hy-

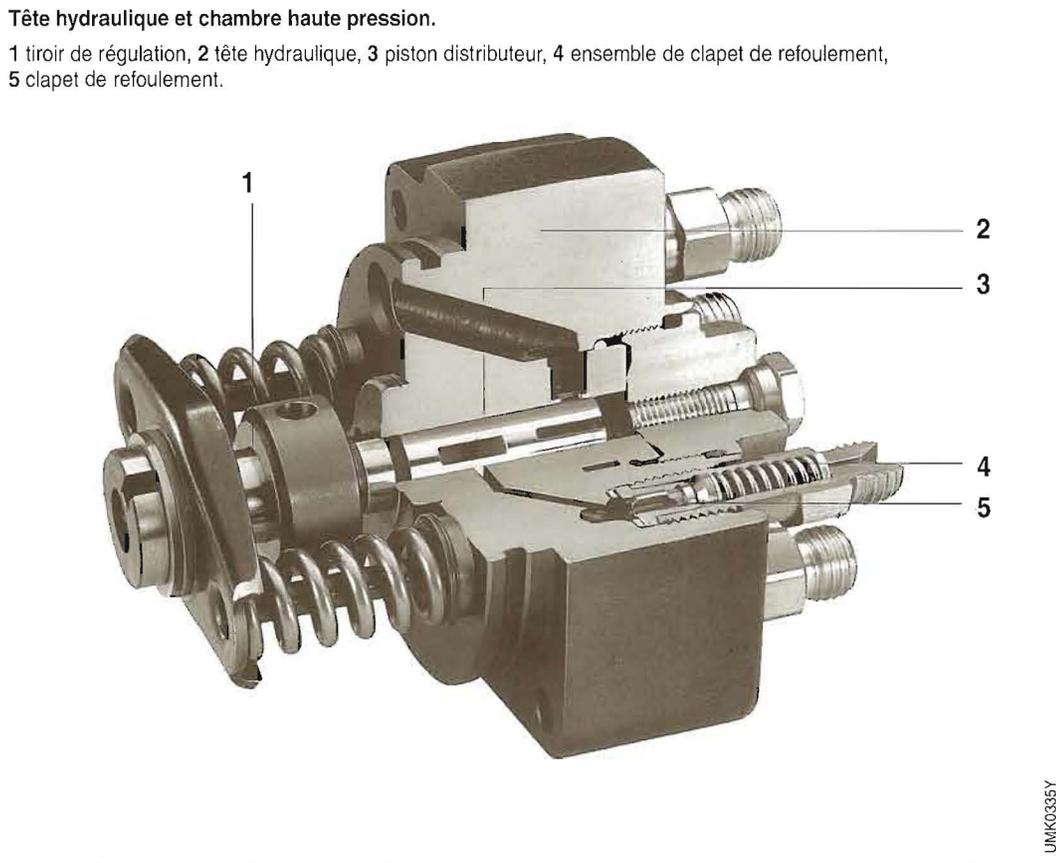
draulique ne communiquent pas. Lors de la phase de refoulement, le clapet est soulevé de son siège sous l'action de la haute pression engendrée. Le carburant arrive par les rainures verticales qui débouchent dans une gorge annulaire, traverse le raccord et la conduite de refoulement, le porte-injecteur et atteint l'injecteur.

Dès que le point de fin de refoulement est atteint (ouverture de la section de décharge de l'orifice de distribution transversal du piston distributeur), la pression baisse du côté haute pression via le piston distributeur et dans les conduites d'injection et retombe au niveau régulant à l'intérieur de la pompe. Le ressort et la pression statique à l'intérieur de la conduite d'injection repoussent le clapet sur son siège (figure 11).

Clapet de refoulement à frein de réaspiration

Le délestage exact et nécessaire à la fin de la phase d'injection entraîne la formation d'ondes de pression, qui se réfléchissent sur

Figur 11



le clapet de refoulement et provoquent l'ouverture répétée de l'aiguille de l'injecteur ou l'apparition de phases de dépression dans la conduite d'injection. Il résulte de ces incidents un phénomène de bavage (ouverture répétée de l'aiguille d'injecteur) qui affecte la composition des gaz d'échappement ou des phénomènes de cavitation qui favorisent l'usure des conduites d'injection et des injecteurs. Pour éviter les réflexions, un calibrage précède le clapet de refoulement et n'agit que dans le sens du retour. Le frein de réaspiration comprend un plateau et un ressort de compression. Il n'intervient pas dans le sens d'écoulement normal, mais assure un effet d'amortissement dans le sens du retour (figure 12).

Clapet de refoulement à pression constante

La « décharge de volume » assurée par le clapet de refoulement – et son piston de décharge – des moteurs à injection directe à régime rapide est souvent insuffisante pour éviter totalement les phénomènes de cavitation, de bavage et le reflux des gaz de combustion

dans l'ensemble injecteur/porte-injecteur sur toute la cartographie. Dans ces cas, on emploie des clapets de refoulement à pression constante, qui délestent le système haute pression (conduite et ensemble injecteur/porte-injecteur) en abaissant la pression à un niveau réglable, p. ex. 60 bar (figure 13), par l'intermédiaire d'un clapet antiretour à effet unilatéral.

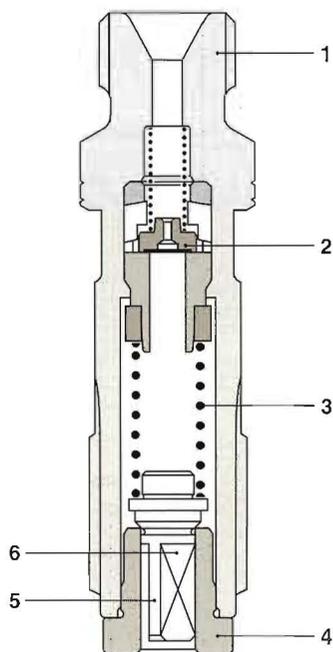
Conduites de refoulement

Les conduites de refoulement d'un équipement d'injection sont adaptées à la loi d'injection. Elle ne doivent subir aucune modification au cours des travaux d'entretien. Les conduites de refoulement relient la pompe d'injection et les porte-injecteurs et sont posées sans coude marqué. Les conduites de refoulement des moteurs automobiles sont généralement fixées par des colliers disposés à intervalles réguliers. Elles sont réalisées en tube d'acier sans soudure.

Figure 12

Clapet de refoulement à frein de réaspiration.

- 1 ensemble de clapet de refoulement,
- 2 frein de réaspiration, 3 ressort de clapet,
- 4 porte-clapet, 5 tige de piston,
- 6 piston de détente.

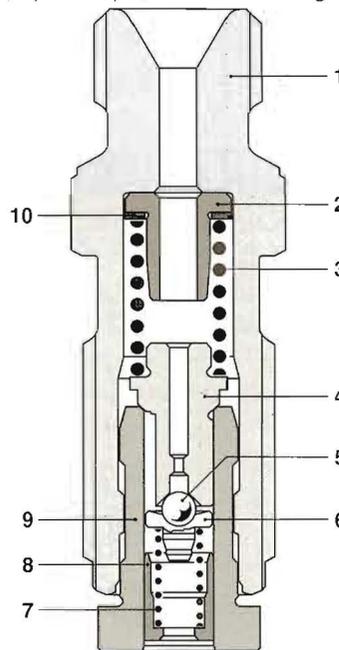


UMK1183Y

Figure 13

Clapet de refoulement à pression constante.

- 1 ensemble de clapet de refoulement, 2 cale et guide-clapet, 3 ressort (clapet de refoulement),
- 4 piston de clapet, 5 clapet de refoulement à pression constante, 6 cuvette de ressort, 7 ressort (clapet de refoulement à pression constante),
- 8 douille de réglage, 9 porte-clapet, 10 rondelles de réglage.



UMK1184Y

Régulation mécanique de la vitesse de rotation

Application

Le comportement en marche des véhicules diesel donne satisfaction quand le moteur répond à chaque mouvement de la pédale d'accélérateur. Au démarrage, le moteur ne doit pas tendre à caler. Le véhicule doit accélérer et décélérer sans à-coups à chaque variation de la position de la pédale d'accélérateur. La vitesse de déplacement du véhicule ne doit pas varier pour une position inchangée de la pédale d'accélérateur et une pente constante. Dès que l'on relâche la pédale d'accélérateur, le moteur doit freiner le véhicule. Ces fonctions incombent au régulateur de vitesse de la pompe distributrice du moteur diesel.

Le bloc régulateur, constitué d'un régulateur centrifuge et d'un groupe de leviers, fonc-

tionne avec une extrême sensibilité et définit la position du tiroir de régulation, c'est-à-dire la course de refoulement et le débit d'injection. Les différentes versions du groupe de leviers permettent d'adapter la grandeur de référence (figure 1).

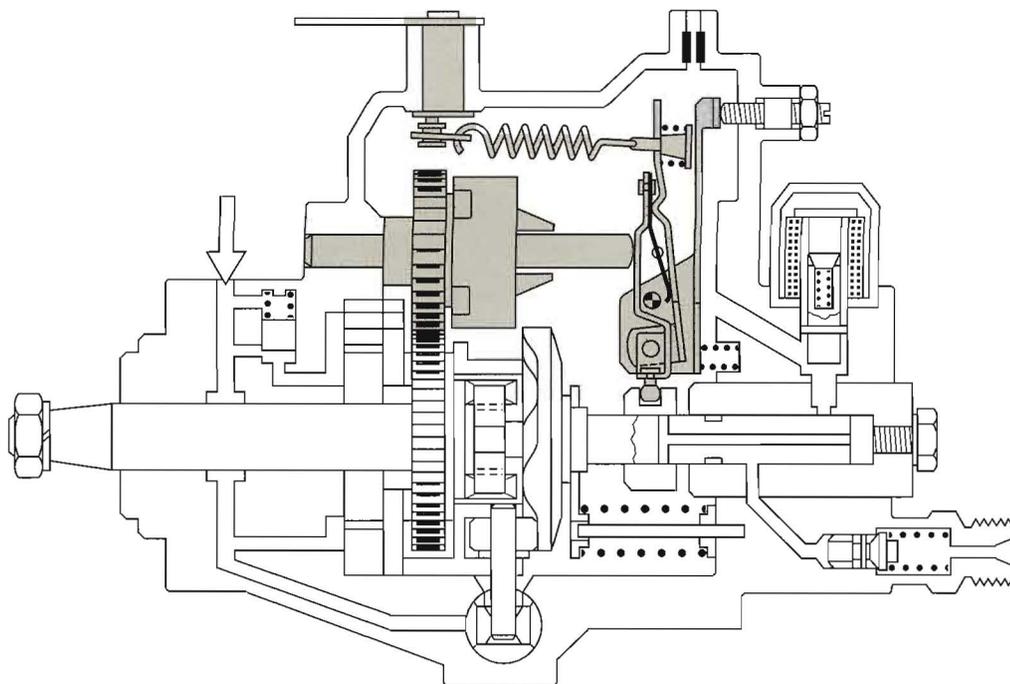
Fonctions du régulateur de vitesse

La fonction principale de chaque régulateur est de limiter la vitesse maximale. Selon le type de régulateur, d'autres fonctions sont le maintien à un niveau constant de certains régimes, tels le régime de ralenti ou les régimes d'une plage définie ou de toute la plage de vitesses entre le ralenti et la vitesse maximale. Les différentes fonctions de régulation impliquent différents types de régulateurs (figure 2) :

- régulation du ralenti : le régime de ralenti prédéfini du moteur diesel est modulé par le régulateur de la pompe d'injection ;
- régulation de la vitesse maximale à vide : en cas de décharge, le régime maximal de pleine charge est limité au niveau du régime de ralenti supérieur lorsque l'accélé-

Figure 1

Pompe d'injection distributrice avec bloc régulateur constitué d'un régulateur centrifuge et d'un groupe de leviers.



rateur est enfoncé. Le régulateur tient compte de cette situation et ramène le tiroir de régulation en direction de « stop ». Le moteur reçoit moins de carburant.

- Régulation des vitesses intermédiaires : les régulateurs toutes vitesses assurent la régulation des régimes intermédiaires. Ce type de régulateur permet aussi de maintenir constantes – dans certaines limites – les vitesses comprises entre le ralenti et le régime maximum. Le régime n ne varie donc qu'entre n_{VT} (un régime de la courbe de pleine charge) et n_{LT} (moteur tournant à vide), en fonction de la charge spécifique de la plage de puissance du moteur.

En plus de son rôle effectif, le régulateur remplit aussi des fonctions de commande :

- libération ou blocage du surplus de carburant nécessaire au démarrage,
- variation du débit de pleine charge en fonction du régime (correction).

Certaines de ces fonctions annexes imposent l'emploi de dispositifs d'adaptation.

Précision de la régulation

Le degré de proportionnalité (P) ou statisme constitue le paramètre spécifique de la précision de régulation d'un régulateur. Il représente l'augmentation relative, en pourcentage, de la vitesse de rotation quand la charge du moteur diminue, sans que le levier de commande ne change de position. L'augmentation du régime ne doit pas dépasser une valeur bien déterminée à l'intérieur de l'étendue de régulation. Le régime supérieur de ralenti constitue la valeur maximale. Il est atteint lorsque la charge du moteur diesel décroît à partir du régime maximum de pleine charge et devient nulle. L'augmentation du régime est proportionnelle à la variation de la charge. Elle est d'autant plus importante que la variation de la charge est grande.

$$\delta = \frac{n_{l0} - n_{v0}}{n_{v0}}$$

ou, en pourcentage :

$$\delta = \frac{n_{l0} - n_{v0}}{n_{v0}} \cdot 100\%$$

où

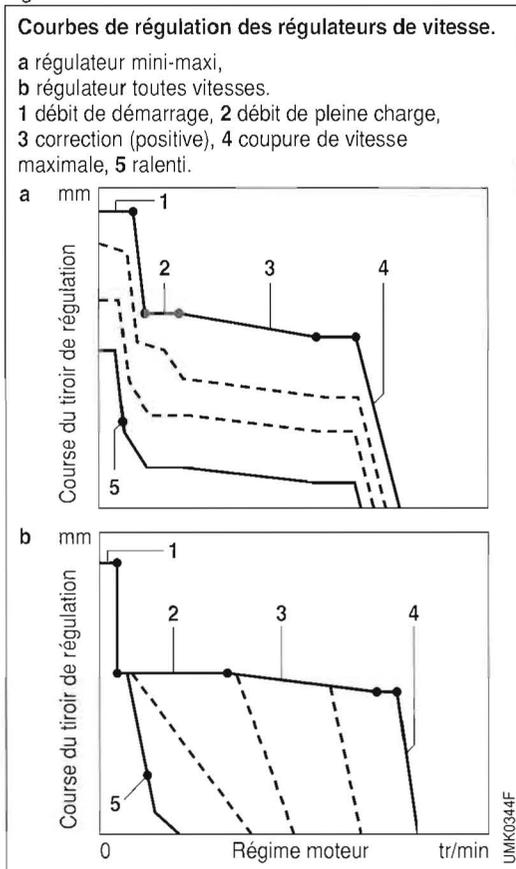
δ statisme

n_{l0} vitesse maximale à vide

n_{v0} vitesse maximale à pleine charge

La valeur de statisme à choisir dépend des conditions d'utilisation du moteur diesel. Ainsi, les groupes électrogènes disposent d'un faible statisme, afin de limiter les fluctuations de régime et donc les variations de fréquence en cas de variations de la charge. Pour les véhicules automobiles, il est préférable de prévoir un statisme plus important, qui favorise la stabilité de la régulation et du fonctionnement en cas de faibles variations de la charge (accélération ou décélération du véhicule). Le choix d'un statisme trop faible pour le véhicule entraînerait un manque de souplesse du moteur (à-coups) lors de variations de la charge.

Figure 2



Régulateur toutes vitesses

Ce type de régulateur module toutes les vitesses de rotation, du régime de démarrage à la vitesse maximale à vide. Le régulateur toutes vitesses n'assure pas seulement la régulation du régime de ralenti et du régime nominal, mais aussi des vitesses comprises dans la plage intermédiaire. La pédale d'accélérateur permet de sélectionner une vitesse de rotation à maintenir constante avec une plus ou moins grande précision en fonction du statisme (figure 4).

Cette opération s'impose lorsque le véhicule utilitaire ou le moteur stationnaire doit entraîner des groupes secondaires (p. ex. treuil, pompe d'incendie, grue, etc.). Ce type de régulateur est aussi fréquemment utilisé sur les véhicules utilitaires et sur les machines agricoles (tracteurs, moissonneuses-batteuses).

Conception

Le bloc régulateur, qui comprend le carter des masselottes et les masselottes, est mis en mouvement par l'arbre d'entraînement de la

pompe. Le bloc régulateur tourne sur l'axe de régulation solidaire du corps de pompe. Le mouvement radial des masselottes est transformé par celles-ci en translations axiales du manchon central, dont la poussée et la course influencent la position du mécanisme de détection. Ce dernier est constitué du levier de réglage (non représenté), du levier de tension et du levier de démarrage. La position du mécanisme de détection est définie par l'interaction de la force des ressorts et de la poussée exercée par le manchon central. Le mouvement de correction est transmis au tiroir de régulation, qui détermine alors le débit de refoulement.

Comportement au démarrage

Quand la pompe d'injection distributrice est à l'arrêt, les masselottes sont au repos et le manchon central se trouve dans sa position initiale (figure 3a). Le ressort pousse le levier dans la position de démarrage. Le levier de démarrage pivote alors sur son centre de rotation M_2 . Simultanément, la rotule du levier de démarrage fait coulisser le tiroir de régulation.

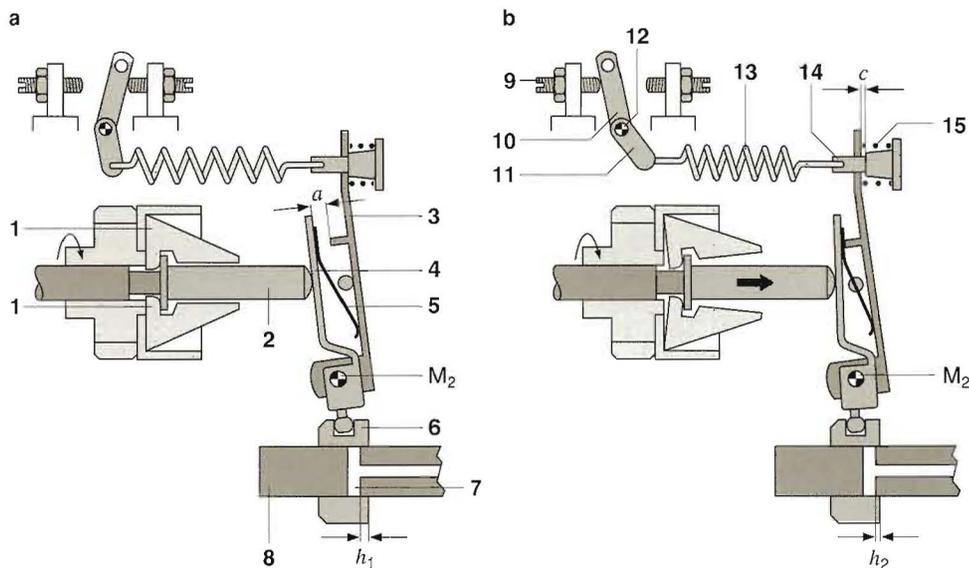
Figure 3

Régulateur toutes vitesses en position de démarrage et de ralenti.

a position de démarrage, b position de ralenti.

1 masselottes, 2 manchon central, 3 levier de tension, 4 levier de démarrage, 5 ressort de démarrage, 6 tiroir de régulation, 7 orifice de distribution du piston distributeur, 8 piston distributeur, 9 vis de réglage du ralenti, 10 levier de commande de vitesse, 11 levier, 12 arbre du levier de commande, 13 ressort de régulation, 14 axe d'arrêt, 15 ressort de ralenti.

a course du ressort de démarrage, c course du ressort de ralenti, h_1 course utile max. (démarrage), h_2 course utilise min. (ralenti) : M_2 centre de rotation de 4 et 5.



tion sur le piston distributeur vers la position de débit de surcharge au démarrage. Par conséquent, le piston distributeur doit parcourir une course utile importante (volume de refoulement max. = surdébit de démarrage) avant que l'orifice de distribution ne soit démasqué. Cette course du piston distributeur définit le débit de surcharge au démarrage.

Le levier de réglage se déplace sur un pivot logé dans le corps de pompe. Sa position peut être corrigée par l'intermédiaire de la vis de réglage du débit (non représentée sur la figure 3). Les leviers de tension et de démarrage disposent aussi d'un pivot sur le levier de réglage. La base du levier de démarrage possède une rotule qui s'engage dans le tiroir de régulation ; le ressort de démarrage est fixé à la partie supérieure du levier. Un axe d'arrêt, situé à l'extrémité supérieure du levier de tension, porte le ressort de ralenti. Le ressort de régulation est également accroché à cet axe. Un bras de levier et un arbre constituent la liaison avec le levier de commande de vitesse.

Il suffit d'une petite vitesse de rotation pour introduire la translation du manchon central de la valeur (a) contre le ressort mou de démarrage. Au cours de cette opération, le levier de démarrage pivote à nouveau autour du point M_2 et le débit de surcharge est ramené automatiquement au débit de ralenti.

Régulation du ralenti

Après le démarrage du moteur diesel et le relâchement de la pédale d'accélérateur, le levier de commande de vitesse passe en position de ralenti (figure 3b). Il vient alors en butée sur la vis de réglage de la vitesse de ralenti. Le régime de ralenti est choisi de manière à garantir le fonctionnement fiable du moteur à vide ou sous faible charge. La régulation est assurée par le ressort de ralenti monté sur l'axe d'arrêt. Ce ressort maintient l'équilibre avec la force engendrée par les masselottes.

Cet équilibre des forces détermine la position du tiroir de régulation par rapport à l'orifice de distribution du piston et fixe ainsi la course utile. La course (c) du ressort est terminée et la résistance opposée par le ressort de ralenti vaincue dès que la plage de ralenti est dépassée.

Cartographie d'un régulateur toutes vitesses.

A : position de démarrage du tiroir de régulation.
 S : démarrage du moteur et surdébit d'injection.
 S-L : passage du surdébit de démarrage au débit de ralenti.
 L : régime de ralenti n_{LN} après le démarrage du moteur (sans charge).
 L-B : phase d'accélération du moteur, après le positionnement du levier de commande sur un régime de consigne n_C à partir du ralenti.
 B-B' : le tiroir de régulation reste brièvement en position « pleine charge » et provoque une augmentation rapide du régime.
 B'-C : retour du tiroir de régulation (baisse du débit, régime supérieur), maintien de la vitesse ou du régime n_C voulu dans la plage de charge partielle, en fonction du statisme.
 E : régime n_{LT} obtenu après la décharge du moteur (décélération), la position du levier de commande restant inchangée.

