

B : POMPE D'INJECTION DISTRIBUTRICE A PISTONS RADIAUX

1. PRESENTATION DU SYSTEME

Applications

La pompe distributrice à pistons radiaux VP 44 a été mise au point par Bosch pour les moteurs diesel rapides, à injection directe, fournissant une puissance maximale de 37 kW par cylindre. Elle se caractérise par une plus grande dynamique pour la régulation des débits et débits d'injection, ainsi que par une pression maximale de 1600 bar au niveau de l'injecteur.

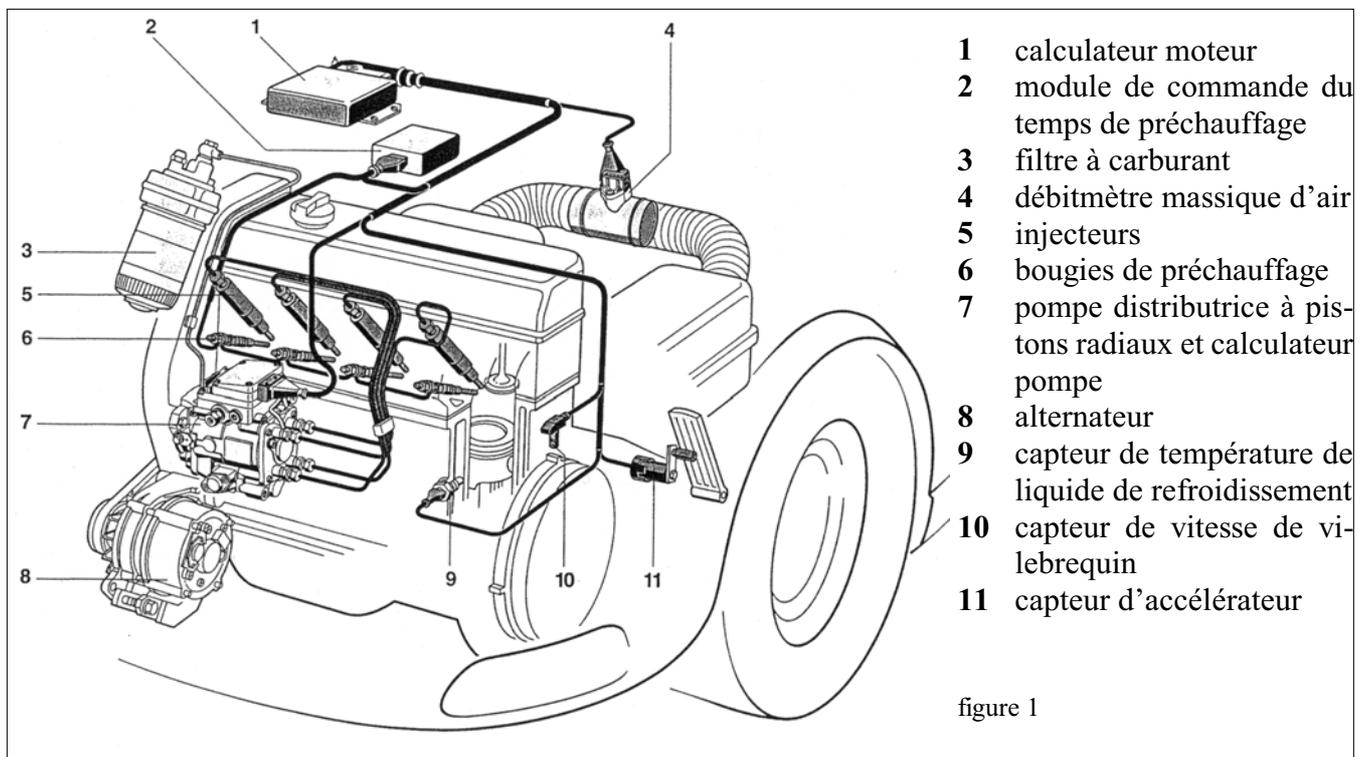
Fonctions

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

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

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

L'échange des données entre le calculateur moteur et le calculateur pompe s'effectue par le bus de multiplexage CAN. La figure 1 montre un exemple d'un système d'injection diesel équipé d'une pompe distributrice à pistons radiaux et ses composants sur un moteur à quatre cylindres.



Fonctions de base

Les fonctions de base conditionnent l'injection du gazole au bon moment, en quantité voulue et sous une pression aussi élevée que possible. Elles assurent donc un fonctionnement économique, régulier et très peu polluant du moteur diesel.

