

## ALIMENTATION ET INJECTION

### 1. Circuits d'alimentation

Les circuits d'alimentation permettent d'amener à la pompe d'injection une quantité de combustible suffisante, parfaitement filtrée, sans émulsion ni présence d'eau et sous une pression déterminée.

Ils participent également à la stabilisation de la température de la pompe d'injection et à l'écrêtage des pointes de pression en fin d'injection.

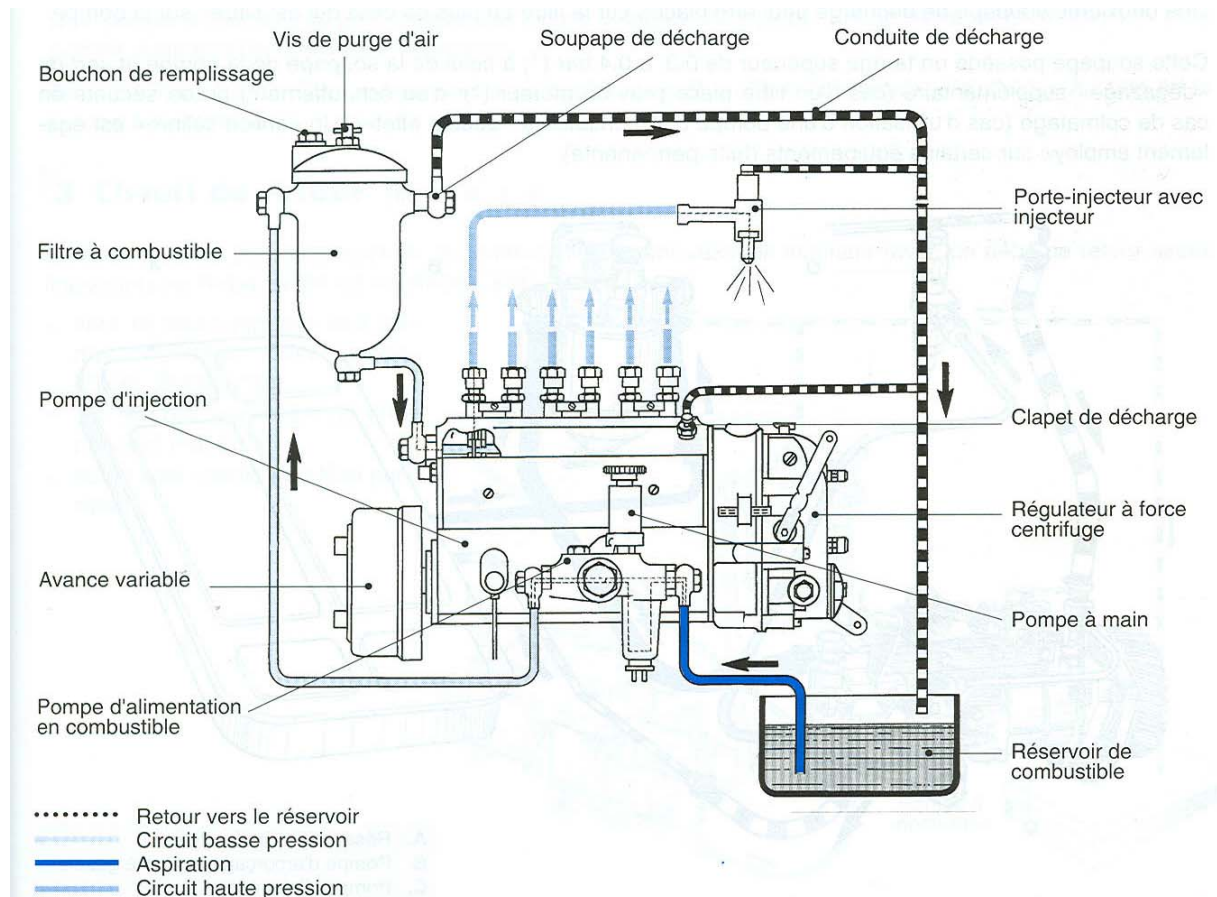


Fig.13.1. Circuit d'alimentation avec pompe en ligne

#### 1.1. Circuit en "aspiration"

Le circuit est compris du plongeur dans le réservoir, en passant par le préfiltre, jusqu'au raccord d'aspiration de la pompe d'alimentation.