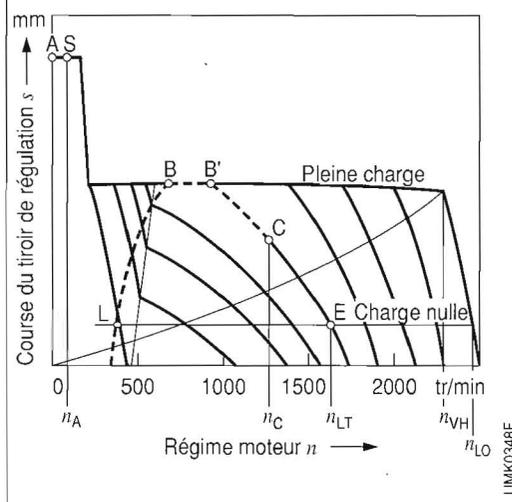


Figure 4

Le ressort de ralenti solidaire du corps de pompe permet de régler le ralenti indépendamment de la position de la pédale d'accélérateur et de l'augmenter si nécessaire en fonction de la température ou de la charge.

Fonctionnement en charge

Pendant le fonctionnement, le levier de commande de vitesse pivote dans une position définie par le régime du moteur ou la vitesse de roulage du véhicule. Cette position est déterminée par le conducteur, qui actionne la pédale d'accélérateur en conséquence. L'action des ressorts de démarrage et de ralenti est annulée pour les régimes supérieurs à la plage de ralenti. Ils n'ont aucune influence sur la régulation. Seul le ressort de régulation intervient dans ce cas.

Exemple (figure 5) :

Le conducteur actionne la pédale d'accélérateur et amène le levier de commande dans une position bien déterminée, qui doit correspondre à une vitesse de rotation (supérieure) voulue. A la suite de cette correction, le ressort de régulation est soumis à une tension d'une certaine valeur. Ainsi, l'effet de la force du ressort de régulation dépasse la force centrifuge. Les leviers de démarrage et de tension suivent le mouvement, c'est-à-dire qu'ils pivotent autour du centre de rotation M_2 et introduisent, grâce au rapport de transmission prévu, la translation du tiroir de régulation dans le sens « débit maximal ». Cette augmentation du débit de refoulement entraîne la montée du régime. Les masselottes accumulent des forces supérieures qui s'opposent à la force exercée par le ressort de régulation via le manchon central.

Le tiroir de régulation reste toutefois sur la position « plein débit » jusqu'à l'obtention de l'équilibre des couples. Si le régime du moteur continue d'augmenter, les masselottes se séparent davantage et l'effet de la poussée du

manchon central prédomine. Par conséquent, les leviers de démarrage et de tension pivotent autour de leur centre de rotation commun (M_2) et déplacent le tiroir de régulation dans la direction « stop ». L'orifice de décharge est donc démasqué plus tôt. La réduction du débit peut s'effectuer jusqu'à son annulation, opération qui garantit la limitation du régime. Chaque position du levier de commande correspond donc à une plage de régime bien définie pendant le fonctionnement et comprise entre le seuil de pleine charge et le point de charge nulle (à vide), à condition que le moteur ne soit pas surchargé. Le régulateur de vitesse maintient donc le régime de consigne prééglé dans le cadre de son statisme (figure 4).

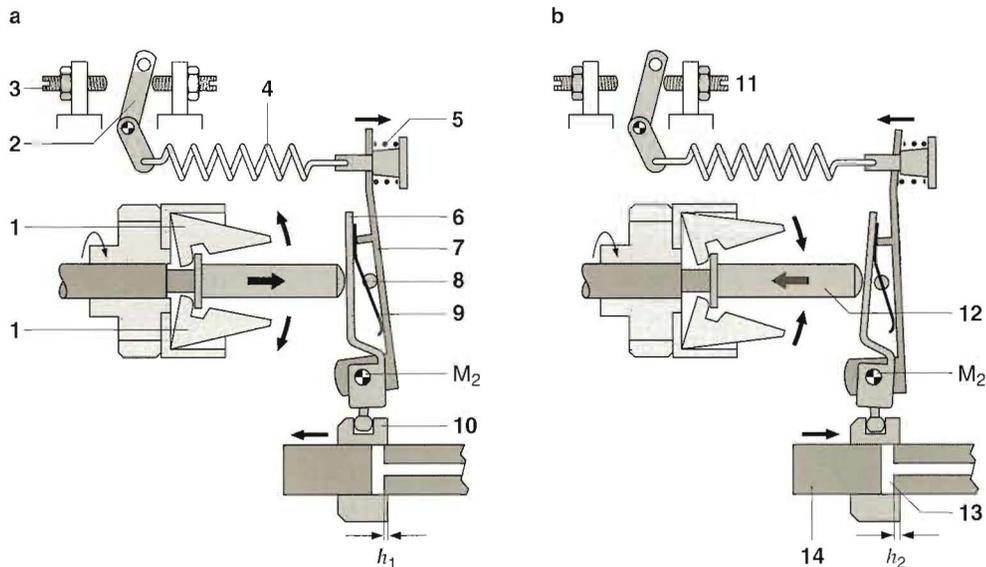
Si la charge (p. ex. rampe) est si importante que le tiroir de régulation se trouve en position de pleine charge, mais que le régime baisse cependant, le débit de carburant ne peut plus augmenter. Le moteur est surchargé et, dans ce cas, le conducteur doit sélectionner un rapport inférieur.

Figure 5

Régulateur toutes vitesses, fonctionnement en charge.

a mode à régime croissant, **b** à régime décroissant.

- 1 masselottes, 2 levier de commande de vitesse, 3 vis de réglage du ralenti, 4 ressort de régulation, 5 ressort de ralenti, 6 levier de démarrage, 7 levier de tension, 8 butée du levier de tension, 9 ressort de démarrage, 10 tiroir de régulation, 11 vis de réglage de la vitesse maximale, 12 manchon central, 13 orifice de décharge du piston distributeur, 14 piston distributeur.
 h_1 course utile au ralenti, h_2 course utile en pleine charge, M_2 centre de rotation de 6 et 7.



UMK0349Y

Régime de décélération

En cas de descente d'une côte (régime de décélération), le moteur est entraîné par le véhicule et accélère, à la suite de quoi le manchon central pousse les leviers de démarrage et de tension. Ces deux leviers changent de position et déplacent le tiroir de régulation dans le sens « réduction du débit » jusqu'à l'obtention d'un débit inférieur, correspondant au nouvel état de charge. Dans le cas limite, ce débit peut être nul. Ce comportement du régulateur toutes vitesses s'applique toujours à chaque position du levier de commande du régime lorsque la charge ou le régime subit une variation telle que le tiroir de régulation atteigne l'une de ses positions de fin de course : pleine charge ou stop.

Régulateur mini-maxi

Le régulateur mini-maxi module seulement le régime de ralenti et la vitesse maximale. La plage de vitesses intermédiaires est commandée directement par la pédale d'accélérateur (figure 6).

Conception

Le bloc régulateur, qui comprend les masselottes et l'ensemble de leviers, est comparable à celui du régulateur toutes vitesses déjà décrit. La conception du régulateur mini-maxi se distingue par le type et le montage du ressort de régulation. Il s'agit d'un ressort de compression logé dans une chemise de guidage. Un axe d'arrêt assure la liaison entre le levier de tension et le ressort de régulation.

Comportement au démarrage

Le manchon central se trouve en position initiale, car les masselottes sont au repos. Le ressort de démarrage peut donc pousser les masselottes vers l'intérieur via le levier de démarrage et le manchon central. Le tiroir de régulation, qui coulisse sur le piston distributeur, occupe donc la position « débit de surcharge au démarrage ».

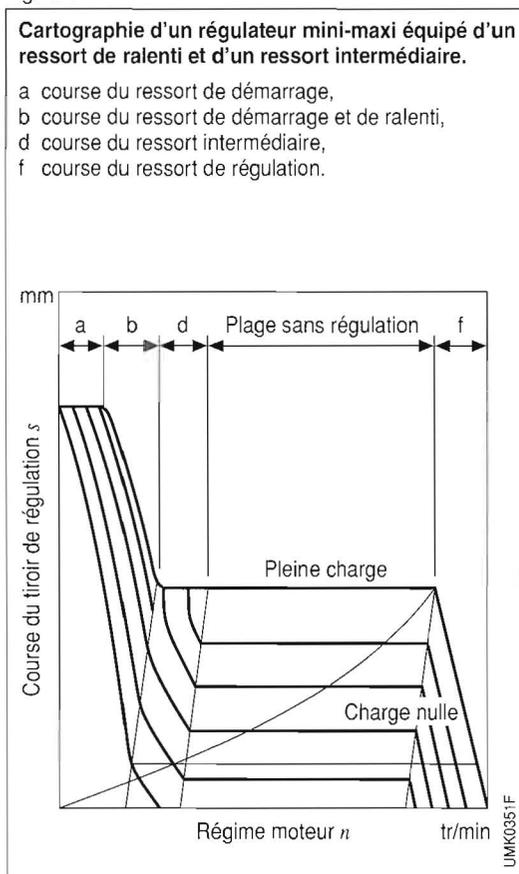
Régulation du ralenti

Après le démarrage du moteur et le relâchement de la pédale l'accélérateur, le levier de commande de vitesse passe en position de ralenti sous l'action du ressort de rappel. La montée du régime provoque l'augmentation de la force centrifuge exercée par les masselottes (figure 7a). Celles-ci poussent, par leur aile interne, le manchon central contre le levier de démarrage. La régulation est assurée par le ressort de ralenti solidaire du levier de tension. La rotation du levier de démarrage introduit le déplacement du tiroir de régulation dans le sens « réduction du débit ». La position du tiroir de régulation est déterminée par l'interaction de la force centrifuge et de la force des ressorts.

Fonctionnement en charge

Lorsque le conducteur actionne la pédale d'accélérateur, le levier de commande de vitesse pivote d'un angle bien déterminé. L'effet des ressorts de démarrage et de ralenti est annulé et le ressort intermédiaire intervient.

Figure 6



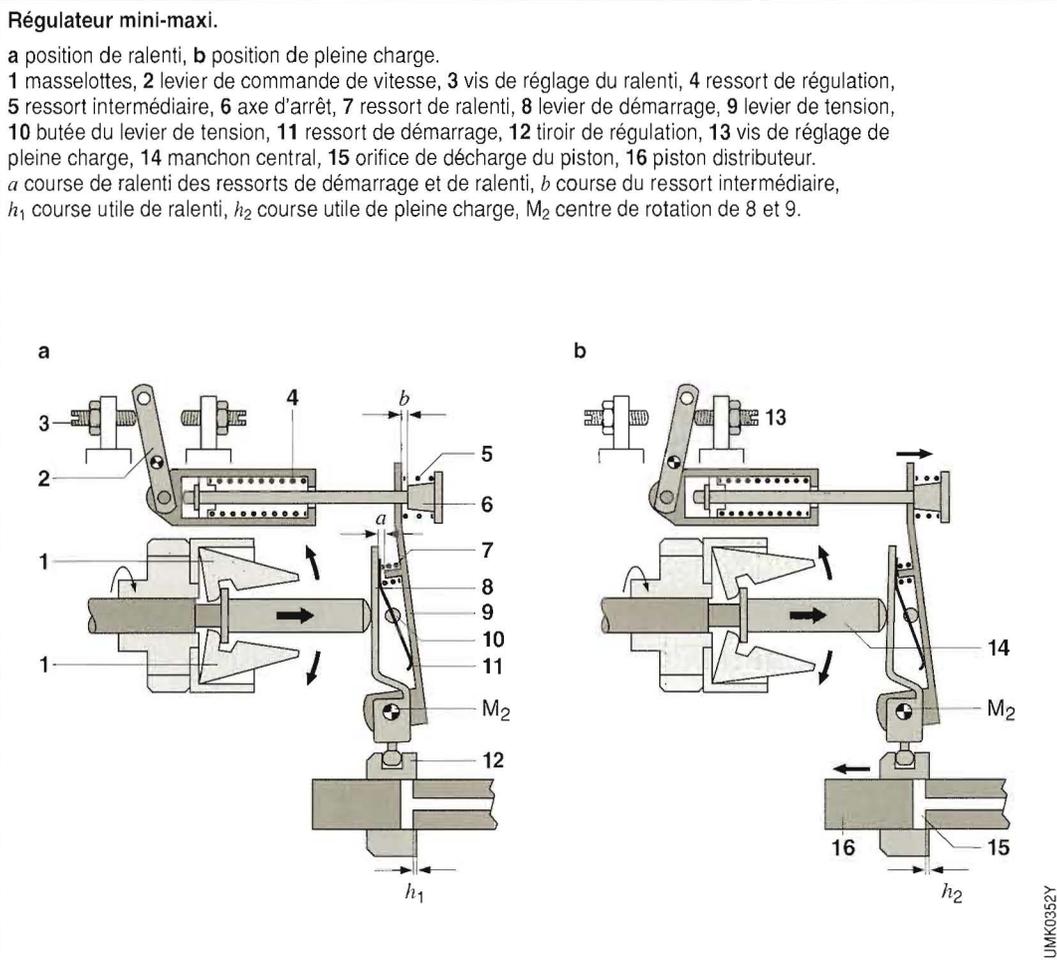
Le ressort intermédiaire du régulateur mini-maxi permet d'obtenir un passage « plus souple » à la plage non régulée. Si le levier de commande poursuit son déplacement dans le sens « pleine charge », le ressort intermédiaire accomplit une course complète jusqu'à ce que l'épaule de l'axe touche le levier de tension (figure 7b). L'effet du ressort intermédiaire est alors annulé et le point de non-régulation est atteint. La tension initiale du ressort de régulation définit l'étendue non régulée. Le ressort peut être considéré comme rigide pour cette plage de régime. La variation de la position du levier de commande (ou de la pédale d'accélérateur) induite par le conducteur peut alors être transmise au tiroir de régulation par l'intermédiaire du mécanisme de détection. Le débit de refoulement dépend donc directement de la position de la pédale d'accélérateur. Si le conducteur veut accélérer ou gravir une côte, il doit donner davantage de « gaz ». En revanche, une dimi-

nution de la puissance du moteur impose un certain relâchement de la pédale d'accélérateur.

Si une décharge du moteur intervient, la position du levier de commande ne variant pas, le régime tend à augmenter pour le même débit. La force centrifuge croît et les masselottes déplacent davantage le manchon central en direction des leviers de démarrage et de tension. Dès que le tarage initial du ressort de régulation est vaincu par la poussée du manchon, la coupure d'injection intervient dans la plage du régime nominal.

En cas de fonctionnement à vide total, le moteur atteint le régime de ralenti supérieur et est ainsi protégé contre tout emballement. La plupart des voitures particulières sont équipées d'un système combiné de régulation toutes vitesses et mini-maxi.

Figure 7



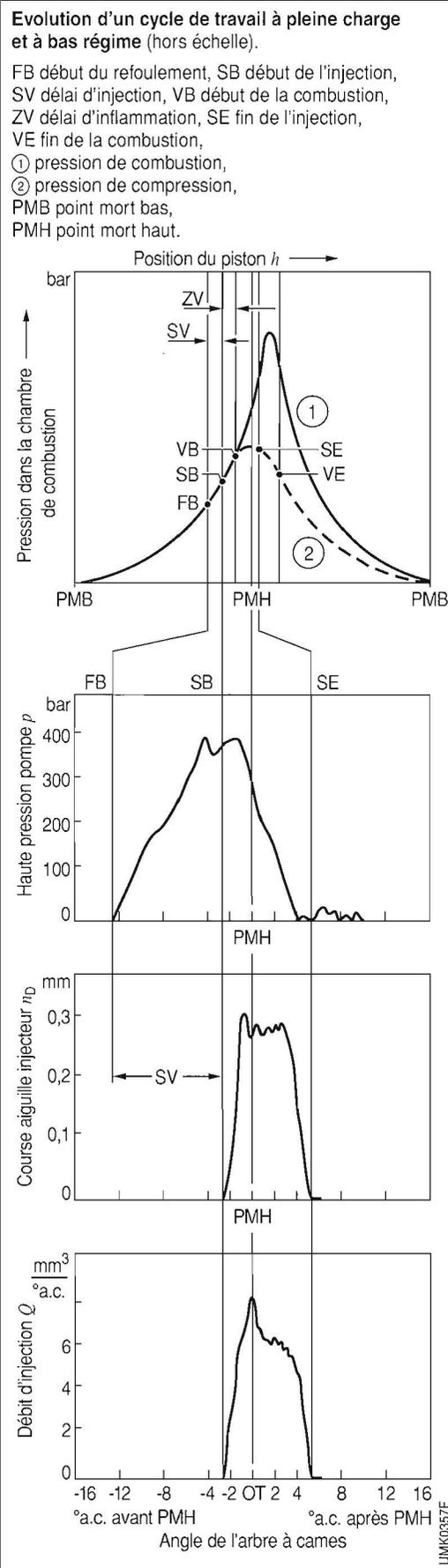
Variation de l'avance

Le variateur d'avance de la pompe distributrice permet d'avancer le début du refoulement par rapport à la position du vilebrequin du moteur et en fonction de la vitesse de rotation afin de compenser le retard d'injection et d'inflammation. Exemple (figure 1) : le début de refoulement (FB) succède à la fermeture du canal d'arrivée. Une haute pression s'établit à l'intérieur de la pompe, qui introduit le début d'injection (SB) dès que la pression d'ouverture des injecteurs est atteinte. La durée comprise entre FB et SB est appelée « délai d'injection » (SV). La compression se poursuit dans la chambre et déclenche le début de la combustion (VB). La période comprise entre SB et VB est appelée « délai d'inflammation » (ZV). Dès l'ouverture de l'orifice de décharge, la haute pression à l'intérieur de la pompe diminue (fin du refoulement), puis l'aiguille d'injecteur se ferme (fin de l'injection, SE). La fin de la combustion (VE) succède à cette phase.

Fonction

Pendant la phase de refoulement de la pompe d'injection, l'ouverture de l'injecteur est produite par une onde de pression qui se propage, à la vitesse du son, dans la conduite d'injection. La durée de ce phénomène dépend surtout de la vitesse de rotation. Toutefois, l'angle de rotation décrit par le vilebrequin entre le début de refoulement et le début d'injection augmente au fur et à mesure que le régime croît. Une correction s'impose donc par l'avance du début de refoulement. La durée de propagation de l'onde de pression est déterminée par les dimensions de la conduite d'injection et par la vitesse du son qui est de 1500 m/s environ dans le gazole. Le délai correspondant est appelé « délai d'injection ». Le début d'injection est donc en retard sur le début de refoulement. En raison de ce phénomène, l'ouverture de l'injecteur est donc davantage différée à vitesse élevée qu'à bas régime, par rapport à la position du piston du moteur. Après l'injection, le gazole a besoin d'un certain temps pour se transformer en gaz et se combiner à l'air afin de former un mélange inflammable.

Figure 1



Avance à l'injection

Cette durée de conditionnement du mélange est indépendante de la vitesse de rotation du moteur. La période qui s'écoule entre le début d'injection et le début de la combustion dans un moteur diesel est appelée « délai d'inflammation ».

Ce délai d'inflammation dépend de l'inflammabilité du gazole (caractérisée par l'indice de cétane), du rapport volumétrique, de la température de l'air et de la pulvérisation du carburant. En général, la durée du délai d'inflammation est de l'ordre d'une milliseconde. Le début d'injection étant constant et le régime du moteur croissant, l'angle de rotation décrit par le vilebrequin entre le début d'injection et le début de combustion augmente, si bien que ce dernier ne peut plus être déclenché au bon moment – par rapport à la position du piston du moteur.

Etant donné que la combustion parfaite du carburant et le meilleur rendement du moteur diesel ne sont obtenus que pour une position bien définie du vilebrequin et du piston, le début de refoulement de la pompe d'injection doit être

avancé à mesure qu'augmente le régime, afin de compenser le décalage dans le temps provoqué par le délai d'injection et d'inflammation. C'est le rôle du variateur d'avance, qui intervient en fonction de la vitesse de rotation.

Variateur d'avance

Conception

Le variateur d'avance à commande hydraulique est monté dans la partie inférieure du corps de la pompe distributrice, perpendiculairement à son axe longitudinal (figure 2).

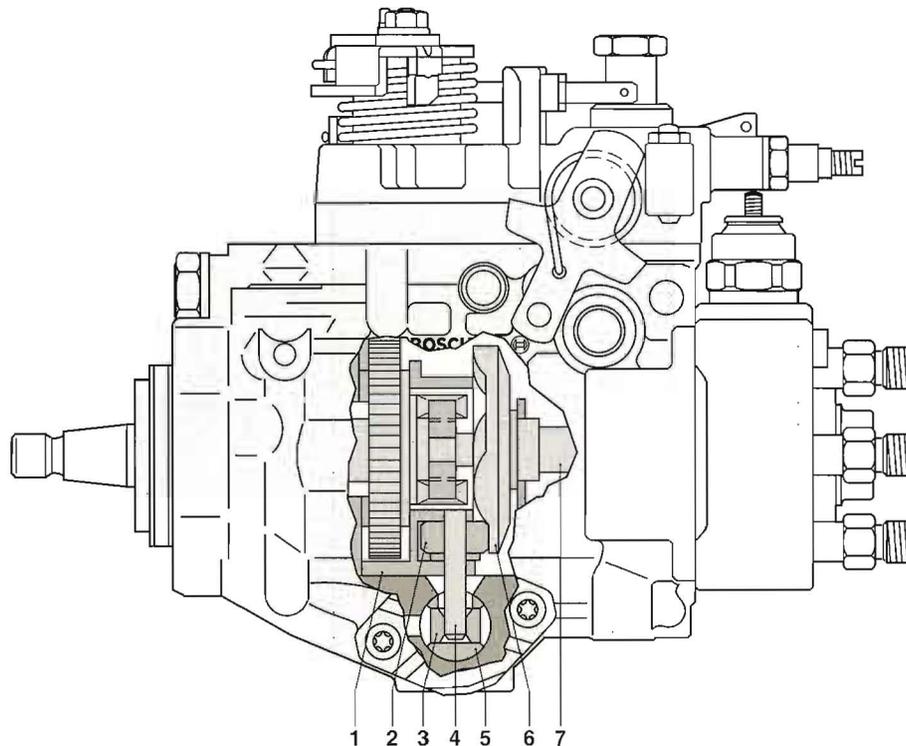
Le piston du variateur est guidé par le corps de pompe. Un couvercle obture le corps de chaque côté. Le piston du variateur présente un canal qui permet l'entrée du carburant, tandis qu'un ressort de pression est disposé sur le côté opposé.