Fonctions complémentaires

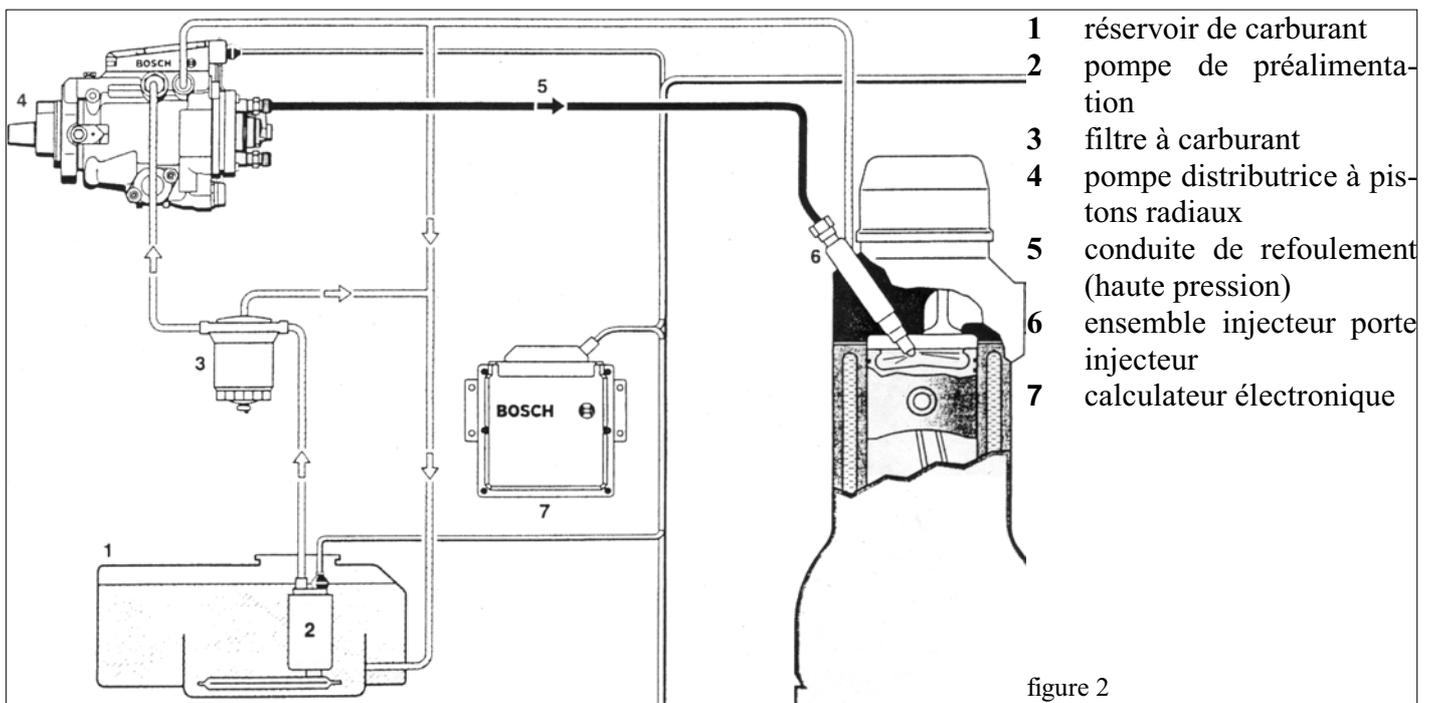
Des fonctions annexes de commande et de régulation induisent une réduction des émissions polluantes à l'échappement et de la consommation de carburant. A ce stade, il convient de citer :

- le recyclage des gaz d'échappement ;
- la régulation de la pression de suralimentation ;
- le contrôle de la vitesse de roulage ;
- l'antidémarrage électronique, etc.

Le bus de multiplexage CAN permet l'échange de données avec d'autres systèmes électroniques du véhicule (par exemple : ABS, commande électronique de boîte de vitesses). Une interface de diagnostic sert à l'exploitation des données mémorisées par le système lors de l'inspection du véhicule.

2. CIRCUIT DE CARBURANT

Le circuit de carburant (figure 2) d'un système d'injection équipé d'une pompe distributrice à pistons radiaux est constitué d'un étage de refoulement basse pression, d'un étage de refoulement haute pression et d'un calculateur électronique.



Refoulement basse pression

Le circuit basse pression du système d'alimentation en carburant comprend les composants suivants :

- le réservoir de carburant 1 ;
- les conduites à carburant basse pression,
- le filtre à carburant 3 ;
- les composants de la pompe d'injection (pompe d'alimentation à palettes, régulateur de pression, soupape de décharge).

Refoulement haute pression

Le circuit haute pression du système d'alimentation en carburant génère, au moyen d'une pompe haute pression à pistons radiaux, la pression nécessaire à l'injection. A chaque phase d'injection, le carburant est refoulé et injecté par :

- les composants de la pompe d'injection (pompe haute pression à pistons radiaux, électrovanne haute pression, arbre distributeur et tête hydraulique, soupape à frein de réaspiration) ;
- les conduites haute pression **5** ;
- les porte-injecteurs **6** ;
- les injecteurs **6**.