C'est uniquement sur cette partie du circuit que l'on peut rencontrer la panne appelée "prise d'air" (raccord mal serré, joint défectueux, canalisation percée, ...).

#### 1.2. Circuit en "basse pression"

Du côté "refoulement" de la pompe d'alimentation, en passant par le filtre principal, jusqu'à la galerie d'alimentation dans la pompe d'injection.

Sur cette partie, tout manque d'étanchéité se traduit par une "fuite".

### 1.3. Circuit à haute pression

De la sortie de la pompe d'injection aux injecteurs, il comprend :

- les tuyauteries HP et leurs raccords,
- les porte-injecteurs,
- les injecteurs.

### 1.4. Les pompes d'alimentation

La pression d'alimentation en combustible d'une pompe en ligne classique varie entre 1 bar et 2.5 bars selon le tarage de la soupape de décharge, pour assurer le remplissage optimal des éléments de pompage, avec un débit égal au moins 1.5 à 2 fois le débit de la pompe d'injection au régime nominal de pleine charge.

Ceci après avoir aspiré le combustible dans le réservoir, en passant par le préfiltre, et refoulé celui-ci à travers le (ou les) éléments filtrants (pompe à piston ou à engrenages).

#### 1.4.1. Pompes à membrane

Elles sont à commande mécanique comme les pompes à essence, avec généralement une cuve de préfiltrage.

Le tarage du ressort de membrane est légèrement supérieur à celui des pompes à essence (0.3 à 0.6 bars).

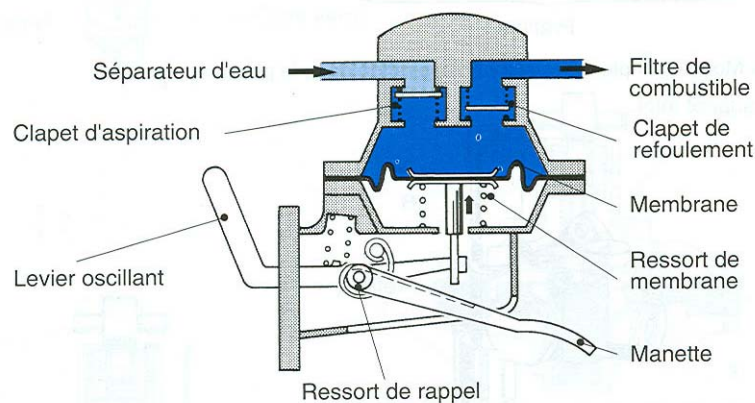


Fig.13.2. Pompe à membrane AC avec préfiltré

#### 1.4.2. Pompes à piston

Ce système est le plus fréquent. Elles sont directement montées sur les pompes d'injection et commandées par l'arbre à came de celle-ci. Elles sont auto-régulatrices grâce à la valeur de tarage du ressort de piston 2.5 à 4 bars.

##### □ **Pompe d'alimentation à simple effet** (Bosch classique)

*Course intermédiaire* (fig.13.3.a)

L'arbre à cames de la pompe d'injection commande le poussoir à galet. Le piston principal (6), sous la poussée de la tige de pression (1), envoie le liquide

contenu dans la chambre **A** vers la chambre **B**, en ouvrant le clapet (7). Un volume correspondant à celui déplacé par la tige de pression (1) est envoyé vers le refoulement.

*Course refoulement-aspiration (fig.13.3.b)*

Le sommet de la came étant dépassé, le ressort principal (3) repousse le piston (6) et la tige de pression (1) :

- le combustible de la chambre **B** est refoulé vers le filtre principal,
- la dépression créée dans la chambre **A** permet l'ouverture du clapet (5) et l'aspiration du combustible venant du réservoir.

*Auto-régulation (fig.13.3.c)*

Si en **B**, la pression de gazole est inférieure à celle qu'exerce le ressort (3), le piston demeure au contact de la tige-poussoir (1) et la course est complète.