Le piston est relié à la bague porte-galets par un coulisseau et un axe, ce qui permet de transformer le mouvement alternatif en mouvement rotatif.

Figure 2

Pompe d'injection distributrice avec variateur d'avance.

- 1 bague porte-galets, 2 galet, 3 coulisseau, 4 axe, 5 piston du variateur, 6 disque à cames, 7 piston distributeur.



Fonctionnement

Le piston du variateur d'avance de la pompe distributrice est maintenu dans sa position initiale par le ressort taré du variateur (figure 3a). Pendant le fonctionnement, la pression du carburant à l'intérieur de la pompe est réglée proportionnellement à la vitesse de rotation par le régulateur de pression. Par conséquent, la pression du carburant engendrée à l'intérieur de la pompe proportionnellement à la vitesse de rotation est appliquée sur le côté du piston opposé au ressort du variateur d'avance.

A partir d'un régime de 300 tr/min, la pression du carburant (intérieur de la pompe) surmonte le tarage initial du ressort et déplace le piston du variateur vers la gauche (figure 3b). Le mouvement axial du piston est transmis à la bague porte-galets en rotation par l'intermédiaire du coulisseau et de l'axe. La position relative du disque à cames et de la bague porte-galets varie donc, de sorte que les galets soulèvent le disque à cames en rotation avec une certaine avance. Le disque à cames et le piston distributeur sont par conséquent déphasés d'un angle de rotation donné par rapport à la bague porte-galets. Le décalage angulaire atteint généralement 12 degrés d'arbre à cames (24 degrés vilebrequin).

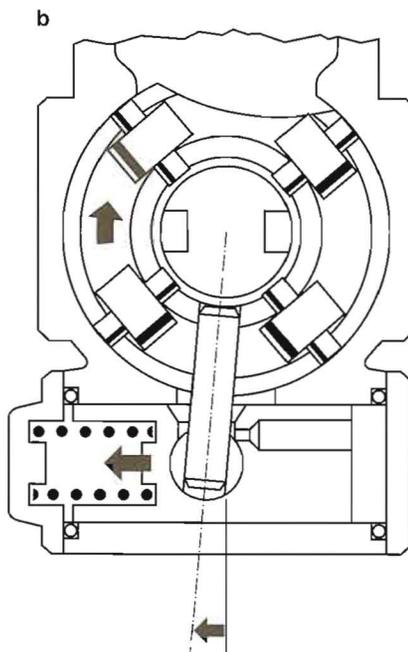
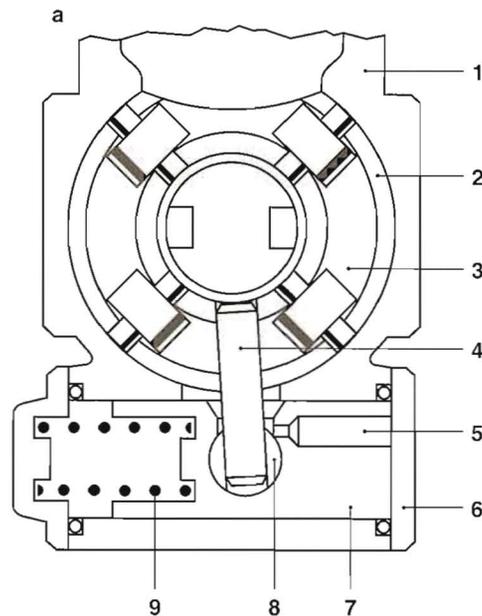
Figure 3

Fonctionnement du variateur d'avance.

a position de repos,

b position de service.

- 1 corps de pompe, 2 bague porte-galets,
- 3 galet, 4 axe, 5 canal du piston du variateur,
- 6 couvercle, 7 piston du variateur, 8 coulisseau,
- 9 ressort du variateur.



UMK0355Y

Avance à l'injection

Dispositifs d'adaptation et d'arrêt

bleau ci-après présente les groupes d'adaptation et leur influence sur le moteur diesel. Le schéma fonctionnel montre l'interaction de l'équipement de base et des groupes d'adaptation de la pompe distributrice (figure 2).

Application

La pompe d'injection distributrice est réalisée selon le principe de construction modulaire et peut être équipée de différents groupes additionnels, en fonction des exigences du moteur (figure 1). Cette formule offre de nombreuses possibilités d'adaptation pour obtenir un couple, une puissance, une consommation et des émissions d'échappement optima. Le ta-

Correction de débit

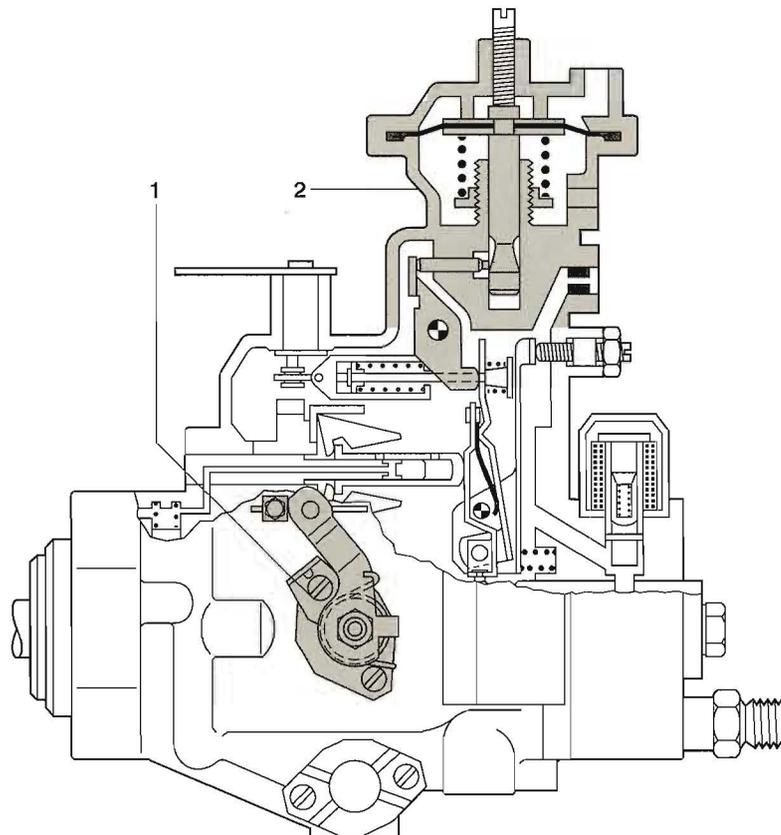
La correction de débit signifie l'adaptation de la quantité de carburant refoulée à la caractéristique de consommation du moteur en fonction de la vitesse de rotation.

Une correction s'avère nécessaire lorsque des exigences spécifiques sont imposées à la caractéristique de pleine charge (optimisation de la composition des gaz d'échappement, de

Figure 1

Pompe d'injection distributrice avec dispositifs d'adaptation.

- 1 accélérateur de démarrage à froid,
- 2 limiteur de richesse.



UMK0358Y

Figure 2

Schéma fonctionnel d'une pompe d'injection distributrice de type VE avec correction mécanique/hydraulique de pleine charge.

LDA Limiteur de richesse.

Modulation du débit de refoulement en fonction de la pression de suralimentation.

HBA Correcteur hydraulique de débit.

Modulation du débit de refoulement en fonction de la vitesse de rotation (pas sur les moteurs suralimentés dotés d'un limiteur de richesse).

LFB Initiateur de refoulement.

Adaptation du début du refoulement à la charge afin de réduire les bruits et les émissions polluantes.

ADA Correcteur altimétrique.

Modulation du débit de refoulement en fonction de la pression atmosphérique.

KSB Accélérateur de démarrage à froid.

Amélioration du comportement au démarrage à froid par variation du débit du refoulement.

GST Surcharge étagée (ou réglable).

Evite un débit de surcharge excessif au démarrage à chaud.

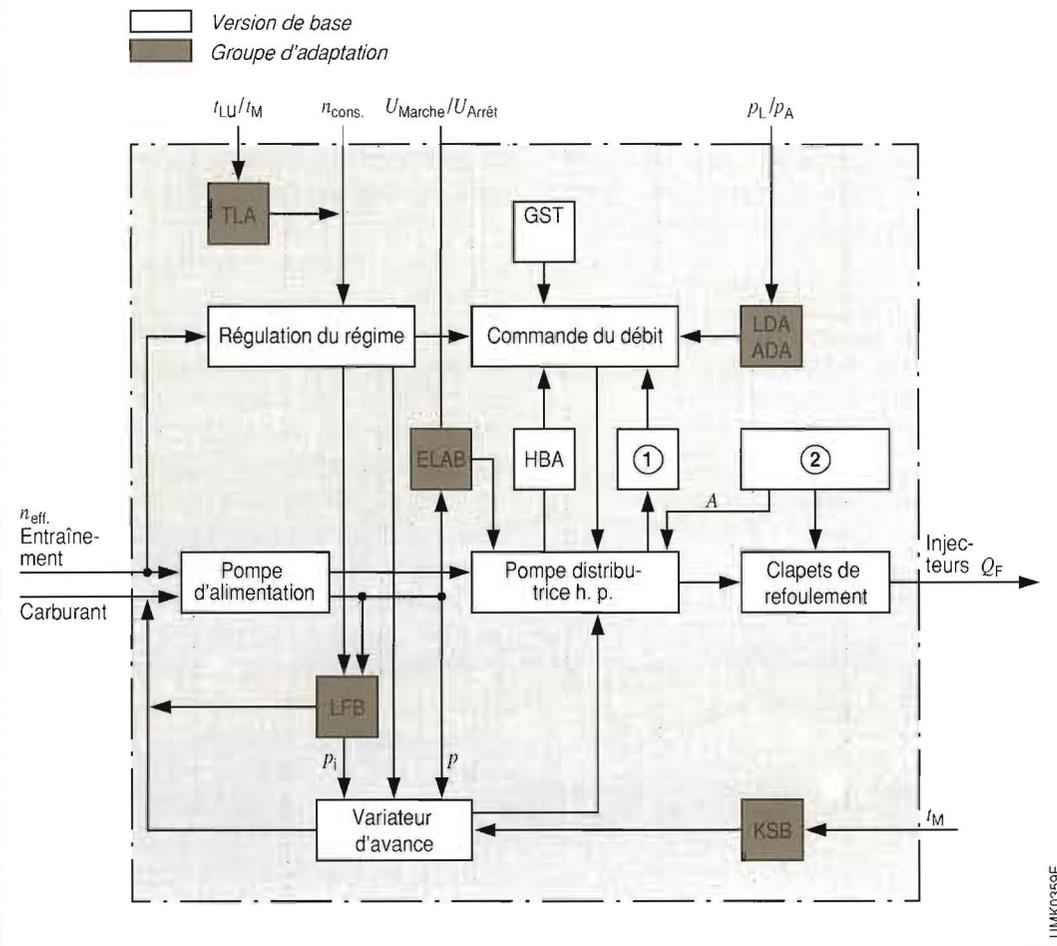
TLA Correcteur de ralenti.

Amélioration de la mise en action et de la stabilité de fonctionnement par augmentation du régime de ralenti lorsque le moteur est froid.

ELAB Dispositif d'arrêt électrique.

A section de décharge, n_{eff} régime effectif (grandeur réglée), n_{cons} régime de consigne (grandeur de référence), Q_F débit de refoulement, t_M température du moteur, t_{LU} température de l'air ambiant, p_L pression de suralimentation, p_A pression atmosphérique, p_i pression à l'intérieur de la pompe.

① Correction de pleine charge par le groupe de leviers de régulation, ② correction hydraulique de pleine charge.



la courbe de couple et de la consommation). La quantité de carburant injectée doit donc correspondre à la demande momentanée du moteur. La consommation du moteur commence par augmenter et diminue légèrement à régime élevé. La figure 3 montre la courbe de débit d'une pompe d'injection sans correction. La position du tiroir de régulation sur le piston distributeur restant inchangée, le débit refoulé par la pompe à régime élevé est légèrement supérieur à la quantité injectée à basse vitesse. L'effet d'étranglement au niveau de la section de décharge du piston distributeur est à l'origine de ce surdébit. Si le débit de la pompe d'injection est déterminé de manière à obtenir le couple maximum dans la plage de régime inférieure, la combustion de la quantité de carburant injectée ne peut plus s'effectuer sans dégagement de fumée à régime élevé. Une échauffement excessif du moteur et l'apparition de fumée résulteraient de ce surdébit d'injection. En revanche, si le débit maximum correspond aux besoins du moteur à vitesse maximale et à pleine charge, le moteur ne peut plus fournir sa puissance totale à bas régime, car le débit diminue également au fur et à mesure que le régime baisse. Le rendement n'est donc pas « optimal ». La quantité de carburant à injecter doit, par conséquent, être adaptée aux besoins du moteur. La correction du débit d'une pompe distributrice est assurée par le clapet de re-

foulement, la section de décharge, un groupe de leviers de régulation élargi ou un correcteur hydraulique de débit (HBA). Une correction de pleine charge au moyen du groupe de leviers de régulation intervient lorsque la correction positive par le clapet de refoulement ne suffit plus ou lorsqu'une correction de débit négative s'impose.

Correction de débit positive

Les pompes d'injection, qui refoulent trop de carburant aux régimes supérieurs, nécessitent une correction positive du débit de pleine charge. Pour éviter cette surcharge, le débit de la pompe d'injection doit être réduit lorsque le régime augmente.

Correction positive par le clapet de refoulement

Une correction positive du débit peut être obtenue, dans des limites bien définies, au moyen des clapets de refoulement, p. ex. par un ressort plus mou.

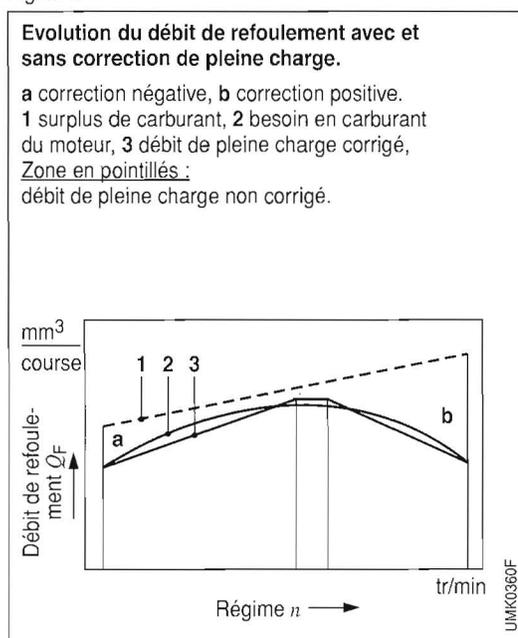
Correction positive par la section de décharge

L'optimisation des dimensions et de la forme de la section de décharge du piston distributeur permet d'exploiter l'effet d'étranglement de cette section pour obtenir une réduction du débit aux régimes élevés.

Correction positive par le groupe de leviers de régulation (figure 4a)

Le régime spécifique du début de la correction est obtenu par différents tarages du ressort de correction. L'équilibre entre la poussée du manchon (F_M) et la tension initiale du ressort de correction doit s'établir dès que ce régime bien défini est atteint. Le levier de correction (6) s'appuie sur le levier de tension (4) par l'intermédiaire de l'axe de butée (5). L'extrémité libre du levier de correction repose sur l'axe de correction de débit. L'augmentation du régime entraîne le renforcement de la poussée exercée par le manchon sur le levier de démarrage (1). Le centre de rotation (M_4) commun des leviers de démarrage et de correction change de position. Simultanément, le levier de correction pivote autour de l'axe de butée (5) et pousse l'axe de correction vers la butée. Le levier de démarrage pivote alors autour du centre de rotation (M_2) et pousse le ti-

Figure 3



roir de régulation (8) dans le sens « diminution du débit ». Dès que l'épaule (10) de l'axe de correction s'appuie sur le levier de démarrage (1), la phase de correction est terminée.

Correction de débit négative

Une correction négative de pleine charge peut s'imposer pour les moteurs qui tendent à émettre des fumées noires à bas régime ou qui exigent une augmentation particulière du couple. Les moteurs suralimentés demandent aussi une correction négative dès la fin d'intervention du limiteur de richesse (LDA). Dans ces conditions, l'augmentation notable du débit intervient toujours à régime croissant (figure 3).

Correction négative par le groupe de leviers de régulation (figure 4b)

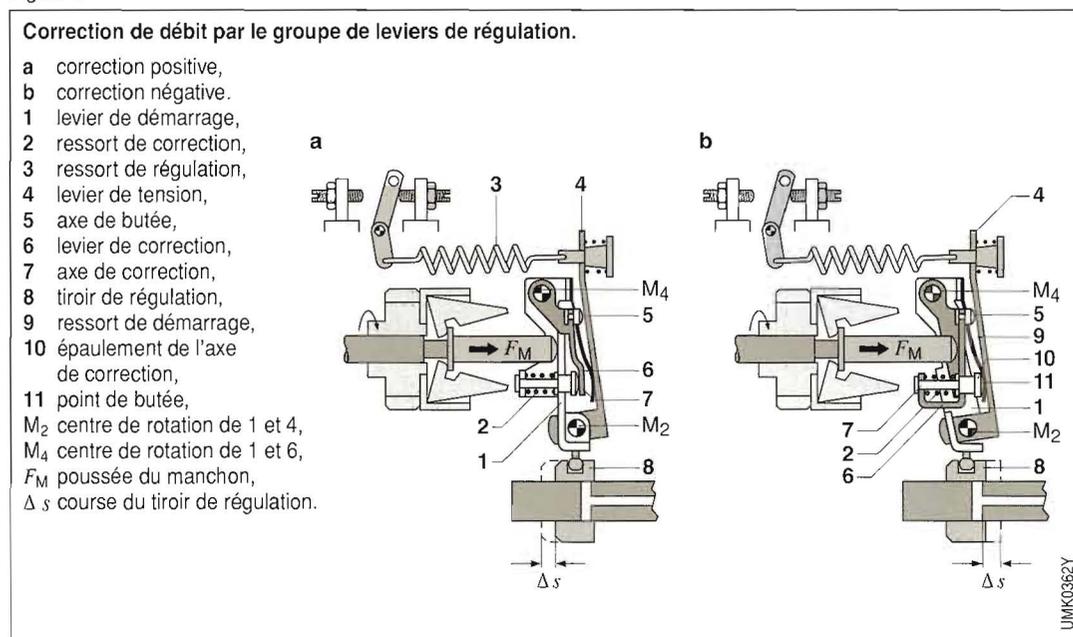
Après compression du ressort de démarrage (9), le levier de correction (6) s'appuie sur le levier de tension (4) par l'intermédiaire de l'axe de butée (5). L'axe de correction (7) repose aussi sur le levier de tension. Dès que l'élévation du régime provoque l'augmentation de la poussée du manchon (F_M), le levier de correction comprime le ressort de correction taré. Si la poussée du manchon surpasse la force exercée par le ressort de correction, le levier de correction (6) se déplace vers l'épaule (10) de l'axe de correction. Le

centre de rotation commun (M_4) des leviers de démarrage et de correction change alors de position. Simultanément, le levier de démarrage pivote autour de son axe de rotation (M_2) et pousse le tiroir de régulation (8) dans le sens « augmentation du débit ». Dès que le levier de correction repose sur l'épaule de l'axe de correction, la phase de correction est terminée.

Correction négative par le correcteur hydraulique de débit (HBA)

Les moteurs atmosphériques peuvent faire appel à une correction d'un effet analogue au limiteur de richesse pour influencer l'évolution du débit de pleine charge par le régime. La force de réglage du piston hydraulique est générée par la pression proportionnelle à la vitesse de rotation, régnant à l'intérieur de la pompe. A l'opposé de la correction par ressort, cette technique permet d'obtenir (dans certaines limites) des courbes de pleine charge définies par une came profilée sur un axe de commande.

Figure 4



Adaptation à la pression de suralimentation

Suralimentation par turbocompresseur

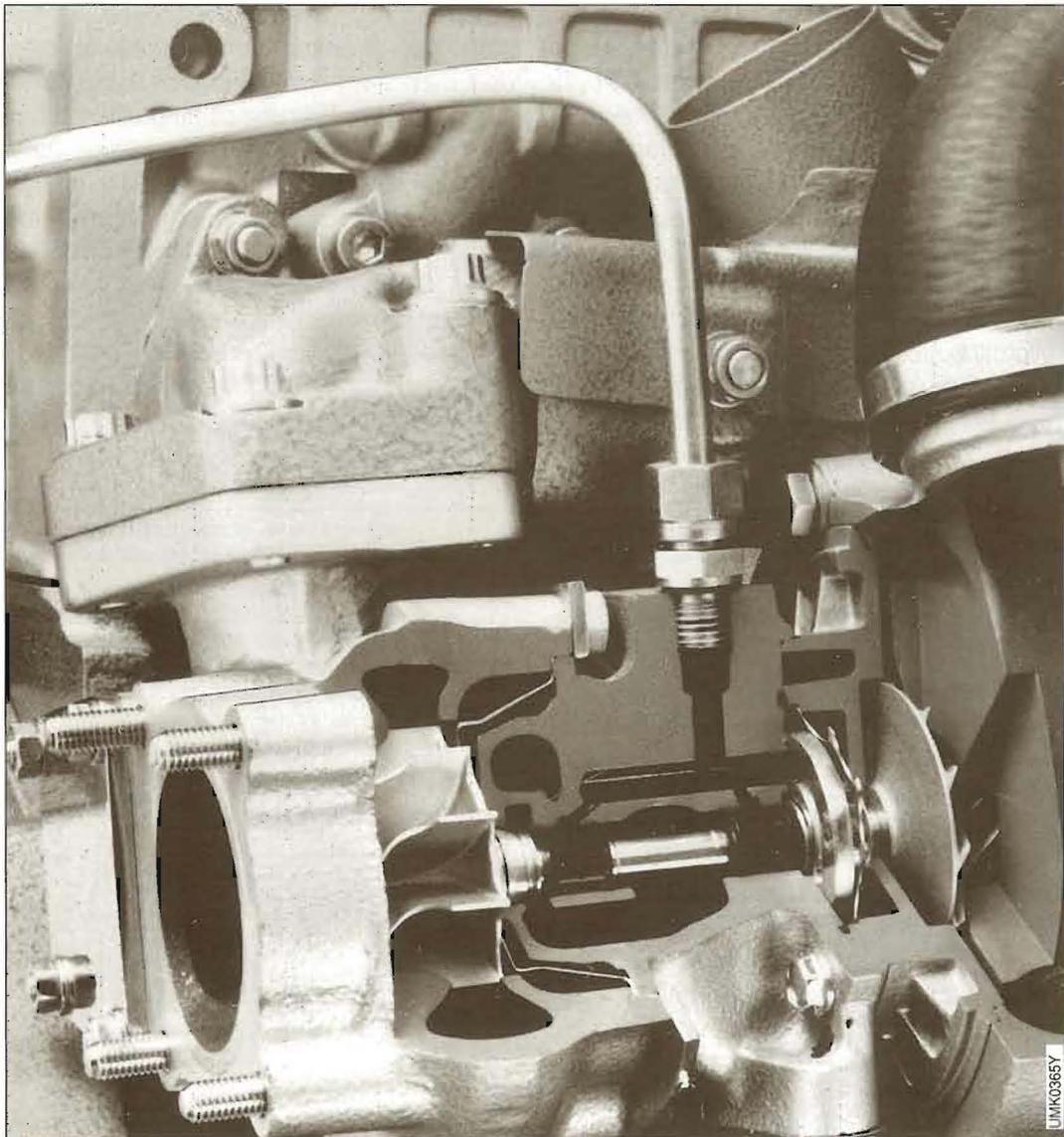
La suralimentation du moteur diesel par un turbocompresseur offre un gain de puissance par rapport à la méthode d'aspiration naturelle, l'encombrement et les régimes ne variant pratiquement pas. La puissance utile peut donc être augmentée en fonction de l'accroissement sensible de la masse d'air (figure 6). Bien souvent, il est également possible de réduire la consommation spécifique. La suralimentation du moteur diesel est réalisée grâce à l'emploi d'un turbocompresseur

entraîné par les gaz d'échappement (figure 5).

