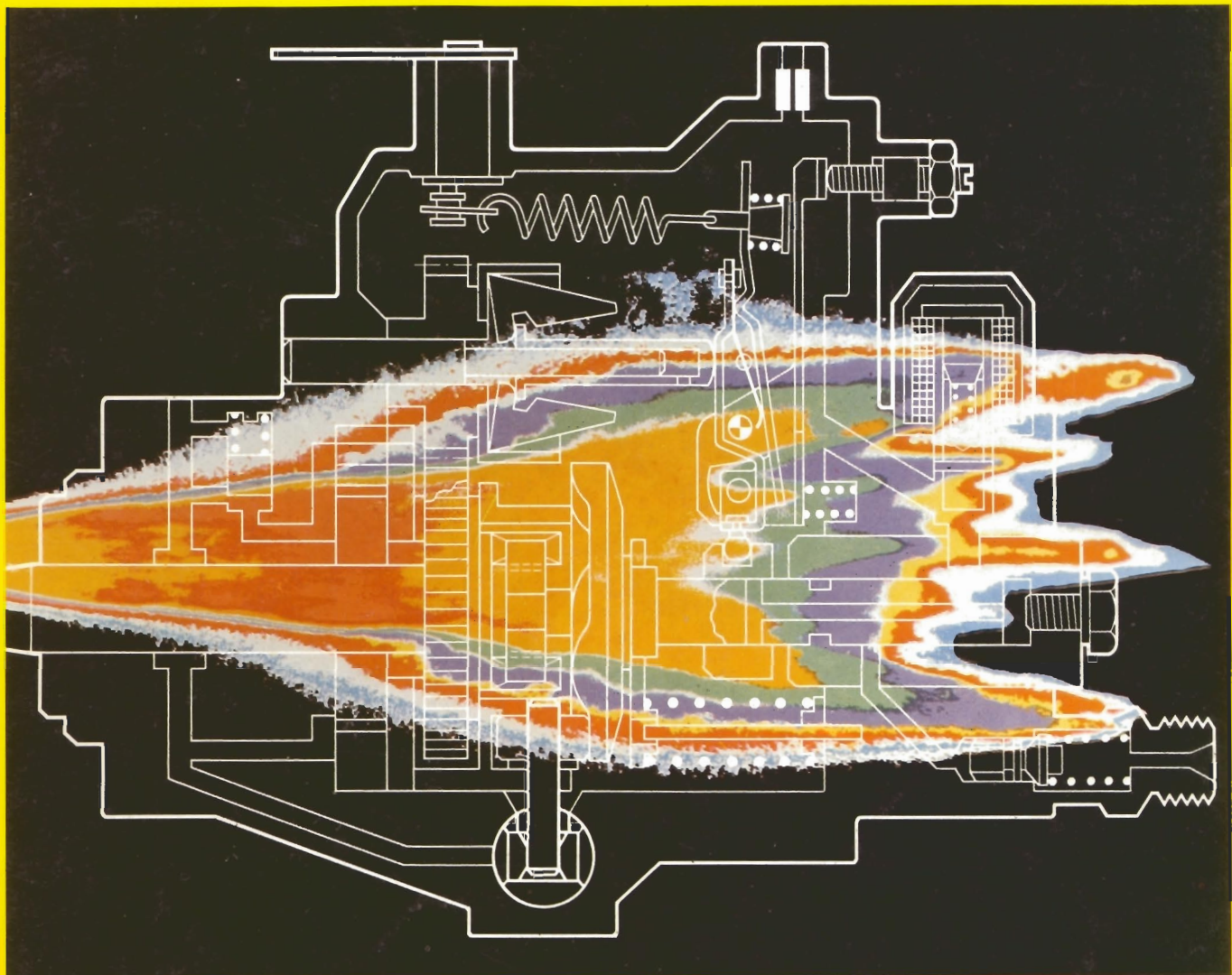




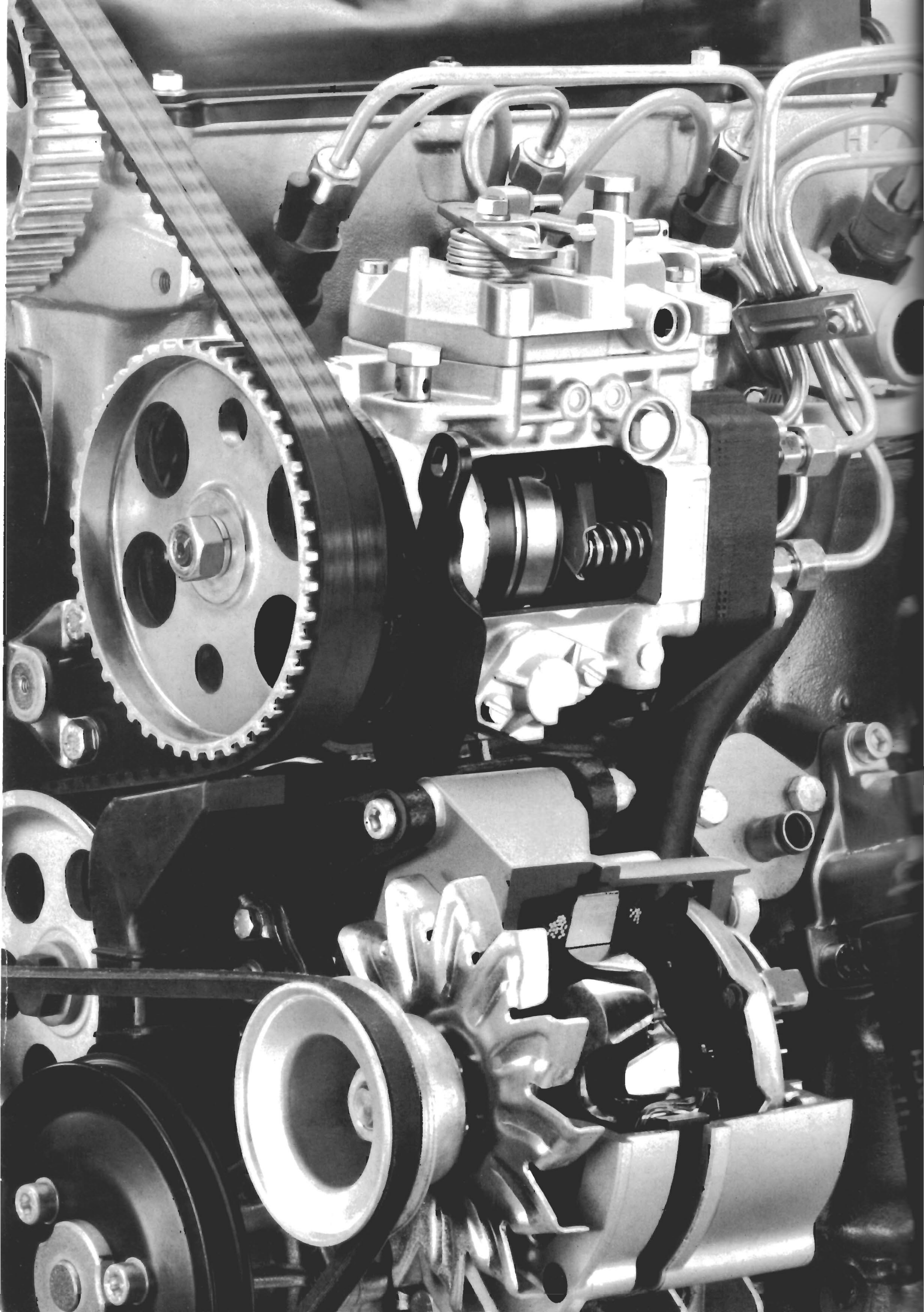
**BOSCH**

**Pompe d'injection distributrice**

**Type VE**



**Cahier technique**



# Pompe d'injection distributrice Type VE

39, 00  
ff Chopine 10185

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 du 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.

Le dispositif d'injection diesel de Bosch a aussi contribué à accroître la popularité des moteurs diesels rapides, qui équipent les voitures particulières. La haute précision de la pompe d'injection distributrice du type VE permet le dosage exact de quantités de carburant très faibles. 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.

Le présent cahier technique constitue une étude de la conception de la pompe distributrice du type VE et de la modulation du débit de carburant, du début et de la durée d'injection, en fonction des différents états de fonctionnement du moteur.

<b>Moteur diesel</b>	2
Principe du diesel, le diesel et les gaz d'échappement	
<b>Equipement d'injection</b>	3
<b>Pompe d'injection distributrice Type VE</b>	4
Applications	
Conception et entraînement	
<b>Refoulement du carburant</b>	6
Refoulement basse pression	
Refoulement haute pression	
Soupape de refoulement, conduites de refoulement, porte-injecteur, injecteurs	
<b>Régulation de la vitesse de rotation</b>	14
Régulateur toutes vitesses	
Régulateur mini-maxi	
<b>Variation de l'avance à l'injection</b>	18
<b>Groupes d'adaptation</b>	20
Correction de débit	
Adaptation à la pression de suralimentation	
Adaptation à la charge	
Correction altimétrique	
Adaptation au démarrage à froid	
<b>Arrêt</b>	20

**La photo de la couverture** montre, en superposition, la géométrie d'une pompe d'injection distributrice du type VE, un jet d'injection diesel et la répartition du carburant dans la chambre de combustion.

**Photo de gauche:** modèle en coupe d'une pompe d'injection distributrice montée sur le moteur diesel. En dessous, un alternateur triphasé.

© Robert Bosch GmbH 1983  
Postfach 50, D-7000 Stuttgart 1  
Division Equipement Automobile, Dépt. Documentation Technique (KH/VDT).  
Publication réalisée en coopération avec les départements techniques de la société.  
La réimpression, la reproduction et la traduction, même d'extraits de ce texte, ne sont permises qu'avec notre autorisation écrite préalable et indication obligatoire de l'origine. Les illustrations, descriptions, schémas et autres données sont uniquement destinés à la présentation et à la compréhension du texte. Ils ne peuvent servir de base en ce qui concerne les détails de construction, de montage et de livraison.  
Nous n'assumons aucune responsabilité quant à la conformité du texte aux différentes prescriptions nationales. Sous réserve de modifications.  
Les photos ont été aimablement mises à notre disposition par:  
Audi NSU Auto Union AG, Ingolstadt, et Volkswagenwerk AG, Wolfsburg.  
Printed in the Federal Republic of Germany.  
Imprimé en République fédérale d'Allemagne.  
1ère édition.  
Juillet 1983

# Moteur diesel

## Principe du diesel

Le moteur diesel n'aspire que de l'air. L'air s'échauffe pendant la course de compression. Le gazole injecté s'enflamme au contact de l'air porté à haute température.

L'air aspiré par le moteur diesel, moteur à allumage par compression, s'échauffe si fortement pendant le temps de compression que le carburant s'enflamme spontanément. Le carburant est dosé par la pompe d'injection et injecté à haute pression, par les injecteurs, dans la chambre de combustion. L'injection du carburant s'effectue:

- suivant une quantité dosée exactement en fonction de la charge et du régime du moteur;
- au bon moment, rapporté à la position du vilebrequin;
- de manière adaptée au mode de combustion considéré.

Le dispositif d'injection assure le respect de ces conditions fondamentales. Il détecte les conditions de fonctionnement spécifiques, telles que régime du moteur, position de la pédale d'accélérateur et autres paramètres opérationnels, et détermine ainsi la quantité de carburant nécessaire. Le carburant est injecté dans une préchambre, une chambre de turbulence ou directement dans la chambre de combustion (fig. 2).

Principe de fonctionnement du moteur diesel à 4 temps:

1er temps: admission d'air pur ou d'air précomprimé.

2e temps: compression. Rapport volumétrique env. 20 à 1, avec suralimentation env. 18 à 1, pour des pressions de compression comprises entre 30 et 55 bars. L'air atteint donc une température très élevée (500 à 700°C env.). Le carburant est injecté dans l'air comprimé.

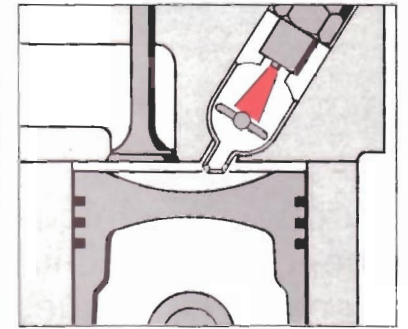
3e temps: combustion (travail). Le carburant s'enflamme au contact de l'air très chaud et brûle. L'énergie engendrée par la combustion déplace le piston vers le point mort bas (détente).  
4e temps: échappement des gaz brûlés.

## Le diesel et les gaz d'échappement

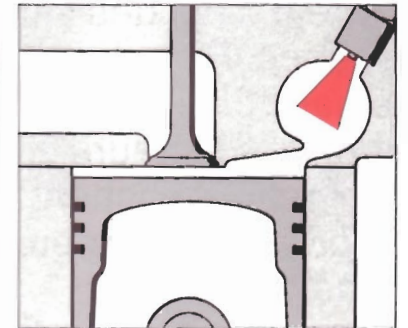
Les moteurs diesels utilisent des carburants à base d'huiles minérales qui sont constituées d'hydrocarbures. La combustion complète des hydrocarbures en combinaison avec l'oxygène donne du dioxyde de carbone et de l'eau. Toutefois, la combustion n'est pas complète. Des états de charge et de régime variés, le mauvais mélange de l'air et du carburant, des températures insuffisantes dans la chambre de combustion entraînent des réactions secondaires ou partielles, qui engendrent des émissions toxiques.

La combustion diesel pouvant se dérouler avec un surplus important d'air et d'oxygène, aucun problème d'émission de monoxyde de carbone (CO) n'apparaît. Par contre, la formation de particules imbrûlées d'hydrocarbures constitue un inconvénient pour les moteurs diesels fonctionnant sous des charges faibles ou très souvent à froid. Les oxydes d'azote sont produits localement par de très hautes températures, causées par des pointes de pression au cours de la combustion. Ce phénomène se manifeste, le plus souvent, aux vitesses de rotation et aux charges élevées. Le dégagement de fumées noires, connu surtout sous le nom de «fumées diesels», est la conséquence d'un manque local d'oxygène au cours de la combustion, qui provoque la fission du carbone pur. Ce corps forme la fumée noire, un nuage de fines particules.

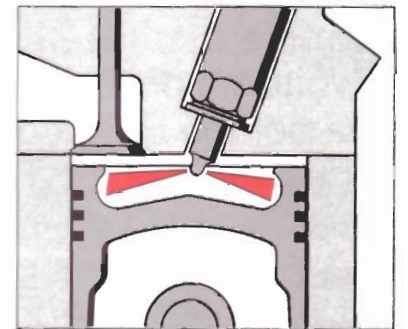
2 Conception de la chambre de combustion et procédé d'injection.



Injection dans une préchambre.



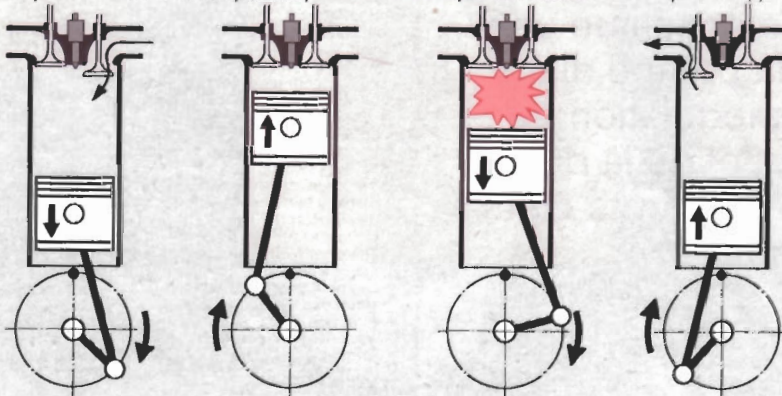
Injection dans une chambre de turbulence.



Injection directe.

## 1 Cycle à quatre temps du moteur diesel.

1er temps: admission 2e temps: compression 3e temps: combustion 4e temps: échappement



2) Dans les moteurs à préchambre ou à chambre de turbulence, le mélange riche s'enflamme dans un petit espace et pénètre dans la chambre principale par un canal relativement étroit, où il se mélange, par un brassage intense, à l'air comprimé et commence à brûler. La répartition de la chambre de combustion en une chambre principale et une préchambre ou chambre de turbulence favorise la combustion régulière et silencieuse. Les moteurs à préchambre ou chambre de turbulence conviennent donc surtout aux voitures particulières et aux véhicules utilitaires légers.

Les moteurs à injection directe se caractérisent par une faible consommation de carburant. Ils sont destinés à des applications mobiles et stationnaires, p. ex. aux camions, tracteurs, bateaux et engins de chantier.

# Equipement d'injection

## Fonction

A chaque temps de fonctionnement, l'équipement d'injection refoule vers l'injecteur la quantité de carburant nécessaire, sous haute pression et pour une position bien déterminée du vilebrequin. L'injecteur assure la fine pulvérisation du carburant dans la chambre de combustion.

### Quantité de carburant injectée

Afin de respecter les tolérances des émissions d'échappement du moteur, la quantité de carburant doit être dosée de manière à obtenir aussi un surplus d'air à pleine charge. En outre, la modulation du débit suppose le respect des valeurs limites de ralenti et de régime maximum. L'adaptation à des conditions de service bien spécifiques impose d'autres corrections de la quantité de carburant à injecter.

### Point d'injection

Le point d'injection dépend de la vitesse de rotation et de la charge du moteur. Sa variation en fonction du régime intervient de sorte que la phase d'inflammation principale se déroule juste après le dépassement du point mort haut.

### Phase d'injection

Le principe du moteur diesel se caractérise par une combustion à pression constante dès le début de l'allumage. La répartition de la quantité de carburant nécessaire pendant la durée d'injection doit permettre une combustion à pression constante. Le dosage du carburant par degré de vilebrequin doit correspondre à la quantité pouvant vraiment être brûlée pendant cette période, sans que la pression ni les nuisances ne dépassent les valeurs admissibles.

## Présentation

Les moteurs diesels rapides, de petite cylindrée, montés surtout sur les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers, exigent un dispositif d'injection d'un poids et encombrement faibles. La pompe d'injection distributrice du type VE répond à ces impératifs grâce à la réunion, en une unité compacte, de la pompe d'alimentation, du régulateur de vitesse et du variateur d'avance.

### Section basse pression

La section basse pression d'un dispositif d'injection comprend le réservoir et le filtre à carburant, la pompe d'alimentation à palettes, la soupape de décharge et les conduites d'arrivée du carburant.

### Section haute pression

La section haute pression de l'équipement d'injection engendre la pression nécessaire à l'injection du carburant. Le gazole est refoulé vers l'injecteur par l'intermédiaire de la soupape de refoulement, de la tuyauterie d'injection et du porte-injecteur.

### Disposition des conduites

Le fonctionnement parfait de la pompe d'injection impose l'alimentation continue en carburant, sans bulles et sous pression, de la section haute pression du dispositif. Sur les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers, la différence de niveau entre le réservoir et la pompe d'injection est généralement faible. La longueur de la conduite d'alimentation est donc favorable et sa section dimensionnée de manière à garantir une aspiration suffisante de la pompe à palettes incorporée à la pompe d'injection.

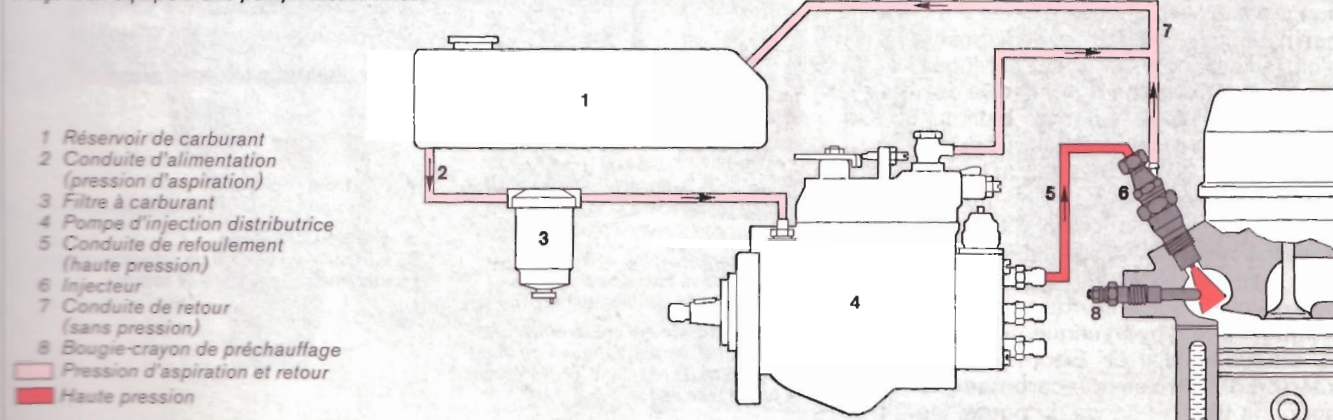
Une pompe de pré-alimentation est installée sur les véhicules qui présentent une différence de niveau assez importante ou (et) disposent d'une conduite plus longue entre le réservoir et la pompe d'injection. Elle permet de vaincre les résistances internes de la conduite et du filtre, et d'augmenter la longévité du filtre. L'alimentation par gravité est surtout utilisée sur les tracteurs et les moteurs stationnaires.

### Filtre à carburant

La section haute pression de la pompe d'injection et les injecteurs sont réalisés avec une précision de l'ordre de quelques millièmes de millimètre. Cela signifie que des impuretés du carburant peuvent nuire au fonctionnement. Une mauvaise filtration peut causer des détériorations des composants de la pompe, des soupapes de refoulement et des injecteurs. L'utilisation d'un filtre à carburant, adapté aux exigences spécifiques de l'équipement d'injection, constitue donc le préalable essentiel à un fonctionnement sans perturbation et à une longévité accrue. Le carburant peut contenir de l'eau sous forme combinée ou sous forme libre (p. ex. formation d'eau de condensation par suite de variations de température). Si cette eau vient à pénétrer dans la pompe d'injection, il en résulte des dégâts par corrosion. Les pompes distributrices exigent donc des filtres à carburant avec collecteur d'eau. L'eau doit être vidangée à des intervalles réguliers.