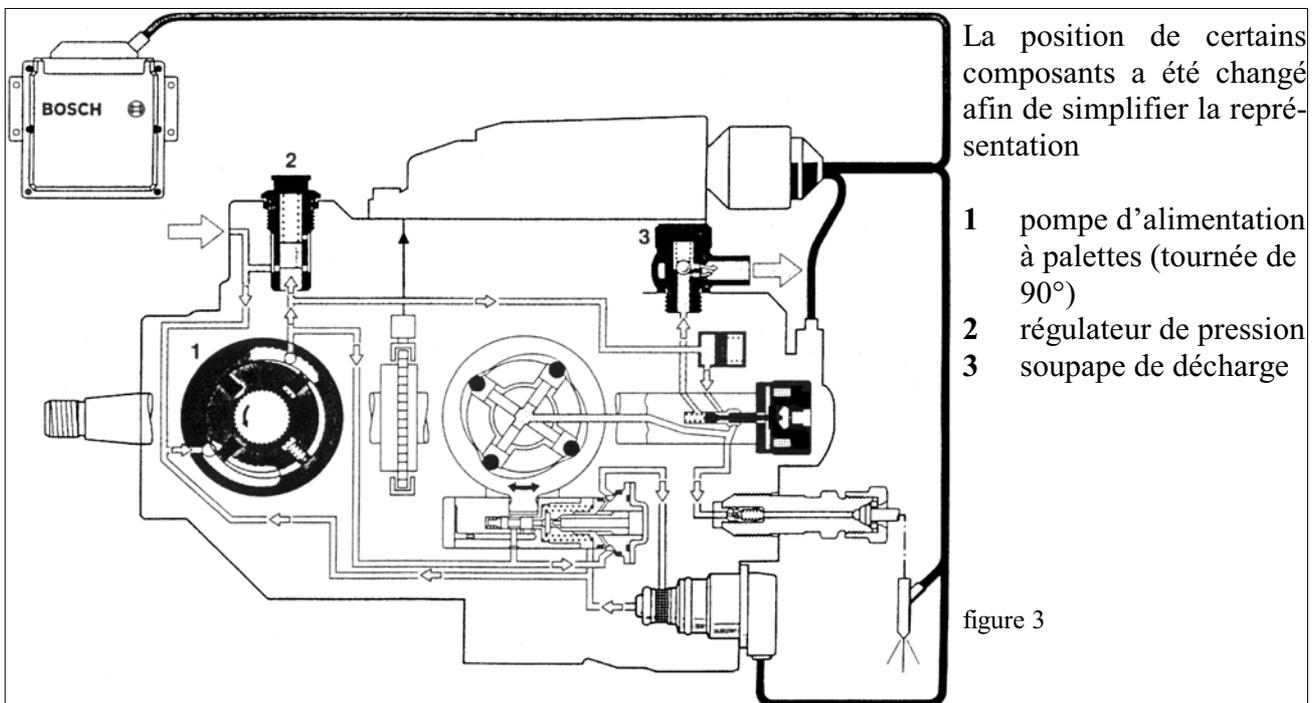
3. CONCEPTION ET FONCTIONNEMENT

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

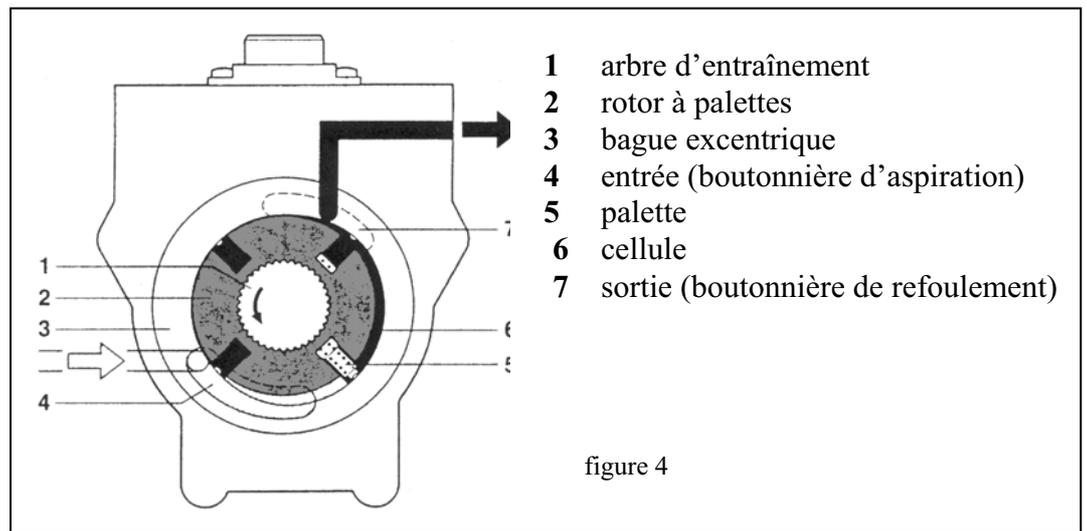
- pompe d'alimentation à palettes avec régulateur de pression et soupape de décharge à calibrage ;
- pompe haute pression à pistons radiaux avec arbre distributeur et soupape de dosage ;
- électrovanne haute pression ;
- variateur d'avance et électrovanne, capteur d'angle de rotation ;
- calculateur pompe.

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

Le circuit basse pression (figure 3) met une quantité de carburant suffisante à la disposition du circuit haute pression. Ses principaux composants sont : la pompe d'alimentation à palettes **1**, le régulateur de pression **2** et la soupape de décharge **3**.

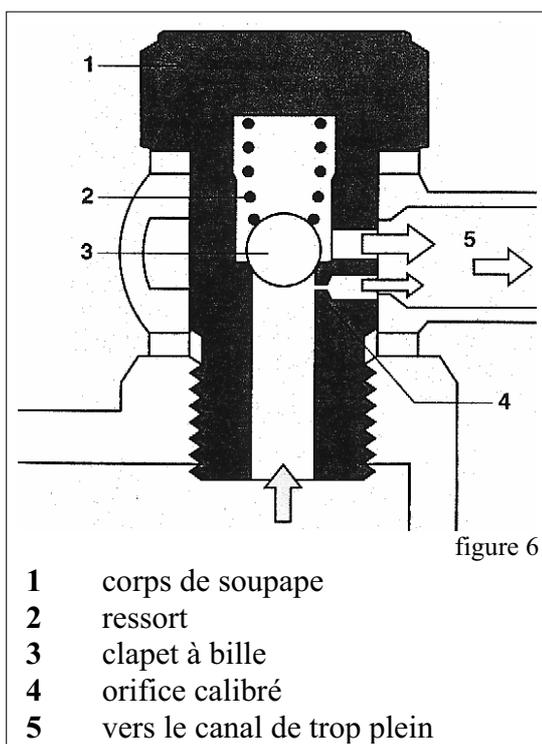
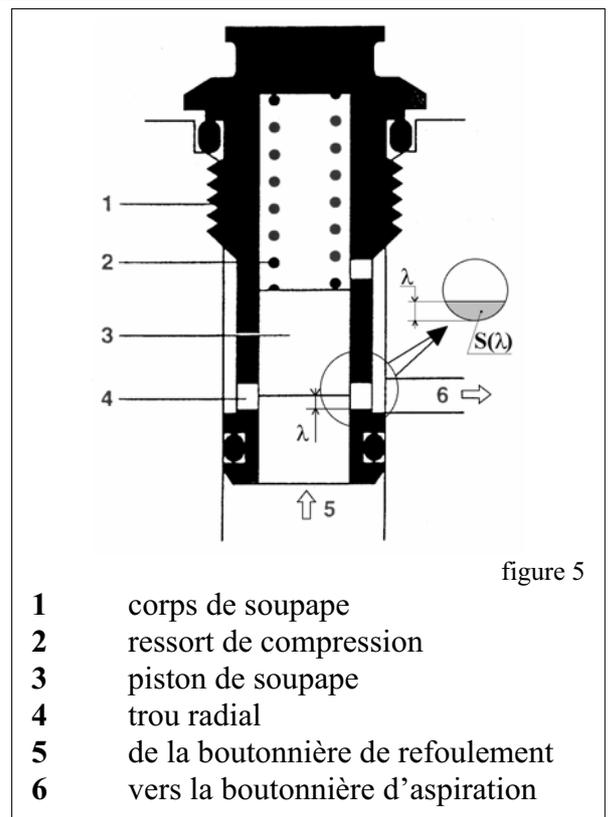