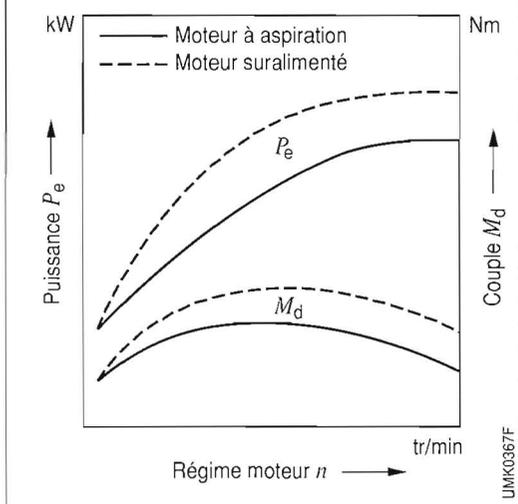
Les résidus gazeux de la combustion produits par le moteur ne s'échappent plus inutilement dans l'atmosphère, mais entraînent la turbine d'un turbocompresseur. Sa vitesse de rotation peut dépasser 100 000 tr/min. Un arbre relie la turbine au compresseur.

Ce dernier aspire l'air et l'envoie, sous pression, dans la chambre de combustion du moteur. Non seulement la pression, mais aussi la température de l'air aspiré augmente. Un refroidissement de l'air intervient entre le turbocompresseur et le moteur lorsque la température est trop élevée.

Figure 5 : turbocompresseur monté sur un moteur diesel.



Comparaison de puissance et de couple d'un moteur à aspiration et d'un moteur suralimenté.



Limiteur de richesse (LDA)

Le limiteur de richesse réagit à la pression de suralimentation du turbocompresseur ou du compresseur mécanique. Son rôle est d'adapter le débit de pleine charge à la pression de suralimentation (figures 6 et 7).

Fonction

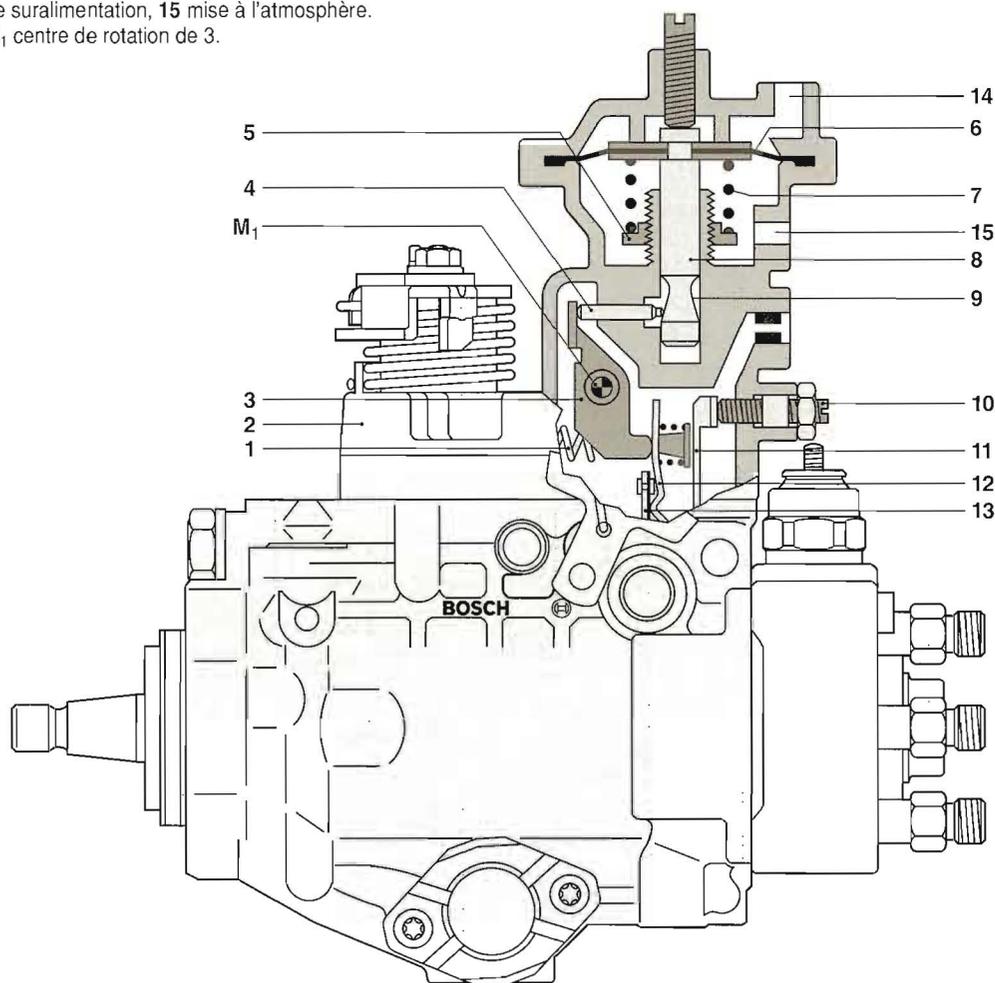
Le limiteur de richesse est utilisé sur les moteurs à suralimentation. Dans le cas des moteurs diesel, le débit de carburant est adapté à l'augmentation de la charge d'air aspirée par les cylindres (suralimentation). Lorsque le remplissage en air des cylindres du moteur diesel suralimenté diminue, la quantité de carburant doit être adaptée à cette charge d'air réduite. Cette fonction incombe au limiteur de

Figure 7

Figure 6

Pompe d'injection distributrice avec limiteur de richesse.

1 ressort de régulation, 2 couvercle de régulateur, 3 levier de butée, 4 axe de guidage, 5 écrou de réglage, 6 membrane, 7 ressort de compression, 8 axe de réglage, 9 cône de commande, 10 vis de réglage du débit de pleine charge, 11 levier de réglage, 12 levier de tension, 13 levier de démarrage, 14 raccord de pression de suralimentation, 15 mise à l'atmosphère.
M₁ centre de rotation de 3.



richesse, qui assure la diminution du débit de pleine charge à partir d'une pression de suralimentation bien déterminée et sélectionnable.

Conception

Le limiteur de richesse est monté au sommet de la pompe distributrice. Le raccord de pression de suralimentation et l'orifice de dégazage se trouvent à la partie supérieure du limiteur. Une membrane divise l'espace intérieur en deux chambres autonomes et étanches à l'air. Un ressort de compression agit sur la membrane ; son extrémité opposée est maintenue par un écrou de réglage qui permet de moduler la tension initiale du ressort. Le point d'intervention du limiteur de richesse est ainsi adapté à la pression de suralimentation du turbocompresseur. La membrane est solidaire de l'axe de réglage. Ce dernier présente un cône de commande qui est palpé par un axe de guidage. Cet axe transmet le mouvement de l'axe de réglage au levier de butée, qui fait varier la position de la butée de pleine charge. La position initiale de la membrane et de l'axe de réglage est fixée par la vis sans tête qui se trouve à la partie supérieure du LDA (figure 7).

Fonctionnement

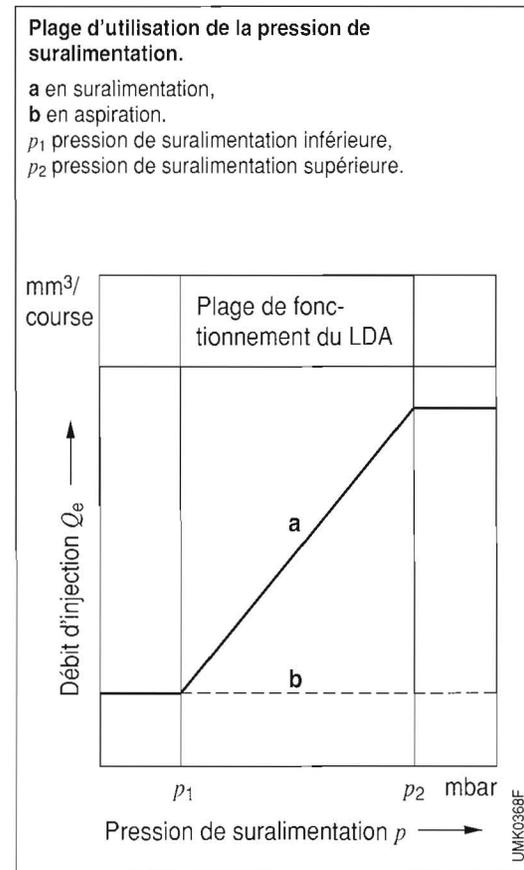
La pression de suralimentation générée par le turbocompresseur à basse vitesse ne suffit pas pour vaincre la force du ressort. La membrane se trouve en position initiale. Dès qu'elle est soumise à une force engendrée par l'augmentation de la pression de suralimentation, elle se déplace avec l'axe de réglage en s'opposant à la poussée exercée par le ressort. Au cours de ce mouvement vertical de l'axe de réglage, l'axe de guidage change de position, ce qui fait pivoter le levier de butée autour de son centre de rotation M_1 (figure 7). Grâce à la force de traction du ressort de régulation, les leviers de tension et de butée, l'axe de guidage et le cône de commande restent solidaires. Par conséquent, le levier de tension suit la rotation du levier de butée. Les leviers de démarrage et de tension pivotent autour de leur centre de rotation commun et déplacent le tiroir de régulation dans le sens « augmentation du débit ». La quantité de carburant correspond ainsi à la charge d'air plus importante admise dans la

chambre de combustion du moteur (figure 8). Lorsque la pression de suralimentation diminue, le ressort de compression situé sous la membrane pousse l'axe de réglage vers le haut. Le mouvement de réglage du mécanisme de détection se déroule en sens inverse et le débit de carburant diminue en fonction de la variation de pression. En cas de panne du turbocompresseur, le LDA revient à sa position initiale et limite le débit de pleine charge de manière à garantir une combustion exempte de fumée. La vis de butée de pleine charge, qui est incorporée au couvercle du régulateur, sert au réglage du débit maximum en présence de la pression de suralimentation.

Adaptation en fonction de la charge

Le début de refoulement doit être déplacé dans le sens « avance » ou « retard » en fonction de la charge du moteur diesel.

Figure 8



Initiateur de refoulement (LFB)

Fonction

L'initiateur de refoulement est conçu de manière à déclencher une variation du début de refoulement dans le sens « retard » lorsque la charge diminue (p. ex. passage de pleine charge à charge partielle), la position du levier de commande restant inchangée. Une augmentation de la charge provoque une correction du début de refoulement ou du point d'injection dans le sens « avance ». Cette formule d'adaptation permet d'améliorer la souplesse de fonctionnement du moteur et la composition des gaz d'échappement en charge partielle et au ralenti.

Conception

L'adaptation du début de refoulement en fonction de la charge est réalisée par des modifications au niveau du manchon central, de l'axe central et du corps de pompe. A cet effet, le manchon central présente un canal de distribution supplémentaire. Une gorge annulaire, un canal longitudinal et deux canaux

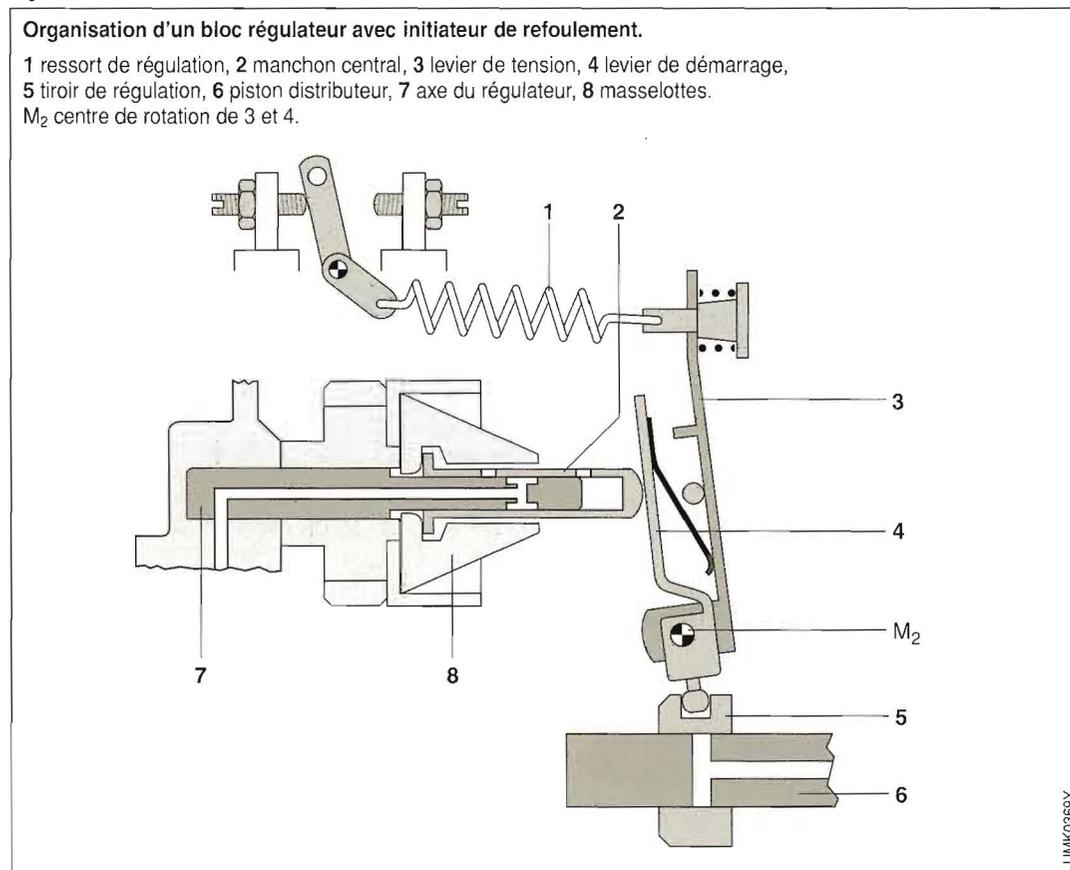
transversaux ont été usinés dans l'axe central (figure 9). Un autre canal a été alésé dans le corps de pompe. Cette organisation permet donc d'obtenir une liaison entre l'intérieur de la pompe et le côté aspiration de la pompe d'alimentation à palettes.

Fonctionnement

Le variateur d'avance corrige le début de refoulement dans le sens « avance » lorsque le régime augmente à la suite de l'élévation de la pression de la pompe d'alimentation. Le LFB induit une réduction de la pression à l'intérieur de la pompe et permet d'obtenir ainsi un décalage (relatif) dans le sens « retard ». La commande est assurée par la gorge annulaire de l'axe et le canal de distribution du manchon central. Le levier de commande de vitesse permet de sélectionner un régime de pleine charge bien déterminé.

Si cette vitesse est atteinte et que la charge est inférieure à la pleine charge, la vitesse augmente davantage. Les masselottes s'écartent alors et font coulisser le manchon central. Cette opération a pour effet, d'une

Figure 9



part, de réduire le débit de refoulement dans le cadre de la régulation normale et, d'autre part, de provoquer l'ouverture du canal du manchon central par la rampe-pilote de la gorge annulaire dans l'axe central. Une partie du carburant s'écoule ensuite vers le côté aspiration par les canaux (longitudinal et transversal) de l'axe central et entraîne une baisse de la pression à l'intérieur de la pompe.

Cette baisse de pression se traduit par une nouvelle position du piston du variateur d'avance. Par conséquent, la bague porte-galets tourne automatiquement dans le sens de rotation de la pompe, ce qui entraîne le décalage du début de refoulement dans le sens « retard ».

Une nouvelle augmentation de la charge, la position du levier de commande restant inchangée, provoque une diminution du régime. Les masselottes se déplacent vers l'intérieur et décalent le manchon central, qui obture alors le canal de distribution de l'axe central. Le carburant ne peut donc plus passer du côté aspiration et la pression augmente à l'intérieur de la pompe. Le piston du variateur

d'avance décrit un mouvement s'opposant à la force du ressort du variateur, la bague porte-galets se déplace dans la direction opposée au sens de rotation de la pompe et le début de refoulement est de nouveau décalé dans le sens « avance » (figure 10).

Adaptation en fonction de la pression atmosphérique

En altitude, la baisse de la densité de l'air est à l'origine de la réduction de la masse d'air aspirée par le moteur. La combustion totale de la quantité de carburant injectée à pleine charge n'est plus assurée. Ce phénomène se traduit par la formation de fumée et l'augmentation de la température du moteur. L'emploi d'un correcteur altimétrique permet d'éviter ces inconvénients. Il fait varier le débit de pleine charge en fonction de la pression atmosphérique.

Correcteur altimétrique (ADA)

Conception

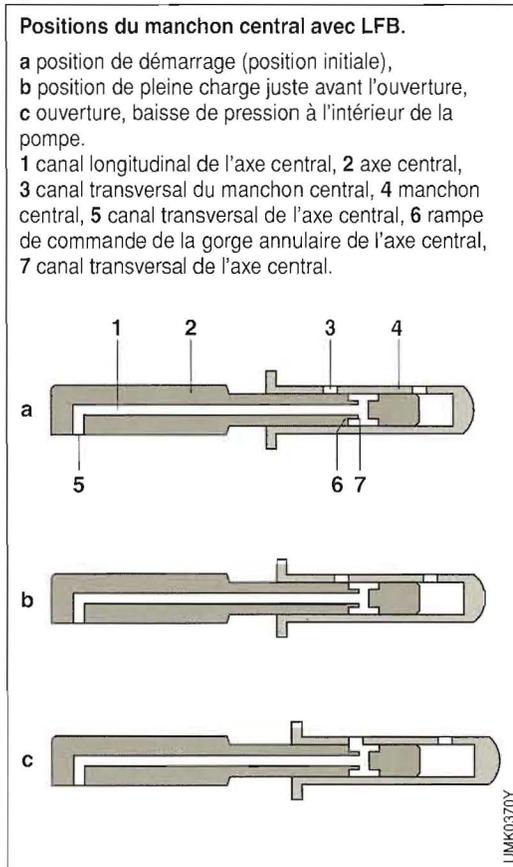
Le correcteur altimétrique de la pompe distributrice est de conception identique à celui du limiteur de richesse. Il comprend en outre une capsule de commande, raccordée à un système à dépression (p. ex. servofrein). La capsule de commande assure une pression de référence constante de 700 mbar (pression absolue).

Fonctionnement

La pression atmosphérique est appliquée à la face supérieure de la membrane du correcteur altimétrique. La face inférieure est soumise à la pression de référence maintenue à un niveau constant par la capsule de commande.

En cas de diminution de la pression atmosphérique (p. ex. du fait d'un trajet à haute altitude), le piston de commande se soulève à la verticale de la butée inférieure. Une baisse du débit d'injection est obtenue par le levier de butée, comme sur le limiteur de richesse.

Figure 10



Adaptation au démarrage à froid

Ce système permet d'améliorer les propriétés du moteur diesel au démarrage à froid par le décalage du début de refoulement dans le sens « avance ». La correction est opérée par le conducteur, depuis l'habitacle et à l'aide d'un câble de commande, ou par un dispositif automatique, dont le seuil d'intervention dépend de la température (figure 11).

Accélérateur mécanique de démarrage à froid (KSB) sur la bague porte-galets

Conception

Le KSB est monté sur le corps de la pompe. Un arbre relie le levier de butée au levier intérieur qui dispose d'une rotule excentrique s'engageant dans la bague porte-galets (il existe aussi une version où le dispositif de réglage agit sur le piston du variateur d'avance). La position initiale du levier de butée est définie par le ressort à action angulaire et la butée. Un câble de commande, qui assure la liaison avec le correcteur manuel ou automatique, est fixé au sommet du levier de butée. Le correcteur automatique est fixé par un support à la pompe distributrice, tandis que le dispositif de commande manuel se trouve dans l'habitacle du véhicule (figure 12).

Accélérateur mécanique de démarrage à froid solidaire de la bague porte-galets (position à froid).

1 levier, 2 fenêtre de réglage, 3 rotule, 4 gorge longitudinale, 5 corps de pompe, 6 bague porte-galets, 7 galet, 8 piston du variateur, 9 axe, 10 coulisseau, 11 ressort du variateur, 12 arbre, 13 ressort à action angulaire.