L'application de plus en plus fréquente du moteur diesel aux voitures particulières favorise l'emploi d'un dispositif automatique de détection du niveau d'eau. Une lampe témoin signale le moment opportun pour l'évacuation de l'eau.

3 Alimentation en carburant d'un dispositif d'injection équipé d'une pompe distributrice.



# Pompe d'injection distributrice

## Type VE

### Applications

Grâce à leur flexibilité, les pompes d'injection distributrices du type VE offrent une multitude de possibilités d'application. Le régime nominal, la puissance et l'architecture du moteur diesel définissent le domaine d'utilisation et la conception de la pompe distributrice. Les pompes d'injection distributrices sont utilisées sur les voitures particulières, les camions, les tracteurs et les moteurs stationnaires.

### Généralités

Contrairement à la pompe d'injection en ligne, la pompe distributrice du type VE ne dispose que d'un seul cylindre et d'un seul piston distributeur, même pour les moteurs à plusieurs cylindres. 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 et
- dispositif d'arrêt.

La figure 4 montre les différents groupes fonctionnels et leur interaction. La pompe distributrice peut également être équipée de différents dispositifs de correction. Ils permettent une adaptation individuelle aux propriétés spécifiques du moteur diesel. Le rôle, la conception et le fonctionnement de ces dispositifs d'adaptation seront décrits par la suite.

### Conception

L'arbre d'entraînement de la pompe distributrice est logé dans des paliers intégrés au corps de pompe. L'arbre porte également la pompe d'alimentation à palettes. La bague porte-galets, qui n'est pas solidaire du dispositif d'entraînement mais est aussi 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, produit un mouvement à la fois alternatif et rotatif, qui est transmis au piston distributeur. Le piston distributeur est guidé par la tête hydraulique, solidaire 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

soupapes et les raccords de refoulement. Si la pompe est équipée d'un propre dispositif d'arrêt mécanique, cet organe est alors incorporé au couvercle du régulateur.

Une transmission par pignons assure la commande du bloc régulateur depuis l'arbre d'entraînement de la pompe. Le bloc régulateur est constitué des masselottes et du manchon central. Le mécanisme de détection du régulateur, qui comprend le levier de réglage, le levier de démarrage et le levier de tension, tourne à l'intérieur du corps de pompe. Il sert à modifier 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, vient s'engager dans la partie supérieure du mécanisme de détection. L'arbre du levier de commande est logé dans le couvercle du régulateur, le fonctionnement de la pompe étant influencé par l'action de ce levier.

Le couvercle du régulateur ferme la partie supérieure du corps de pompe.

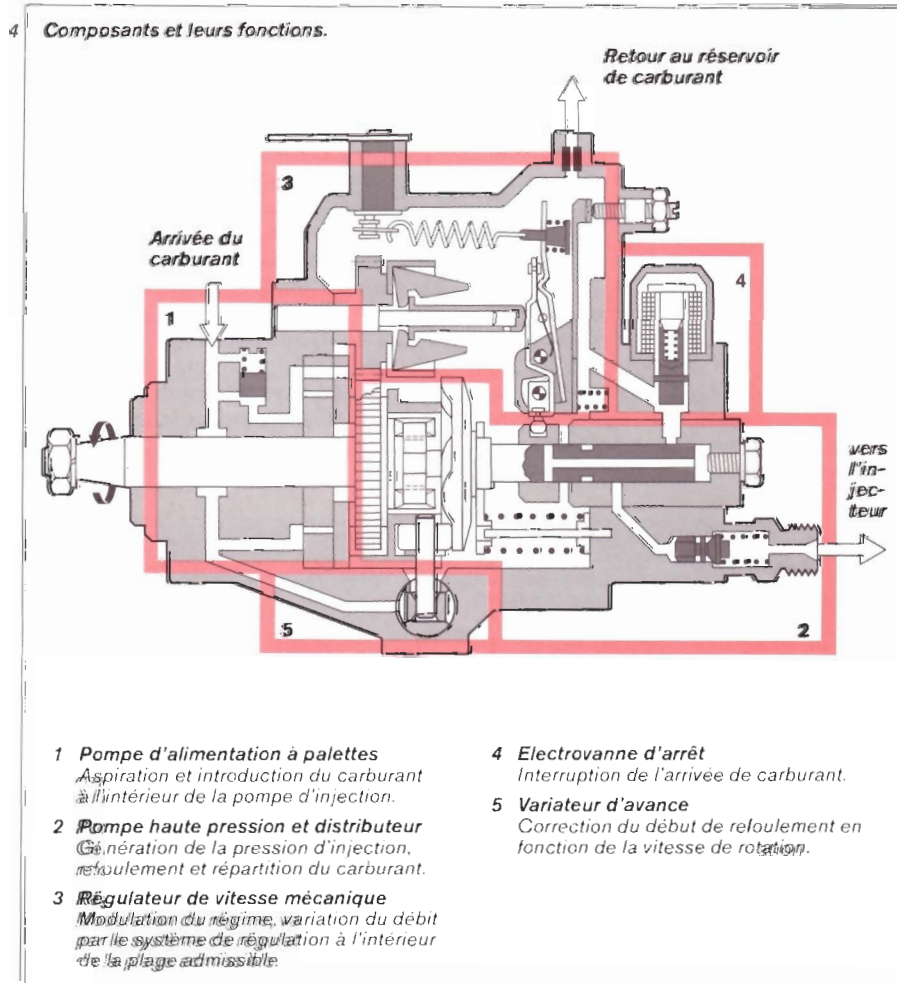
Il porte la vis de réglage du débit de pleine charge, la soupape de décharge et les vis de réglage du régime.

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 de la soupape modulatrice de pression –. Le variateur est fermé par un couvercle de chaque côté de la pompe.

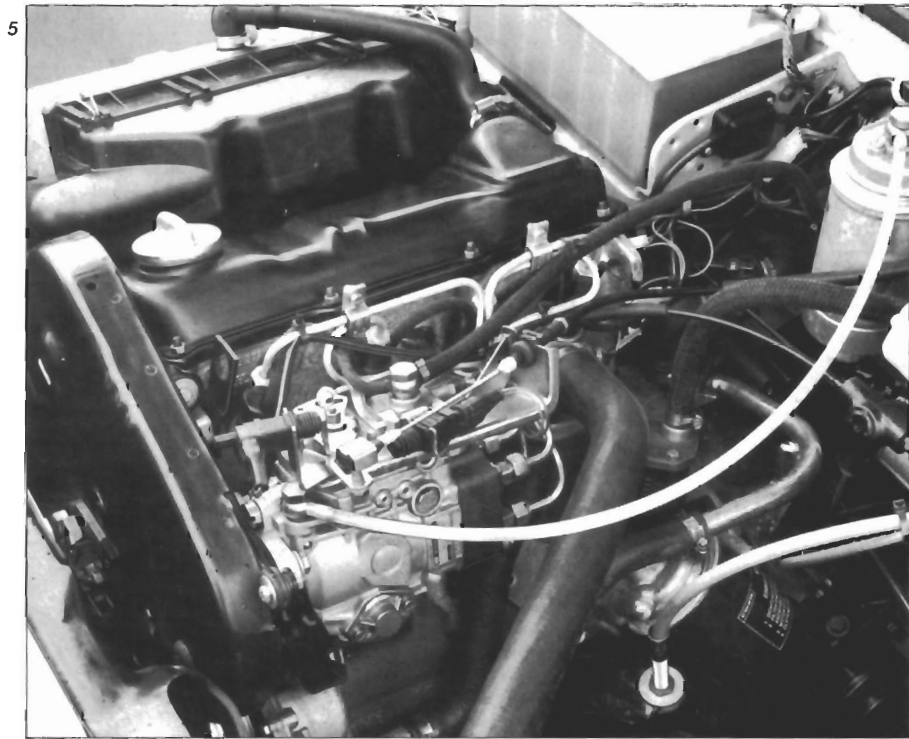
### Entraînement

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 celle du vilebrequin du moteur diesel. Cela signifie que la pompe d'injection tourne à la vitesse de l'arbre à cames.

L'entraînement forcé de la pompe distributrice s'effectue de telle sorte que



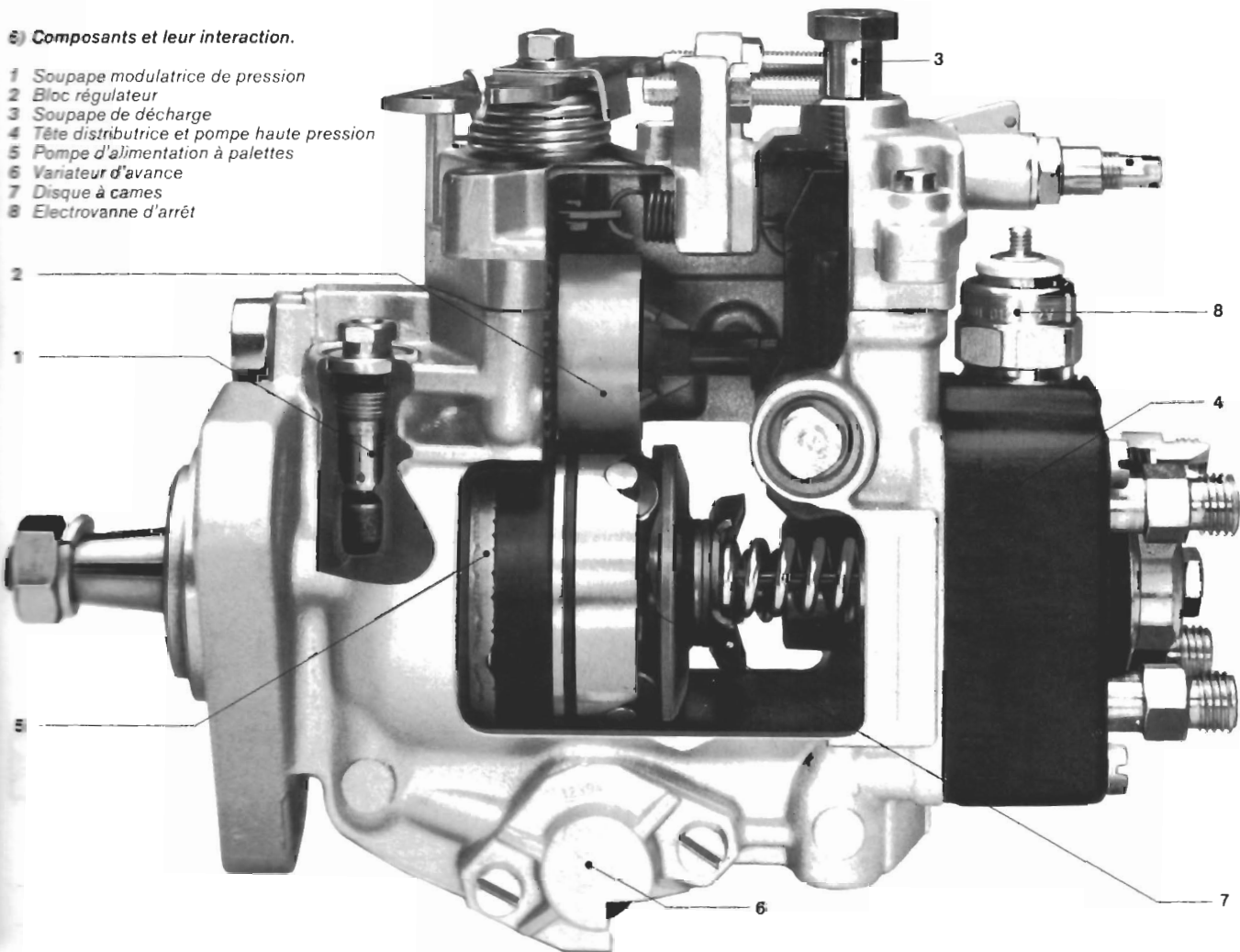
son arbre de commande tourne en synchronisme total avec le mouvement des pistons du moteur. Ce mode d'entraînement est réalisé à l'aide d'une courroie dentée, d'un pignon coupleur, d'une roue dentée ou d'une chaîne. Il existe des pompes distributrices prévues pour rotation à droite ou à gauche. L'ordre 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.



5) Pompe d'injection distributrice du type VE montée sur un moteur diesel à 4 cylindres.

6) Composants et leur interaction.

- 1 Soupape modulatrice de pression
- 2 Bloc régulateur
- 3 Soupape de décharge
- 4 Tête distributrice et pompe haute pression
- 5 Pompe d'alimentation à palettes
- 6 Variateur d'avance
- 7 Disque à cames
- 8 Electrovanne d'arrêt



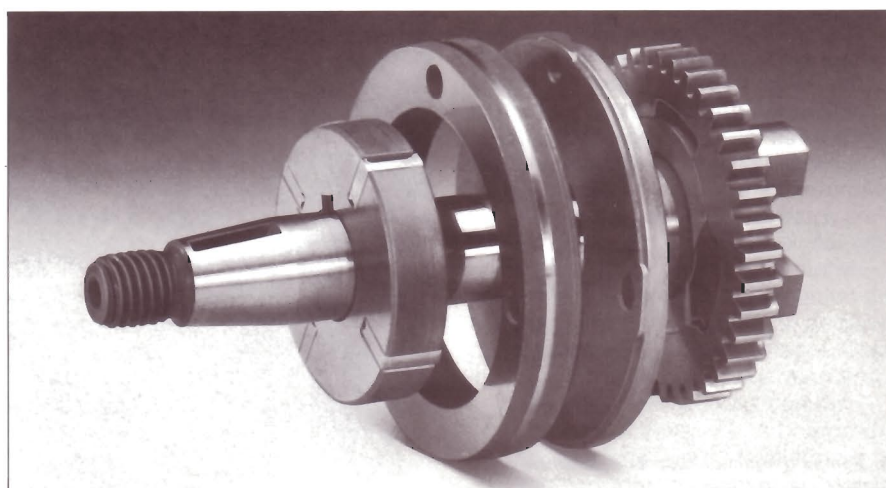
# Refoulement du carburant

## Refoulement basse pression

Dans le cas des dispositifs d'injection équipés d'une pompe distributrice, une pompe d'alimentation à palettes aspire le carburant du réservoir et le refoule à l'intérieur du corps de pompe. Cette pompe d'alimentation refoule à chaque tour une quantité de carburant pratiquement constante. L'emploi d'une soupape modulatrice de pression s'impose afin d'obtenir, à l'intérieur de la pompe d'injection, une pression bien définie en fonction de la vitesse de rotation. Cette soupape 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 retour-

ne vers le côté aspiration par la soupape modulatrice de pression. Du carburant retourne aussi au réservoir par la soupape de décharge montée sur le couvercle du régulateur. Ce flux de balayage assure le refroidissement et le dégazage automatique de la pompe distributrice.

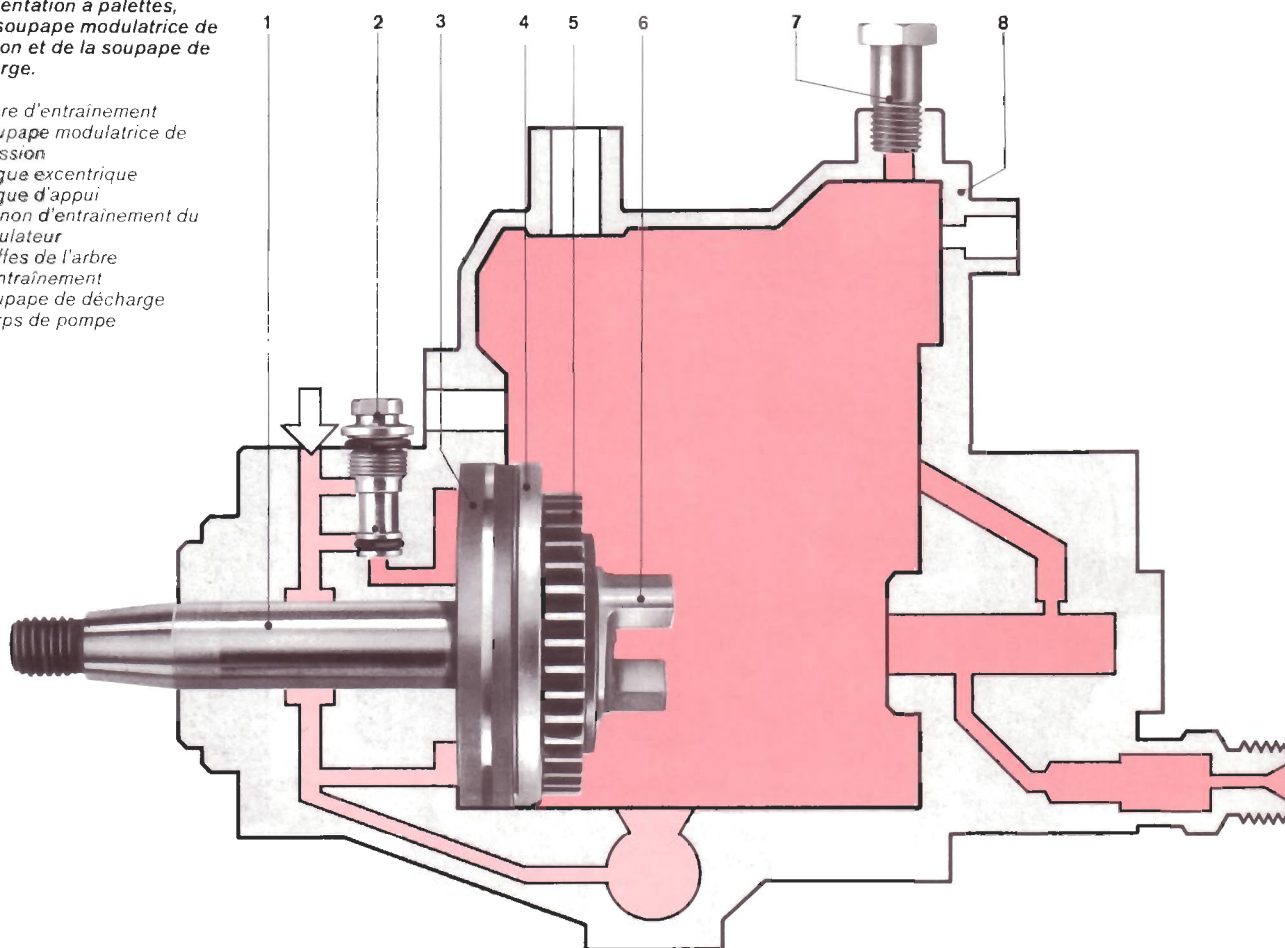
**Pompe d'alimentation à palettes**  
La pompe d'alimentation à palettes de la pompe distributrice est solidaire de l'arbre d'entraînement. Le rotor à palettes est centré sur l'arbre et entraîné par une clavette-disque. Le rotor à palettes est enveloppé par une bague excentrique, logée dans le corps de pompe.



7) Pompe d'alimentation à palettes, bague excentrique et arbre d'entraînement.

8) Interaction de la pompe d'alimentation à palettes, de la soupape modulatrice de pression et de la soupape de décharge.

- 1 Arbre d'entraînement
- 2 Soupape modulatrice de pression
- 3 Bague excentrique
- 4 Bague d'appui
- 5 Pignon d'entraînement du régulateur
- 6 Griffes de l'arbre d'entraînement
- 7 Soupape de décharge
- 8 Corps de pompe





Sous l'effet du mouvement de rotation et de la force centrifuge résultante, les quatre palettes du rotor quittent leurs alvéoles 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 les 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, à la soupape modulatrice de pression.

### Soupape modulatrice de pression

La soupape modulatrice de pression communique, par un canal, avec la boutonnière supérieure et se trouve à proximité immédiate de la pompe d'alimentation. Elle est constituée d'une navette tarée par un ressort, qui permet de faire varier la pression à l'intérieur de la pompe en fonction du débit de carburant.

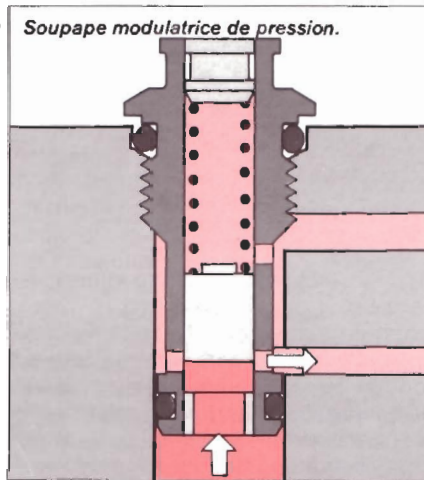
Si la pression du carburant dépasse un seuil préréglé, le piston de soupape dégage l'orifice de retour et le carburant peut alors retourner vers le côté aspiration de la pompe d'alimentation

par un canal approprié. Si la pression du carburant est 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.

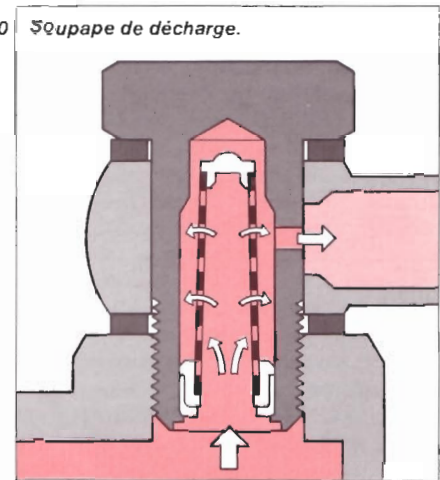
### Soupape de décharge

La soupape de décharge est vissée dans le couvercle du régulateur de la pompe distributrice et communique avec la chambre intérieure de la pompe. Elle laisse s'écouler une quantité variable de carburant de retour vers le réservoir par l'intermédiaire d'un orifice calibré (0,6 mm de diamètre). Cet orifice calibré (étranglement) 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 de la soupape de décharge et de la soupape modulatrice de pression.