Pompe d'alimentation à palettes. figure 4



Régulateur de pression. figure 5

La pression de carburant, qui est générée par la pompe à palettes dans la boutonnière de refoulement, dépend de la vitesse de rotation de la pompe. Afin que cette pression n'atteigne pas un niveau trop élevé à grande vitesse, un régulateur de pression est monté à proximité immédiate de la pompe à palettes et relié par un canal à la boutonnière de refoulement 5. Il fait varier la pression de refoulement de la pompe à palettes en fonction du débit de carburant demandé. Si la pression de carburant dépasse un seuil bien déterminé, l'arête frontale du piston de soupape 3 démasque les trous radiaux 4 et le carburant retourne par un canal approprié à la boutonnière d'aspiration de la pompe à palettes.



Soupape de décharge figure 6

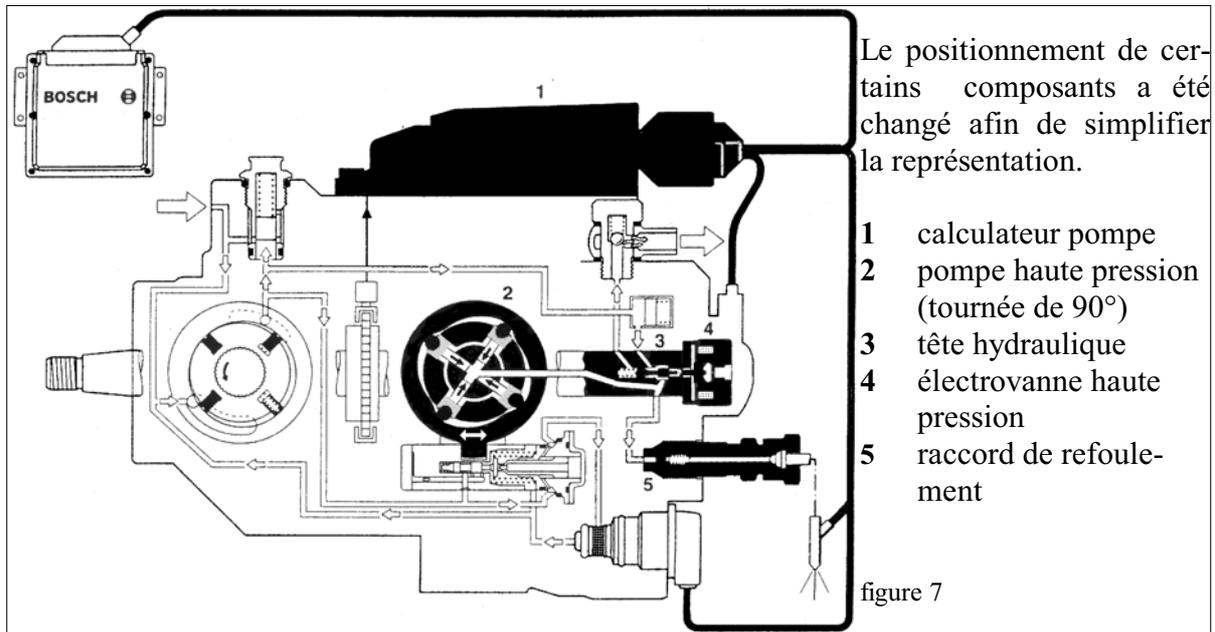
Pour le refroidissement et la purge de la pompe distributrice à pistons radiaux, une partie du carburant retourne au réservoir par la soupape de décharge vissée sur le corps de pompe.

La soupape de décharge communique avec le canal de trop-plein 5 de la tête hydraulique. Un clapet à bille 3 taré par un ressort 2, qui laisse s'échapper du carburant de la pompe dès qu'une pression d'ouverture pré-réglée est atteinte, se trouve à l'intérieur du corps de soupape 1.

Le corps de soupape présente un canal de dérivation au clapet à bille, qui communique avec le canal de trop-plein de la pompe par un calibrage de très petit diamètre. Cet étranglement 4 facilite la purge automatique de la pompe. L'ensemble du circuit basse pression de la pompe est donc conçu de telle sorte qu'une quantité bien définie de carburant retourne au réservoir par le canal de trop-plein.