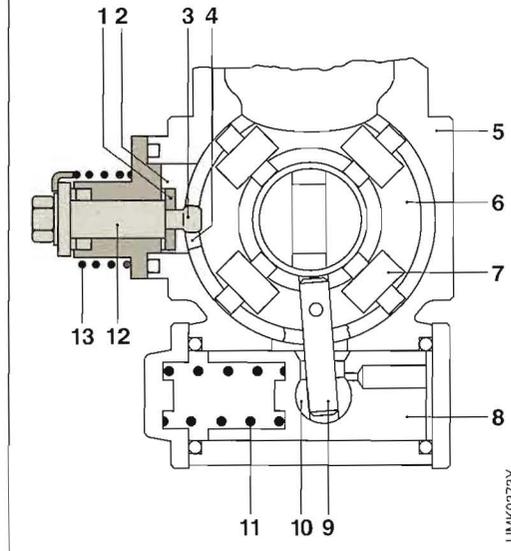


Figure 12

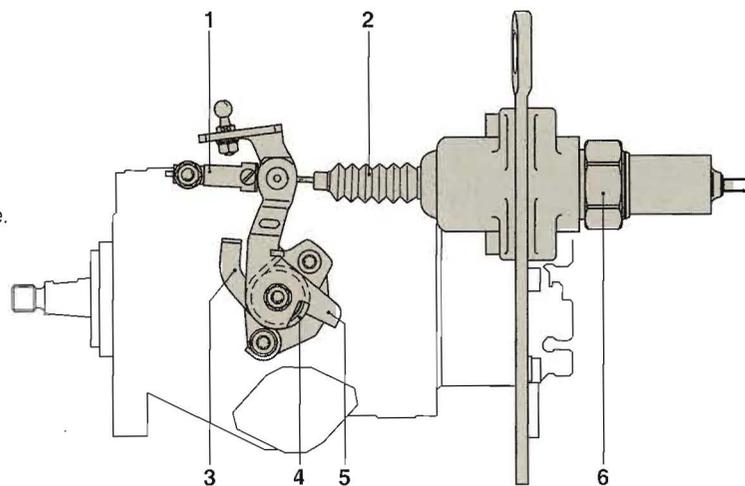
Fonctionnement

Les accélérateurs à commande automatique ou manuelle ne se distinguent que par le dispositif de correction extérieur. Leur fonctionnement est identique. Tant que le câble de commande n'est pas actionné, le ressort à action angulaire pousse le levier de butée contre la butée. La rotule et la bague porte-galets se trouvent en position initiale. Dès que

Figure 11

Accélérateur mécanique de démarrage à froid, à commande automatique (position à froid).

1 étrier de jonction,
2 câble de commande,
3 butée,
4 ressort à action angulaire,
5 levier de réglage du KSB,
6 dispositif de commande sensible à la température de l'eau de refroidissement et à la température ambiante.



UMK0372Y

le conducteur actionne le câble de commande, le levier de butée et l'arbre, ainsi que la rotule solidaire du levier intérieur, décrivent une rotation. Ce mouvement fait varier la position de la bague porte-galets et le début de refoulement est avancé.

Une rainure verticale est fraisée au point où la rotule s'engage dans la bague porte-galets, afin que le piston du variateur d'avance puisse continuer à positionner la bague dans le sens « avance » à partir d'une vitesse bien déterminée.

Si l'accélérateur de départ à froid est actionné par le conducteur (KSB sur variateur d'avance), il reste une correction d'environ $2,5^\circ$ arbre à cames (b), indépendamment de la correction commandée par le variateur (a). Sur l'accélérateur automatique de départ à froid, cette valeur est fonction de la température du moteur ou de la température ambiante (figure 13).

La correction automatique s'effectue à l'aide d'un dispositif de commande, dont l'élément thermostatique convertit les variations de la température du moteur en une translation.

Avantage : sélection optimale du début de refoulement ou du point d'injection en fonction de la température.

Les différentes organisations des leviers et des commandes dépendent du sens de rotation et de la position de montage.

Correcteur de ralenti (TLA)

Le TLA est également actionné par le dispositif de commande et complète le KSB automatique. A cet effet, le levier de réglage du KSB a été allongé et doté d'une rotule. Quand le moteur est froid, cette rotule fait pression sur le levier de commande de vitesse et le soulève de la vis de butée de ralenti. La vitesse de ralenti est ainsi augmentée, la stabilité de rotation du moteur améliorée. Lorsque le moteur est chaud, le levier de réglage du KSB repose sur la butée. Par conséquent, le levier de commande de vitesse est également appliqué sur la vis de butée de ralenti et le correcteur de ralenti (figure 14) n'intervient plus.

Accélérateur hydraulique de démarrage à froid

L'avance du début d'injection par le déplacement mécanique du piston du variateur d'avance ne peut être réalisée que sous certaines restrictions. La méthode hydraulique de décalage du point d'injection dans le sens « avance » consiste en l'application, au piston du variateur d'avance, de la pression régnant à l'intérieur de la pompe. Afin d'obtenir une correction dans le sens « avance » aux bas régimes de démarrage à froid, la pression est augmentée automatiquement à l'intérieur de la pompe. A cet effet, un canal by-pass et une soupape de maintien de la pression influencent la modulation automatique de la pression régnant dans la pompe.

Figure 13

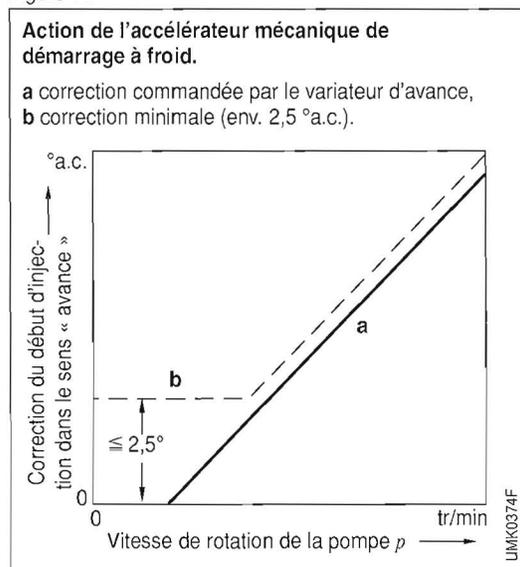
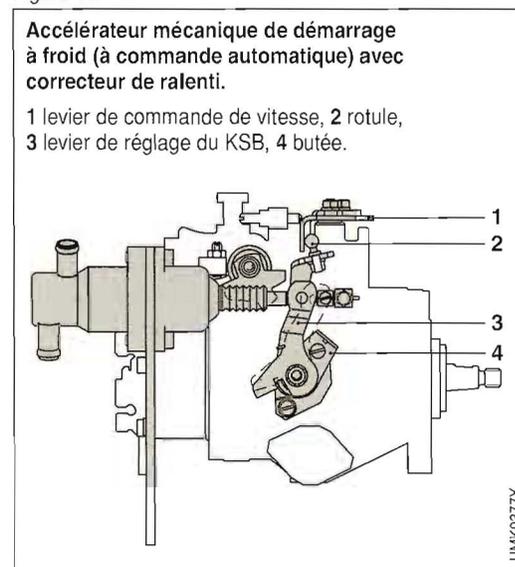


Figure 14



Conception

L'accélérateur hydraulique de démarrage à froid comprend un régulateur de pression modifié, un clapet à bille KSB, un élément thermostatique à chauffage électrique et une vanne de commande KSB.

Fonctionnement

Le carburant refoulé par la pompe d'alimentation atteint la face avant du piston du variateur d'avance en traversant l'intérieur de la pompe distributrice. En vue d'assurer la correction du début d'injection, la pression à l'intérieur de la pompe déplace le piston qui s'oppose à la force du ressort de rappel. Cette pression est déterminée par un régulateur, qui introduit une montée de la pression au fur et à mesure que le régime et, par conséquent, le débit augmentent (figure 15).

L'augmentation de la pression fonctionnelle du KSB, qui permet donc d'anticiper la correction du début d'injection (figure 16, courbe à traits interrompus) est obtenue grâce à un orifice calibré pratiqué dans le piston du régulateur de pression. Une pression identique s'exerce côté ressort du régulateur de pression. Le clapet à bille KSB dispose d'un niveau de pression correspondant ; il est utilisé aussi bien pour les fonctions « marche/arrêt », en liaison avec l'élément thermostatique, que pour la coupure de sécurité. Une vis de réglage sur la vanne de commande KSB intégrée permet de régler le fonctionnement du KSB en fonction d'un point de ré-

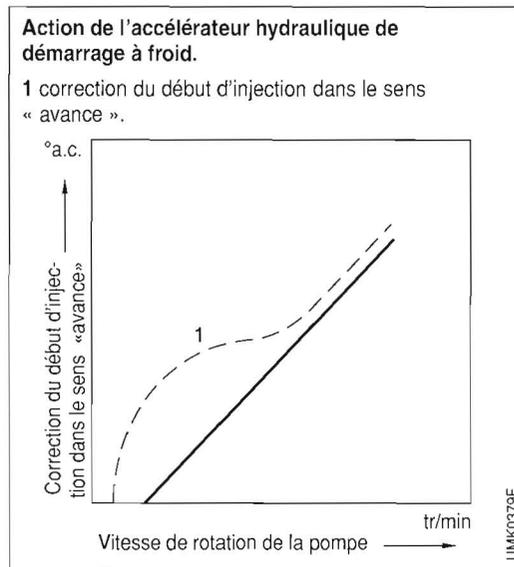
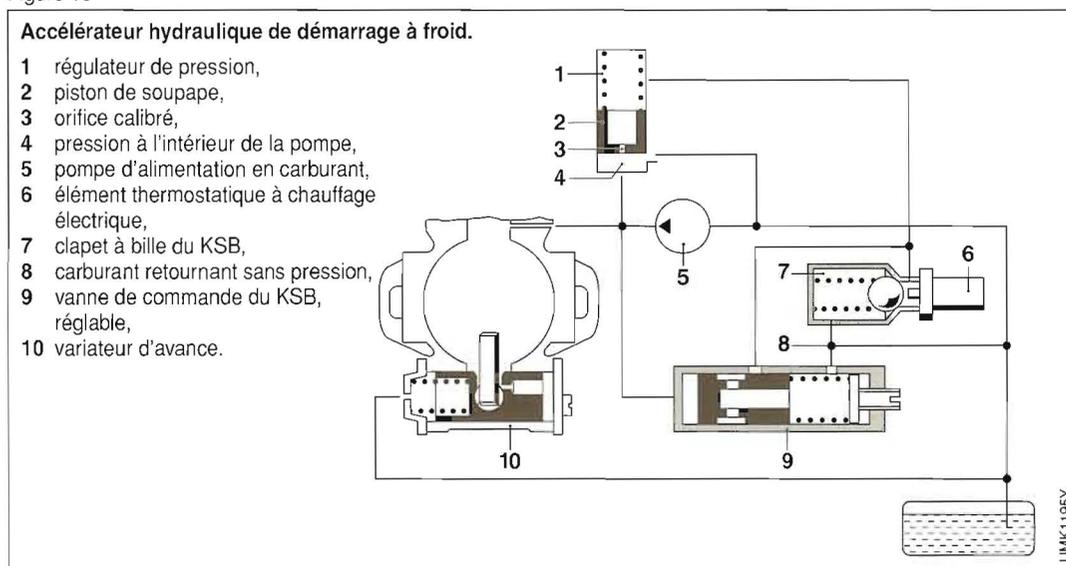


Figure 16

gime. La pression de la pompe d'alimentation actionne le piston de la vanne de commande KSB en s'opposant à un ressort. Un calibrage d'amortissement réduit les amplitudes de pression sur le piston de commande. L'évolution de pression du KSB dépend de la rampe-pilote du piston de commande et de la section du porte-vanne. La conception adéquate de la constante de ressort sur la vanne et la section de distribution permet d'adapter le fonctionnement du KSB. Avant le démarrage du moteur chaud, l'élément thermostatique a déjà ouvert le clapet à bille de l'accélérateur de démarrage à froid.

Figure 15



Arrêt

Fonction

En raison de son principe de fonctionnement à auto-allumage, le moteur diesel ne peut être arrêté que par la coupure de l'alimentation en carburant.

La pompe distributrice à régulation mécanique VE est généralement désactivée par un dispositif d'arrêt électrique (ELAB). Elle n'est équipée d'un dispositif d'arrêt mécanique que dans certains cas particuliers.

Dispositif d'arrêt électrique

Le dispositif d'arrêt électrique, commandé par la clé de contact (figure 17), est employé de préférence car il offre au conducteur un plus grand confort d'utilisation.

L'électrovanne de coupure de l'alimentation en carburant est montée sur la face supérieure de la tête hydraulique de la pompe distributrice. Lorsqu'il est sous tension, c'est-à-dire lorsque le moteur diesel tourne, l'électro-aimant maintient ouvert le canal d'arrivée à la chambre haute pression (attraction du noyau plongeur de l'électrovanne avec cône d'étanchéité). La coupure du contact à l'aide du commutateur de marche déclenche l'interruption de l'alimentation électrique du solénoïde. Le champ magnétique est annulé et le ressort repousse le noyau plongeur avec cône d'étanchéité contre le siège du clapet. Par conséquent, le canal d'arrivée à la chambre haute pression est obturé et le piston distributeur ne peut plus refouler de carburant. Il existe diverses possibilités de réalisation du circuit électrique de coupure (électro-aimant de poussée ou de traction).

Dispositif d'arrêt mécanique

Le dispositif d'arrêt mécanique de la pompe distributrice est réalisé par un groupe de leviers (figure 18). Il est disposé dans le couvercle du régulateur et se compose des leviers de stop extérieur et intérieur. Le levier de stop extérieur est actionné par le conducteur depuis l'habitacle du véhicule, par un câble de commande par exemple. Lors de l'actionnement du câble de commande, les deux leviers de stop pivotent autour de leur centre de rotation. Le levier intérieur poussant alors le levier

de démarrage du mécanisme de régulation, le levier de démarrage pivote autour de son centre de rotation M_2 et fait coulisser le tiroir de régulation vers la position de stop. L'orifice de décharge du piston distributeur reste ouvert et ce dernier ne peut plus refouler de carburant.

Figure 17

Dispositif d'arrêt électrique (électro-aimant de traction).

1 canal d'arrivée, 2 piston distributeur, 3 tête hydraulique, 4 électro-aimant de poussée ou de traction, 5 chambre haute pression.

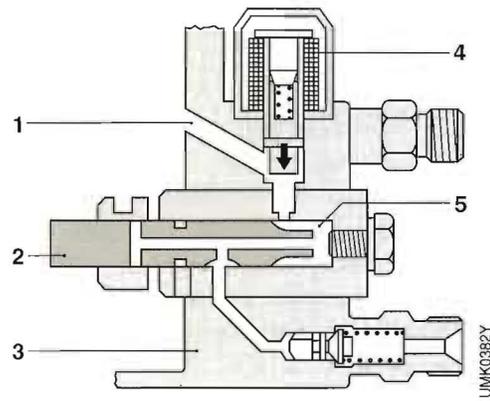
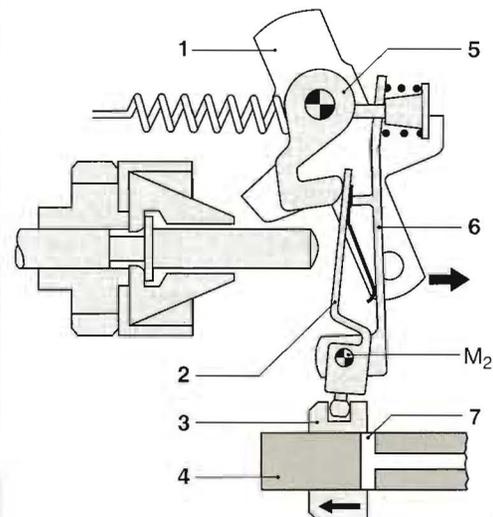


Figure 18

Dispositif d'arrêt mécanique.

1 levier de stop extérieur, 2 levier de démarrage, 3 tiroir de régulation, 4 piston distributeur, 5 levier de stop intérieur, 6 levier de tension, 7 orifice de décharge. M_2 centre de rotation de 2 et 6.



Technique d'essai pour garages

Bancs d'essai pour pompes d'injection

Seuls des pompes d'injection et des régulateurs parfaitement contrôlés et réglés permettent au moteur diesel d'atteindre un rapport consommation/puissance optimal, tout en satisfaisant aux normes de plus en plus sévères en matière d'émissions polluantes. Le banc d'essai pour pompes est indispensable à cet effet. Les normes ISO fixent des conditions-cadres essentielles relatives au contrôle et au banc d'essai, et imposent des exigences particulièrement élevées quant à la rigidité et à la régularité de l'entraînement.

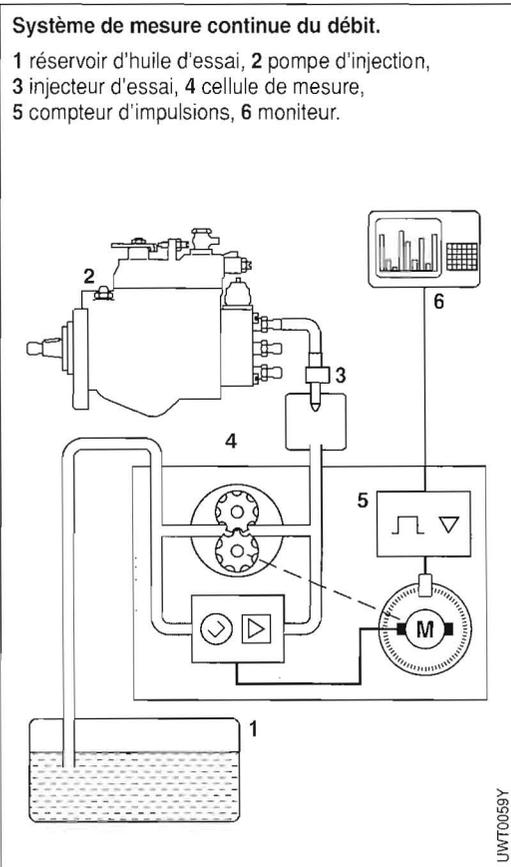
La pompe d'injection à contrôler est fixée sur le banc d'essai et reliée par son côté entraînement à l'accouplement du banc d'essai. Son entraînement s'effectue par un moteur élec-

trique (soit par une transmission hydromécanique et liaison au volant d'inertie et à l'embrayage, soit directement par régulation de fréquence). La pompe d'injection est reliée par les orifices d'arrivée et de retour de l'huile d'essai à l'alimentation en huile du banc d'essai, et par les conduites de refoulement au dispositif de mesure des débits. Ce dernier se compose d'injecteurs d'essai dont la pression d'ouverture est réglée avec précision ; ils assurent la pulvérisation dans le système de mesure par l'intermédiaire d'amortisseurs d'injection. La pression et la température de l'huile d'essai sont réglables en fonction des prescriptions de contrôle.

La méthode de mesure continue du débit de refoulement fait appel à une pompe à engrenages de précision qui refoule la même quantité d'huile d'essai par cylindre et unité de temps que le débit injecté. La vitesse de rotation de la pompe est donc représentative du débit de refoulement par unité de temps. Un microprocesseur analyse les résultats de mesure et les représente sous forme d'histogrammes sur un écran. Cette méthode se caractérise par une grande précision et de bonnes possibilités de reproduction des résultats de mesure (figure 19).

Dans le cadre de la mesure du débit au moyen d'éprouvettes graduées, l'huile d'essai injectée retourne d'abord directement au réservoir sans passer par les éprouvettes. La mesure est démarrée après le réglage du nombre de courses prescrit sur le compteur spécifique. Un tiroir de séparation libère l'arrivée de l'huile d'essai vers les éprouvettes et l'interrompt après l'obtention du nombre de courses préréglé. La quantité d'huile d'essai injectée peut être relevée sur les éprouvettes.

Figure 19



Testeur pour moteurs diesel

Le testeur pour moteurs diesel assure un réglage précis de la pompe par rapport au moteur. Cet appareil mesure le début de refoulement, l'avance à l'injection et le régime moteur correspondant, sans qu'il soit nécessaire de dévisser les conduites haute pression. Un capteur à pince est fixé sur la conduite d'injection du premier cylindre. Le testeur détermine ensuite le début de refoulement et l'avance à l'injection au moyen du stroboscope ou du capteur de PMH permettant de détecter la position du vilebrequin.

Arrêt,
contrôle
et réglage

Injecteurs et porte-injecteurs

Les injecteurs et les porte-injecteurs correspondants constituent les composants essentiels entre la pompe d'injection en ligne et le moteur diesel.

Leurs fonctions sont les suivantes :

- mode de dosage de l'injection,
- conditionnement du carburant,
- définition de la loi d'injection,
- étanchéité par rapport à la chambre de combustion.

En considération des différents procédés de combustion et de la diversité des chambres de combustion, la forme, l'orientation, l'efficacité et la pulvérisation du jet de carburant, ainsi que la durée et le débit d'injection par degré d'arbre à cames, doivent être adaptés aux conditions de fonctionnement du moteur. La conception de porte-injecteurs aux dimensions normalisées et de sous-ensembles standard permet d'obtenir la flexibilité nécessaire avec un minimum de variantes de composants.

L'injection au moyen de pompes en ligne prévoit l'utilisation des injecteurs et porte-injecteurs suivants :

- injecteurs à téton (DN..) sur moteurs à injection indirecte ;
- injecteurs à trous (DLL../DSL..) sur moteurs à injection directe ;
- porte-injecteurs standard (à un ressort) avec ou sans capteur de déplacement d'aiguille ;
- porte-injecteur à deux ressorts avec ou sans capteur de déplacement d'aiguille.

Injecteurs à téton

Applications

Les injecteurs à téton sont utilisés sur les moteurs à injection indirecte (moteurs à pré-chambre ou à chambre de turbulence) en liaison avec les pompes d'injection en ligne.

Le conditionnement du carburant pour ces moteurs se fait principalement par tourbillonnement de l'air. Le jet d'injection peut servir à optimiser le procédé de préparation du carburant.

Les types d'injecteurs suivants sont disponibles à cet effet :

- injecteurs à téton standard (figure 1),
- injecteurs à téton et étranglement,
- injecteurs à téton plan (figure 2).

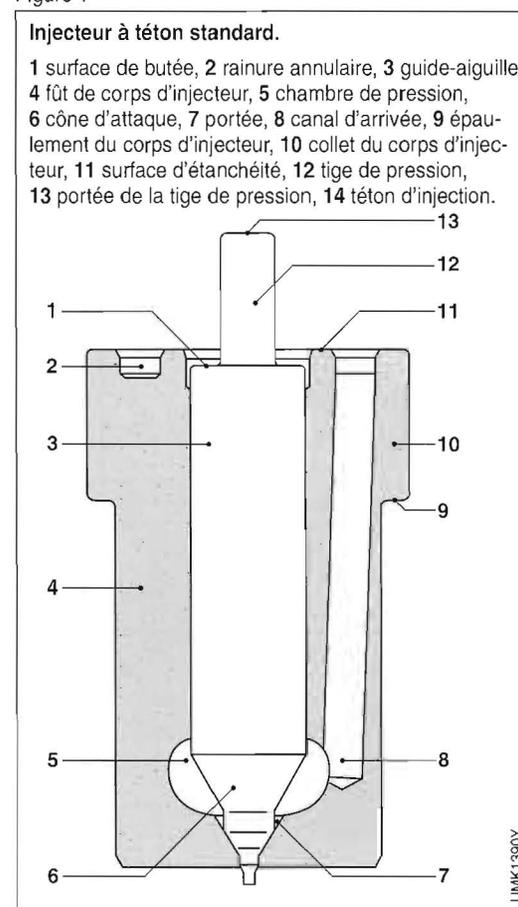
Conception

Tous les types d'injecteurs à téton présentent une conception pratiquement identique. La géométrie du téton d'injection constitue la seule différence.