9 Soupape modulatrice de pression.

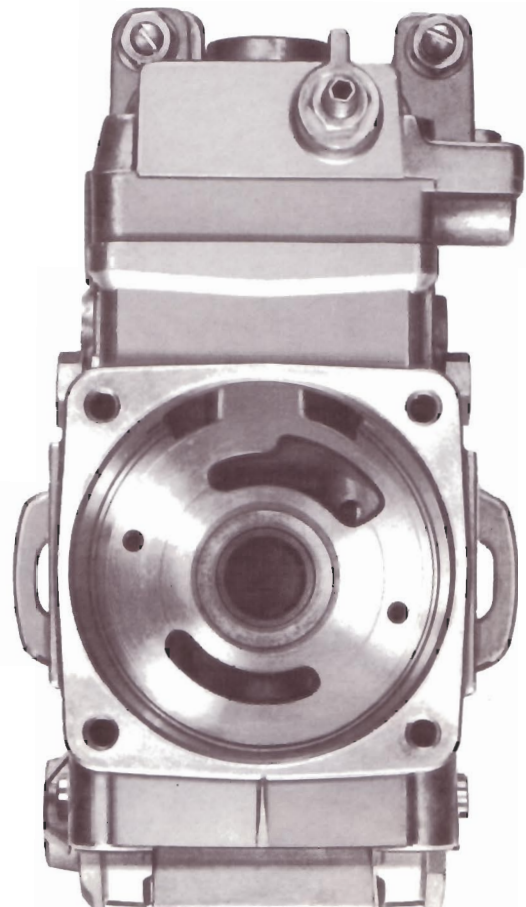
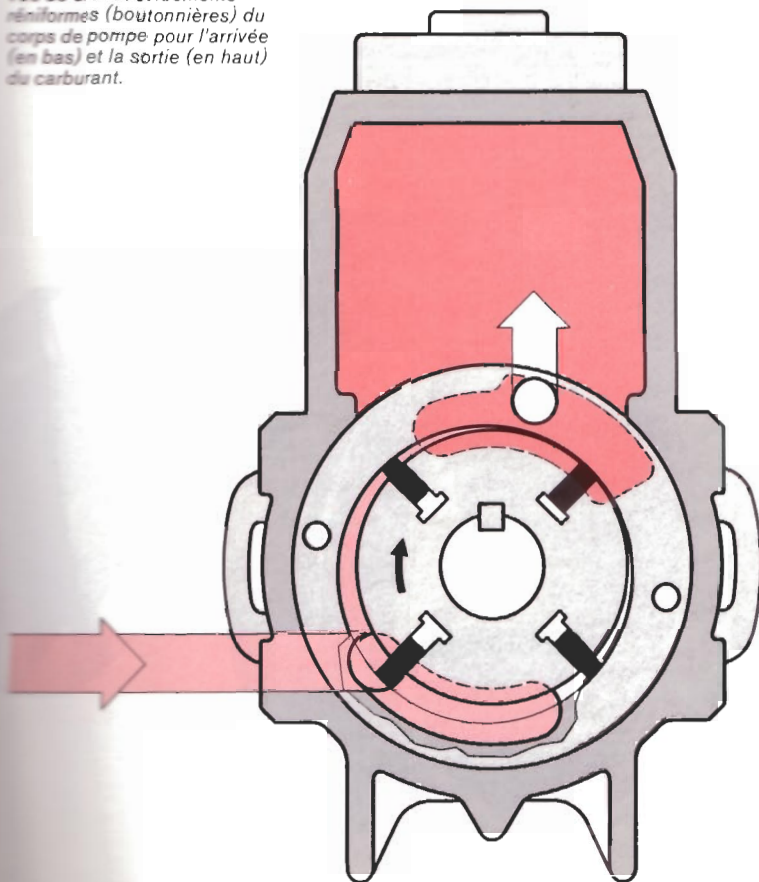


10 Soupape de décharge.



11) La pompe d'alimentation à palettes aspire le carburant et le refoule à l'intérieur de la pompe d'injection.

Vue de droite: évidements réniformes (boutonniers) du corps de pompe pour l'arrivée (en bas) et la sortie (en haut) du carburant.



## Refolement haute pression

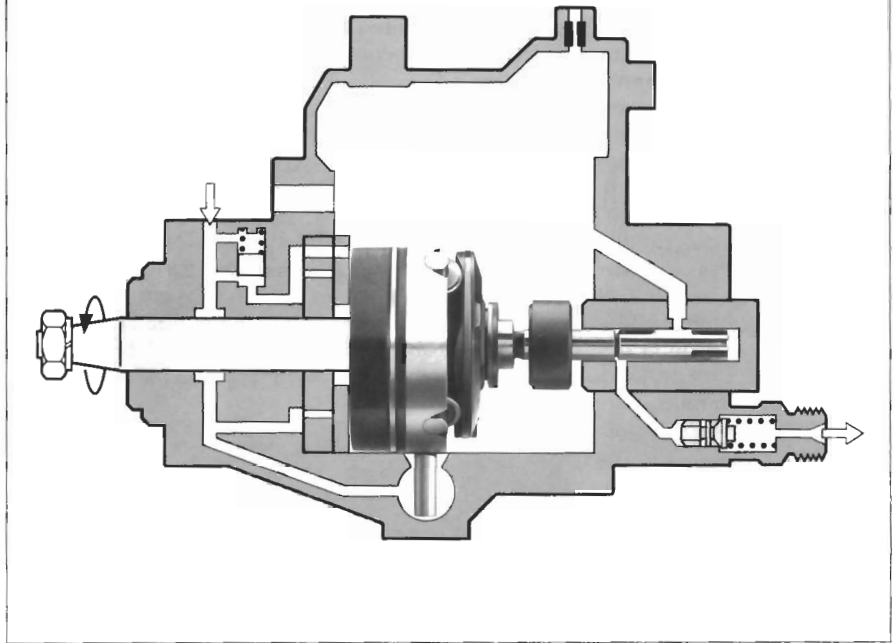
### Commande du piston distributeur

Le mouvement de rotation de l'arbre d'entraînement est transmis au piston distributeur par un accouplement. Les griffes de l'arbre d'entraînement et du disque à cames s'engagent dans le croisillon. Le disque à cames 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 est 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. 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 la désolidarisation du disque à cames des galets de la bague porte-galets par suite d'une forte accélération. Les ressorts de rappel du piston sont exactement appariés en hauteur afin que le piston distributeur ne puisse quitter sa position centrale (décentrage).

### Disques à cames et formes des cames

À côté de sa fonction de commande du piston distributeur, le disque à cames influence aussi la pression et la durée d'injection. La levée de came et la vites-

12 Ensemble de pompage à l'intérieur de la pompe d'injection distributrice.



se de levée constituent les critères essentiels.

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 pompes distributrices.

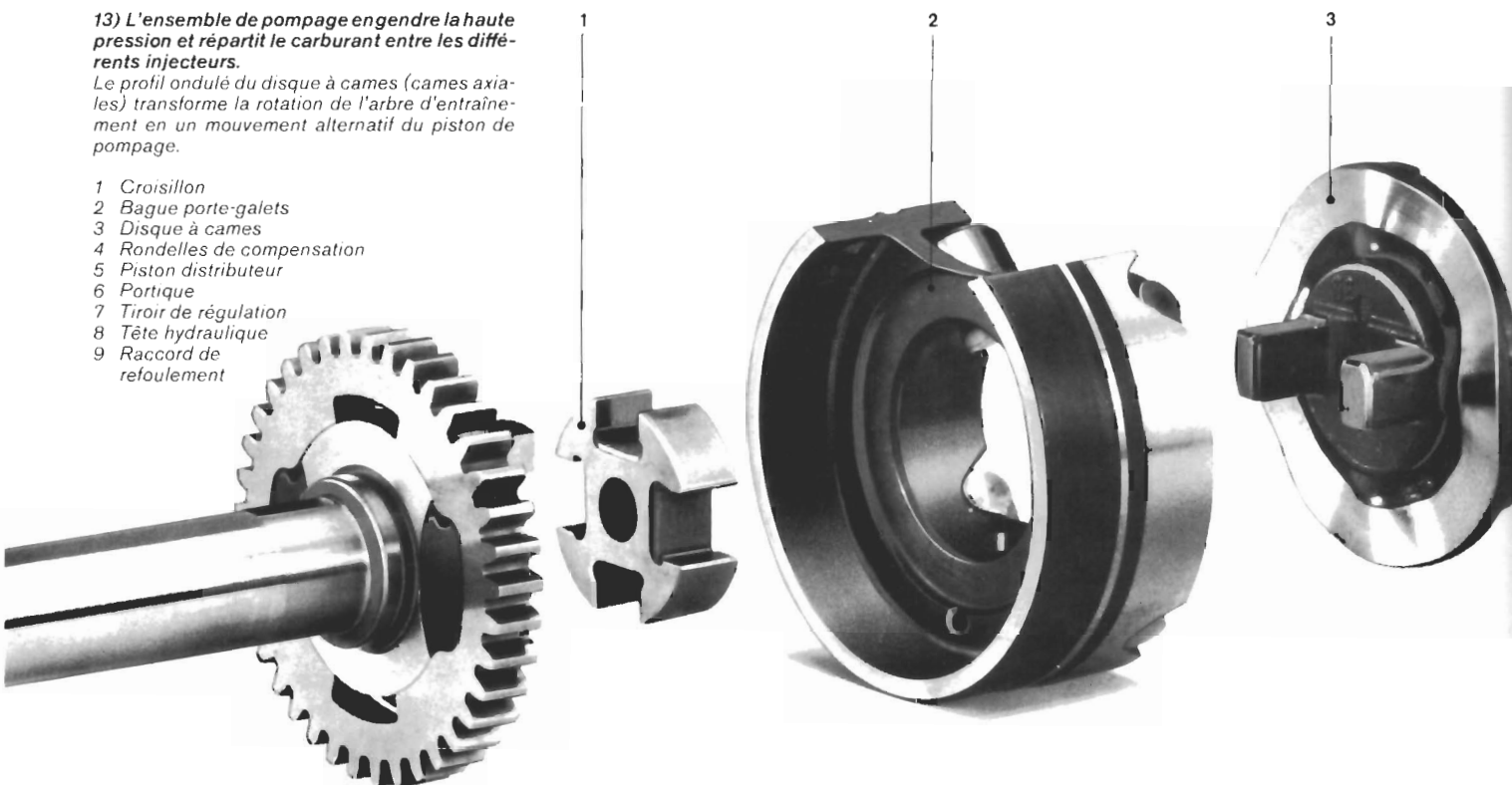
### Ensemble de pompage

La tête hydraulique, le piston distributeur et le tiroir de régulation sont ajustés (par rodage) avec des tolérances si étroites qu'ils assurent une excellente étanchéité réciproque, même pour des pressions très élevées. De faibles fuites sont inévitables, voire indispensables à la lubrification du piston distributeur. Il faut donc toujours remplacer l'ensemble de pompage complet et jamais séparément le piston, la tête hydraulique ou le tiroir de régulation.

13) L'ensemble de pompage engendre la haute pression et répartit le carburant entre les différents injecteurs.

Le profil ondulé du disque à cames (cames axiales) transforme la rotation de l'arbre d'entraînement en un mouvement alternatif du piston de pompage.

- 1 Croisillon
- 2 Bague porte-galets
- 3 Disque à cames
- 4 Rondelles de compensation
- 5 Piston distributeur
- 6 Portique
- 7 Tiroir de régulation
- 8 Tête hydraulique
- 9 Raccord de refolement



## Petite histoire du diesel

Tout le monde sait que les moteurs diesels sont économiques et qu'ils durent longtemps. Mais peu de gens savent que c'est Robert Bosch qui a permis l'application du diesel à l'automobile.

En 1895, Rudolf Diesel présenta pour la première fois son invention au public: un moteur à allumage par compression. Par rapport au moteur à explosion, qui avait déjà fait ses preuves, ce moteur présentait l'avantage de consommer beaucoup moins de carburant. Il pouvait utiliser un combustible relativement meilleur marché et être conçu pour développer des puissances bien plus élevées. Cette invention s'imposa rapidement et, bientôt, il n'y eut plus d'autres alternatives pour les moteurs de bateaux et les moteurs stationnaires. Le moteur diesel présentait toutefois un grand inconvénient: il ne pouvait pas atteindre des vitesses de rotation élevées.

Plus la progression du diesel s'accroissait et plus les avantages du système se concrétisaient, plus les demandes pour un petit moteur à allumage spontané, à vitesse de rotation élevée, augmentaient.

Une alimentation en carburant appropriée constituait l'obstacle essentiel pour le moteur diesel à grande vitesse de rotation. Le procédé d'insufflation employé jusqu'à présent, qui consistait à envoyer du carburant dans la chambre de combustion en utilisant de l'air comprimé, ne permettait plus une augmentation de la vitesse de rotation. En outre, cette «pompe à air» exigeait des moyens opérationnels importants, si bien qu'une réduction



Rudolf Diesel (1858-1913)



Robert Bosch (1861-1942)

substantielle de l'encombrement et du poids s'avérait pratiquement impossible.

A la fin de 1922, Robert Bosch décida d'entreprendre le développement d'un système d'injection pour moteurs diesels.

Les préalables techniques étaient favorables. On disposait déjà d'une bonne expérience dans le domaine des moteurs à explosion. Les techniques de fabrication s'étaient beaucoup améliorées. L'ensemble des connaissances résultant de la fabrication des pompes de lubrification pouvait être maintenant exploité.

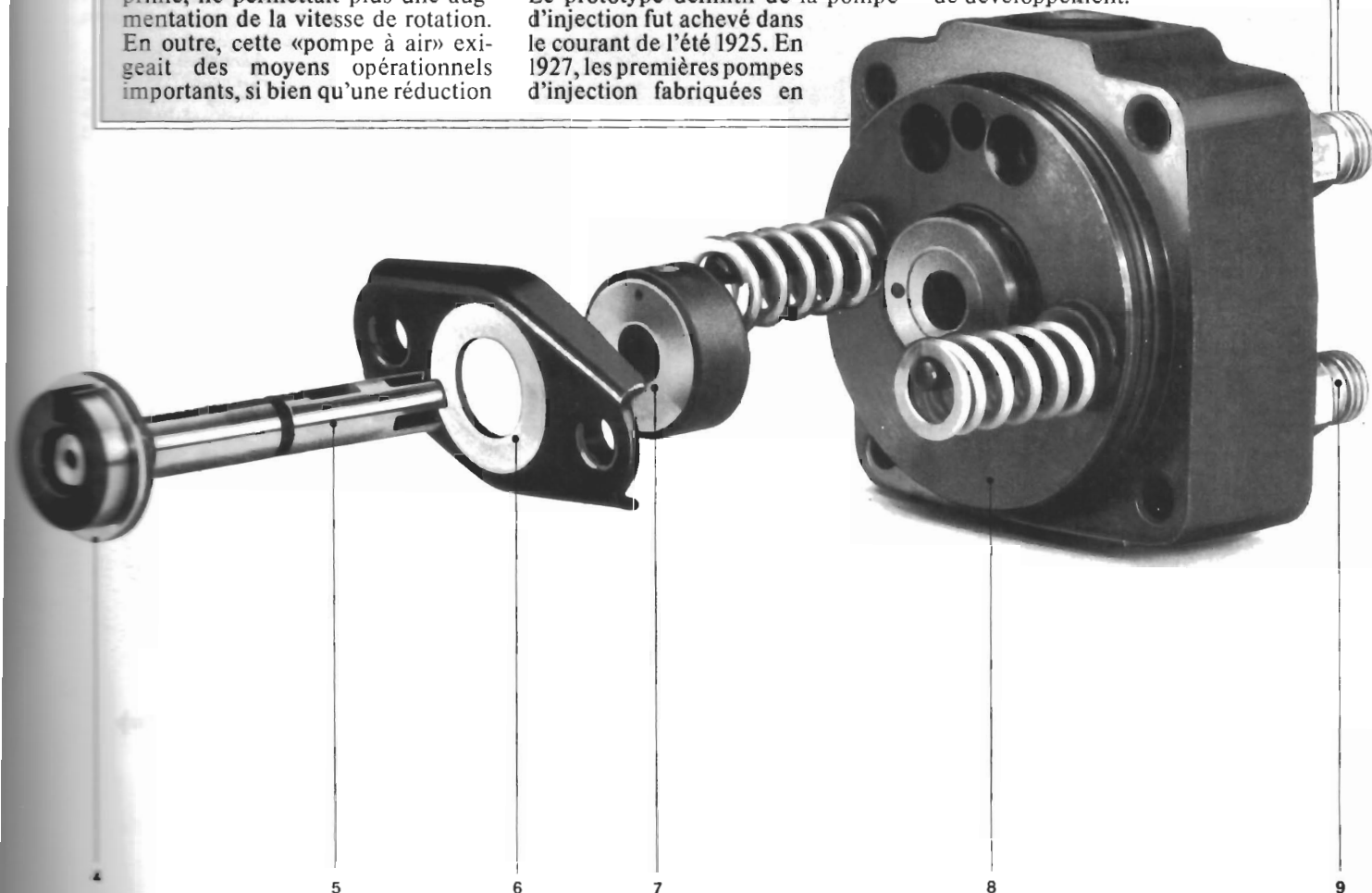
Dès le début de 1923, une douzaine de projets différents de pompes d'injection avaient été réalisés. A la mi-1923, les premiers essais furent effectués sur un moteur.

Le prototype définitif de la pompe d'injection fut achevé dans le courant de l'été 1925. En 1927, les premières pompes d'injection fabriquées en

série quittaient les usines. Cette pompe d'injection, mise au point par Bosch, permit enfin au moteur de Rudolf Diesel d'atteindre des régimes élevés et lui donna un essor d'une envergure impressionnante. Les applications du moteur diesel se multiplièrent, surtout dans le domaine de l'automobile. L'évolution du diesel et de l'injection se poursuivit sans interruption.

Atteignant une vitesse de pointe de plus de 360 km/h, un véhicule expérimental à moteur diesel démontra récemment les performances d'un tel groupe propulseur. En général, on ne parle pas de la consommation des véhicules qui battent des records. C'est différent quand il s'agit du diesel: la consommation de ce véhicule de course se limita à 13,6 l aux 100 km à la vitesse maximale de 360 km/h, et même à 6 l aux 100 km à la vitesse de 250 km/h.

La progression annuelle du pourcentage des voitures diesels concrétise, au bout de plusieurs décennies, les facultés d'adaptation et d'évolution de l'invention de Rudolf Diesel. Presque tous les constructeurs européens d'automobiles proposent maintenant au moins une voiture diesel ou disposent déjà d'un concept de développement.

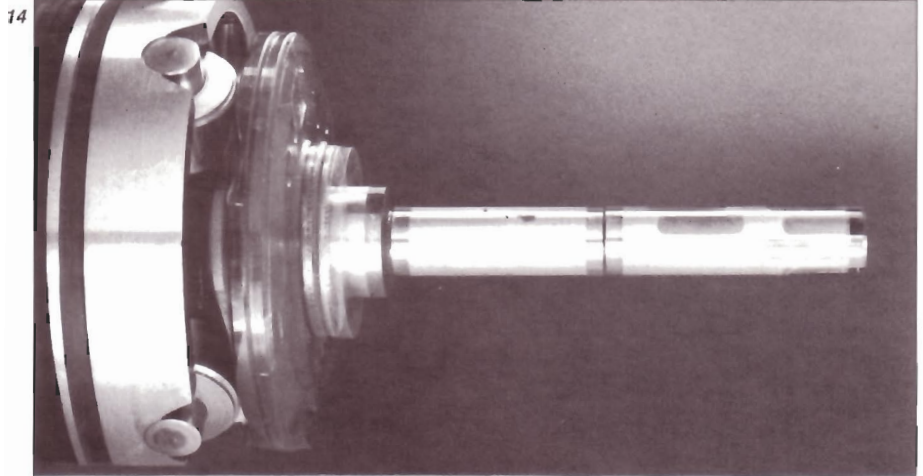


**Dosage du carburant**

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

Les phases de déplacement du piston distributeur, schématisées à la figure 15, 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 mouvement alternatif et rotatif introduit l'ouverture du canal d'arrivée de la tête hydraulique par l'une des fentes d'étranglement du piston distributeur. Le carburant, sous pression d'alimentation, passe de l'intérieur de la pompe distributrice, par le canal d'arrivée, dans la chambre haute pression située au-dessus du piston distributeur. Après l'inversion du sens de déplacement au point mort bas, le canal d'arrivée est fermé par le piston distributeur, qui continue de décrire un mouvement alternatif et rotatif (vers le PMH). Au cours de ce mouvement progressif, la rainure de distribution ouvre un orifice de sortie bien déterminé de la tête hydraulique.



14 Le roulement du profil ondulé du disque à cames en rotation sur les galets de la bague porte-galets provoque d'abord la levée du disque à cames (point mort haut) puis sa descente en position de point mort bas.