5. CIRCUIT HAUTE PRESSION (composants de la pompe d'injection)

Ce circuit (figure 7) se charge non seulement de la génération de la haute pression, mais aussi de la répartition et du dosage du carburant ainsi que de la commande du début de refoulement, fonction assurée par un seul actionneur l'électrovanne haute pression 4.

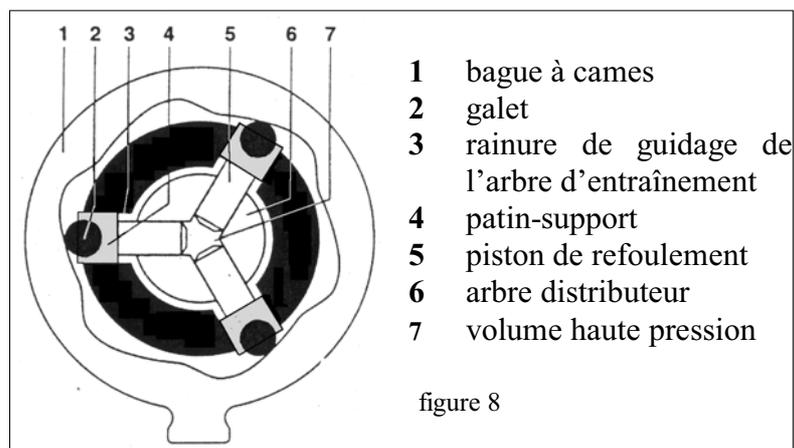


Génération de la haute pression par la pompe à pistons radiaux

La pompe haute pression à pistons radiaux génère la pression nécessaire à l'injection. Elle est actionnée par l'arbre d'entraînement et comprend les composants suivants (figure 8) :

- patins-supports 4 et galets 2 ;
- bague à cames 1 ;
- pistons 5 ;
- partie avant (tête) de l'arbre distributeur 6.

Le mouvement de rotation de l'arbre d'entraînement est transmis à l'arbre distributeur par un entraîneur en prise directe. Les rainures 3 servent de guidage aux patins-supports 4, dont les galets 2 se déplacent le long du profil intérieur de la bague à cames 1 qui enveloppe l'arbre d'entraînement. Le profil intérieur présente des bossages, dont le nombre correspond au nombre de cylindres du moteur. Les pistons sont guidés radialement dans la tête de l'arbre distributeur. Les pistons reposent sur les patins-supports et se déplacent donc en fonction du profil de la piste à cames. Ils sont poussés par les bossages et compriment le carburant à l'intérieur du volume haute pression central 7.



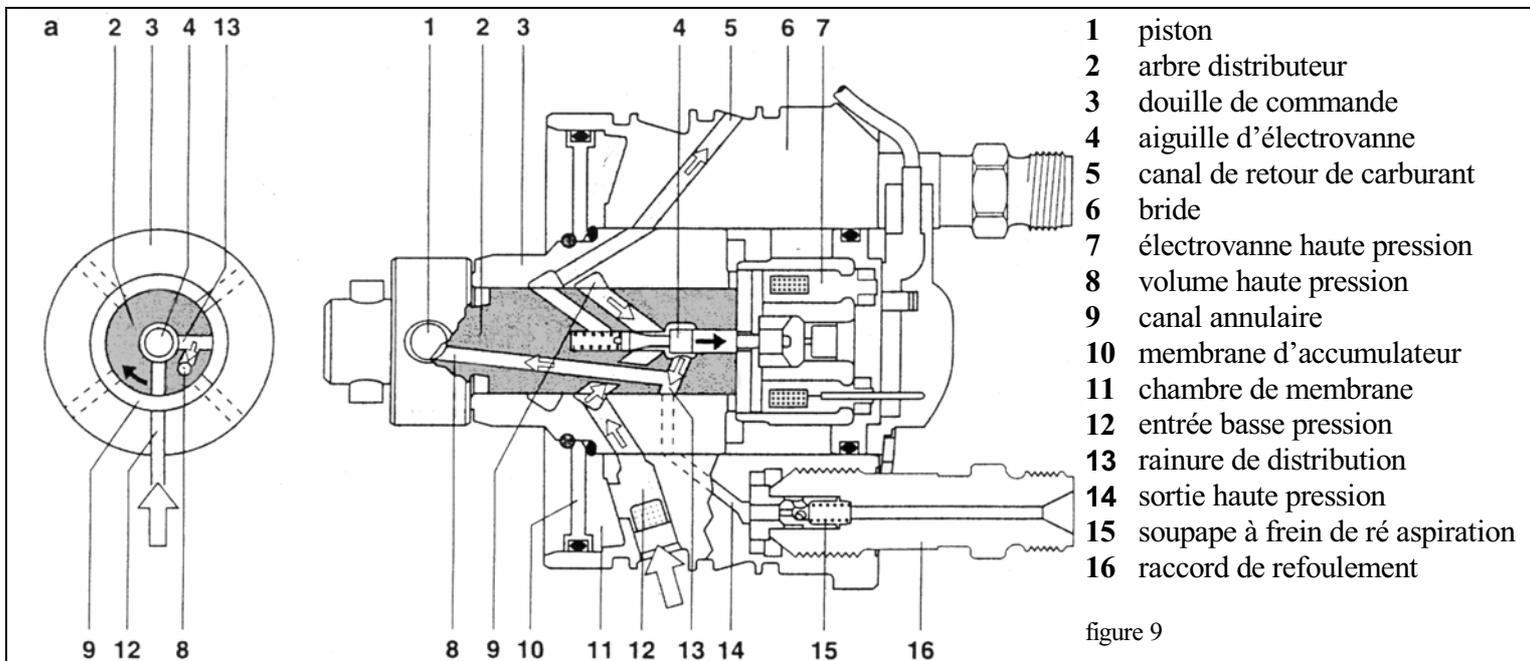
Distribution du carburant par la tête hydraulique

La tête hydraulique est constituée des composants suivants (figure 9):

- bride 6 ;
- douille de commande 3 emmanchée dans la bride ;
- partie arrière de l'arbre distributeur 2 guidée dans la douille de commande ;
- aiguille 4 de l'électrovanne haute pression 7 ;
- membrane accumulatrice 10 ;
- raccord de refoulement 16 avec soupape à frein de réaspiration 15.