Injecteur à téton standard

L'aiguille de l'injecteur à téton standard présente à l'une de ses extrémités un téton d'injection qui s'engage avec un faible jeu dans le trou d'injection du corps d'injecteur. L'utilisation de tétons de diverses dimensions et formes permet l'adaptation du jet d'injection aux exigences spécifiques des moteurs.

Figure 1



Injecteur à téton et étranglement

L'injecteur à téton et étranglement est un injecteur dont le téton présente des dimensions bien étudiées. La géométrie du téton d'injection permet d'obtenir une évolution bien définie de la loi d'injection. Au début de l'ouverture de l'injecteur, l'aiguille ne libère qu'une fente annulaire très étroite qui ne laisse passer que très peu de carburant (effet d'étranglement). Au fur et à mesure que l'aiguille continue à se soulever (en raison de l'augmentation de la pression), le section de passage s'élargit et ce n'est que vers la fin de la course de l'aiguille que le volume principal de carburant est injecté. L'évolution progressive de l'injection permet d'obtenir une combustion plus « souple » – car la montée de pression dans la chambre de combustion est plus lente – et donc une réduction des bruits de combustion en charge partielle. Cela signifie donc que la forme du téton d'injection, la caractéristique du ressort de pression (du porte-injecteur) et le dimensionnement de la fente annulaire contribuent à l'obtention de la caractéristique d'injection voulue.

Injecteur à téton plan

Le téton d'injection présente un méplat chanfreiné qui à l'ouverture (pour une faible course de l'aiguille) libère une section d'écoulement supplémentaire à la fente annulaire. Le flux volumique plus important, qui s'écoule par ce canal, empêche la formation de dépôts. Le calaminage des injecteurs à téton plan est donc moins accentué et plus uniforme. La fente annulaire entre le trou d'injection et le téton d'étranglement est très petite (inférieure à 10 μm). Bien souvent, le méplat est parallèle à l'axe de l'aiguille de l'injecteur. Une inclinaison supplémentaire permet de donner à la partie plate de la courbe de débit une pente plus prononcée (figure 3) et d'obtenir ainsi une transition plus douce jusqu'à l'ouverture totale de l'injecteur. Le choix d'une géométrie spéciale, p. ex. « téton arrondi » ou « méplat profilé », permet l'adaptation de la caractéristique de débit aux exigences spécifiques des moteurs. Cette technologie contribue à la réduction des bruits en charge partielle et à l'amélioration de la motricité.

Figure 2

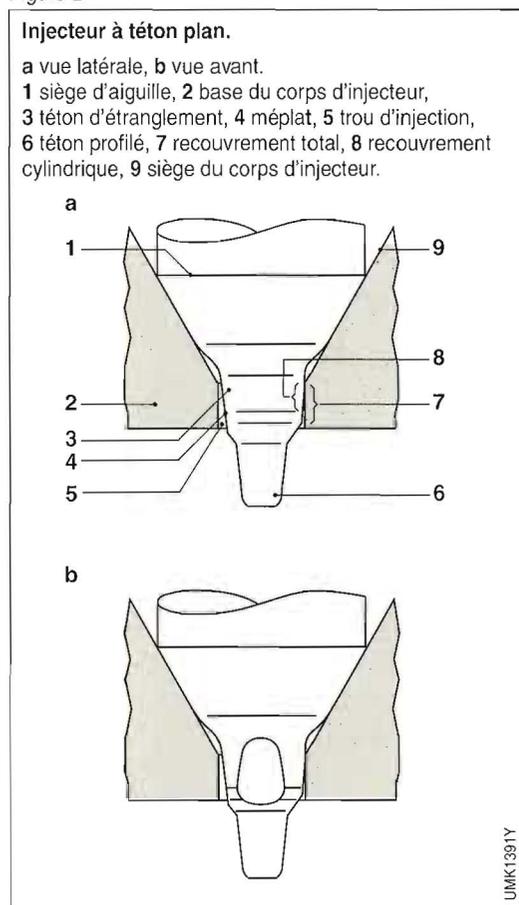
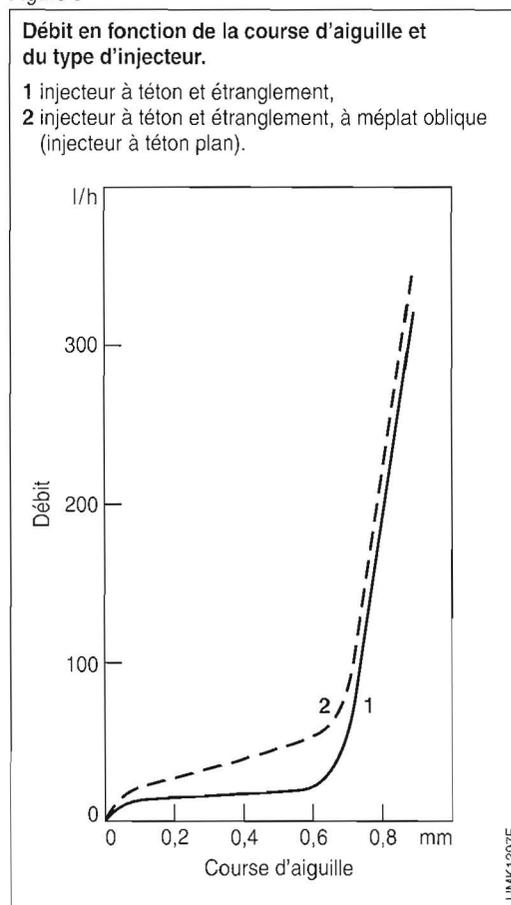


Figure 3



Injecteurs à trous

Applications

Les injecteurs à trous équipent les moteurs diesel à injection directe en association avec les pompes d'injection en ligne.

On distingue les

- injecteurs à trou borgne,
- injecteurs à siège perforé.

Par ailleurs, les injecteurs à trous sont classés suivant deux tailles différentes :

- type P avec un diamètre d'aiguille de 4 mm,
- type S avec un diamètre d'aiguille de 5 ou 6 mm.

Conception

Les trous d'injection sont usinés dans la chemise d'un cône d'injection (figure 4). Le nombre et le diamètre des trous dépendent

- du débit d'injection,
- de la forme de la chambre de combustion,
- de la turbulence de l'air (tourbillonnement) dans la chambre de combustion.

Les arêtes d'attaque des trous d'injection peuvent être arrondies par usinage hydro-érosif (HE). Aux points (entrées des trous d'injection), où de hautes vitesses d'écoulement apparaissent, les particules abrasives

(généralant l'usure) en suspension dans le fluide HE assurent l'enlèvement de matériau. Le procédé d'arrondissement des angles par hydro-érosion peut être employé aussi bien pour les injecteurs à trou borgne que pour ceux à siège perforé. Les objectifs de cette opération sont

- de prévenir l'usure des arêtes que causent les particules abrasives contenues dans le carburant,
- de resserrer les tolérances de débit.

Afin de limiter les émissions d'hydrocarbures, il est essentiel que le volume balayé par le carburant et situé sous l'arête du siège de l'aiguille d'injecteur (volume restant) soit aussi restreint que possible. Les injecteurs à siège perforé permettent de réaliser au mieux cette fonction.

Versions

Injecteur à trou borgne

Les trous d'injection de ce type d'injecteur sont disposés dans un trou borgne ou sac (figure 5). Le perçage des trous d'un dôme rond (figure 6a) est réalisé, en fonction de la structure de l'injecteur, par procédé mécanique ou par électro-érosion (enlèvement de particules par procédé électrique).

Le perçage du dôme conique (figures 6b et 6c) d'un injecteur à trou borgne est généralement réalisé par électro-érosion.

Les injecteurs à trou borgne sont proposés en diverses dimensions et avec un trou borgne de forme

- cylindrique ou
- conique.

Injecteur à trou borgne cylindrique

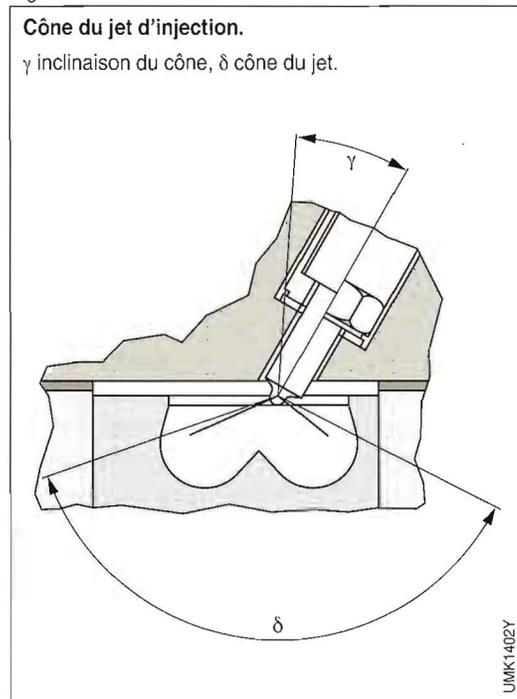
et dôme rond (figure 6a) :

La forme du trou borgne, qui présente une partie cylindrique et une partie hémisphérique, permet d'obtenir une grande liberté de conception quant

- au nombre de trous,
- à la longueur des trous,
- à l'angle d'injection.

Le dôme de l'injecteur a la forme d'un hémisphère et garantit ainsi, en corrélation avec la géométrie des trous, une longueur uniforme de chacun des trous.

Figure 4



Injecteur à trou borgne cylindrique et dôme conique (figure 6b) :

Ce type d'injecteur est uniquement prévu pour des trous d'une longueur de 0,6 mm. La forme conique du dôme contribue à l'augmentation de sa stabilité grâce à une épaisseur de paroi plus importante entre le rayon de la gorge annulaire et le siège du corps d'injecteur.

Injecteur à trou borgne et à dômes coniques (figure 6c) :

Ce type d'injecteur présente un volume de sac plus petit que celui d'un injecteur à trou borgne cylindrique. Le volume du sac d'injection se situe entre celui d'un injecteur à siège perforé et celui d'un injecteur à trou borgne cylindrique. Afin d'obtenir une épaisseur de paroi uniforme, une forme conique, identique à celle du trou borgne, a été également adoptée pour le dôme.

Figure 5

Injecteur à trou borgne.

1 téton de pression, 2 portée de butée de course, 3 canal d'arrivée, 4 cône d'attaque, 5 fût d'aiguille, 6 dôme de buse, 7 fût du corps de buse, 8 épaulement du corps de buse, 9 chambre de pression, 10 guide-aiguille, 11 collet du corps de buse, 12 perçage de positionnement, 13 surface d'étanchéité, 14 portée de la tige de pression.

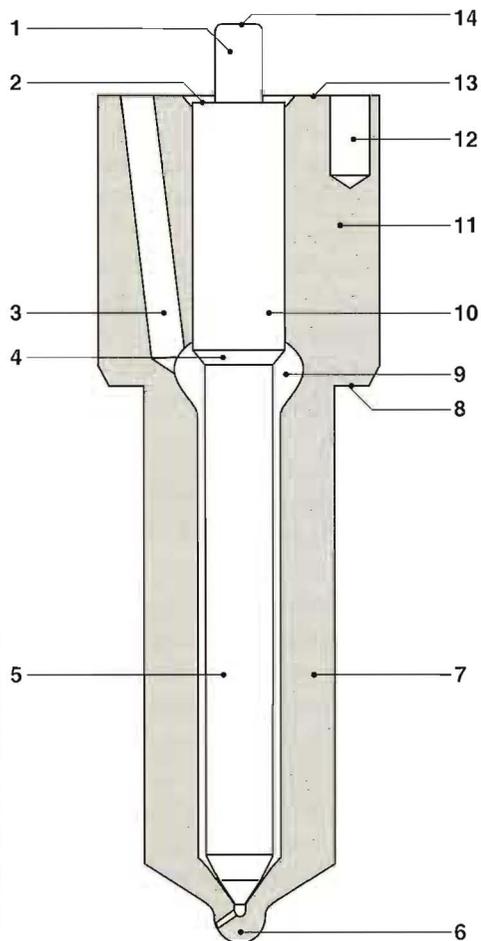
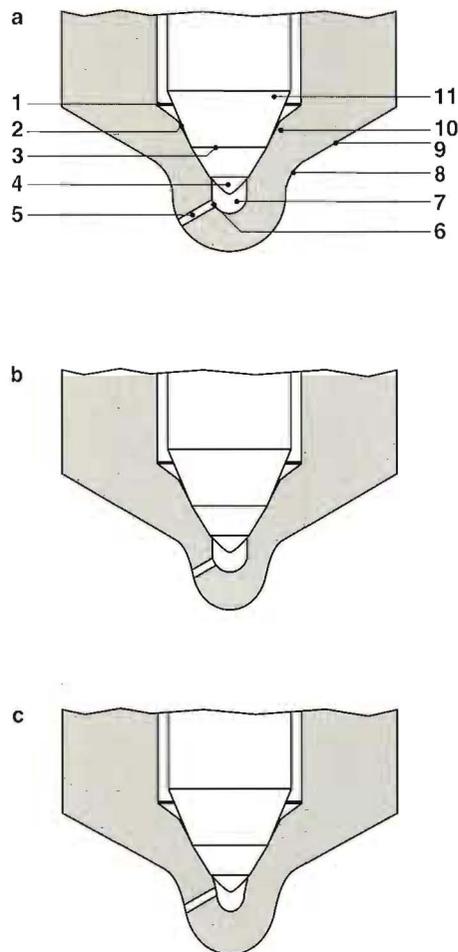


Figure 6

Formes de trou borgne.

a trou borgne cylindrique et dôme rond, b trou borgne cylindrique et dôme conique, c trou borgne et dôme coniques. 1 arête d'attaque, 2 entrée de siège, 3 portée d'aiguille, 4 pointe d'aiguille, 5 trou d'injection, 6 départ du trou d'injection, 7 trou borgne, 8 rayon de gorge annulaire, 9 cône du dôme de buse, 10 siège du corps de buse, 11 cône d'amortissement.



Injecteur à siège perforé

Afin de minimiser le volume mort – et donc les émissions de HC –, le départ de chacun des trous d'injection se situe dans la zone conique du corps d'injecteur. Il est masqué par l'aiguille lorsque l'injecteur est fermé. Il n'y a donc aucune liaison directe entre le trou borgne et la chambre de combustion (figures 7 et 8). Par rapport à un injecteur à trou borgne, le volume mort de ce type d'injecteur est nettement réduit. Les injecteurs à siège perforé présentent un seuil de contrainte nettement plus inférieur à celui des injecteurs à trou borgne. Ils ne peuvent donc être réalisés qu'en taille P et avec une longueur de trou de 1 mm.

Pour des raisons de stabilité, le dôme présente une forme conique. Le perçage des trous d'injection s'effectue généralement par électro-érosion.

Figure 7

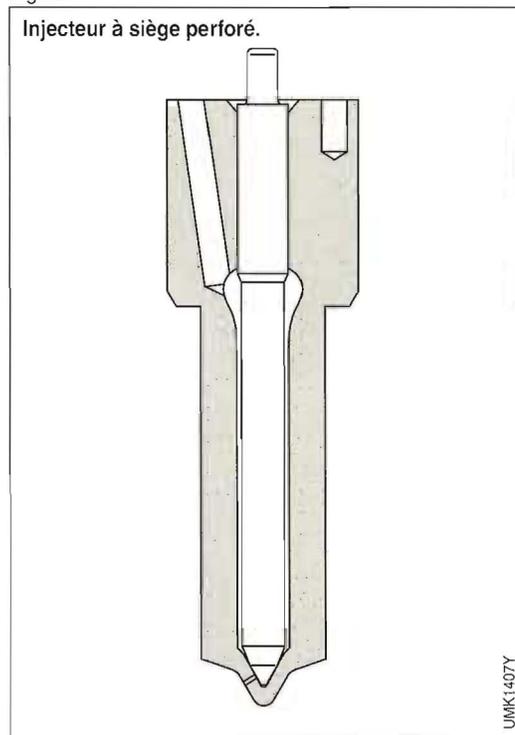
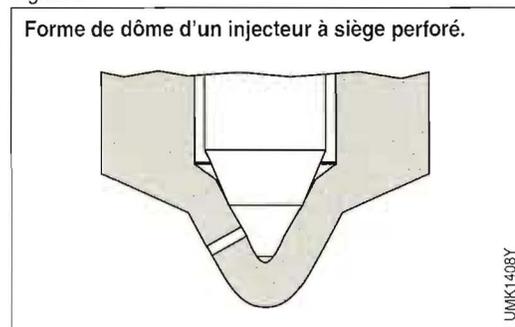


Figure 8



Porte-injecteurs standard

Exigences et types

Les moteurs diesel à injection directe, qui sont équipés d'une pompe en ligne, utilisent des porte-injecteurs avec injecteurs à trous. Au niveau des porte-injecteurs, il convient de distinguer entre les types suivants :

- porte-injecteurs standard (à un ressort) avec ou sans capteur de déplacement d'aiguille,
- porte-injecteurs à deux ressorts avec ou sans capteur de déplacement d'aiguille.

Applications

Les porte-injecteurs décrits dans ce chapitre présentent les caractéristiques suivantes :

- forme externe cylindrique, diamètre compris entre 17 et 21 mm,
- ressort en position inférieure (donc masse mobile faible),
- injecteurs positionnés pour moteurs à injection directe,
- composants standardisés (ressorts, tiges-poussoirs, écrous-raccords), d'où possibilité de réaliser des combinaisons.

Conception

L'ensemble porte-injecteur est constitué de l'injecteur – ou buse d'injection – et du porte-injecteur.

Le porte-injecteur comprend les composants suivants (figure 9) :

- corps-support,
- disque intermédiaire,
- écrou-raccord d'injecteur,
- tige-poussoir,
- ressort de pression,
- rondelle de tarage,
- axes de positionnement.

L'injecteur est centré dans le corps-support à l'aide de l'écrou-raccord. A l'assemblage du corps-support et de l'écrou-raccord, le disque intermédiaire est pressé contre les portées du corps-support et du corps d'injecteur. Le disque intermédiaire sert de butée à la course de l'aiguille d'injecteur ; les axes de positionnement servent au centrage de l'injecteur dans le corps du porte-injecteur.

Les composants suivants se trouvent dans le corps-support :

- tige-poussoir,
- ressort de pression,
- rondelle de tarage.

La tige-poussoir assure le centrage du ressort de pression, le guidage de la tige-poussoir étant pris en charge par le téton de pression de l'aiguille d'injecteur.

Le canal d'arrivée du porte-injecteur traverse le corps-support et le disque intermédiaire, puis atteint le canal de refoulement du corps d'injecteur et relie ainsi l'injecteur à la conduite de refoulement de la pompe d'injection. Si cela s'impose, il est possible de monter un filtre-tige dans le porte-injecteur.

Fonctionnement

Le ressort de pression, monté dans le corps-support, exerce une poussée sur l'aiguille d'injecteur par l'intermédiaire de la tige-poussoir. La tension initiale (tarage) de ce ressort détermine la pression d'ouverture de l'injecteur. La rondelle de tarage sert au réglage de la pression d'ouverture.

Le carburant traverse le canal d'arrivée du corps-support, le disque intermédiaire et le corps d'injecteur, puis atteint la buse de l'injecteur. Au moment de l'injection, l'aiguille est soulevée sous l'effet de la pression d'injection et le carburant s'écoule par les trous d'injection dans la chambre de combustion. L'injection est terminée dès que la pression d'injection diminue de telle sorte que le ressort repousse l'aiguille d'injecteur sur son siège.

Porte-injecteurs à deux ressorts

Applications

Le porte-injecteur à deux ressorts constitue un perfectionnement du porte-injecteur standard. Il contribue à la réduction des bruits de combustion, surtout au ralenti et en charge partielle.

Conception

Ce type de porte-injecteur se caractérise par la présence de deux ressorts superposés. Dans un premier temps, un seul ressort agit sur l'aiguille d'injecteur et détermine ainsi la

Figure 9

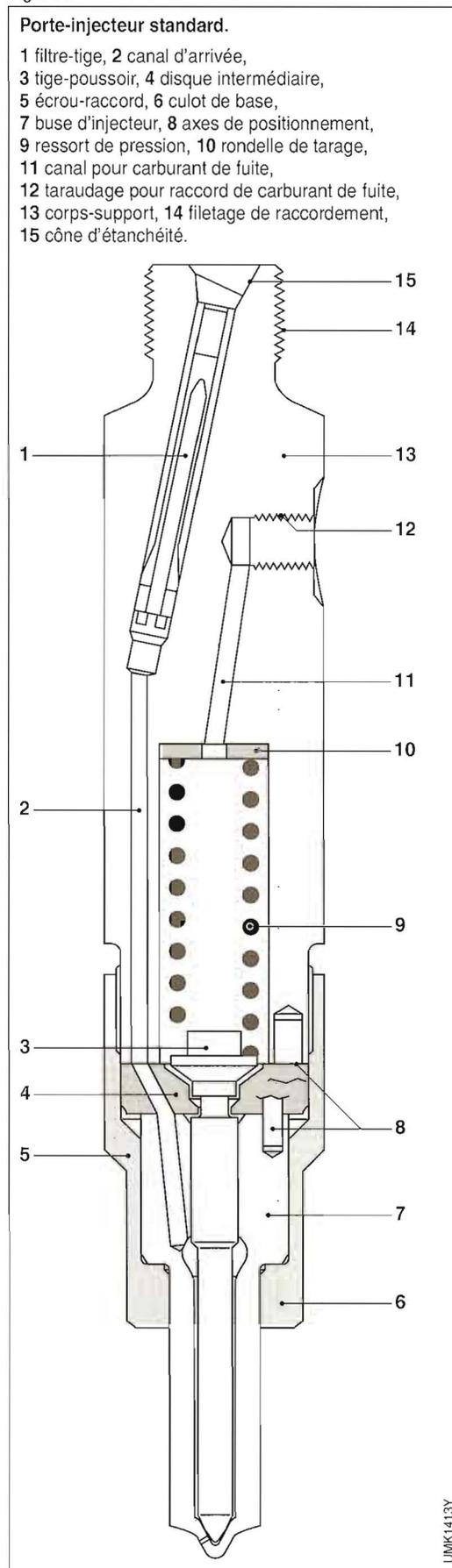
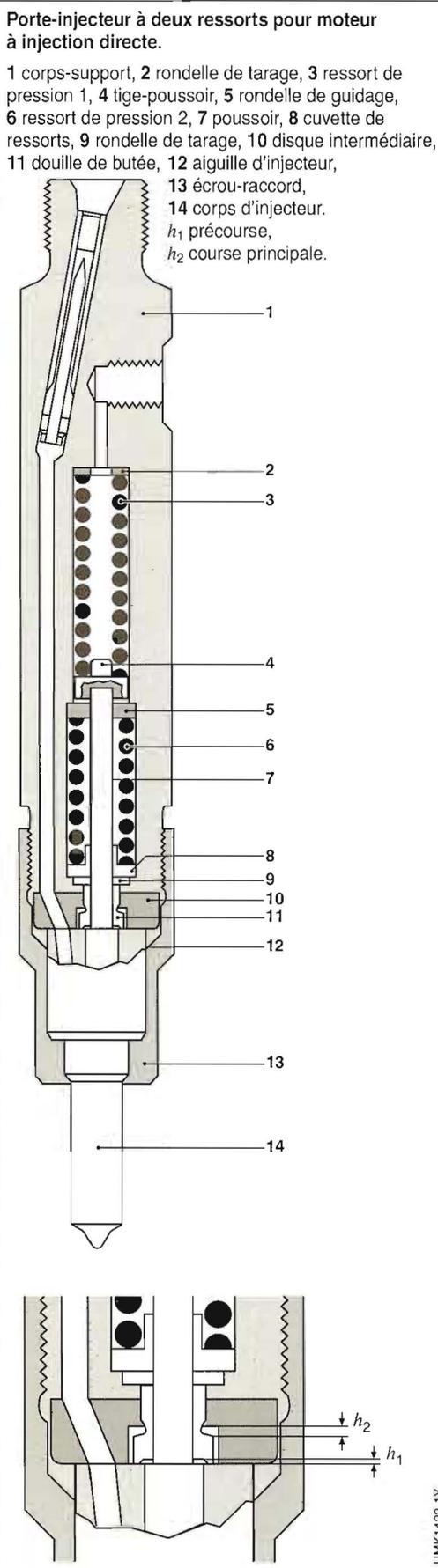


Figure 10



première pression d'ouverture. Le second ressort s'appuie sur une douille de butée qui limite la précourse.