La pression, qui règne dans la chambre haute pression et dans le canal intérieur, ouvre la soupape de refoulement et le carburant est refoulé, par la conduite d'injection, vers l'injecteur monté dans un porte-injecteur. La course utile est terminée dès que l'orifice de décharge transversal du piston distributeur atteint la rampe de distribution du tiroir de régulation (fin du refoulement). Dès cet instant, l'injecteur ne reçoit plus de carburant et la soupape de refoulement ferme la conduite d'injection. Le carburant retourne vers la pompe par la liaison qui existe

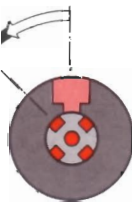
alors entre l'orifice de décharge et l'intérieur de la pompe lors du déplacement du piston jusqu'au point mort haut. Cette phase de déplacement du piston est appelée «course restante». Le retour et le mouvement alternatif/rotatif du piston entraînent la fermeture de l'orifice de décharge transversal du piston distributeur. La fente d'étranglement suivante du piston distributeur démasque simultanément le canal d'arrivée du carburant. La chambre haute pression, située au-dessus du piston distributeur, se remplit à nouveau de carburant.

**15 Courses et phases de refoulement.**

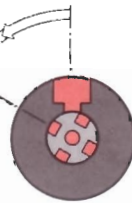
**Arrivée du carburant.**  
Au PMB, du carburant pénètre dans la chambre haute pression (4) par le canal d'arrivée (2) et l'une des fentes d'étranglement (3).



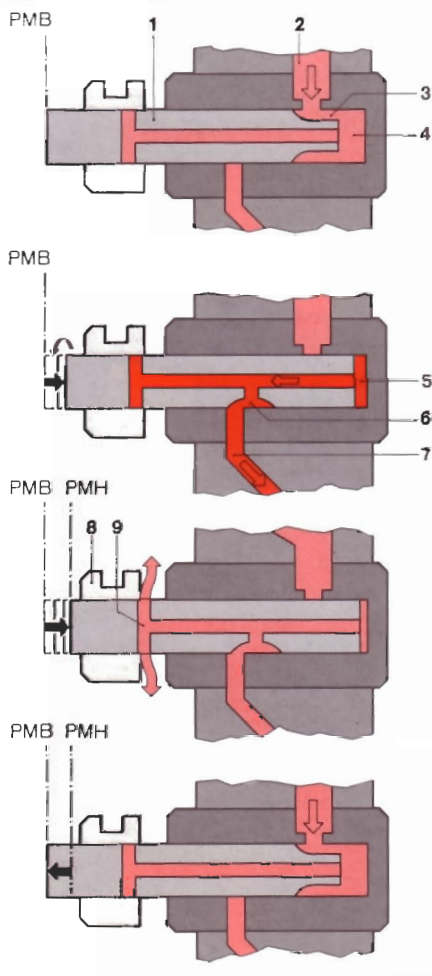
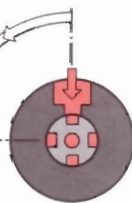
**Refoulement du carburant.**  
Au cours du mouvement alternatif, le piston distributeur ferme le canal d'arrivée et «presse» le carburant dans la chambre haute pression (5). Pendant la rotation, la rainure de distribution (6) ouvre l'orifice de sortie (7) correspondant au cylindre du moteur.



**Fin du refoulement.**  
Le refoulement du carburant est terminé dès que le tiroir de régulation (8) ouvre l'orifice de décharge (9).

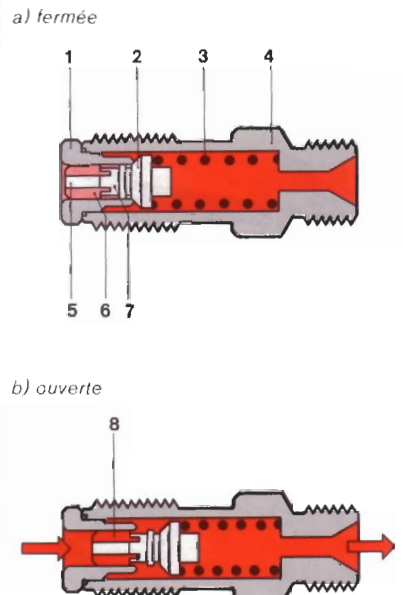


**Arrivée du carburant.**  
Le retour du piston au PMB et le mouvement alternatif rotatif introduisent la fermeture de l'orifice de décharge. La chambre haute pression se remplit à nouveau de carburant.



**16 Soupape de refoulement.**

- a fermée
- b ouverte
- 1 Porte-soupape
- 2 Clapet
- 3 Ressort
- 4 Raccord de refoulement
- 5 Élément cylindrique
- 6 Piston de détente
- 7 Gorge annulaire
- 8 Rainure axiale



### Soupape de refolement

La soupape de refolement isole la conduite d'injection de la pompe. Son rôle est de décharger la conduite d'injection par le prélèvement d'un volume bien défini. 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 les conduites de refolement doit être assuré pour les différentes phases d'injection.

La soupape de refolement est constituée d'un piston commandé par l'action d'un liquide. Elle est ouverte par la pression du carburant et fermée sous l'effet d'un ressort.

La soupape de refolement reste fermée entre chaque course d'admission du piston distributeur pour un cylindre bien déterminé du moteur. La conduite d'injection et l'orifice de sortie correspondant de la tête hydraulique ne communiquent pas. Lors de la phase de refolement, le clapet de la soupape est soulevé de son siège sous l'action de la haute pression engendrée. Le carburant arrive par les rainures axiales qui débouchent dans une gorge annulaire, traverse le raccord de refolement, la conduite d'injection, le porte-injecteur et atteint l'injecteur.

Dès que le point de fin de refolement est atteint (orifice de décharge du piston distributeur ouvert), la pression

baisse du côté haute pression et revient au niveau de la pression qui règne à l'intérieur de la pompe. Le ressort repousse le clapet de soupape sur son siège.

### Soupape de refolement 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 la soupape de refolement et provoquent l'ouverture répétée de l'aiguille de l'injecteur ou l'apparition d'une dépression dans la conduite d'injection. Les conséquences de ces incidents se traduisent par des injections subséquentes, avec une influence négative sur la composition des gaz d'échappement, ou par des phénomènes de cavitation qui favorisent l'usure des conduites d'injection et des injecteurs. Pour éviter les réflexions, un frein de réaspiration précède la soupape de refolement et n'agit que dans le sens de 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 de retour.

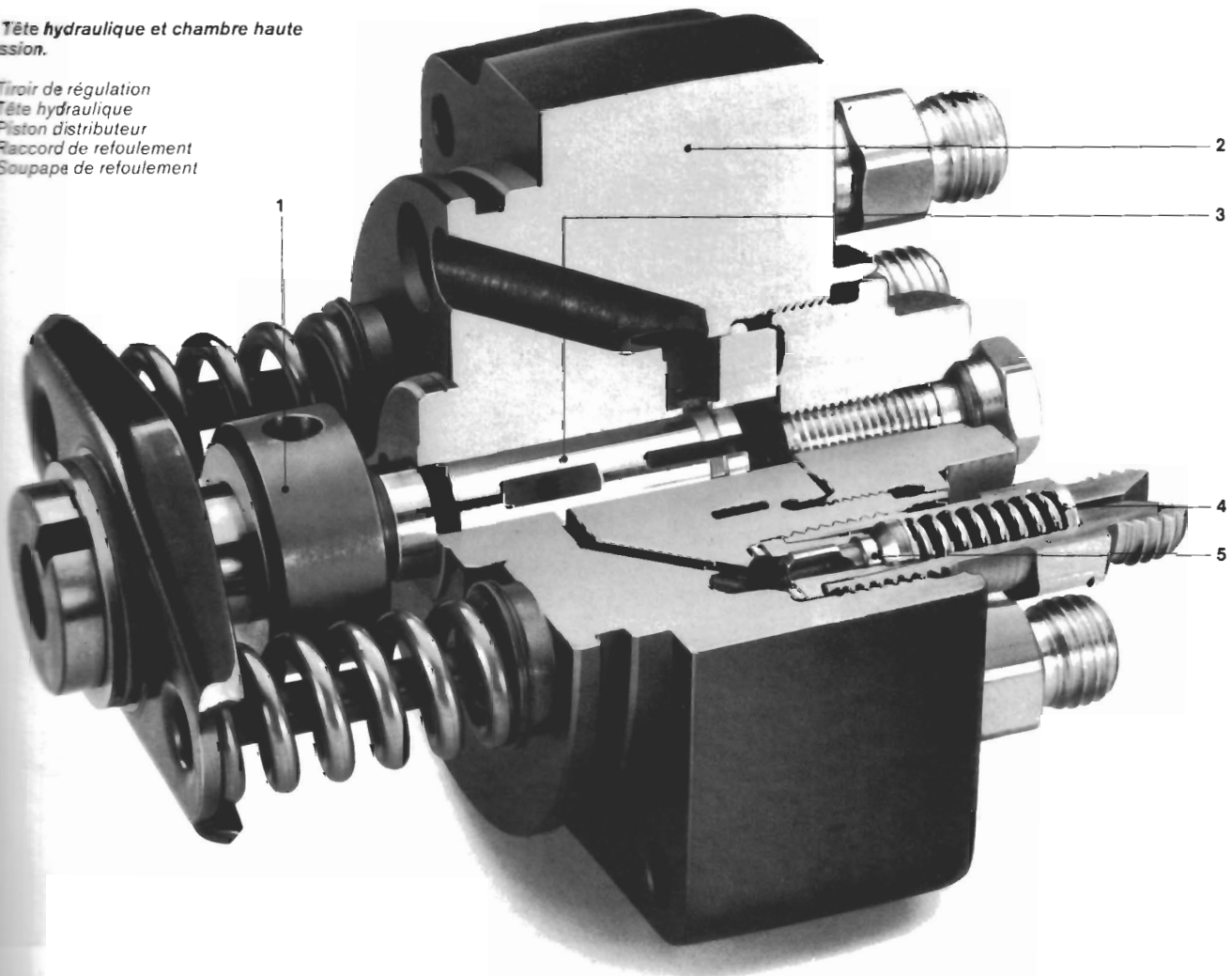
### Conduites de refolement

Les conduites de refolement d'un équipement d'injection sont adaptées à la loi d'injection. Elles ne doivent subir aucune modification au cours des

travaux d'entretien. Les conduites de refolement relient la pompe d'injection et les porte-injecteur. Elles ne doivent présenter aucun coude brusque. Leur rayon de cintrage ne doit pas être inférieur à 50 mm. Les conduites de refolement des moteurs d'automobiles sont généralement fixées par des pattes de serrage disposées à des intervalles réguliers. Des tubes d'acier sans soudure constituent les conduites de refolement.

17) Tête hydraulique et chambre haute pression.

- 1 Tiroir de régulation
- 2 Tête hydraulique
- 3 Piston distributeur
- 4 Raccord de refolement
- 5 Soupape de refolement



### Porte-injecteur

Le porte-injecteur assure la fixation de l'injecteur dans la culasse du moteur et l'étanchéité par rapport à la chambre de combustion. La conduite de refolement débouche dans le porte-injecteur. Ce dernier possède aussi un canal de récupération des fuites de carburant.

### Construction

L'ensemble fonctionnel comprend le porte-injecteur et l'injecteur. Le porte-injecteur est constitué d'un corps-support, d'un disque intermédiaire, d'un écrou-raccord d'injecteur, d'une tige-poussoir, d'un ressort de pression et de rondelles de tarage.

L'injecteur est centré dans le corps-support à l'aide d'un écrou-raccord. Lors du vissage réciproque du corps-support et de l'écrou-raccord, le disque intermédiaire est pressé contre la portée plane du corps. La tige-poussoir, le ressort de pression et les rondelles de tarage se trouvent dans le corps-support. La tige-poussoir assure le guidage du ressort; elle est centrée par l'aiguille d'injecteur.

Le canal de refolement débouche dans l'orifice d'arrivée du corps d'injecteur, côté chambre de ressort du corps-support, et relie ainsi l'injecteur à la conduite de refolement de la pompe d'injection. En fonction de l'affectation du porte-injecteur, un filtre-tige peut être incorporé au canal de re-

folement du corps-support.

### 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. Les rondelles de tarage servent à régler 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 le trou borgne et les trous d'injection dans la chambre de combustion. Dès que la pression d'injection diminue, le ressort repousse l'aiguille sur son siège. L'injection est terminée.

### Injecteurs

L'injecteur introduit le carburant dans la chambre de combustion du moteur. L'injecteur est commandé par la pression du carburant qui est engendrée par la course utile du piston de la pompe d'injection.

### 19) Porte-injecteur et injecteur à téton montés sur un moteur à chambre de turbulence.

Oltre la durée et le débit d'injection par degré d'arbre à cames, l'orientation du jet a une influence décisive sur la bonne préparation du mélange air-carburant.

### Généralités

Le carburant refoulé à haute pression par la pompe est injecté dans la chambre de combustion du moteur par l'injecteur. Ce composant comprend le corps et l'aiguille d'injecteur. Ils sont appariés avec une précision d'ajustage de l'ordre de 2 à 4 µm et ne doivent donc être utilisés que comme unité complète.

L'ensemble injecteur/porte-injecteur est monté dans la culasse du moteur.

### Types d'injecteurs

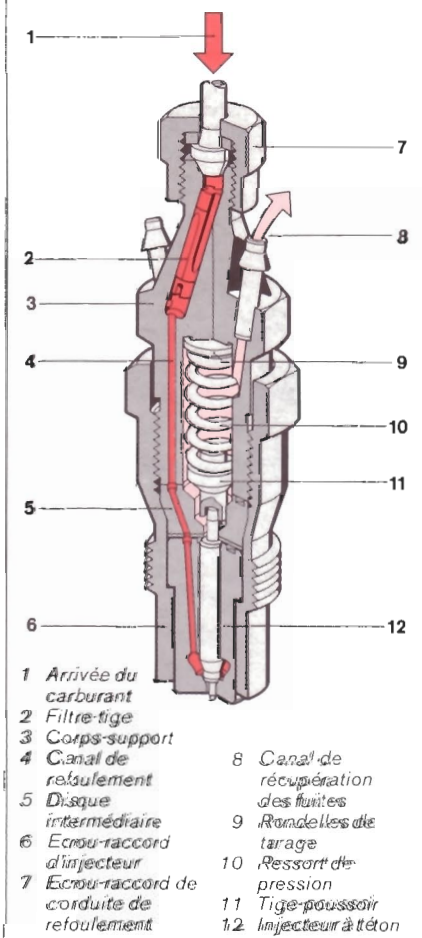
En raison de la diversité des procédés de combustion et des conceptions de la chambre de combustion, la forme, la force de pénétration et la pulvérisation du jet de carburant ont une influence sur les conditions de fonctionnement spécifiques du moteur.

On distingue deux types principaux:

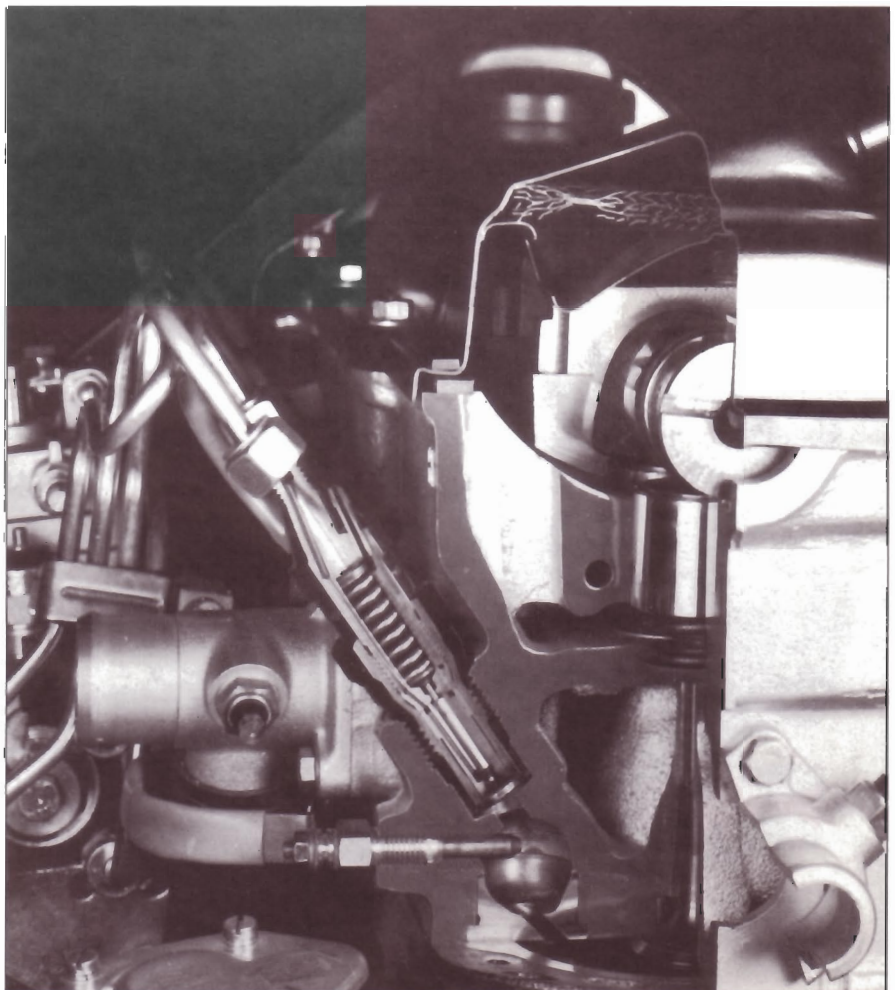
- les injecteurs à trou(s) pour les moteurs à injection directe, des véhicules utilitaires, par exemple, et
- les injecteurs à téton pour les moteurs à préchambre ou à chambre de turbulence, des voitures particulières, par exemple.

Il existe cependant de nombreuses variantes de ces deux versions, prévues pour les différents types de moteurs.

18 Porte-injecteur et injecteur à téton.



19



**Injecteurs à trou(s)**

Les injecteurs à trou(s) ont un cône d'étanchéité, un siège de forme particulière (buse) usiné sur le corps d'injecteur et un trou borgne appelé aussi trou pilote. En général, ce type d'injecteur présente plusieurs trous. Il existe toutefois des injecteurs à trou unique. En fonction des impératifs imposés par la géométrie de la chambre de combustion, le trou d'injection d'un injecteur à trou unique peut être disposé au centre ou latéralement.

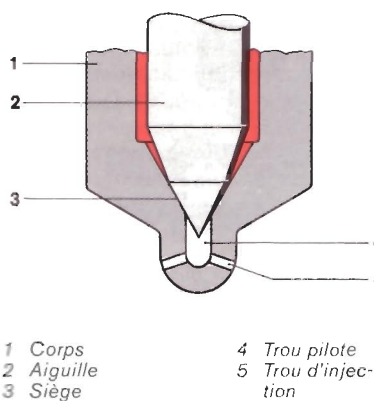
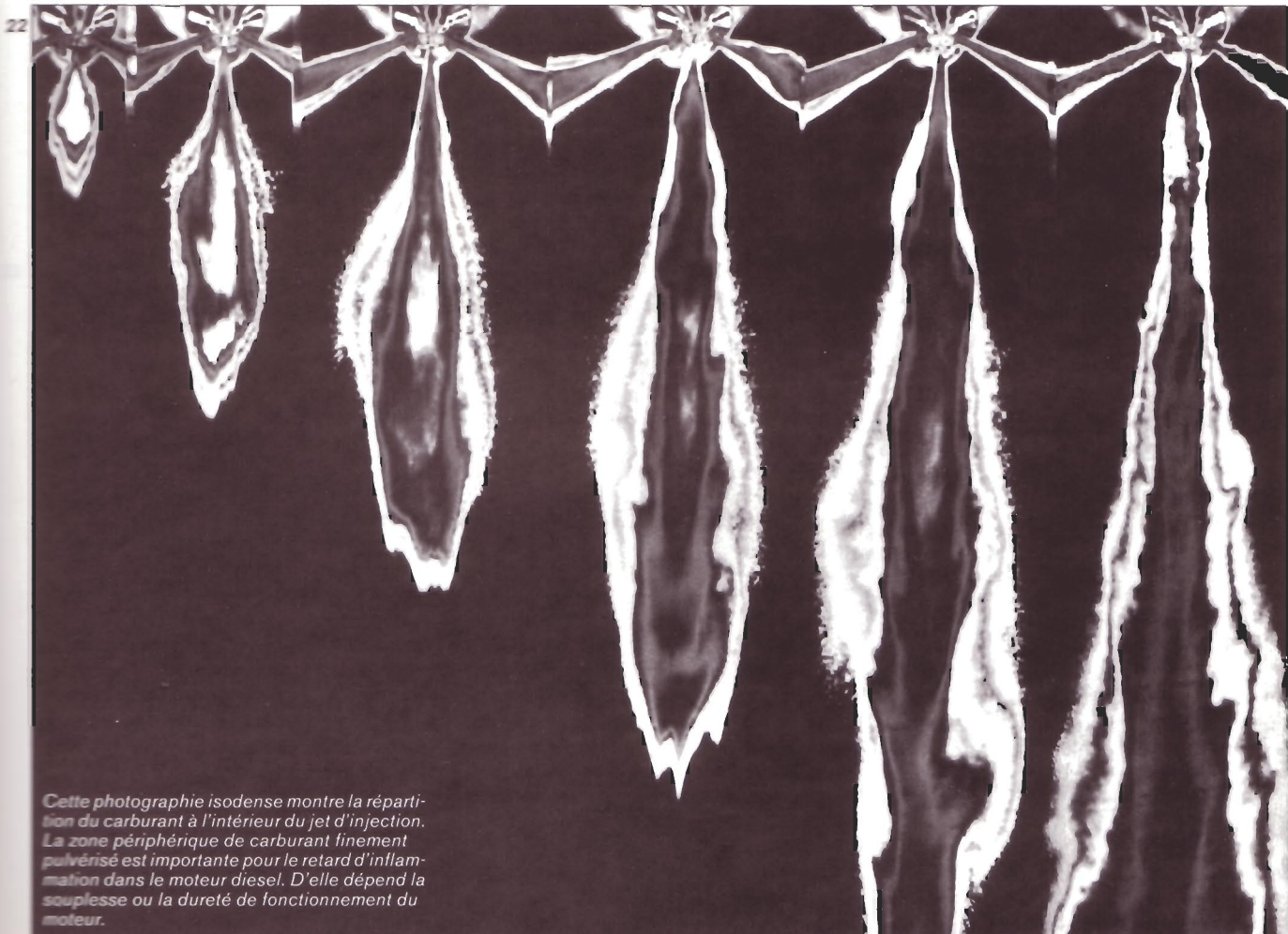
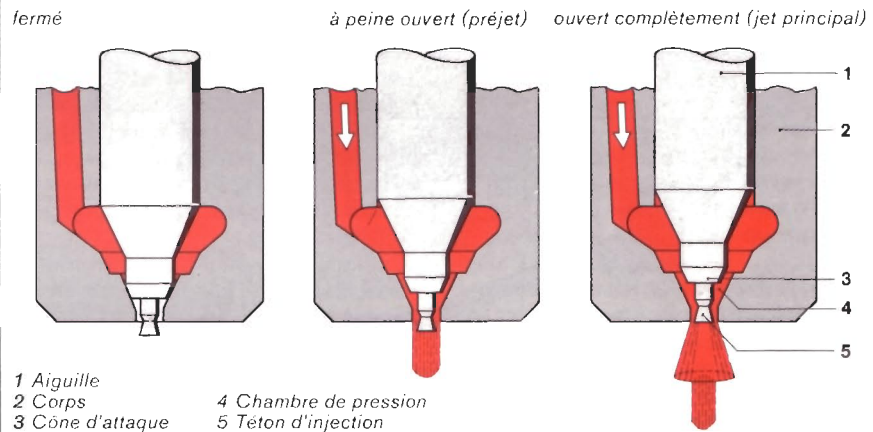
L'organisation des trous d'un injecteur à plusieurs trous peut être symétrique ou asymétrique. La pression d'ouverture des injecteurs varie généralement entre 150 et 250 bars.