Lors de la phase de remplissage (figure 9), c'est-à-dire au cours du recul des cames, les pistons de transfert 1 sont poussés vers l'extérieur, l'aiguille 4 de l'électrovanne étant ouverte. Par l'arrivée basse pression 12, le canal annulaire 9 et l'aiguille 4, du carburant s'écoule de la pompe d'alimentation à la tête hydraulique et remplit le volume haute pression 8. L'excédent de carburant revient au réservoir par la conduite de retour 5.

Au cours de la phase de refoulement, les pistons 1 sont poussés vers l'intérieur par les cames, l'aiguille 4 de l'électrovanne étant fermée. Le carburant, qui se trouve maintenant dans le volume haute pression isolé 8, est alors comprimé. Depuis la rainure de distribution 13, qui communique avec la sortie haute pression 14 en raison de la rotation de l'arbre distributeur 2, le carburant sous pression arrive à l'injecteur via le raccord de refoulement 16 doté d'une soupape à frein de réaspiration 15.



Dosage du carburant par l'électrovanne haute pression

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

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

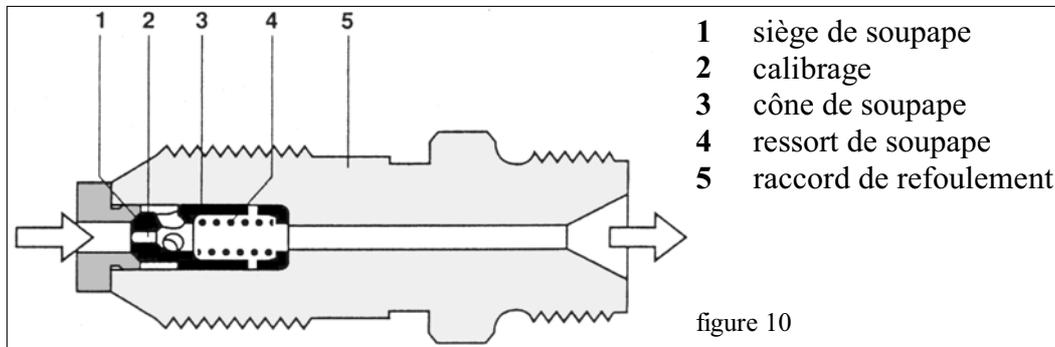
Les hautes pointes de pression, qui apparaissent alors côté basse pression, y sont amorties par la membrane de l'accumulateur. La quantité de carburant, qui est emmagasinée dans l'accumulateur, permet également d'assister la phase de remplissage avant la prochaine injection.

Amortissement des ondes de pression par la soupape à frein de réaspiration

La soupape à frein de réaspiration (figure 10) évite que les ondes de pression et leurs réflexions, qui se manifestent à la fin de l'injection, n'entraînent l'ouverture répétée de l'aiguille d'injecteur (bavage).

Au début du refoulement, la pression de carburant induit l'ouverture du cône de soupape 3. Le carburant traverse alors le raccord 5 et la conduite de refoulement pour atteindre l'injecteur. A la fin du refoulement, la pression de carburant chute et le ressort 4 plaque le cône contre le siège de soupape 1.

Les ondes de pression de retour, qui sont générées à la fermeture de l'injecteur, sont amorties par un calibrage 2 de manière à neutraliser tout phénomène néfaste de réflexion.