En cas de levées dépassant la précourse, la douille de butée est soulevée et les deux ressorts agissent alors sur l'aiguille d'injecteur (figure 10).

Fonctionnement

Au moment de l'injection, l'aiguille d'injecteur libère la section de passage d'une valeur égale à la précourse. Seule une faible quantité de carburant passe donc dans la chambre de combustion.

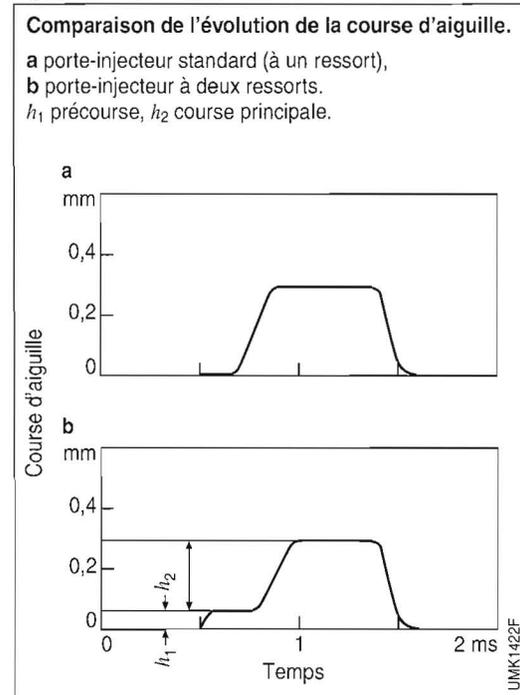
Si la pression continue d'augmenter dans le porte-injecteur, l'aiguille ouvre une section de passage correspondant à la levée totale et l'ensemble de la charge principale de carburant est injectée (figure 11). Cette injection en deux phases entraîne une « combustion plus douce » et une réduction des bruits.

Porte-injecteur avec capteur de déplacement d'aiguille

Applications

Le début d'injection constitue un paramètre essentiel pour le fonctionnement d'un moteur diesel. Sa saisie permet de réaliser p. ex. la

Figure 11



variation de l'avance en fonction de la charge et de la vitesse de rotation ou/et la régulation du taux de recyclage des gaz d'échappement.

A cet effet, il est nécessaire d'utiliser un porte-injecteur intégrant un capteur de déplacement d'aiguille (figure 13) qui émet un signal à l'ouverture de l'aiguille d'injecteur.

Conception

La tige-poussoir prolongée plonge dans un solénoïde.

La longueur de pénétration (longueur de recouvrement « X », figure 14) détermine le niveau du flux magnétique.

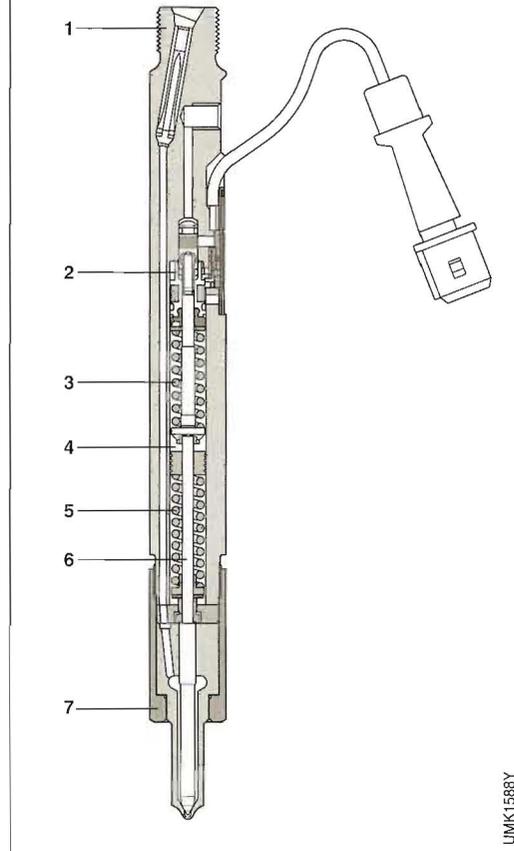
Fonctionnement

Tout mouvement de l'aiguille d'injecteur induit, par suite de la variation du flux magnétique dans le solénoïde, une tension de signal dépendant de la vitesse, non proportionnelle à la course, qui est traitée directement par un circuit d'exploitation (figure 12). Le dépassement d'une tension de seuil sert au circuit d'exploitation en tant que signal de début d'injection.

Figure 13

Porte-injecteur à deux ressorts avec capteur de déplacement d'aiguille pour moteur à injection directe.

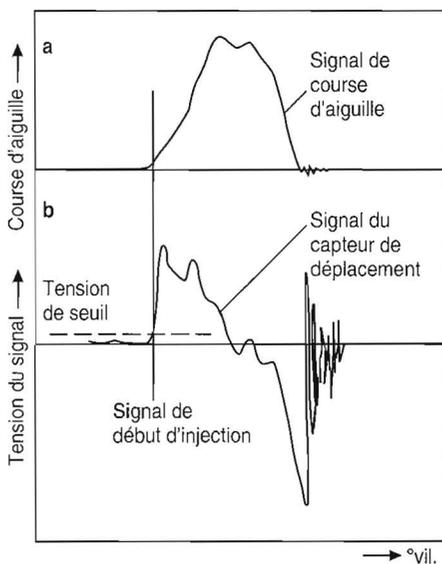
1 corps-support, 2 capteur de déplacement d'aiguille, 3 ressort de pression 1, 4 rondelle de guidage, 5 ressort de pression 2, 6 poussoir, 7 écrou-raccord.



UMK1588Y

Figure 12

Comparaison d'une courbe de course d'aiguille et de la courbe correspondante de la tension de signal du capteur de déplacement d'aiguille.

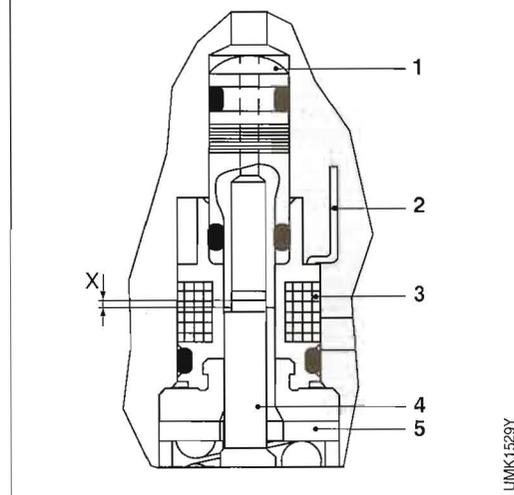


UMK1427F

Figure 14

Capteur de déplacement d'aiguille d'un injecteur à deux ressorts pour moteur à injection directe.

1 axe de réglage, 2 talon de contact, 3 bobine de capteur, 4 tige-poussoir, 5 cuvette de ressorts. X longueur de recouvrement.



UMK1529Y

Pompes d'injection distribu- trices à piston axial à régula- tion électronique VE-RED

La régulation mécanique du régime détecte les différents états de fonctionnement et garantit un conditionnement du mélange de haute qualité.

La régulation électronique diesel RED tient compte d'exigences supplémentaires. Par la mesure électrique, la souplesse du traitement électronique des données et des circuits de régulation comportant des actionneurs électriques, elle permet d'élargir le traitement de paramètres d'influence qui ne pouvaient pas être pris en compte jusqu'à présent par les solutions mécaniques.

La régulation électronique diesel permet aussi d'échanger des données avec d'autres systèmes électroniques (p. ex. régulation an-

tipatinage, commande électronique de boîte de vitesses) et s'intègre donc dans le système global de commande du véhicule.

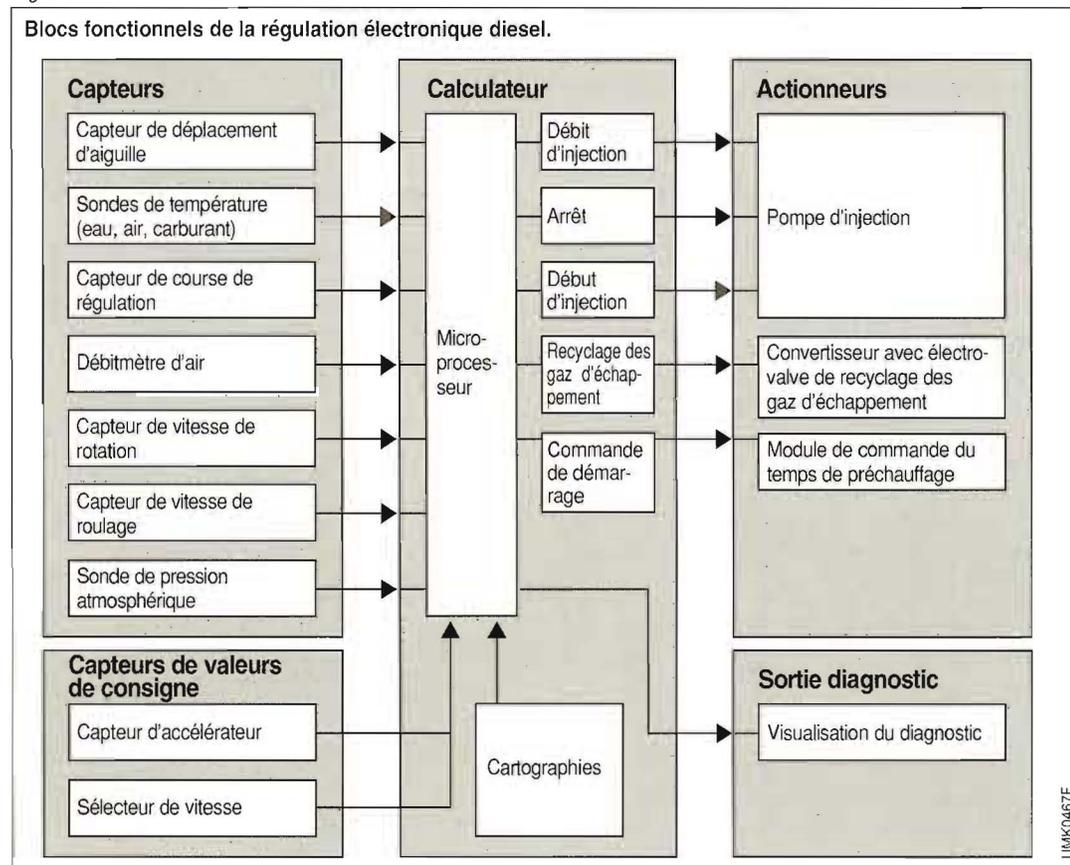
Blocs fonctionnels

La régulation électronique diesel comprend trois blocs fonctionnels (figure 1) :

1. Capteurs assurant la détection des conditions de fonctionnement. Différentes grandeurs physiques sont transformées en signaux électriques.

2. Le calculateur à microprocesseurs traite les informations provenant de sources di-

Figure 1



verses suivant des algorithmes de régulation précis et émet des signaux électriques.

3. Les actionneurs transforment les signaux électriques de sortie du calculateur en grandeurs mécaniques.

Composants

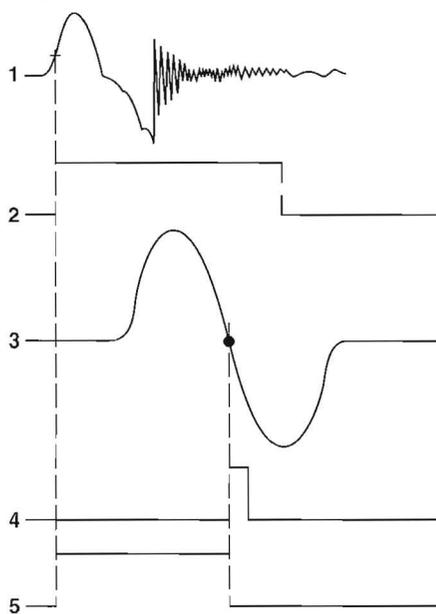
Capteurs

Les positions de l'accélérateur et du tiroir de régulation de la pompe d'injection sont détectées respectivement par un capteur angulaire établissant un contact, et par un capteur sans contact. Le régime et le PMH sont détectés par des capteurs inductifs. La mesure de la pression et de la température fait appel à des capteurs très précis à constante longue durée. Un capteur intégré au porte-injecteur détecte le début d'injection et enregistre le point d'injection du carburant. Pour ce faire, il détecte la course de l'aiguille d'injecteur libérant le flux de carburant lors de l'ouverture de l'injecteur (figures 2 et 3).

Figure 2

Signaux des capteurs.

- 1 signal brut du capteur de déplacement d'aiguille,
- 2 signal conditionné du capteur de déplacement d'aiguille,
- 3 signal brut du capteur de vitesse de rotation,
- 4 signal conditionné du capteur de vitesse de rotation,
- 5 signal de début d'injection comparé à un signal de référence.



UJMK0466Y

Calculateur

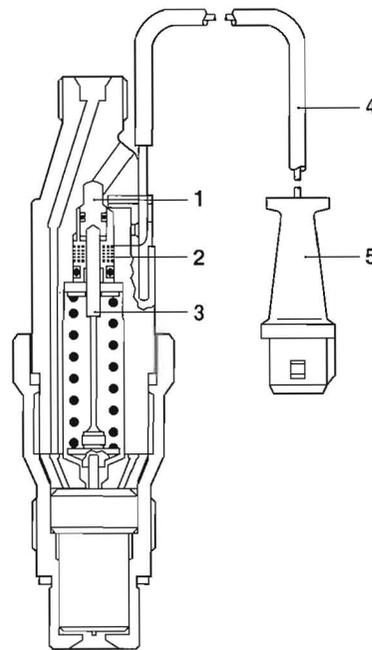
La conception du calculateur électronique repose sur la technique numérique. Les microprocesseurs, auxquels sont intégrés des circuits d'adaptation à l'entrée et à la sortie, constituent le cœur de l'appareil. Les mémoires et les modules chargés de transformer les signaux des capteurs en grandeurs assimilables par calculateur complètent l'ensemble. Le calculateur étant logé dans l'habitacle, il dispose d'une protection efficace contre les influences extérieures.

Différentes cartographies peuvent être mémorisées dans le calculateur en fonction des paramètres suivants : charge, vitesse de rotation, température du liquide de refroidissement, débit d'air, etc. L'antiparasitage doit satisfaire à des exigences sévères. Les entrées et les sorties sont protégées contre les courts-circuits et les impulsions parasites provenant du circuit de bord. Un circuit de sécurité et un blindage mécanique assurent une protection efficace contre les perturbations électromagnétiques extérieures.

Figure 3

Ensemble injecteur/porte-injecteur avec capteur de déplacement d'aiguille.

- 1 axe de réglage, 2 bobine de capteur,
- 3 axe de pression, 4 câble, 5 connecteur.



UJMK0468Y

Régulation électronique des pompes d'injection distributrices

Actionneur à aimant rotatif pour la régulation du débit d'injection

L'aimant rotatif est solidaire du tiroir de régulation par l'intermédiaire d'un arbre (figure 4). Les orifices de distribution sont libérés en fonction de la position du tiroir, comme sur la pompe à régulation mécanique.

Le débit d'injection peut varier constamment entre zéro et la valeur maximale (p. ex. pour le départ à froid). L'angle de rotation de l'actionneur et donc la position du tiroir de régulation sont communiqués par un capteur angulaire (p. ex. potentiomètre) au calculateur qui détermine alors le débit d'injection correspondant au régime. En l'absence de courant, les ressorts de rappel de l'actionneur rotatif règlent le débit de refoulement sur « zéro ».

Electrovanne de régulation du débit d'injection

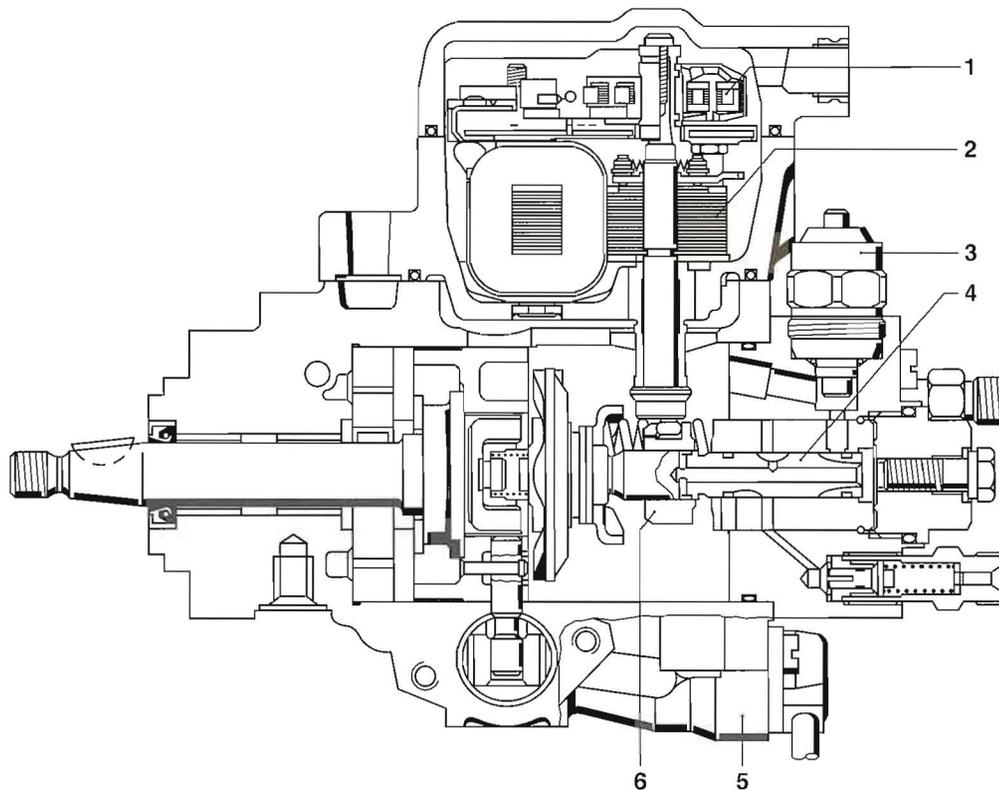
Comme pour le variateur d'avance mécanique, la pression proportionnelle à la vitesse de rotation régnant à l'intérieur de la pompe agit sur le piston du variateur d'avance (figure 4). Cette pression est modulée côté refoulement du variateur d'avance par l'électrovanne à rapport cyclique d'ouverture.

Lorsque l'électrovanne est ouverte en permanence (baisse de pression), le débit d'injection est retardé ; lorsqu'elle est complètement fermée (hausse de pression), le débit d'injection est avancé. Entre ces deux extrêmes, le calculateur peut faire varier en continu le rapport d'impulsions (rapport durée d'ouverture/de fermeture de l'électrovanne).

Figure 4

Pompe d'injection distributrice pour régulation électronique diesel.

- 1 capteur de course du tiroir de régulation, 2 actionneur pour débit d'injection, 3 électrovanne d'arrêt, 4 piston de refoulement, 5 électrovanne de correction du débit d'injection, 6 tiroir de régulation.



UMK046AY

Circuits de régulation

(figure 5)

Débit d'injection de carburant

Le démarrage, le ralenti, la puissance, l'agrément de conduite ainsi que l'émission de suie sont grandement influencés par le débit d'injection. Différentes cartographies (débit de surcharge, ralenti, pleine charge, limitation des fumées) et caractéristiques (accélérateur et pompe) ont donc été programmées dans le calculateur. Le capteur d'accélérateur définit le couple et le régime sélectionnés par le conducteur.