**Injecteurs à téton**

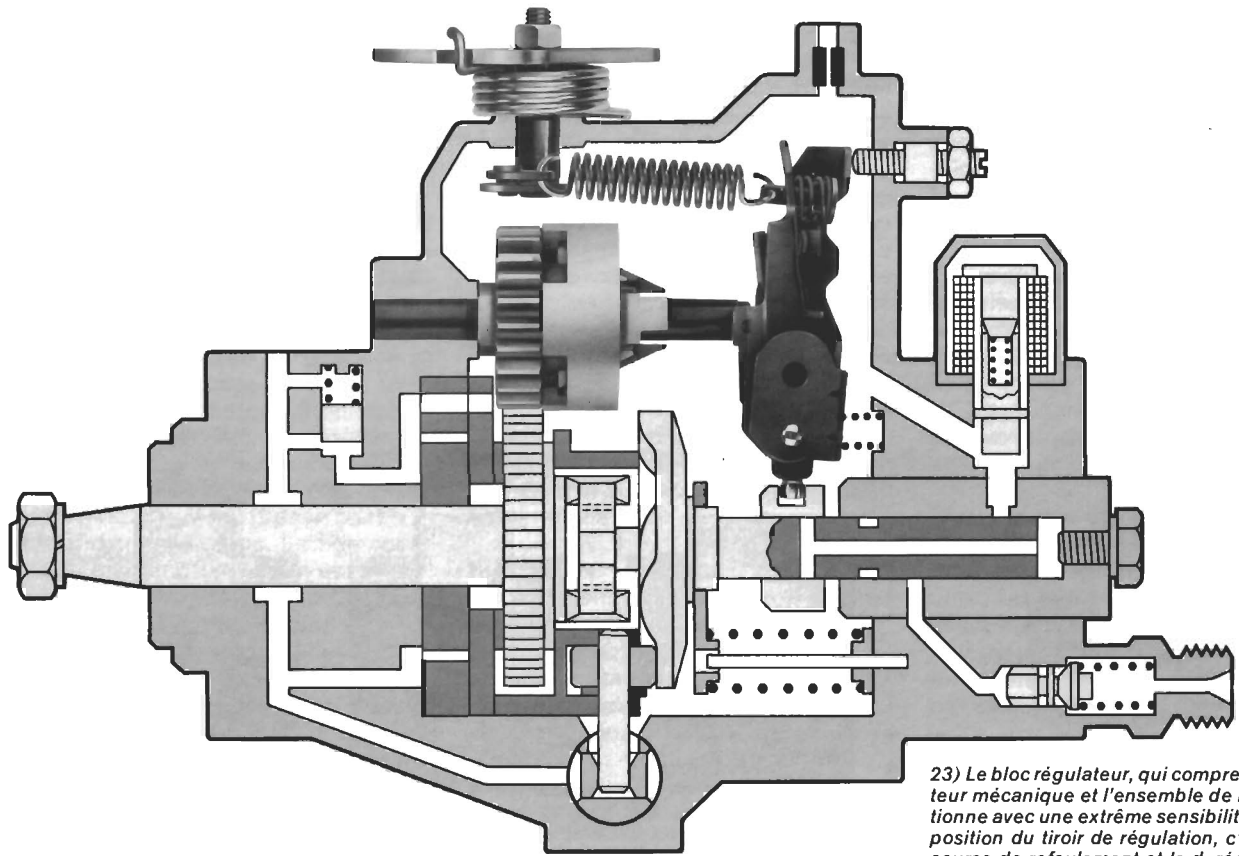
Dans le cas des moteurs à préchambre ou à chambre de turbulence, la préparation du mélange combustible s'effectue surtout par le tourbillonnement de l'air, avec l'assistance d'un jet d'injection de forme appropriée. La pression d'ouverture des injecteurs à téton est de l'ordre de 110 à 135 bars. L'extrémité de l'aiguille d'injecteur présente un téton de forme bien étudiée. Cette conception permet d'obtenir un préjet. En quittant son siège, l'aiguille ne libère d'abord qu'une fente annulaire très étroite, qui ne laisse passer qu'une petite quantité de carburant (effet d'étranglement). La montée successive de l'aiguille (due à l'augmentation de

la pression) entraîne la libération d'une plus grande section de passage et la majeure partie du carburant est injectée en fin de levée de l'aiguille.

L'injecteur à téton et étranglement assure une combustion plus souple et, par conséquent, un fonctionnement plus régulier du moteur car l'augmentation de la pression de combustion est progressive. La forme du téton d'injection, la caractéristique du ressort de pression du porte-injecteur et le jeu au niveau de la fente annulaire déterminent l'effet d'étranglement désiré.

**20 Coupe d'un injecteur à trous.**

**21 Injecteur à téton et étranglement, caractéristique d'injection.**


# Régulation de la vitesse de rotation



23) Le bloc régulateur, qui comprend le régulateur mécanique et l'ensemble de leviers, fonctionne avec une extrême sensibilité et définit la position du tiroir de régulation, c'est-à-dire la course de refolement et la durée d'injection. Les différentes versions de l'ensemble de leviers permettent d'adapter la grandeur de référence.

Le comportement en marche des véhicules diesels donne satisfaction quand le moteur répond à chaque mouvement de la pédale d'accélérateur. Au démarrage, le moteur ne doit pas tendre à s'étouffer. 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. Sur le moteur diesel, ces fonctions incombent au régulateur de vitesse de la pompe d'injection distributrice.

## Fonctions du régulateur de vitesse

### ● Régulation du ralenti

La régulation du régime de ralenti permet au moteur diesel de ne pas tourner à une vitesse inférieure au seuil prescrit (fig. 24).

### ● Régulation de la vitesse maximale

En cas de décharge, le régime maximum de pleine charge est limité au niveau du régime de ralenti supérieur. 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 assu-

rent la régulation des vitesses 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 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 correspondante du moteur.

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

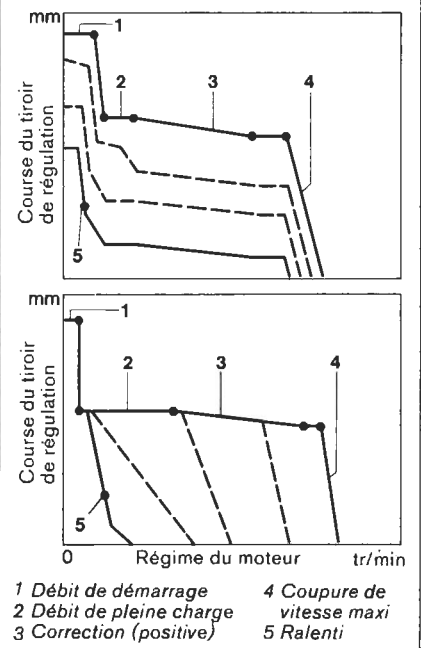
- libération ou blocage du surplus de carburant nécessaire au démarrage;
- variation du débit de pleine charge en fonction du régime (correction). Certaines de ces fonctions annexes imposent l'emploi de dispositifs d'adaptation.

## 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'accroissement du régime ne doit pas dépasser une valeur bien déterminée à l'intérieur de l'étendue de régulation. Le régime supérieur de coupure d'injection constitue la valeur maximale.

Ce régime 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. La valeur de statisme à choisir

24 Courbes de régulation mini-maxi (en haut) et de régulation toutes vitesses (en bas).





dépend des conditions d'utilisation du moteur diesel. Ainsi, les groupes électrogènes disposent d'un faible statisme afin de limiter les fluctuations de régime 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 l'automobile entraînerait un manque de souplesse du moteur (à-coups) lors de variations de la charge.

## Régulateur toutes vitesses

Ce type de régulateur module toutes les vitesses de rotation, du régime de démarrage au régime maximal.

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 (en fonction du statisme). 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 utilisé sur les voitures particulières et sur les machines agricoles (tracteurs, moissonneuses-batteuses).

### Conception

La figure 25 montre l'organisation, la conception, les composants et le mode de fonctionnement du régulateur toutes vitesses de la pompe distributrice. Le bloc régulateur, qui comprend les masselottes, le ressort de régulation

et le groupe de leviers, est entraîné par l'arbre de commande de la pompe. Le bloc régulateur tourne sur l'axe de régulation solidaire du corps de pompe.

Le mouvement radial des masselottes est transformé en un déplacement axial par le manchon central. La poussée et la course du manchon central influencent la position du mécanisme de détection. Ce dernier est constitué du levier de réglage, du levier de tension et du levier de 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 25 pour des raisons de clarté). 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 régulation est également accroché à cet axe d'arrêt. Un bras de levier et un arbre constituent la liaison avec le levier de commande de vitesse. 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 du piston distributeur.

### Position de 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. Le ressort (6) pousse le levier (5) dans la position de démarrage. Le levier de démarrage pi-

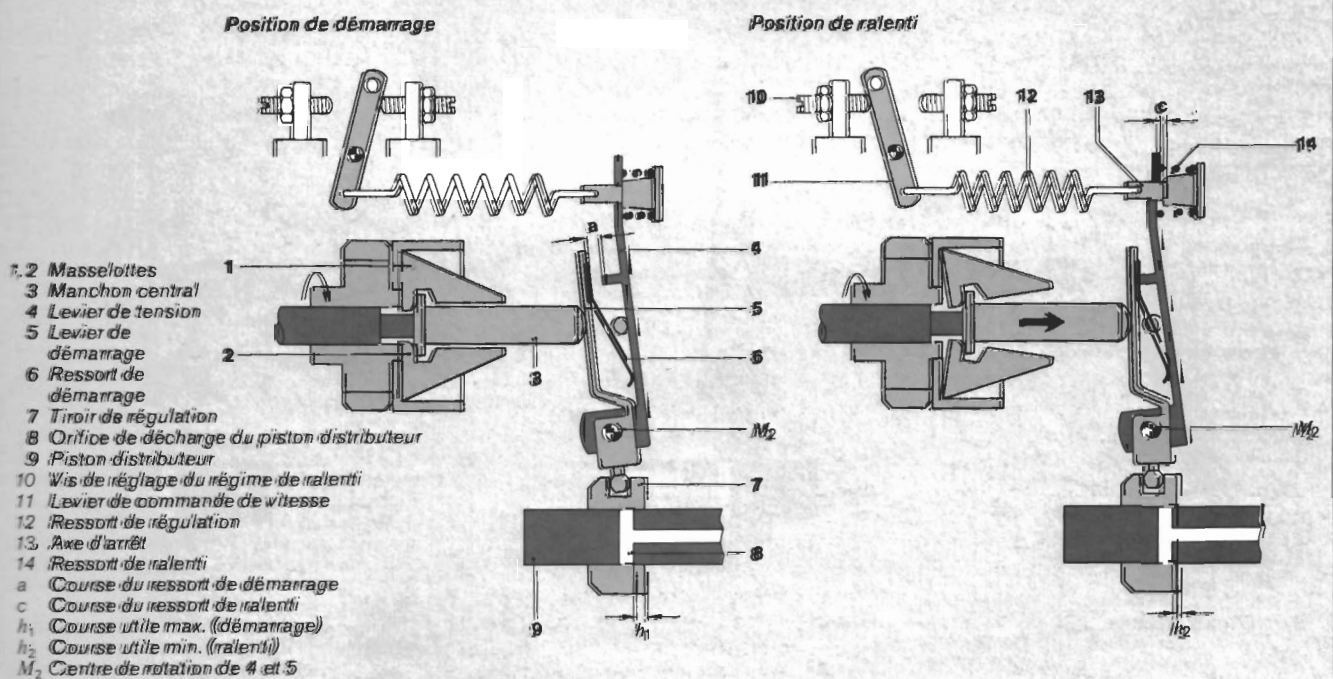
vote sur son centre de rotation  $M_2$ . Simultanément, la rotule du levier de démarrage fait coulisser le tiroir de régulation sur le piston distributeur vers la position de surdébit de démarrage. Il en résulte que le piston distributeur doit parcourir une course utile importante (volume de refoulement max. = surdébit de démarrage) avant que l'orifice de commande ne soit démasqué. Cette course du piston distributeur définit le surdébit de démarrage. Il suffit d'une petite vitesse de rotation (régime de démarrage) 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 surdébit est ramené automatiquement au débit de ralenti.

### Position de 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. 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 (sans 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 décharge du piston distributeur 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.

25 Régulateur toutes vitesses.



### Service de charge

En service, le levier de commande de vitesse pivote dans une position définie par le régime ou la vitesse de déplacement voulu du véhicule. Cette position est déterminée par le conducteur en actionnant la pédale d'accélérateur. 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:

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 du ressort, 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. A la suite de l'augmentation de la vitesse, les masselottes se déplacent vers l'extérieur et poussent le manchon central en s'opposant à la force exercée par le ressort de régulation. 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 dépla-

cent 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 en service 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 préréglé dans le cadre de son statisme.

Si la charge croît (rampe p. ex.) et oblige donc le tiroir de régulation à venir en position de plein débit, mais si le régime diminue simultanément, les masselottes tendent alors à se rapprocher. Le tiroir de régulation se trouvant déjà en position de pleine charge, le débit de carburant ne peut plus augmenter. Le moteur est surchargé et, dans ce cas, le conducteur doit sélectionner un rapport inférieur ou modifier le régime de consigne.

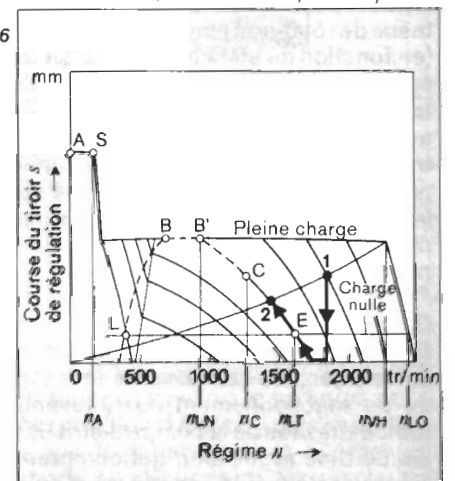
### Régime de décélération

En cas de descente d'une côte (régime de décélération), c'est le phénomène inverse qui se produit. Le moteur est entraîné par le véhicule et accélère. Les masselottes s'écartent et 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. Le régime de ralenti supérieur est atteint lorsque le moteur tourne complètement à vide (sans charge). Ce comportement du régulateur toutes vitesses s'applique toujours à chaque position

du levier de commande lorsque la charge ou le régime subit une variation telle que le tiroir de régulation atteint l'une de ses positions de fin de course: pleine charge ou stop.

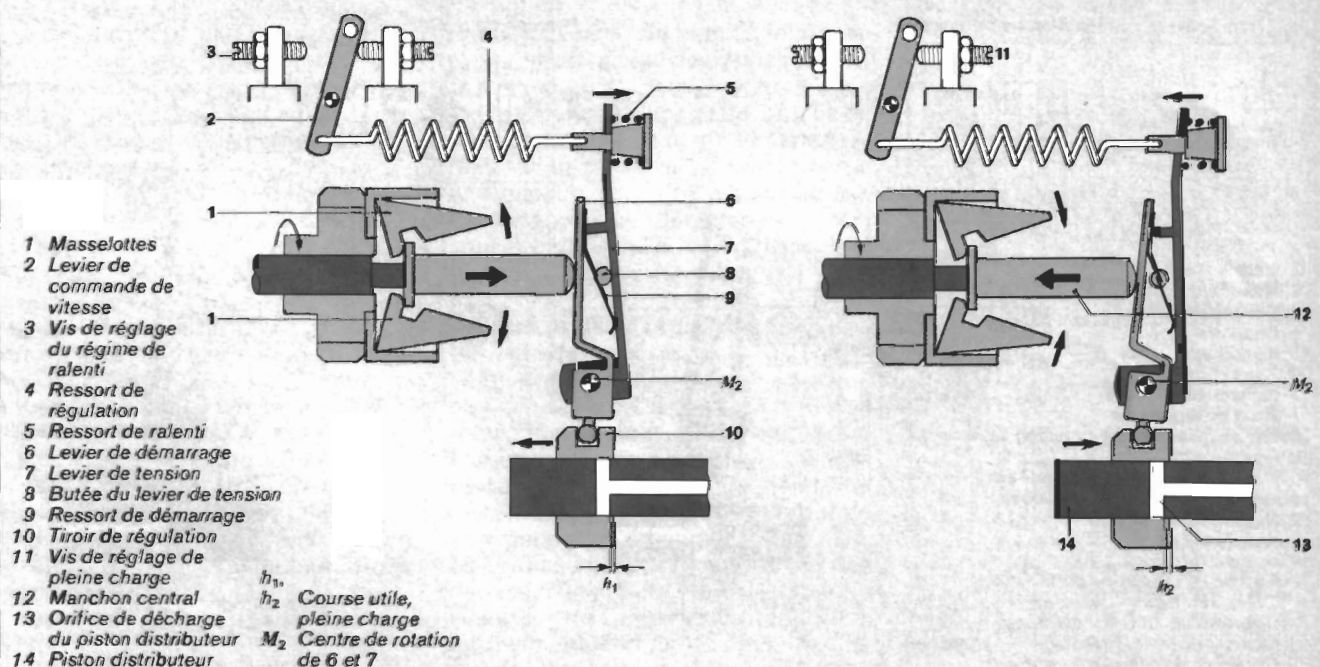
### 26) Courbes caractéristiques du régulateur toutes vitesses.

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 lancement du moteur (sans charge); L-B: accélération du moteur après le positionnement du levier de commande sur un régime de consigne  $n_C$ ; 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; 1: position du tiroir de régulation au début de la coupure d'injection en décélération; 2: fin de la coupure d'injection.



### 27 Régulateur toutes vitesses. Fonctionnement à régime croissant.

### Fonctionnement à régime décroissant.



## Régulateur mini-maxi

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

### Conception

Le bloc régulateur, qui comprend les masselottes et l'ensemble de leviers, est similaire à celui du régulateur toutes vitesses déjà décrit. La conception du régulateur mini-maxi se distingue par l'agencement 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.

### Position de démarrage

Le manchon central se trouve en position initiale car les masselottes sont au repos. Le ressort de démarrage peut donc pousser le levier de démarrage contre le manchon central. Le tiroir de régulation, qui coulisse sur le piston distributeur, occupe donc la position «surdébit de démarrage».

### Position de ralenti

Après le démarrage du moteur et le relâchement de la pédale d'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. 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 de débit». La posi-

tion du tiroir de régulation est déterminée par l'interaction de la force centrifuge et de la force des ressorts.

### Service en charge

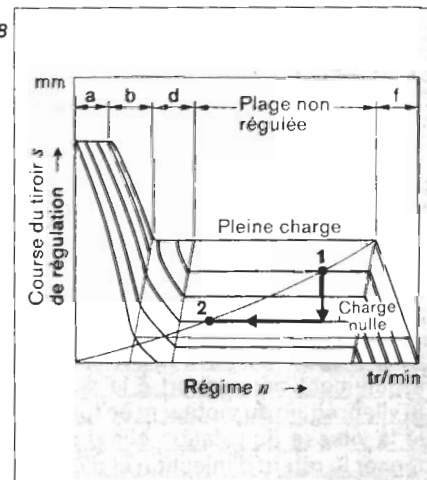
Lorsque le conducteur actionne la pédale d'accélérateur, le levier de commande de vitesse pivote d'un angle bien déterminé. L'effet des ressorts de démarrage et de ralenti est annulé et le ressort intermédiaire intervient. Le ressort intermédiaire du régulateur mini-maxi permet d'obtenir une plus large plage de ralenti, un statisme plus important et 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'épaulement de l'axe touche le levier de tension. 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) est alors transmise au tiroir de régulation par l'intermédiaire du mécanisme de détection. Le débit de refoulement dépend donc de la position de la pédale d'accélérateur. Si le conducteur veut accélérer ou graver une côte, il doit donner davantage «de gaz». Par contre, une diminution 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 le tiroir de régulation 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.