Si, au contraire, la pression de gazole en **B** atteint celle exercée par le ressort, le piston se sépare de la tige-poussoir et sa course n'est que partielle. Il s'agit là d'une auto-régulation.

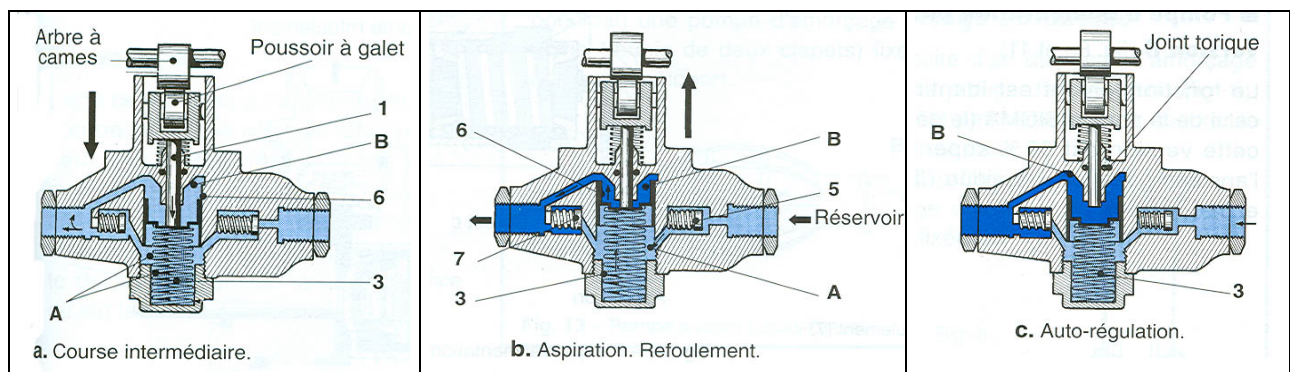


Fig.13.3. Pompe Bosch classique

□ *Pompe d'alimentation Bosch à double effet*

Sous l'action de l'excentrique de commande, le déplacement du piston de pompe vers le bas comprime le ressort provoquant l'ouverture des clapets **A<sub>1</sub>** et **R<sub>1</sub>** ainsi que le refoulement du combustible vers la pompe d'injection.

Lorsque l'excentrique s'efface, le piston se déplace vers le haut sous l'action du ressort provoquant l'ouverture des clapets **A<sub>2</sub>** et **R<sub>2</sub>** et le refoulement vers la pompe d'injection.

Pour chaque déplacement du piston, on obtient une aspiration et un refoulement simultanés du combustible; la pompe d'alimentation est à double effet.