Sur la base des valeurs cartographiques mémorisées et des valeurs réelles mesurées par les capteurs, le calculateur définit la position de l'actionneur du débit d'injection logé dans la pompe. Cet actionneur muni d'un dispositif

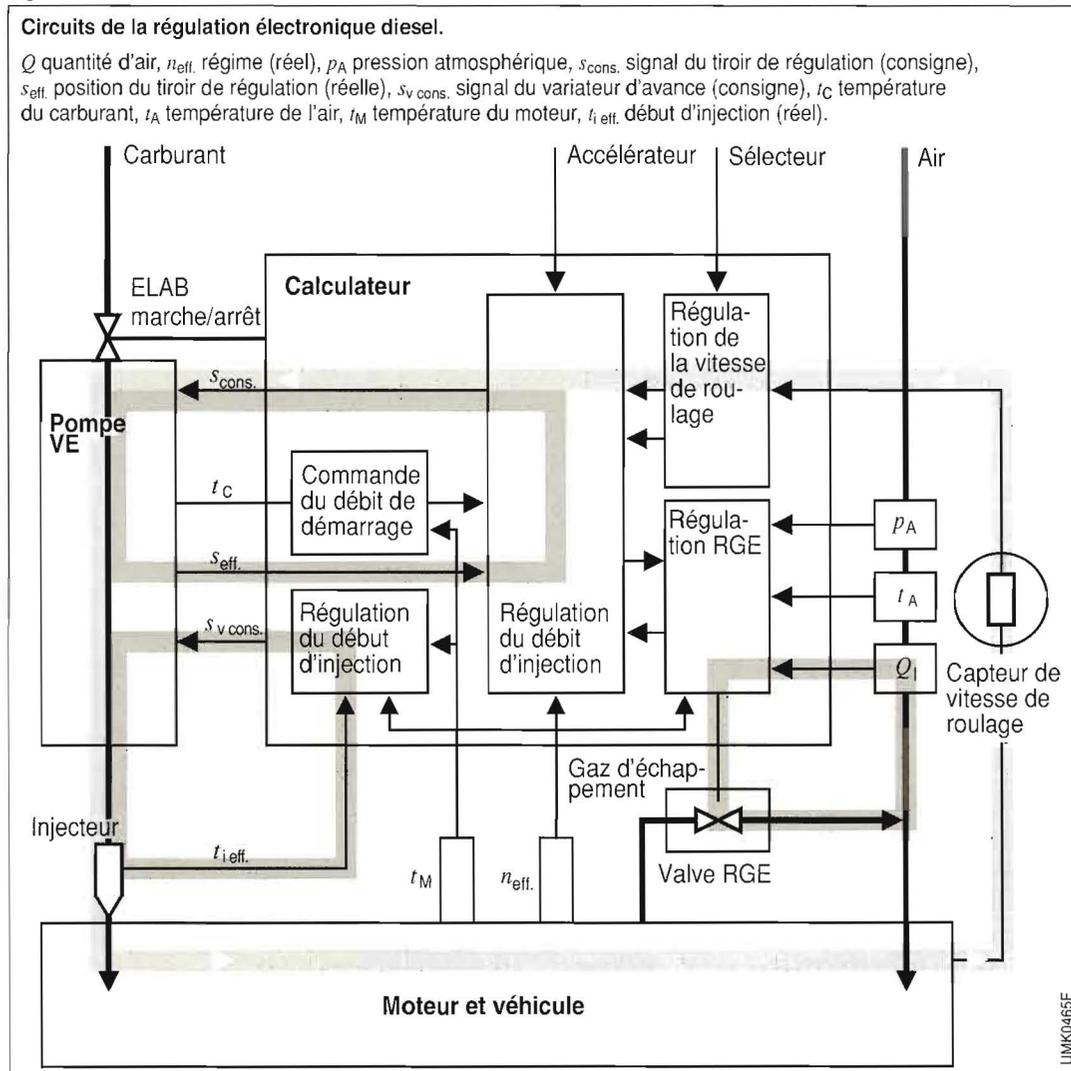
de réponse assure le positionnement correct du tiroir de régulation.

Début d'injection

Le démarrage, le niveau sonore, la consommation et les émissions sont largement influencés par le début d'injection. Les cartographies de débit d'injection mémorisées tiennent compte de ces facteurs. Un circuit de régulation garantit la grande précision du début d'injection. A cet effet, le début d'injection réel, détecté directement au niveau de l'injecteur par le capteur de déplacement d'aiguille, est comparé à la valeur de consigne programmée (figures 2 et 3). Une divergence éventuelle se traduit par la variation du rapport cyclique d'impulsions servant au pilotage de l'électrovanne du variateur d'avance. Le rapport d'impulsions est modifié de manière à

Régulation électronique des pompes d'injection distributrices

Figure 5



ramener l'écart de régulation à zéro. Cette électrovanne à rapport cyclique d'ouverture module la pression de commande au niveau du piston du variateur d'avance. On obtient ainsi le même comportement dynamique que pour la correction mécanique du début d'injection.

Si les signaux de début d'injection sont insuffisants, voire inexistant au démarrage et en décélération (absence d'injection), le régulateur est coupé et commuté sur un état de fonctionnement commandé. Le rapport d'impulsions nécessaire au pilotage de l'électrovanne est programmé dans une cartographie de commande.

Recyclage des gaz d'échappement

Le recyclage des gaz d'échappement (RGE) permet de réduire les émissions de polluants. Un pourcentage bien précis de gaz est prélevé et mélangé à l'air d'admission. En intégrant d'autres informations relatives au moteur et à l'injection, le calculateur détermine, pour chaque point de fonctionnement, le débit d'air d'admission du moteur (proportionnel au taux de recyclage) mesuré par un débitmètre et compare ce débit à la valeur programmée dans la cartographie RGE. En cas d'écart, le calculateur pilote un convertisseur électropneumatique qui positionne l'électrovanne RGE afin d'obtenir le taux de recyclage voulu.

Régulation de la vitesse de roulage

Le signal conditionné de la vitesse de roulage est comparé à la valeur de consigne sélectionnée par le conducteur via l'accélérateur. La régulation du débit d'injection module le débit nécessaire à la vitesse de roulage souhaitée.

Fonctions élargies

La régulation électronique offre d'autres fonctions améliorant le comportement du véhicule que celles de la pompe d'injection à régulation mécanique :

Amortissement actif des à-coups

La fonction « amortissement actif des à-coups » (ARD) permet d'éviter l'apparition d'oscillations perturbatrices dans l'axe du véhicule.

Régulation du ralenti

La régulation du ralenti (LLR), qui dose un débit d'injection adapté à chaque cylindre, permet d'éviter les « secousses » du moteur dans la plage de ralenti.

Mesures de sécurité

Autocontrôle

Le concept de sécurité englobe un contrôle des capteurs, des actionneurs et des microprocesseurs par le calculateur, de même que des fonctions de secours en cas de défaillance d'un composant.

Le système de diagnostic signale au conducteur les défauts affectant des composants importants par l'intermédiaire d'une lampe témoin intégrée au tableau de bord et permet de procéder à une analyse détaillée des défauts au garage.

Fonctions de secours

De nombreuses fonctions de secours complexes sont intégrées au système. En cas de défaillance du capteur de régime par exemple, l'intervalle entre les signaux de début d'injection du capteur de déplacement d'aiguille sert à définir un signal de régime de remplacement. Un dispositif d'arrêt électrique séparé (ELAB) arrête le moteur en cas de défaillance de l'actionneur de débit. Le témoin d'alerte ne s'allume qu'en cas de panne de capteurs importants. Le tableau ci-après montre les réactions du calculateur en présence d'anomalies précises.

Sortie de diagnostic

Les testeurs Bosch, qui peuvent être utilisés pour tous les systèmes automobiles électroniques Bosch, permettent de capter les signaux de diagnostic. Grâce à une procédure d'essai spéciale, il est possible de contrôler systématiquement tous ces capteurs, y compris les connecteurs et les fonctions du calculateur.

Tableau 1. Réactions du calculateur.

Défaillance	Objet du contrôle	Réaction en cas de défaut	Témoin d'alerte	Sortie diagnostic
Capteurs de correction	Plage du signal	Réduction du débit		●
Capteurs du système	Plage du signal	Fonction de secours (progressive)	●	●
Calculateur	Durée du programme (autotest)	Fonction de secours	●	●
Actionneur de débit	Ecart de régulation persistant	Arrêt du moteur	●	●

Avantages

- Optimisation du comportement du moteur et du contrôle des émissions grâce à la souplesse d'adaptation.
- Nette séparation des différentes fonctions ; p. ex., possibilité de déterminer la courbe du débit d'injection à pleine charge indépendamment de la caractéristique du régulateur et de la conception hydraulique.
- Traitement de paramètres qui, jusqu'à présent, ne pouvaient être représentés mécaniquement (p. ex. caractéristique du débit d'injection asservie à la température, régulation du ralenti indépendamment de la charge).
- Grande précision pendant toute la durée de vie du moteur grâce à des circuits de régulation qui atténuent l'influence des tolérances.
- Amélioration de l'agrément de conduite. La mémorisation de cartographies permet de fixer des courbes caractéristiques et des paramètres de régulation idéaux, indépendamment des effets hydrauliques, et de les adapter de manière très précise dans le cadre de l'optimisation du système moteur/véhicule. Les à-coups et les vibrations au ralenti disparaissent.
- L'association à d'autres systèmes électroniques ouvre de nombreuses perspectives en matière d'amélioration du confort, de consommation, de dépollution et de sécurité du véhicule (p. ex. commande de l'équipement de préchauffage ou de la boîte de vitesses automatique).

Nette réduction de l'encombrement de la pompe, car elle ne nécessite aucun groupe additionnel mécanique.

Arrêt

En raison de son principe de fonctionnement (auto-allumage), le moteur diesel ne peut être arrêté que par la coupure de l'alimentation en carburant.

Le moteur à régulation électronique diesel est arrêté par l'actionneur de débit (condition préalable fixée par le calculateur électronique : débit d'injection nul). Le dispositif électrique d'arrêt indépendant ne sert dans ce cas – comme décrit précédemment – qu'à assurer la coupure de sécurité en cas de défaut de l'actionneur.

Dispositif d'arrêt électrique

Le dispositif d'arrêt électrique, commandé par la clé de contact, est employé de préférence en raison du plus grand confort d'utilisation offert au conducteur.

L'électrovanne de coupure de l'alimentation en carburant est montée sur la face supérieure de la tête hydraulique de la pompe distributrice. Lorsqu'il est sous tension, c'est-à-dire lorsque le moteur tourne, l'électro-aimant maintient ouvert le canal d'arrivée à la chambre haute pression (attraction du noyau plongeur à cône d'étanchéité). La coupure du contact à l'aide du commutateur de marche déclenche l'interruption de l'alimentation électrique du solénoïde. Le champ magnétique est annulé et le ressort repousse le noyau plongeur à cône d'étanchéité contre le siège du clapet. Par conséquent, le canal d'arrivée à la chambre haute pression est obturé et le piston distributeur ne peut plus refouler de carburant.

Pompes d'injection distribu- trices à piston axial comman- dées par électrovanne VE-MV

Perspectives

Sur les pompes distributrices de la nouvelle génération, le dosage du carburant est assuré par une électrovanne haute pression et non plus par un actionneur électrique à tiroir de régulation. Cette technique offre un gain de souplesse au niveau du dosage du carburant et de la variation du début d'injection.

Conception

La conception modulaire de la pompe permet de combiner une pompe d'injection, largement éprouvée de série, à un nouveau système de dosage commandé électroniquement (figure 1).

Les dimensions, les conditions de montage et la chaîne cinématique, y compris la commande à cames de la pompe d'injection, sont quasiment identiques sur la pompe distributrice commandée par électrovanne et sur la version conventionnelle. Les nouveaux composants essentiels sont les suivants :

- capteur d'angle de rotation (système incrémentiel angle-temps), disposé sur l'arbre d'entraînement de la pompe d'injection, entre la pompe d'alimentation et la bague porte-galets ;
- calculateur électronique, monté sur la face supérieure de la pompe et formant une unité compacte reliée au calculateur moteur ;
- électrovanne haute pression autonome, montée au centre de la tête hydraulique.

Sur le plan du montage et du pilotage hydraulique, le variateur d'avance avec électrovanne à rapport cyclique d'ouverture correspond à celui de la pompe distributrice à commande électronique.

Composants

Capteur d'angle de rotation

La détection de l'angle de rotation par capteur, bague porte-capteur solidaire de l'arbre d'entraînement et disque-cible à denture à pas fixe est basée sur la génération de signaux par le capteur pour un écart angulaire fixe des dents du disque-cible.

Les impulsions générées sont transmises au calculateur, où elles sont traitées par un circuit d'exploitation. Le couplage du capteur à la bague porte-galets assure l'adaptation exacte des incréments angulaires au positionnement des cames lors de la rotation de la bague porte-galets induite par le variateur d'avance.

Calculateur pompe

Le calculateur, qui est monté sur la face supérieure de la pompe, est conçu en technique hybride. Outre les exigences mécaniques, auxquelles il est exposé dans le compartiment moteur, le calculateur doit remplir les fonctions suivantes :

- échange de données via système de bus sériel avec le calculateur moteur,
- exploitation des signaux du capteur de vitesse,
- pilotage de l'électrovanne haute pression,
- activation du variateur d'avance.

Le calculateur dispose de cartographies mémorisées qui tiennent compte des paramètres de réglage spécifiques du véhicule et de caractéristiques moteur bien définies. Il contrôle également la plausibilité des signaux enregistrés. Ces cartographies constituent par ailleurs une base de calcul pour diverses valeurs.

Electrovanne haute pression

L'électrovanne haute pression doit satisfaire aux exigences suivantes :

- grande section pour remplissage complet de la chambre haute pression, y compris à régime élevé,
- poids réduit (faibles masses en mouvement) pour limiter les contraintes sur les composants fonctionnels,
- brèves durées de commutation en vue d'un dosage précis du carburant,
- forces magnétiques élevées, capables de résister aux sollicitations, même sous de fortes pressions.

L'électrovanne haute pression comprend :

- le corps de vanne,
- l'aiguille de vanne,
- l'électro-aimant en liaison électrique avec le calculateur pompe.

La disposition concentrique du circuit magnétique autour du corps de vanne donne un sous-ensemble électrovanne haute pression/tête hydraulique compact.

Fonctionnement

Principe

La pompe distributrice à piston axial commandée par électrovanne réalise la génération de la pression selon le même principe que la pompe conventionnelle à commande électronique.

Refoulement du carburant

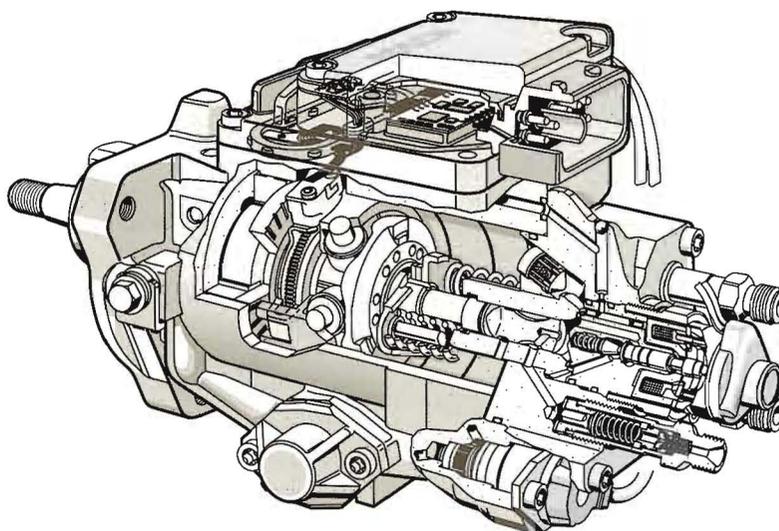
Le carburant est refoulé sous 12 bar environ par la pompe d'alimentation à palettes dans la chambre haute pression, en traversant la tête hydraulique et l'électrovanne haute pression ouverte.

Lorsque l'électrovanne haute pression est ouverte et non pilotée, le carburant n'est pas refoulé. Le point de fermeture de l'électrovanne détermine le début de refoulement de la pompe d'injection. Celui-ci peut se trouver au point mort bas ou sur le flanc ascendant de la came. La fin du refoulement est fixée par l'ouverture de l'électrovanne. La durée de fermeture de la vanne détermine le débit d'injection. La haute pression, qui s'établit dans la chambre d'alimentation (le disque à cames comprime le carburant refoulé par le piston axial), ouvre le clapet de refoulement et le carburant est « pressé » via la conduite de refoulement vers l'injecteur intégré au porte-injecteur. La pression d'injection est de l'ordre de 1400 bar côté injecteur. Le carburant en excédent revient au réservoir par des tuyauteries de retour.

Du fait de l'absence de canaux d'arrivée supplémentaires, l'injection est supprimée en cas de défaillance de l'électrovanne haute pression, afin de prévenir tout emballement du moteur.

Figure 1

Pompe d'injection distributrice à piston axial commandée par électrovanne (coupe).



UMK1205Y

Auxiliaires de démarrage

Par comparaison avec un moteur diesel chaud, un moteur diesel froid présente une moins bonne aptitude au démarrage et à l'allumage, car les fuites et pertes de chaleur à la compression du mélange air-carburant contribuent à faire baisser la pression et la température à la fin de la compression. Dans ces conditions, l'utilisation de systèmes d'aide au démarrage revêt une grande importance. La température limite de démarrage dépend du type de moteur. La chambre auxiliaire des moteurs à préchambre ou chambre de turbulence dispose d'une bougie-crayon de préchauffage formant un « point chaud ». Sur les moteurs de petite cylindrée à injection directe, ce point chaud se situe sur la périphérie de la chambre de combustion. Les moteurs de grosse cylindrée à injection directe pour véhicules utilitaires fonctionnent soit avec préchauffage de l'air dans le collecteur d'admission (démarrage par flamme), soit avec un carburant spécial, hautement inflammable (pilote de démarrage), qui est injecté dans l'air d'admission. Aujourd'hui, les systèmes à bougies-crayons de préchauffage ont pratiquement l'exclusivité.

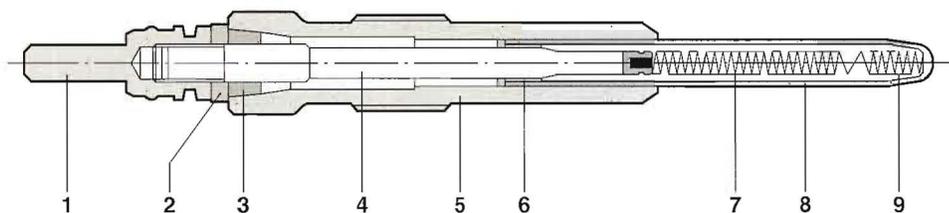
Bougie-crayon de préchauffage

La tige à incandescence d'une bougie-crayon de préchauffage est emmanchée dans un culot de

bougie étanche au gaz. Elle est constituée d'un tube métallique, résistant aux gaz chauds et à la corrosion, dont l'intérieur comporte un filament chauffant enrobé dans une poudre d'oxyde de magnésium (figure 1). Ce filament chauffant se compose de deux résistances montées en série, à savoir: la spirale chauffante, incorporée dans la pointe du tube incandescent, et la spirale de régulation. Alors que la spirale chauffante se caractérise par une résistance pratiquement indépendante de la température, la spirale de régulation présente un coefficient de température positif (CTP). La résistance de cette spirale augmente encore bien plus avec la température en cas d'adoption des bougies-crayons de la nouvelle génération (GSK2). Par contre, son évolution en fonction de la température est moins favorable avec les bougies-crayons conventionnelles (type S-RSK). Les nouvelles bougies de préchauffage GSK2 se caractérisent donc par leur grande rapidité d'obtention de la température nécessaire à l'allumage (850 °C en 4 s) et par une faible température d'équilibre (figure 2); la température de la bougie ne dépasse donc pas des seuils critiques. Par conséquent, la bougie-crayon peut continuer d'être utilisée pendant trois minutes maximum après le démarrage. Cette post-incandescence permet d'améliorer la mise en action et la montée en régime du moteur, et de réduire les émissions de bruits et à l'échappement.

Bougie-crayon de préchauffage GSK2.

1 fiche de connexion, 2 rondelle isolante, 3 joint double, 4 tige de connexion, 5 culot, 6 joint d'élément chauffant, 7 spirales de chauffage et de régulation, 8 tube à incandescence, 9 poudre isolante.



UMS0685-1Y

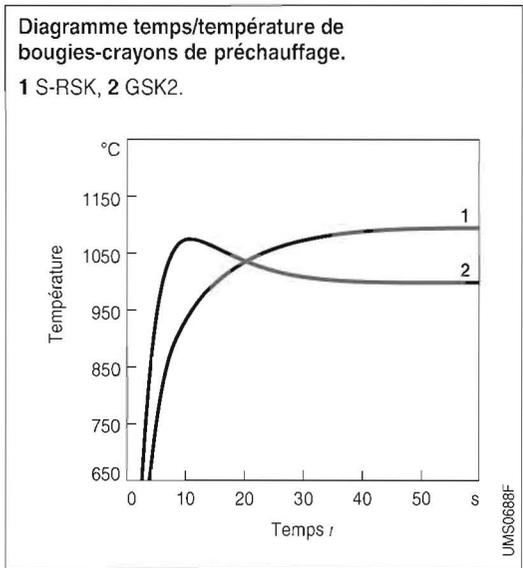


Figure 2

Bougie de préchauffage à flamme

Ce type de bougie réchauffe l'air d'admission par combustion de carburant. En général, le carburant est amené à la bougie à flamme à partir de la pompe d'alimentation de l'équipement d'injection par l'intermédiaire d'une électrovanne. Un filtre et un doseur se trouvent dans le raccord fileté de la bougie de préchauffage. Ce doseur distribue un débit de carburant déterminé par les caractéristiques du moteur. Le carburant est vaporisé dans un tube entourant le crayon de préchauffage, puis mélangé à l'air d'admission. Le mélange s'enflamme au contact de la partie avant du crayon dont la température dépasse 1000 °C.

Module de commande du temps de préchauffage

Le module de commande du temps de préchauffage dispose d'un relais de puissance et de circuits électroniques pour le pilotage des bougies-crayons de préchauffage. Ces composants modulent par exemple les durées de préchauffage des bougies-crayons ou assurent des fonctions de sécurité et de surveillance. Les modules de commande perfectionnés et leurs fonctions de diagnostic détectent aussi les défaillances des différentes bougies-crayons et les signalent au conducteur. Les entrées-pilotes du module de commande sont réalisées sous forme de connecteurs multiples. Afin de prévenir les chutes de tension indésirables, le trajet du courant vers les bougies-crayons passe par des axes filetés ou fiches adéquats.

gies-crayons passe par des axes filetés ou fiches adéquats.

Bougie-crayon, bougie à flamme

Déroulement du fonctionnement

Comme dans le cas d'un moteur à essence, les phases de préchauffage et de démarrage sont initialisées au moyen du commutateur de préchauffage-démarrage. L'opération de préchauffage débute dès que la clé de contact est positionnée sur « Allumage activé ». L'extinction du témoin de préchauffage signale que les bougies-crayons sont assez chaudes et que le démarrage peut commencer. Au cours de la phase de démarrage successive, les gouttelettes de carburant injecté se vaporisent, puis s'enflamment au contact de l'air chaud comprimé. La chaleur ainsi libérée conduit à l'initialisation de la combustion (figure 3).

La phase de post-incandescence, qui succède au démarrage effectif, contribue à éliminer les ratés et à limiter les émissions de fumées au cours de la mise en action et de la montée en régime à partir du ralenti. Elle contribue également à la réduction des bruits de combustion quand le moteur est encore froid. Si le démarrage ne peut avoir lieu, un circuit de sécurité et de déconnexion des bougies-crayons empêche la décharge de la batterie.

Le couplage du module de commande du temps de préchauffage au calculateur du système RED (régulation électronique diesel) permet d'exploiter les informations qui y sont mémorisées pour le pilotage optimal des bougies-crayons aux différents états de fonctionnement du moteur. Cette solution offre donc une possibilité supplémentaire de réduction des fumées bleues et des émissions de bruits.

Figure 3