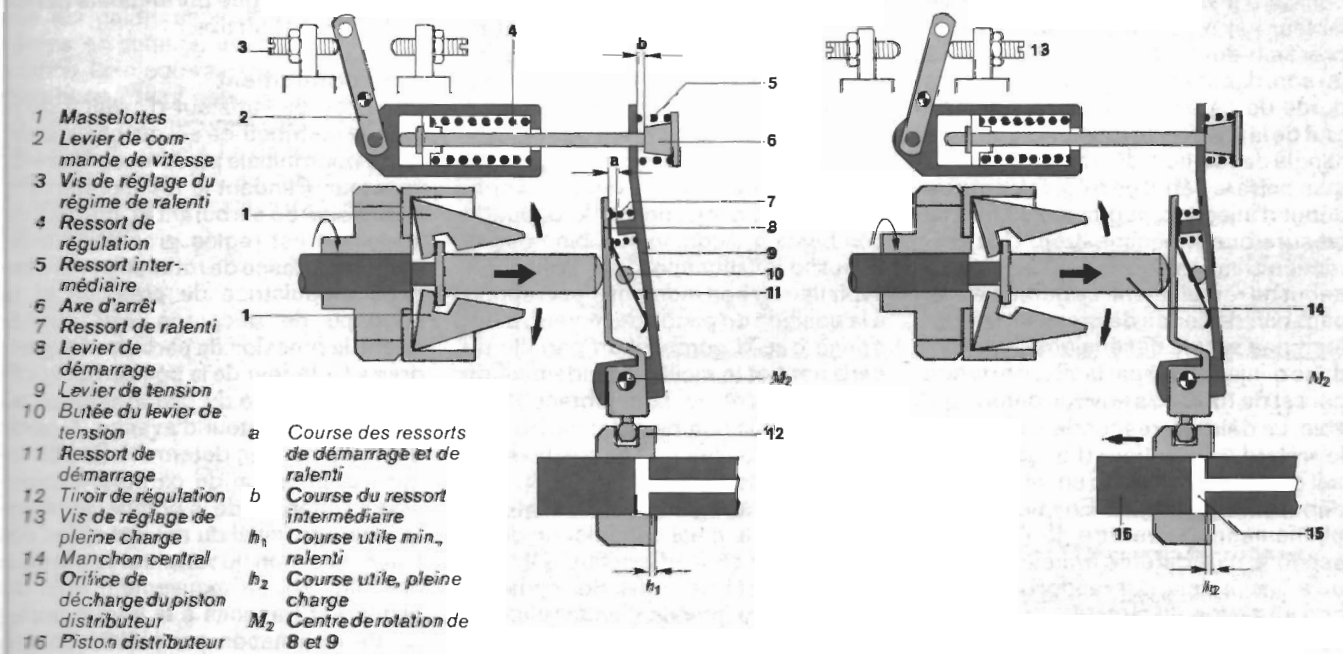
28) Courbes caractéristiques d'un régulateur mini-maxi avec ressort de ralenti et ressort intermédiaire.

a: course du ressort de démarrage; b: course du ressort de démarrage et de ralenti; d: course du ressort intermédiaire; f: course du ressort de régulation; 1: position du tiroir de régulation au début de la coupure d'injection en décélération; 2: fin de la coupure d'injection.



29) Régulateur mini-maxi. Position de ralenti.

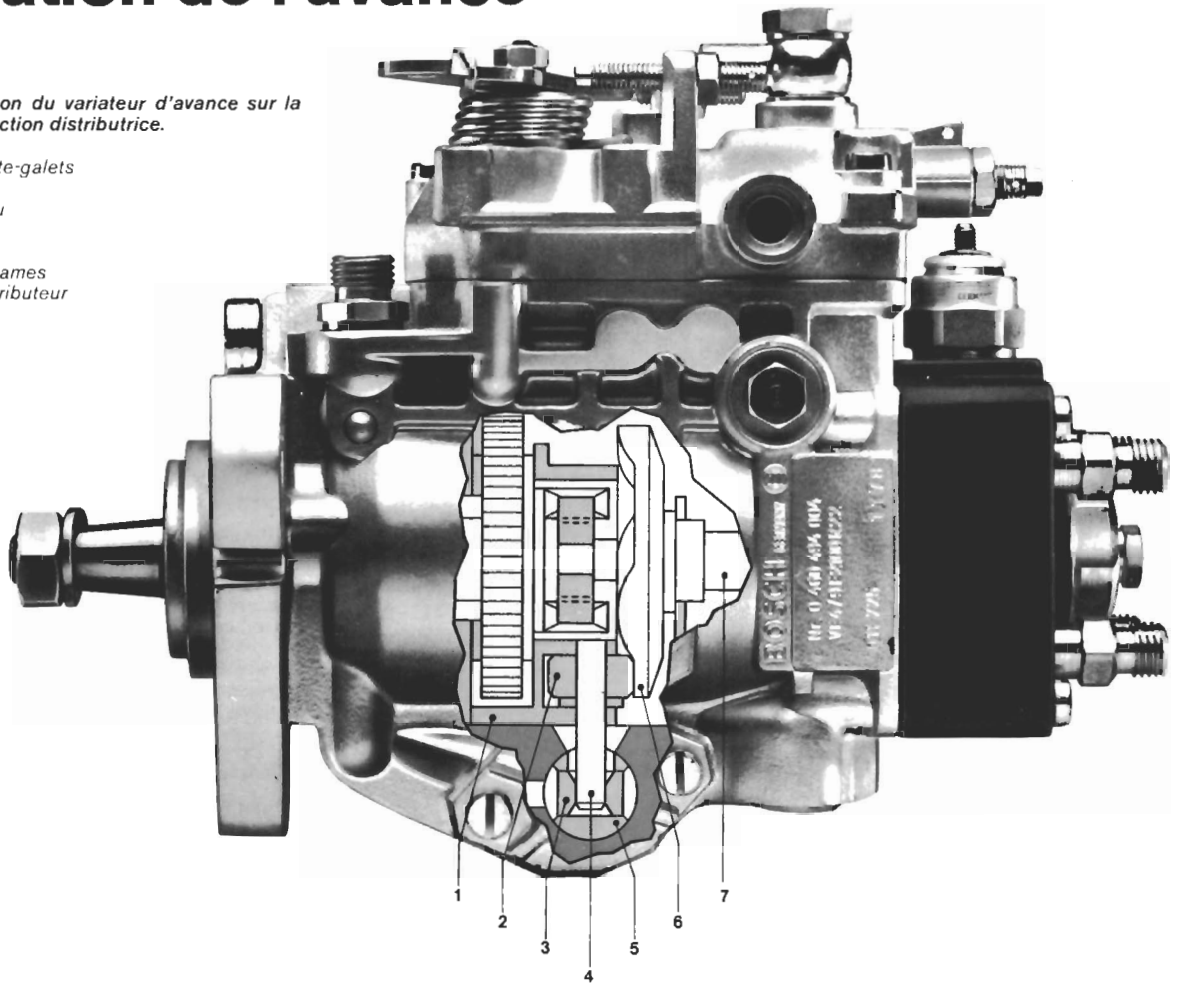
Position de pleine charge.



# Variation de l'avance

30) Disposition du variateur d'avance sur la pompe d'injection distributrice.

- 1 Bague porte-galets
- 2 Galet
- 3 Coulisseau
- 4 Axe
- 5 Piston
- 6 Disque à cames
- 7 Piston distributeur



## Variateur d'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.

### 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 «retard à l'injection» (fig. 32). 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 plus différée à vitesse élevée qu'à bas régime, par rapport à la position du piston du moteur.

Après l'injection, le gazole nécessite un certain temps pour se transformer en gaz et se combiner à l'air afin de former un mélange inflammable.

Cette durée de préparation du mélange dépend 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 «retard d'inflammation» (fig. 32). Ce retard 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 retard 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 le début d'inflammation ne peut plus avoir lieu 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 régime croissant afin de compenser le délai conditionné par le retard à l'injection et le retard d'inflammation. C'est le rôle du variateur d'avance, qui intervient en fonction de la vitesse de rotation.

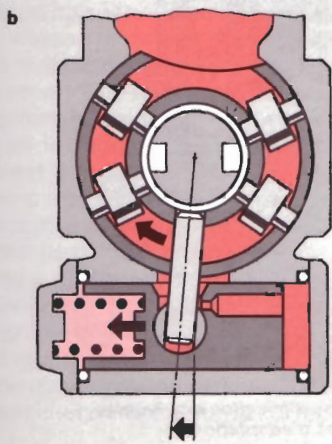
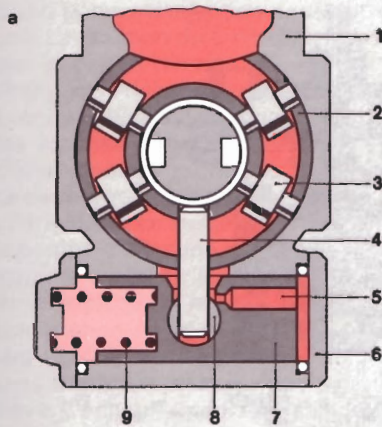
### Conception

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

### Fonctionnement

Le piston du variateur d'avance de la pompe distributrice est maintenu dans sa position initiale par le ressort taré du variateur. Pendant le fonctionnement, la pression du carburant à l'intérieur de la pompe est réglée proportionnellement à la vitesse de rotation par la soupape modulatrice de pression et la soupape de décharge. Par conséquent, la pression du carburant engendrée à l'intérieur de la pompe est appliquée sur le côté du piston opposé au ressort du variateur d'avance. A partir d'un régime bien déterminé ( $\geq 300$  tr/min), la pression du carburant (pression à l'intérieur de la pompe) surmonte le tarage initial du ressort et fait déplacer le piston du variateur vers la gauche (fig. 31). Le mouvement axial du piston est transmis à la bague porte-galets en rotation par l'intermédiaire

## 31 Fonctionnement du variateur d'avance.



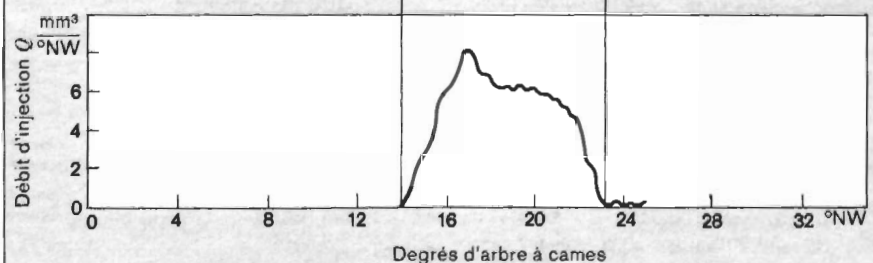
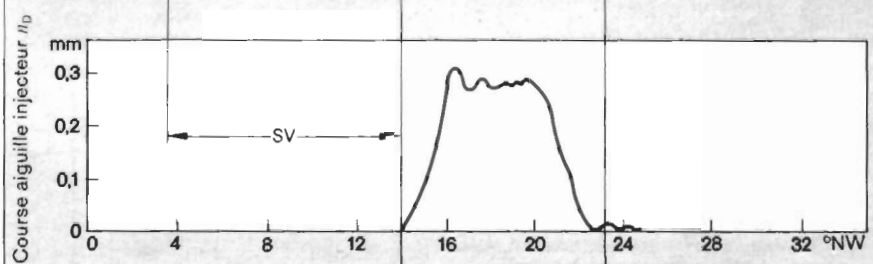
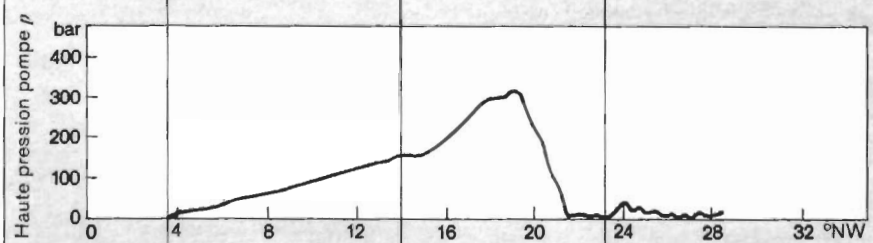
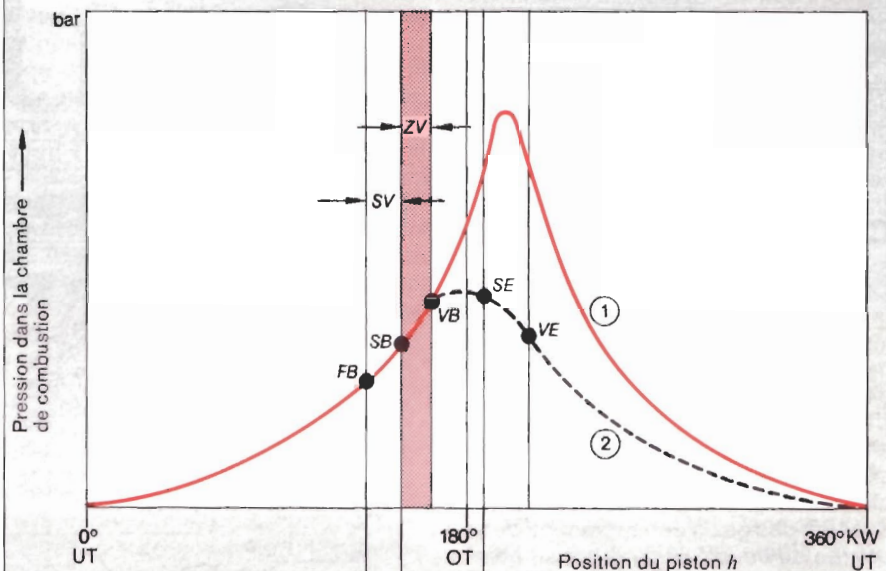
- |                       |   |
|-----------------------|---|
| a Position de repos   | 5 Canal du piston du variateur d'avance |
| b Position de service | 6 Couvercle                             |
| 1 Corps de pompe      | 7 Piston                                |
| 2 Bague porte-galets  | 8 Coulisseau                            |
| 3 Galet               | 9 Ressort                               |
| 4 Axe                 |   |

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 donc déphasés d'un angle de rotation donné par rapport à la bague porte-galets. Le décalage angulaire peut atteindre, au maximum, 12 degrés d'arbre à cames (24 degrés vilebrequin).

## 32 Evolution de la combustion.

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 s'appelle le retard à l'injection (SV). La compression se poursuit et déclenche le début de la combustion (VB). La période comprise entre SB et VB s'appelle le retard d'inflammation (ZV). Dès l'ouverture de l'orifice de décharge, la pression à l'intérieur de la pompe diminue (fin d'injection, SE). La fin de la combustion (VE) succède à cette phase.

- ① Pression de combustion
- ② Pression de compression
- UT Point mort bas
- OT Point mort haut
- °KW °vilebrequin
- °NW °arbre à cames



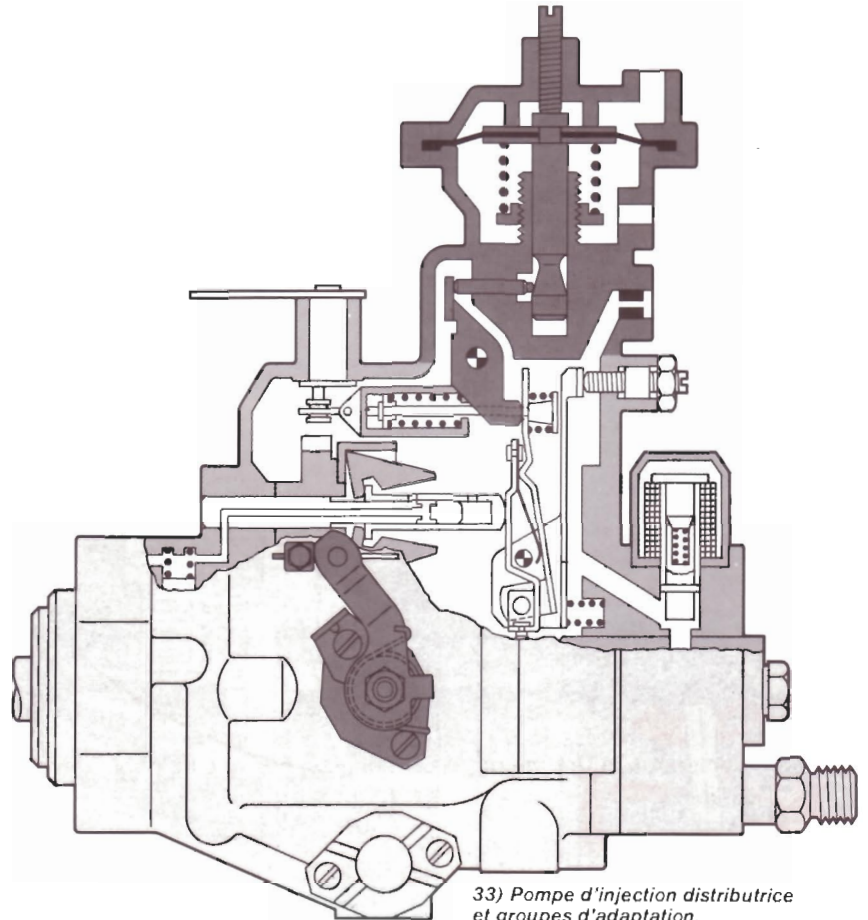
# Groupes d'adaptation

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

## 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 particulières sont imposées à la caractéristique de pleine charge (optimisation de la composition des gaz d'échappement, de la courbe de couple et de la consommation). La quantité de carburant injectée doit donc correspondre à la demande momentanée du moteur. La consom-



33) Pompe d'injection distributrice et groupes d'adaptation.

### 34 Schéma fonctionnel de la pompe d'injection distributrice, type VE.

**Correction mécanique/hydraulique de pleine charge.**  
Adaptation du débit à la caractéristique de consommation du moteur en fonction de la vitesse de rotation.

**LDA** Limiteur de richesse.

Modulation de débit en fonction de la pression de suralimentation.

**LFB** Initiateur de refoulement.

Adaptation du débit de refoulement à la charge afin de réduire les bruits.

**ADA** Correcteur altimétrique.

Modulation du débit en fonction de la pression atmosphérique.

**KSB** Accélérateur de démarrage à froid.

Amélioration du comportement au départ à froid par variation du débit de refoulement.

**(TAS)\* Correcteur de surcharge.**

La commande du débit de surcharge en fonction de la température du moteur permet d'éviter les bouffées de fumée au démarrage à chaud.

**(TLA)\* Correcteur de ralenti.**

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

**ELAB** Dispositif d'arrêt électrique.

$n_{\text{eff}}$  Régime effectif (grandeur réglée)  
 $n_{\text{cons}}$  Régime de consigne (grandeur de référence)

$Q_F$  Débit de refoulement

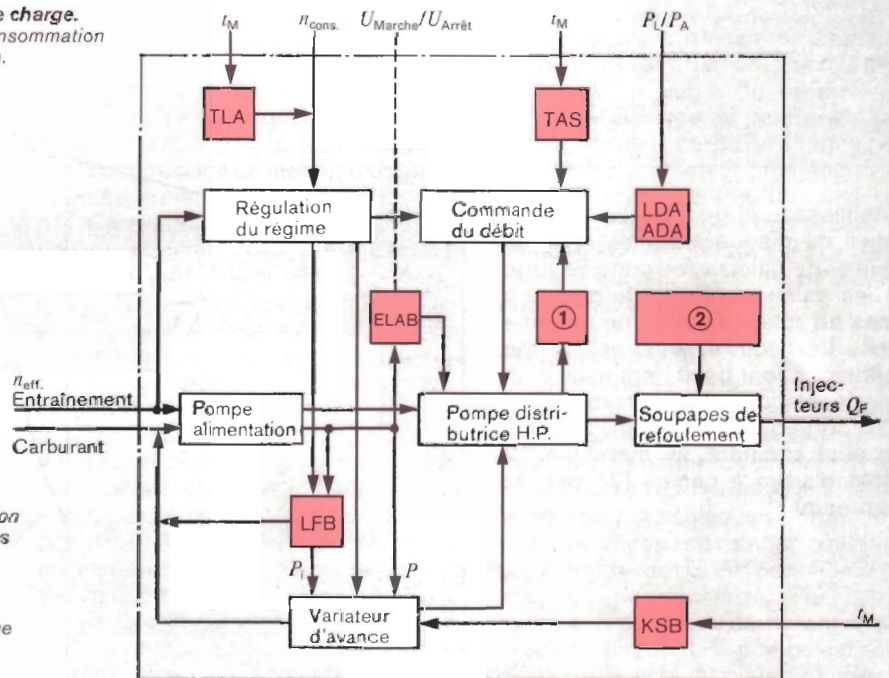
$t_M$  Température du moteur, seulement pour KSB automatique

$P_L$  Pression de suralimentation

$P_A$  Pression atmosphérique

$P_i$  Pression à l'intérieur de la pompe

\* réalisable seulement en liaison avec le KSB.



□ Equipement de base

■ Groupes d'adaptation

① Correction de pleine charge par le groupe de leviers de régulation

② Correction hydraulique de pleine charge

mation du moteur diminue sensiblement lorsque le régime augmente.

La figure 35 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 supérieur à la quantité injectée à basse vitesse. L'effet d'étranglement au niveau de l'orifice 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. L'échauffement excessif du moteur constitue le résultat de ce surdébit d'injection. Par contre, si le débit maximum correspond au besoin 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 donc être adaptée aux besoins du moteur. Sur la pompe d'injection distributrice, la soupape de refoulement ou le groupe de leviers de régulation assure la correction du débit.