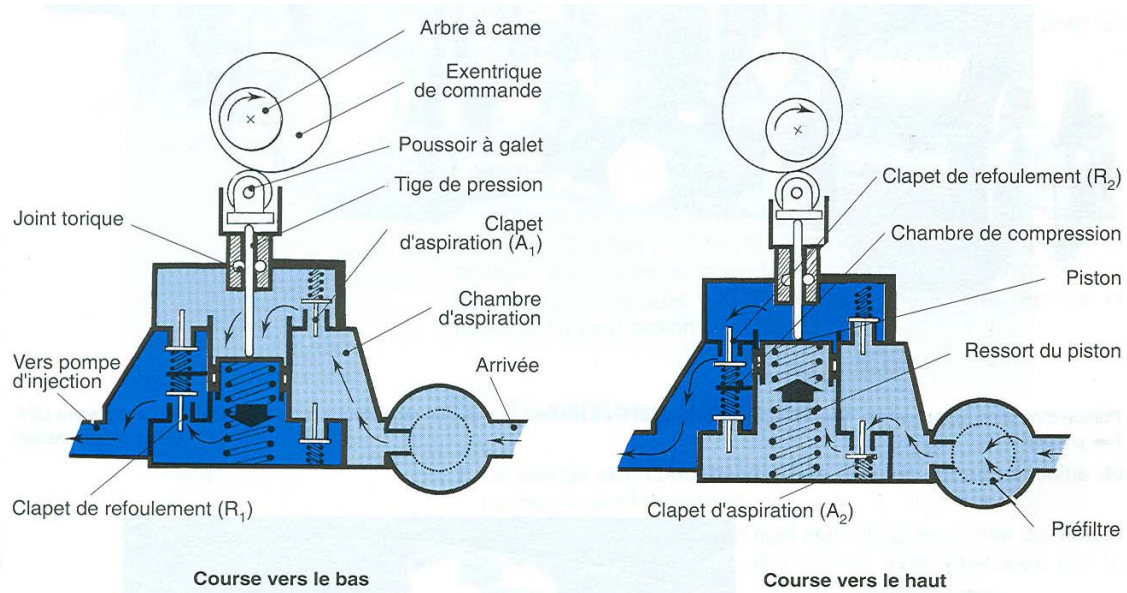


Fig.13.4.Pompe Bosch à double effet

## 2. Systèmes d'injection

### 2.1. Rôle

La pompe d'injection doit refouler sous pression vers chaque injecteur un volume précis de combustible, à l'instant prévu, et pendant une durée déterminée, à travers un circuit hydraulique comprenant soupape de refoulement, raccord et conduite haute pression.

### 2.2. Condition à remplir

- Le dosage doit correspondre très exactement aux besoins du moteur (suivant la charge),
- Il doit être rigoureusement égal pour chaque cylindre du moteur,
- L'injection doit s'effectuer à un instant très précis,
- L'injection doit se produire pendant un laps de temps très court et sans égouttement ultérieur,
- La précision dans l'usinage de la pompe, notamment des pistons et des cylindres, doit être très poussée :
  - la pression instantanée atteinte une valeur très élevée : 1000 bars,
  - la quantité de combustible à refouler par coup de piston est très variable suivant les types de moteurs.

### 2.3. Pompe d'injection Bosch taille "A"

#### 2.3.1. Généralités

Ce type de pompe est commandé par l'arbre à cames et par l'intermédiaire des poussoirs à galets, les pistons ou éléments de pompage possèdent une course de levée constante.



Cette course est en fonction de la taille de la pompe. Par exemple : taille A → 7 mm; taille MW → 10 mm.

Les pistons sont ramenés vers le PMB par des ressorts dont le tarage est fonction de la vitesse maximale de la pompe, qui tourne à la demi-vitesse du moteur.

Le dosage du combustible est assuré par le déplacement en "rotation" des pistons, à l'aide de douilles, reliées à des secteurs dentés réglables en liaison avec la tige de réglage, appelée aussi "crémaillère".