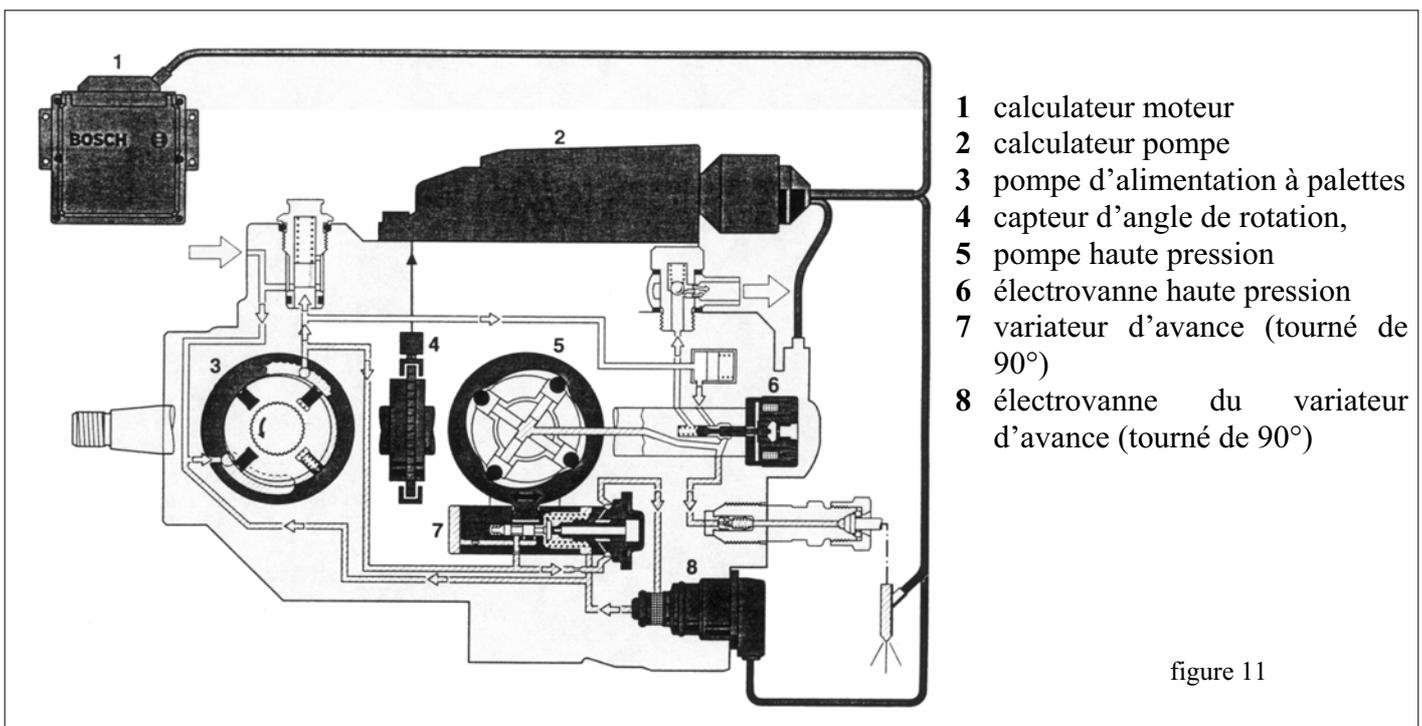


6. VARIATION DE L'AVANCE

Fonction

Le début d'injection étant constant et le régime moteur croissant, il y a augmentation de l'angle de vilebrequin entre le début d'injection et le début de combustion, si bien que le début de combustion ne peut plus avoir lieu au bon moment (par rapport à la position du piston).

La combustion la plus favorable et le meilleur rendement d'un moteur diesel ne sont cependant obtenus que pour une position bien déterminée du vilebrequin et des pistons. Le rôle du système d'avance à l'injection, qui est constitué d'un capteur d'angle de rotation, d'un variateur d'avance et d'une électrovanne, est d'avancer le début de refoulement de la pompe d'injection par rapport à la position du vilebrequin lorsque le régime moteur augmente. Ce système assure l'adaptation optimale du point d'injection à l'état de fonctionnement du moteur par compensation du décalage de temps dû aux délais d'injection et d'inflammation (figure 11).



Conception

Le variateur d'avance à commande hydraulique est monté dans la partie inférieure du corps de la pompe distributrice à pistons radiaux, perpendiculairement à son axe longitudinal (figure 12).

Le tourillon sphérique **2** de l'anneau à cames **1** est en prise dans l'alésage transversal du piston du variateur d'avance **3**. Tout mouvement axial du piston est donc transformé en un mouvement rotatif de l'anneau à cames. Un tiroir de régulation **5**, qui masque et démasque les orifices de distribution usinés dans le piston, est disposé au centre du piston du variateur.

Un piston de commande **12** taré par un ressort et à asservissement hydraulique, fixe la position de consigne du tiroir de régulation. L'électrovanne **15** influence la pression appliquée au piston de commande lorsqu'elle est activée par le calculateur pompe.