Une correction de pleine charge au moyen du groupe de leviers de régulation intervient lorsque la correction posi-

sitive par la soupape de refoulement ne suffit plus ou lorsqu'une correction négative de débit 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 croît.

Correction positive par la soupape de refoulement.

Une correction positive du débit peut être obtenue, dans certaines limites, au moyen des soupapes de refoulement. Dans ce cas, les soupapes de refoulement disposent d'un épaulement de détente et d'un épaulement de correction. Ce dernier présente, suivant les applications, un ou deux méplats. Les sections ainsi formées agissent comme un étranglement. Quand la vitesse de rotation de la pompe augmente, l'étranglement engendre une évolution décroissante du débit.

Correction positive par le groupe de leviers de régulation

Le régime spécifique du début de correction dépend des différents tarages du ressort de correction. L'équilibre entre la poussée du manchon ( $P_M$ ) 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 (7). L'augmentation du régime entraîne le renforcement de la poussée exercée par le manchon sur le levier de démarrage (1). Le centre de rotation ( $M_4$ ) 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 tiroir 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

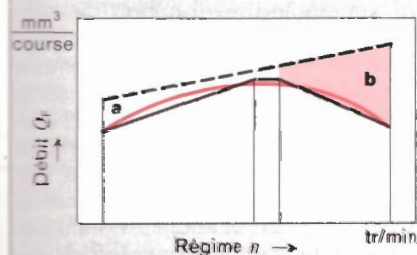
Une correction négative de pleine charge peut s'imposer pour les moteurs, qui tendent à émettre des fumées noires à bas régime ou qui exigent une augmentation particulière du couple. Les moteurs suralimentés demandent aussi une correction négative quand ils ne disposent pas d'un limiteur de richesse (LDA). Dans ces conditions, l'augmentation notable du débit intervient toujours à régime croissant (fig. 35).

Correction négative par le groupe de leviers de régulation

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 ( $P_M$ ), le levier de correction presse contre 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.

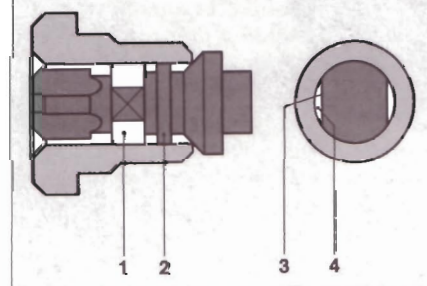
35 Evolution du débit de refoulement avec et sans correction de pleine charge.

- a Correction négative
- b Correction positive
- Besoin en carburant du moteur
- Surplus de carburant (zone rouge)
- Débit de pleine charge non corrigé
- Débit de pleine charge corrigé



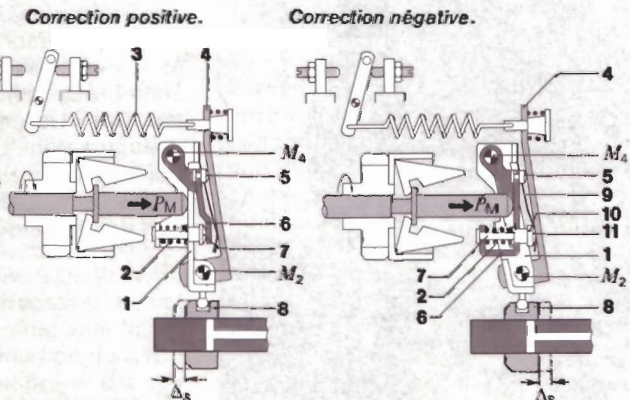
36 Correction de débit par la soupape de refoulement.

- 1 Epaulement de détente
- 2 Epaulement de correction
- 3 Méplat
- 4 Etranglement



37 Correction de débit par le groupe de leviers de régulation.

- 1 Levier de démarrage
- 2 Ressort de correction
- 3 Ressort de régulation
- 4 Levier de tension
- 5 Axe de butée
- 6 Levier de correction
- 7 Axe de correction
- 8 Tiroir de régulation
- 9 Ressort de démarrage
- 10 Epaulement de l'axe de correction
- 11 Point de butée
- $M_2$  Centre de rotation de 1 et 4
- $M_4$  Centre de rotation de 1 et 6
- $P_M$  Poussée du manchon
- $\Delta_s$  Course du tiroir de régulation

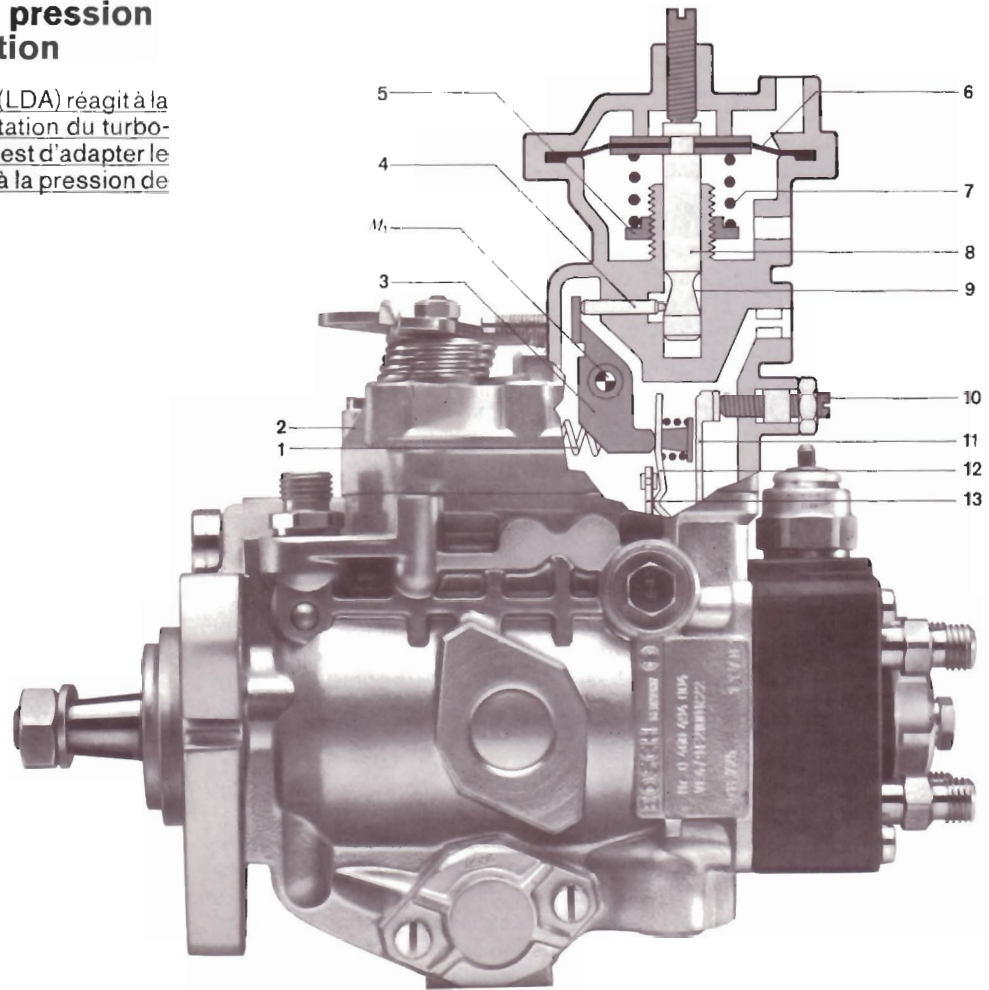


## Adaptation à la pression de suralimentation

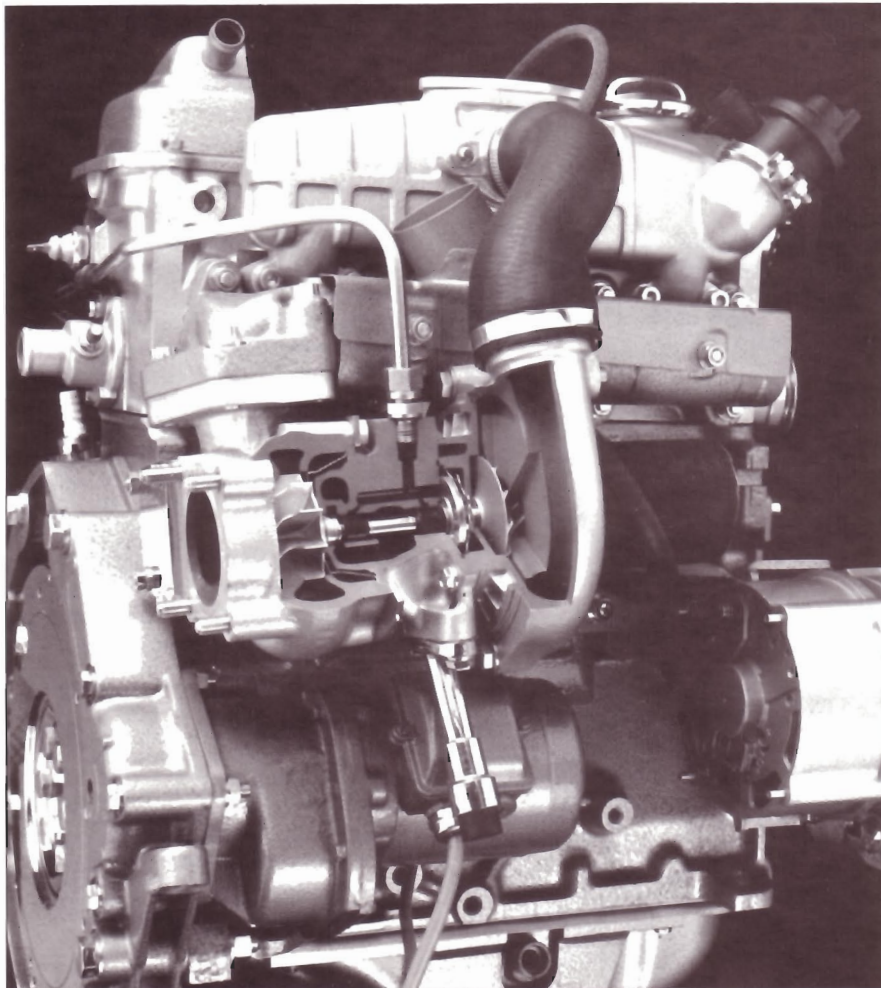
Le limiteur de richesse (LDA) réagit à la pression de suralimentation du turbo-compresseur. Son rôle est d'adapter le débit de pleine charge à la pression de suralimentation.

### 38) 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 Ecrou 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
- M<sub>1</sub> Centre de rotation de 3



39



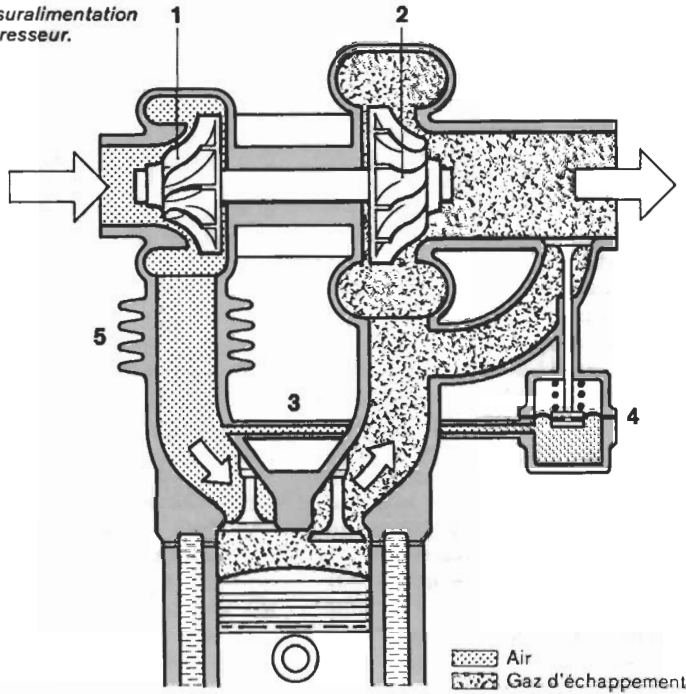
### Suralimentation par turbocompresseur

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. 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. Les résidus gazeux de la combustion, produits par le moteur, ne s'échappent plus inutilement dans l'atmosphère, mais entraînent la turbine d'un compresseur. 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. La pression et la température de l'air aspiré augmentent. Un refroidissement de l'air intervient entre le turbocompresseur et le moteur lorsque la température est trop élevée.

39) Moteur diesel équipé d'un turbocompresseur.

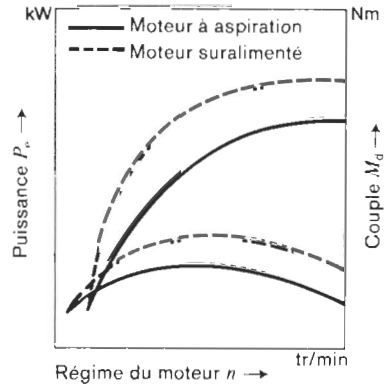


## 40 Principe de la suralimentation par turbocompresseur.

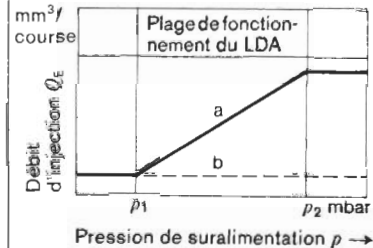


La turbine et le rotor du compresseur se trouvent sur un arbre commun. La vitesse de rotation peut dépasser 100 000 tr/min. L'énergie des gaz d'échappement chauds ne s'échappe plus inutilement à l'air libre, mais entraîne un compresseur d'air (1) par l'intermédiaire d'une turbine (2). L'air n'est donc plus aspiré directement par le moteur, mais introduit dans la chambre de combustion à l'état précomprimé. Le débit d'air du turbocompresseur n'étant pas parallèle aux besoins du moteur, il convient de prévoir un dispositif de régulation afin d'éviter une surcharge aux vitesses de rotation élevées. Dès que la pression de suralimentation maximale est dépassée, une valve de décharge (4), montée dans le canal by-pass (3) entre les collecteurs d'admission et d'échappement, dérive une partie du flux des gaz d'échappement de la turbine et la conduit directement dans la tubulure d'échappement. La pression n'augmente plus. Un refroidissement de l'air intervient entre le compresseur et le moteur lorsque la température est trop élevée (5).

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



## 42 Plage d'utilisation de la pression de suralimentation.



Dès l'obtention d'une pression de suralimentation ( $p_1$ ) bien définie, le LDA augmente le débit d'injection au fur et à mesure que la pression de suralimentation croît. L'augmentation du débit cesse dès qu'un seuil de pression prédéterminé ( $p_2$ ) est atteint. a en suralimentation, b en aspiration.

## Limiteur de richesse (LDA)

## Fonction

Le limiteur de richesse est utilisé sur les moteurs à suralimentation. Dans le cas des moteurs diesels, 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 diminue, la quantité de carburant doit alors être adaptée à cette charge d'air réduite. Cette fonction incombe au limiteur de 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 pour la 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. La tension initiale du ressort peut être réglée à l'aide de cet écrou. 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.

## Fonctionnement

La pression de suralimentation produite par le turbocompresseur à basse vitesse ne suffit pas pour vaincre la force du ressort. La membrane se trouve en position initiale. Dès que la membrane est soumise à une force engendrée par l'augmentation de la pression de suralimentation, la membrane et l'axe de réglage se déplacent contre la poussée exercée par le ressort. Au cours de ce mouvement vertical de l'axe de réglage, l'axe de guidage suit le profil du cône de commande et change de position. Il en résulte que le levier de butée pivote autour de son centre de rotation  $M_1$ . Grâce à la force de traction du ressort de régulation, le levier de tension, le levier 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 les sens «augmentation de débit». La quantité de car-

burant correspond ainsi à la charge d'air plus importante, admise dans la chambre de combustion du moteur. Lorsque la pression de suralimentation diminue, le ressort de compression pousse la membrane et 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 efficace. 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.

### 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.

#### Conception

L'adaptation «début de refoulement en fonction de la charge» est réalisable 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 radial supplémentaire. Un canal axial et deux canaux radiaux ont été usinés dans l'axe central. 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 provoque

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 les canaux de distribution de l'axe et du manchon central. Le levier de commande de vitesse permet de sélectionner un régime de consigne bien déterminé. Une augmentation du régime est nécessaire pour atteindre cette vitesse prescrite. Lorsque la vitesse augmente, les masselottes s'écartent et font coulisser le manchon central. Cette opération a pour effet, d'une 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 de commande de l'axe central. Une partie du carburant s'écoule alors vers le côté aspiration par les canaux (axial et radial) 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 baisse du régime (due à une augmentation de la charge p. ex.) introduit le déplacement du manchon central, qui obture alors les canaux 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 décalé dans le sens «avance».

## Adaptation en fonction de la pression atmosphérique

En altitude, la diminution 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)

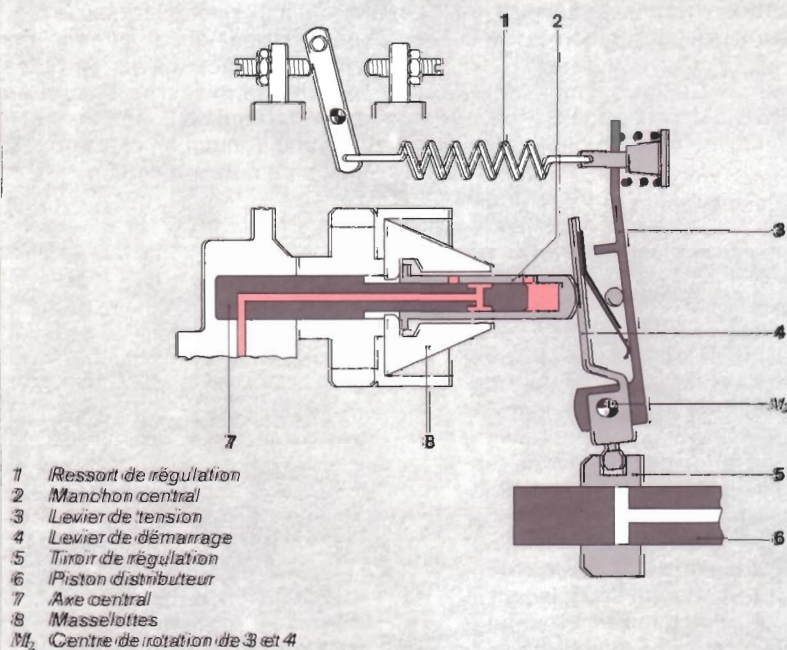
#### Conception

Le correcteur altimétrique se trouve, tout comme le limiteur de richesse, sur le couvercle du régulateur. La membrane a été remplacée par une capsule barométrique. Le ressort de compression est disposé entre le corps du couvercle et une coupelle. Il permet de déterminer le point d'intervention de la capsule barométrique. Un trou évent assure la liaison de la capsule avec l'atmosphère.

#### Fonctionnement

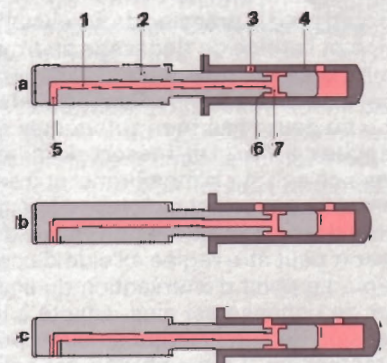
Une augmentation de la hauteur de la capsule a lieu, à l'intérieur de sa plage d'action, lorsque la pression atmosphérique diminue. L'axe de réglage taré par le ressort se déplace en s'opposant à la force du ressort et l'axe de guidage décrit un mouvement horizontal sous l'impulsion du cône de commande. La suite de la phase de réglage a déjà été décrite à la page 23, à la rubrique «limiteur de richesse».

43 Organisation du bloc régulateur pour l'adaptation du début de refoulement en fonction de la charge.



44 Positions du manchon central avec LFB.

- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| a Position de démarrage (initiale) | 2 Axe central                        |
| b Juste avant l'ouverture          | 3 Canal radial du manchon central    |
| c Ouverture, baisse de pression    | 4 Manchon central                    |
| 1 Canal axial de l'axe central     | 5 Canal radial de l'axe central      |
|                                    | 6 Rampe de commande de l'axe central |
|                                    | 7 Canal radial de l'axe central      |



## 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.

### Accélérateur mécanique de démarrage à froid (KSB)

#### Conception

Le KSB est monté sur le corps de pompe. Un arbre relie le levier de réglage au levier intérieur qui dispose d'une rotule excentrique s'engageant dans la bague porte-galets. (Il existe aussi une version, sur laquelle le dispositif de réglage agit sur le piston du variateur d'avance). La position initiale du levier de réglage 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 réglage. Le correcteur automatique est fixé par un support à la pompe distributrice. Le dispositif de commande manuel se trouve dans l'habitacle du véhicule.

#### Fonctionnement

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

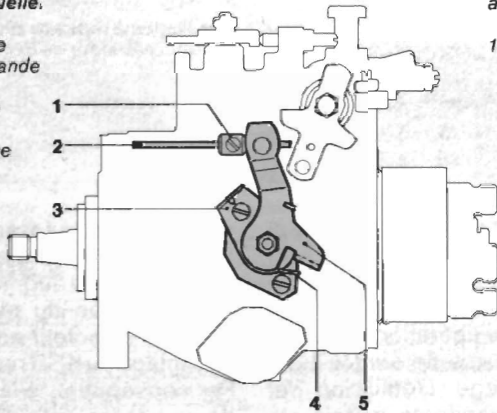
Une gorge longitudinale est fraisée au point où la rotule s'engage dans la ba-

gue porte-galets afin que le piston du variateur d'avance puisse continuer à modifier la position de la bague dans le sens «avance» à partir d'une vitesse bien déterminée. La correction automatique s'effectue à l'aide d'un dispositif de commande, dont l'élément thermostatique transpose les variations de la température de l'eau de refroidissement en un mouvement de translation. Avantage: sélection du début de refoulement ou du point d'injection toujours optimal en fonction de la température de l'eau de refroidissement (départ à froid, réchauffage ou démarrage du moteur chaud).