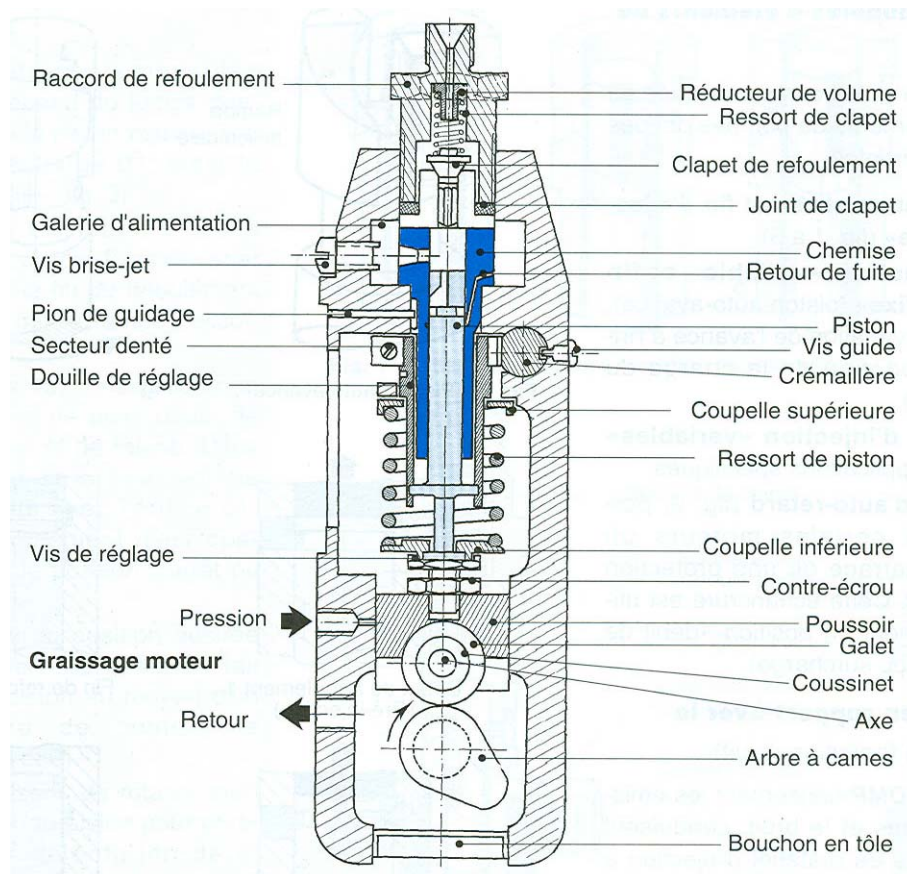


Fig. 13.5. Pompe Bosch taille A avec graissage moteur

### 2.3.2. Éléments de pompage (pistons)

#### ***Fonctionnement***

##### a) *Admission du combustible (remplissage)*

Au PMB, le piston découvre les orifices **0** et **01** d'arrivée du combustible. Celui-ci pénètre dans la chambre **V** et par la rainure verticale, dans la chambre **X**, poussé par la pression d'alimentation.

b) *Précouse*

C'est la course parcourue par le piston entre le PMB et le début de refoulement.

c) *Début de refoulement*

Le piston ayant effectué la précouse, obture les orifices d'arrivée **0** et **01**. C'est le début de refoulement et le combustible comprimé soulève le clapet de refoulement, parcourant ainsi la course de détente.

d) *Course utile*

C'est la course comprise entre l'ouverture de la soupape de refoulement et la fin de refoulement (libération de l'orifice de décharge par la partie inférieure de la rampe du piston).

e) *Fin de refoulement (décharge)*

Dès que l'arête inférieure de la rampe hélicoïdale découvre l'orifice **01**, la pression chute brusquement et le clapet de refoulement retombe sur son siège. Le combustible dans les chambres **V** et **X** est remis à la pression d'alimentation.

Le piston continue ensuite sa course jusqu'au PMH (course de la came).