Fonctionnement

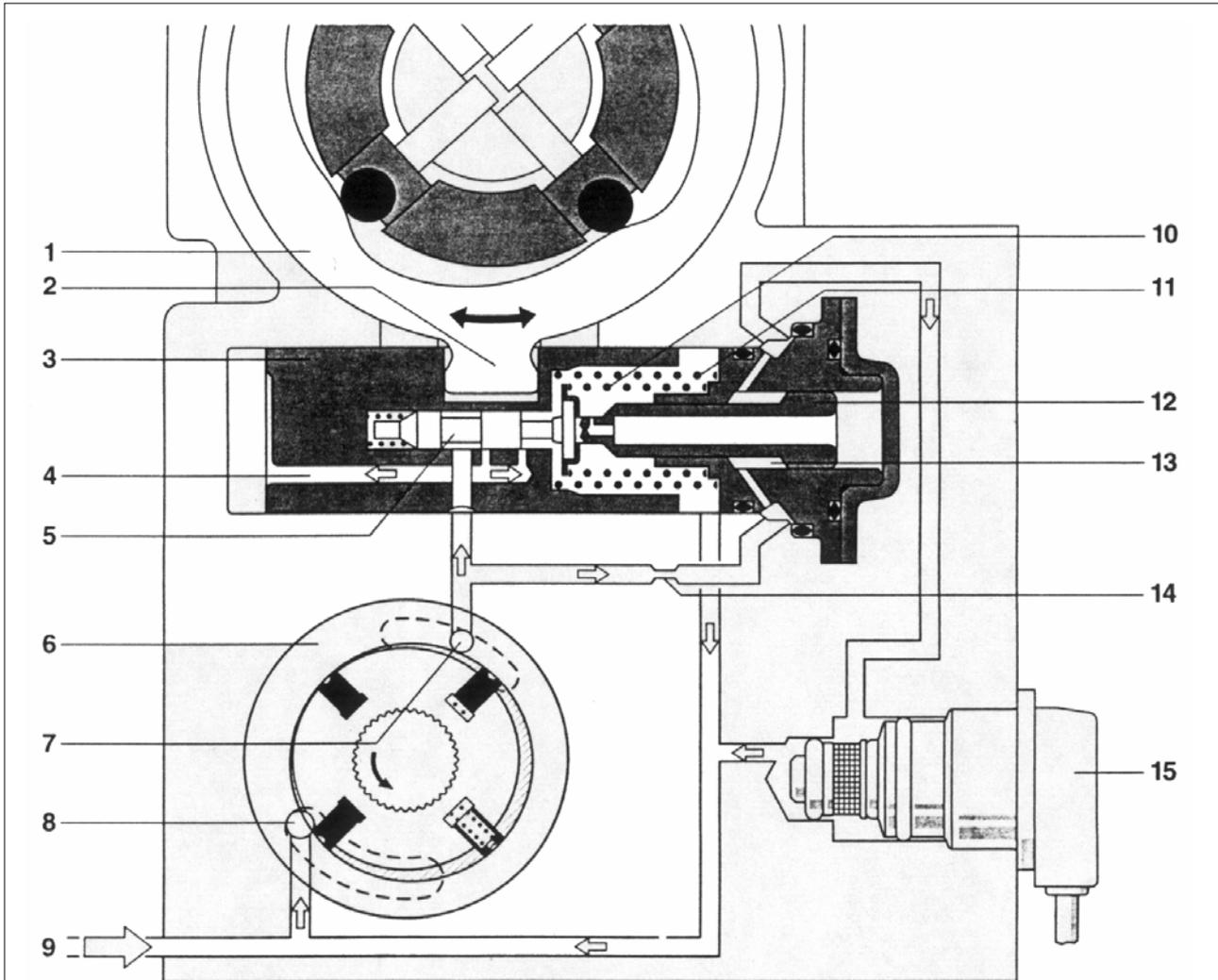


Figure 12

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 anneau à cames | 9 alimentation |
| 2 tourillon sphérique | 10 ressort du piston du variateur |
| 3 piston du variateur | 11 ressort de rappel |
| 4 canal d'arrivée/de sortie | 12 piston de commande |
| 5 tiroir de régulation | 13 espace annulaire de la butée hydraulique |
| 6 pompe d'alimentation | 14 calibrage |
| 7 orifice de refoulement | 15 électrovanne du variateur d'avance |
| 8 orifice d'aspiration | |

Régulation du début d'injection

En fonction de l'état de fonctionnement du moteur (charge, régime, température), le calculateur moteur donne une valeur de consigne pour le début d'injection, valeur mémorisée dans une cartographie spécifique. Le régulateur de début d'injection du calculateur pompe compare constamment le début d'injection réel avec la consigne et fait varier, en cas de divergence, le rapport d'impulsions du signal d'activation de l'électrovanne. Comme information sur la valeur du début d'injection, le calculateur dispose soit du signal émis par le capteur d'angle de rotation, soit du signal venant du capteur de déplacement d'aiguille intégré au porte-injecteur.

Variation dans le sens «avance»

Le piston du variateur d'avance **3** est maintenu en position de repos (position retard) par un ressort de rappel **11**. Pendant le fonctionnement, la pression du carburant à l'intérieur de la pompe est modulée en fonction de la vitesse de rotation par le régulateur de pression. Cette pression agit comme pression de commande par l'intermédiaire d'un calibrage **14** sur l'espace annulaire de la butée hydraulique **13** et déplace, l'électrovanne **15** étant fermée, le piston de commande **12** contre la force du ressort **10**) dans le sens «avance» (sur la figure 12, vers la droite). Le tiroir de régulation **5** se déplace aussi dans le sens «avance» et ouvre le canal d'arrivée **4** situé en aval du piston du variateur. Du carburant peut alors s'écouler par ce canal et pousser le piston du variateur vers la droite, dans le sens «avance». Le mouvement axial du piston du variateur est transmis par le tourillon sphérique **2** à l'anneau à cames **1** de la pompe à pistons radiaux sous forme de mouvement rotatif. La rotation de la bague à cames par rapport à l'arbre d'entraînement de la pompe occasionne, en cas de variation dans le sens «avance», le passage précoce des galets sur les bossages de la came et, par conséquent, un début d'injection avancé. L'avance possible à l'injection peut atteindre un angle arbre à cames maximum de 20° (ce qui correspond à un angle vilebrequin de 40°).

Variation dans le sens «retard»

L'électrovanne du variateur d'avance **15** s'ouvre dès qu'elle reçoit des signaux cadencés du calculateur pompe. La pression de commande baisse ainsi dans l'espace annulaire de la butée hydraulique **13**. Sous l'action de la force du ressort **10**, le piston de commande **12** se déplace dans le sens «retard» (sur la figure 12, vers la gauche).

Le piston du variateur **3** reste d'abord immobile. Dès que le tiroir de régulation **5** démasque l'orifice allant au canal de sortie, du carburant peut alors s'échapper du volume en aval du piston du variateur. La force du ressort **11** et le couple de réaction agissant sur la bague à cames repoussent le piston du variateur dans le sens «retard» c'est-à-dire dans sa position de départ.

Régulation de la pression de commande

L'ouverture et la fermeture rapides (par impulsions) de l'aiguille de vanne permettent à l'électrovanne du variateur d'avance de fonctionner comme un étranglement variable. Elle peut influencer constamment la pression de commande, de sorte que le piston de commande peut prendre un positionnement indifférent entre la position «avance» et la position «retard». Le rapport cyclique d'impulsions, c'est-à-dire le rapport entre le temps d'ouverture et la durée totale d'un cycle de travail de l'aiguille de l'électrovanne, est prédéterminé par le calculateur pompe.

Par exemple, si le piston de commande doit être déplacé davantage dans le sens «avance» le calculateur pompe, fait varier le rapport cyclique de telle sorte que la fraction de temps de l'état «ouvert» diminue. L'électrovanne laisse passer moins de carburant et le piston de commande se déplace dans le sens «avance».