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

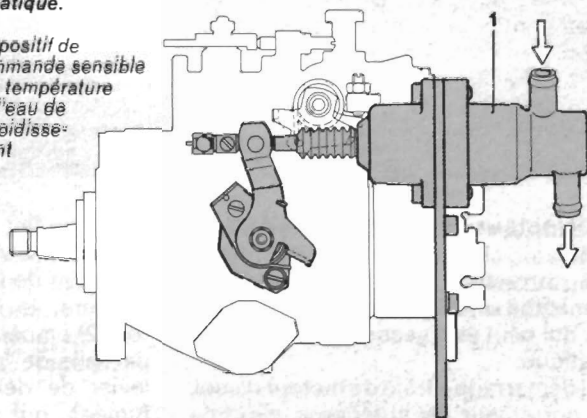
45 Accélérateur mécanique de démarrage à froid, à commande manuelle.

- 1 Pièce de serrage
- 2 Câble de commande
- 3 Butée
- 4 Ressort à action angulaire
- 5 Levier de réglage du KSB



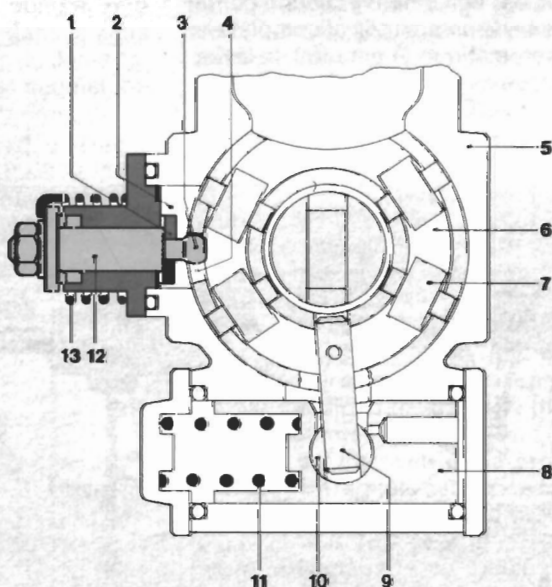
Accélérateur mécanique de démarrage à froid, à commande automatique.

- 1 Dispositif de commande sensible à la température de l'eau de refroidissement

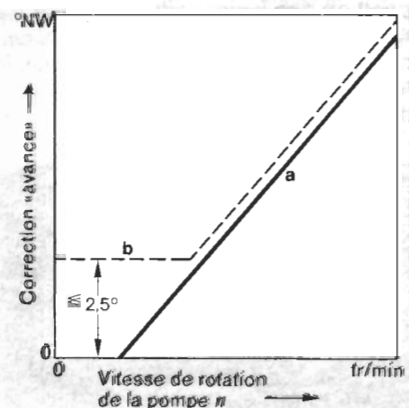


46 Accélérateur mécanique de démarrage à froid solidaire de la bague porte-galets.

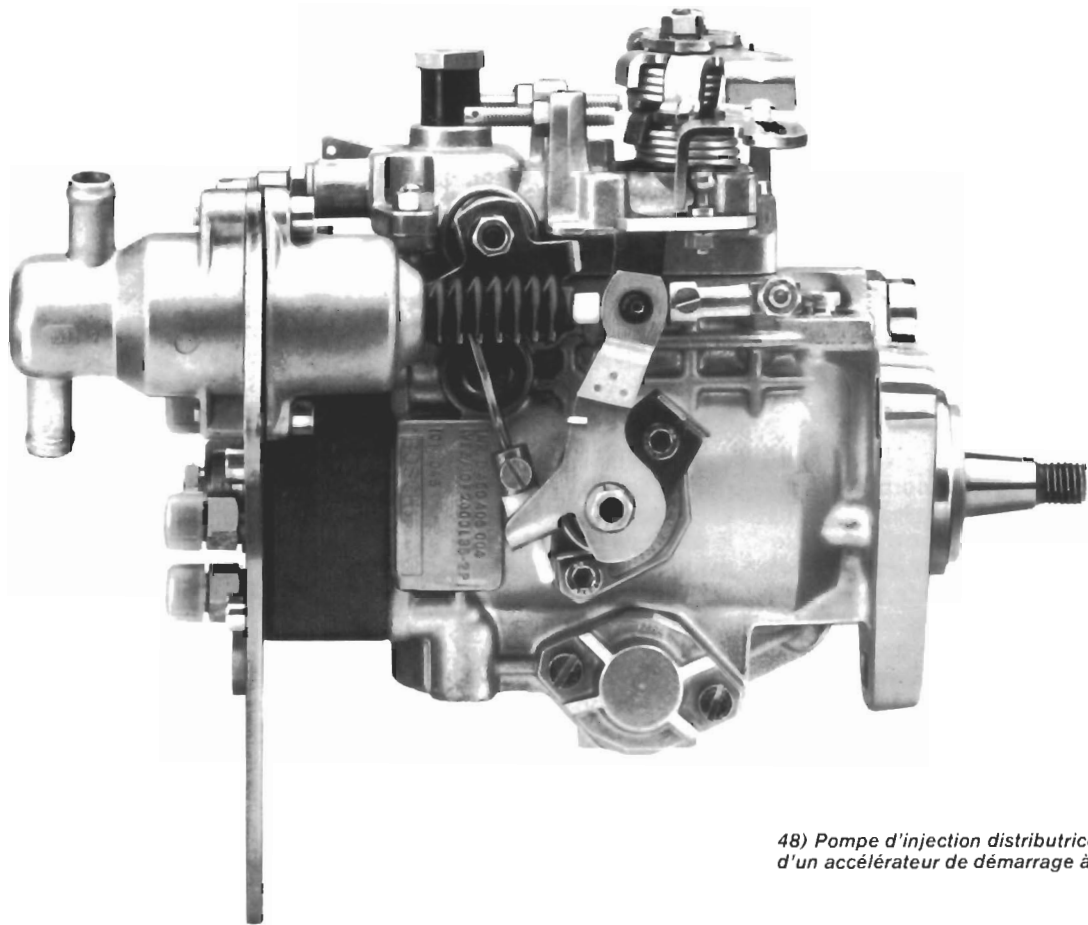
- 1 Levier
- 2 Fenêtre de réglage
- 3 Rotule
- 4 Gorge longitudinale
- 5 Corps de pompe
- 6 Bague porte-galets
- 7 Galet
- 8 Piston du variateur d'avance
- 9 Axe
- 10 Coulisseau
- 11 Ressort du variateur d'avance
- 12 Arbre
- 13 Ressort à action angulaire



47 Action de l'accélérateur mécanique de démarrage à froid.



Lorsque le conducteur actionne le KSB mécanique, une correction minimale (b) d'une valeur d'environ 2,5° d'arbre à cames (°NW) est maintenue, indépendamment de la correction (a) introduite par le variateur d'avance. Dans le cas du KSB automatique, cette valeur dépend de la température du moteur.



48) Pompe d'injection distributrice équipée d'un accélérateur de démarrage à froid.

### Correcteur de surcharge (TAS)

Le correcteur de surcharge (TAS) constitue un dispositif complémentaire, qui peut être associé au KSB automatique.

Au démarrage à froid du moteur diesel, le correcteur de surcharge n'exerce aucune action car le levier de réglage du KSB se trouve dans sa position initiale. Le levier de stop extérieur est en position de repos, c'est-à-dire en butée sur le couvercle du régulateur. Cette position des leviers signifie le refoulement du surdébit maximum au démarrage. Lorsque le moteur est chaud, le levier de réglage du KSB est appliqué sur sa butée. Dans cette position, la

tringlerie fait tourner le levier de stop extérieur d'une certaine valeur en direction de la vis de butée. De cette manière, le levier de stop (fig. 49, rep. 2) empêche la libération totale ou partielle de la course de surdébit du levier de démarrage. L'émission de fumées, qui se manifeste parfois au démarrage (moteur chaud), est ainsi évitée.

### Correcteur de ralenti (TLA)

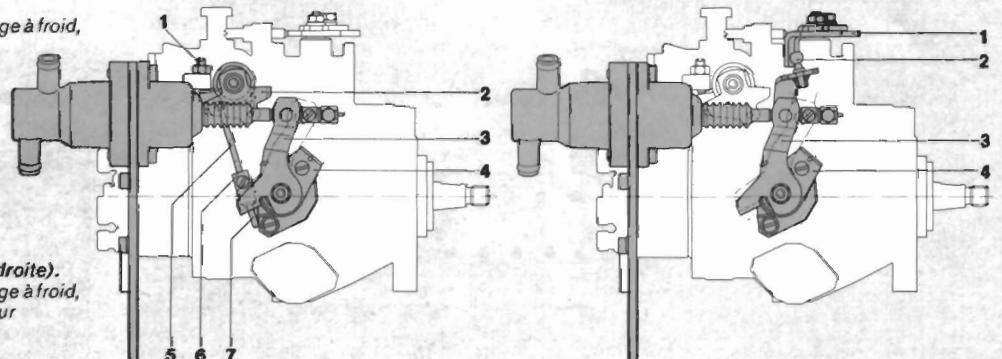
Le TLA est également actionné par le dispositif de commande et complète le KSB automatique. A cet effet, le levier de réglage du KSB a été allongé et doté d'une rotule. Quand le moteur est froid, cette rotule fait pression sur le levier de

commande de vitesse et le soulève de la vis de butée de ralenti. La vitesse de ralenti est ainsi augmentée et 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 (TLA) n'intervient plus.

### 49) Commande du surdébit de démarrage (à gauche).

Accélérateur mécanique de démarrage à froid, à commande automatique, prévu pour correcteur de surcharge.

- 1 Vis de butée
- 2 Levier de stop extérieur
- 3 Levier de réglage du KSB
- 4 Butée
- 5 Levier de réduction
- 6 Axe d'arrêt
- 7 Axe d'appui

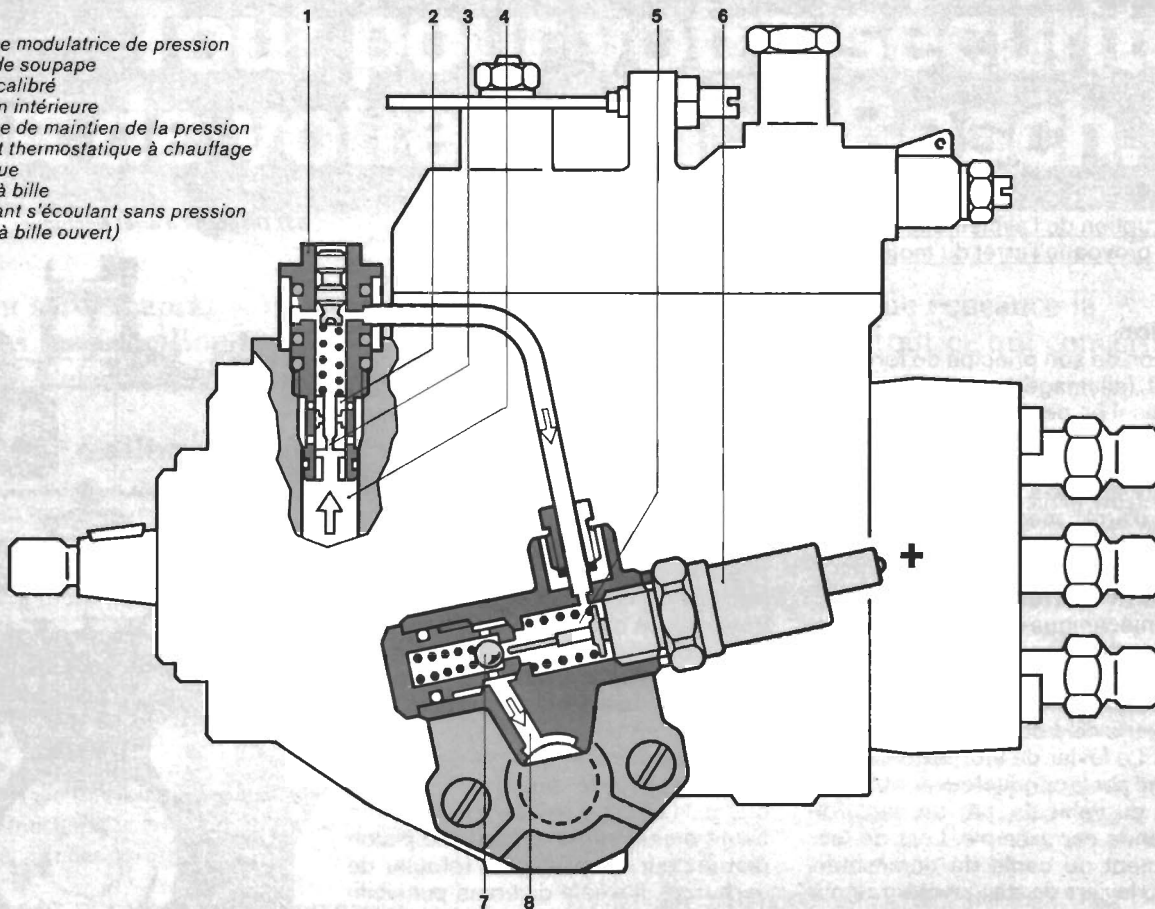


Commande du ralenti accéléré (à droite).  
Accélérateur mécanique de démarrage à froid, à commande automatique, prévu pour correcteur de ralenti.

- 1 Levier de commande de vitesse
- 2 Rotule
- 3 Levier de réglage du KSB
- 4 Butée

## 50 Accélérateur hydraulique de démarrage à froid.

- 1 Soupape modulatrice de pression
- 2 Piston de soupape
- 3 Orifice calibré
- 4 Pression intérieure
- 5 Soupape de maintien de la pression
- 6 Élément thermostatique à chauffage électrique
- 7 Clapet à bille
- 8 Carburant s'écoulant sans pression (clapet à bille ouvert)



## 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 qu'entre des limites étroites et ne convient pas à tous les moteurs. 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 qui règne 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 qui règne dans la pompe.

### Conception

L'accélérateur hydraulique de démarrage à froid comprend une soupape modulatrice de pression, une soupape de maintien de la pression et un élément thermostatique à chauffage électrique (fig. 50).

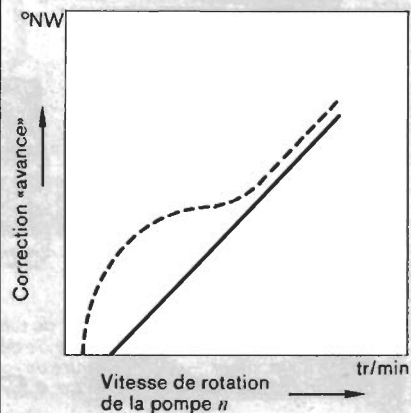
### Fonctionnement

La pompe d'alimentation aspire le carburant du réservoir et le refoule dans la chambre intérieure de la pompe distributrice. De là, le carburant sous pression atteint la face avant du piston du variateur d'avance. En fonction de cette pression, le piston se déplace en s'opposant à la force du ressort de rappel. Sa course définit la correction du début d'injection. La pression à l'intérieur de la pompe est déterminée par une soupape modulatrice, qui introduit une montée de la pression au fur et à mesure que le régime et, par conséquent, le débit augmentent. Le piston (fig. 50, rep. 2) de la soupape modulatrice dispose d'un orifice calibré (rep. 3), qui donne la courbe de pression représentée par une ligne discontinue (fig. 51) lorsque le moteur est froid. Tant que la soupape de maintien de la pression (rep. 5) reste fermée, cet orifice calibré engendre une pression plus importante à l'intérieur de la pompe. Après le démarrage du moteur, l'élément thermostatique (rep. 6) à chauffage électrique ouvre la soupape de maintien de la pression. Le carburant

peut alors s'écouler sans pression. Ensuite la baisse du niveau de la pression à l'intérieur de la pompe s'effectue uniquement par la soupape modulatrice.

51) Dès le démarrage à froid à bas régime, l'accélérateur hydraulique déplace le début d'injection dans le sens «avance». La ligne discontinue du diagramme montre l'action de l'accélérateur hydraulique de démarrage à froid.  
°NW = °arbre à cames

### 51 Action de l'accélérateur hydraulique de démarrage à froid.



# Arrêt

L'interruption de l'alimentation en carburant provoque l'arrêt du moteur diesel.

## Fonction

En raison de son principe de fonctionnement (allumage spontané), le moteur diesel ne peut être arrêté que par la coupure de l'alimentation en carburant. La pompe d'injection distributrice peut être équipée, en option, d'un dispositif d'arrêt mécanique ou électrique.

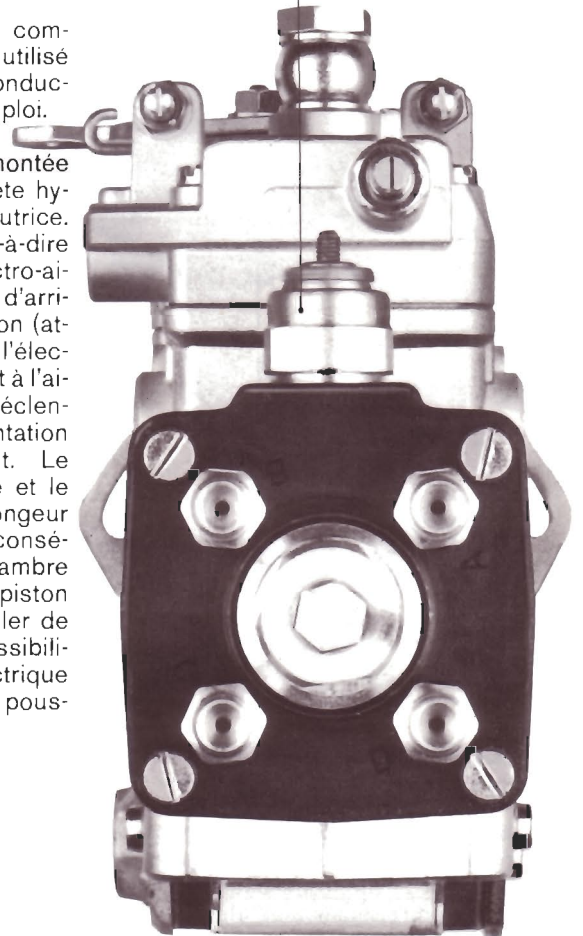
## Dispositif d'arrêt mécanique

L'arrêt mécanique de la pompe d'injection distributrice est assuré par un groupe de leviers. 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 détection. Le levier de démarrage pivote autour de son centre de rotation M<sub>2</sub> et fait coulisser le tiroir de régulation dans la position de stop. L'orifice de décharge du piston distributeur reste ouvert et le piston distributeur ne peut plus refouler de carburant (débit nul).

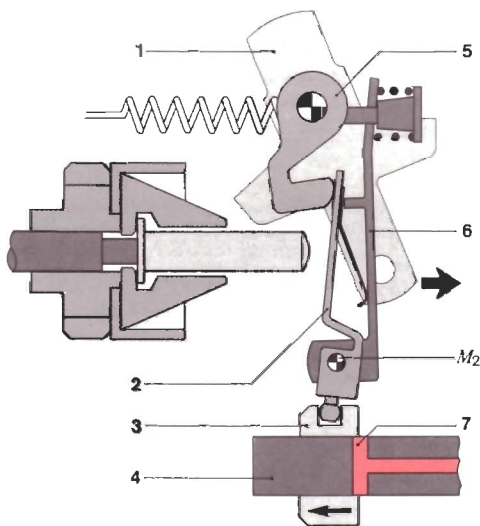
## Dispositif d'arrêt électrique (ELAB)

Le dispositif d'arrêt électrique, commandé par la clé de contact, est utilisé de préférence car il offre au conducteur un plus grand confort d'emploi. L'électrovalve 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 de l'électrovalve). La coupure du contact à l'aide du commutateur de marche déclenche l'interruption de l'alimentation électrique de l'électro-aimant. Le champ magnétique est annulé et le ressort repousse le noyau plongeur contre le siège de soupape. 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).

53) Dispositif d'arrêt électrique.

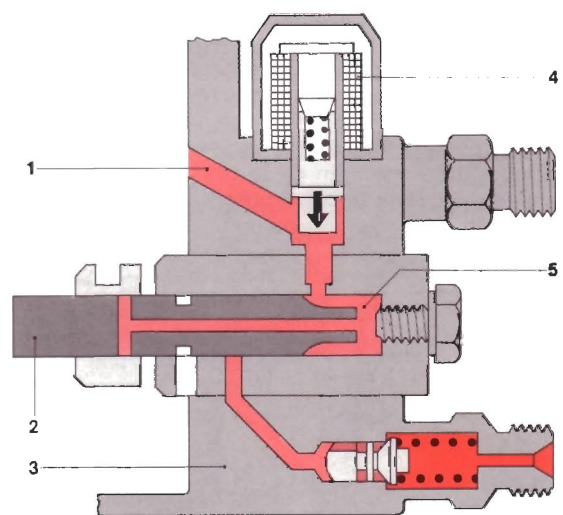


52) Dispositif d'arrêt mécanique.



- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1 Levier de stop extérieur | 6 Levier de tension                         |
| 2 Levier de démarrage      | 7 Orifice de décharge                       |
| 3 Tiroir de régulation     | M <sub>2</sub> Centre de rotation de 2 et 6 |
| 4 Piston distributeur      |   |
| 5 Levier de stop intérieur |   |

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



- |                       |  |
|-----------------------|--|
| 1 Canal d'arrivée     | 4 Electro-aimant de poussée ou de traction |
| 2 Piston distributeur | 5 Chambre haute pression                   |
| 3 Tête hydraulique    |  |