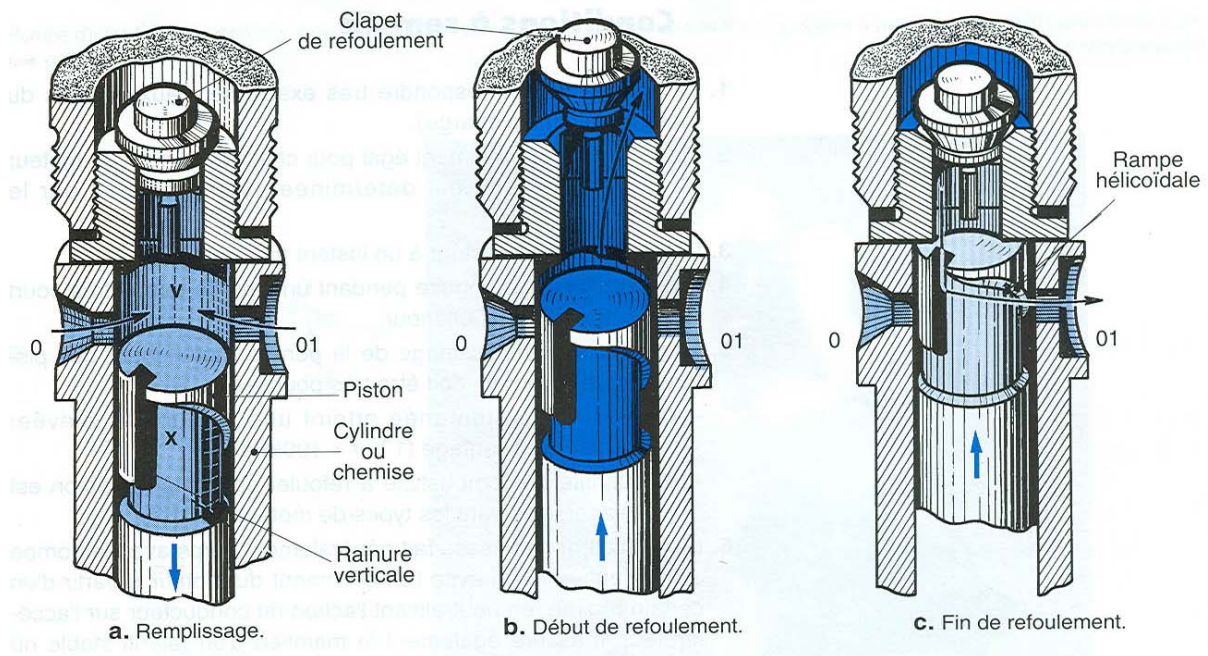


Fig.13.6.Pompe d'injection Bosch taille A

### Différentes positions du piston

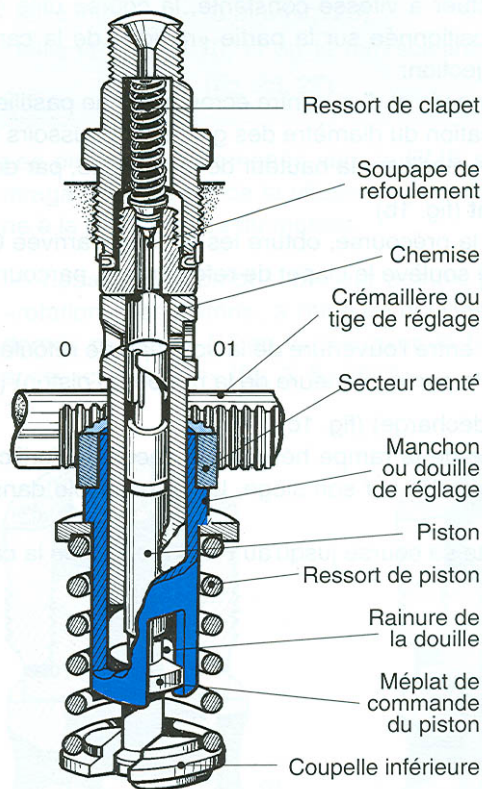


Fig.13.7. Mécanisme de commande de rotation du piston

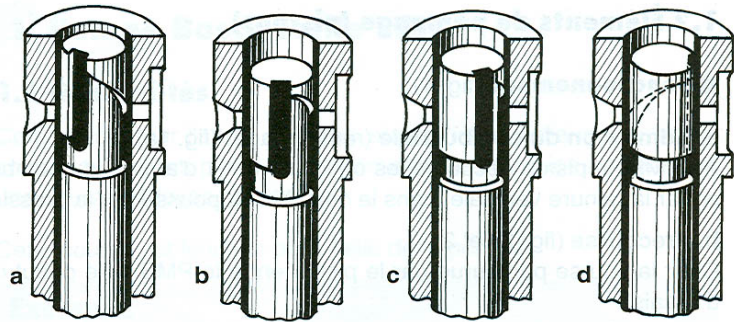


Fig.13.8. Positions de piston dans le cylindre

La quantité de combustible refoulée dépend du temps pendant lequel le piston couvre l'orifice de décharge **01**; c'est la course utile.

Ce temps est modifié par la rotation du piston. Elle fait varier l'instant de la fin du refoulement déterminé par la rampe hélicoïdale.

Les figures 13.8. **a, b, c** montrent les positions de plein débit, de débit moyen et de ralenti. Dans la figure 13.8. **d**, la rainure verticale est en ligne avec l'orifice **01**, aucun refoulement n'est possible, c'est la position d'arrêt ou stop.

Pour obtenir la position désirée de la rampe hélicoïdale, on fait tourner le piston au moyen d'un mécanisme de commande.

#### 2.3.3. Soupape de refoulement

Leur rôle est de détendre rapidement, après chaque injection, la pression dans les tuyauteries HP, afin d'obtenir une fermeture franche de l'injecteur, tout en maintenant une pression résiduelle déterminée.

##### **Soupape à réaspiration**

**Début de refoulement :** le piston de pompe comprime le combustible, la pression d'injection **P** devient supérieure à la pression **P'** (charge du ressort + pression résiduelle) et soulève la soupape. Le combustible s'écoule au moment où le piston de détente dégage l'orifice.

**Fin de refoulement :** le refoulement du combustible cesse lorsque la pression **P** devient inférieure à la pression **P'**. la fermeture de la soupape s'effectue alors en deux phases :

- l'arête inférieure du piston de détente vient en contact avec la partie rectifiée du siège et la communication est interrompue.
- la soupape continue sa retombée jusqu'à la fermeture complète en réaspirant dans la tuyauterie un volume :

$$V = S \times h = \frac{\pi d^2}{4} \times h$$

V – volume de réaspiration

S – surface du piston de détente

h – hauteur de retombée



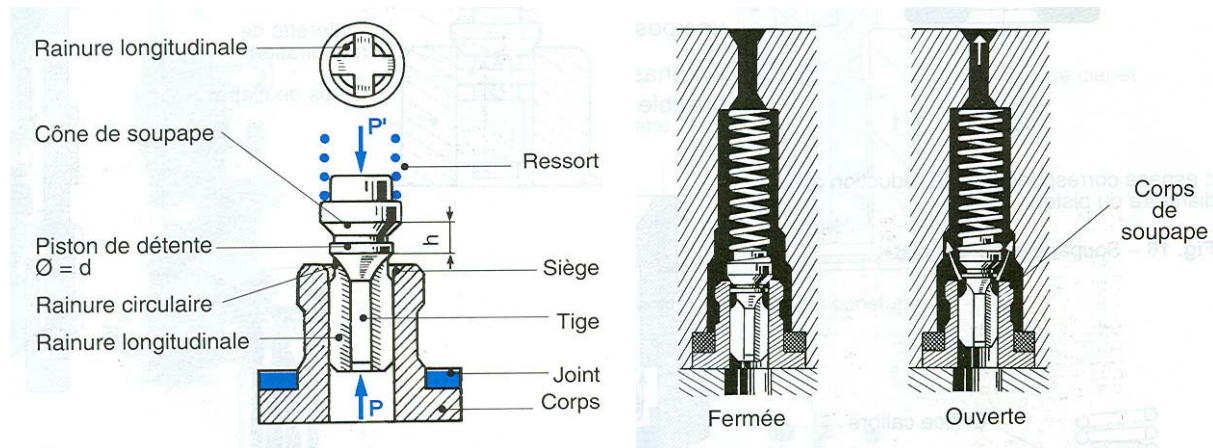


Fig.13.9.Soupape à réaspiration Bosch

### Clapets à billes

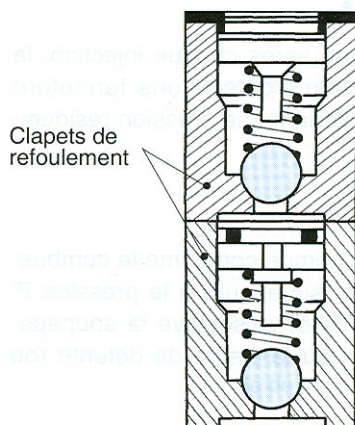


Fig.13.10. Clapets à billes

Ils sont constitués de deux corps superposés comportant chacun une bille.

En fin d'injection, la bille du corps inférieur retombe la première sur son siège et il en résulte une chute de pression dans le corps supérieur. Le combustible contenu dans la tuyauterie de refoulement se détend et entraîne la fermeture de la seconde bille.

## 3. Injecteurs et porte-injecteurs

### 3.1. Rôle et fonctionnement de l'injecteur

L'injecteur ou pulvérisateur est fixé et positionné dans un support dénommé porte-injecteur.

C'est un organe de haute précision qui assure la pulvérisation correcte et la répartition du combustible refoulé par la pompe d'injection, dans la chambre (ou la préchambre selon le cas) de combustion du moteur.



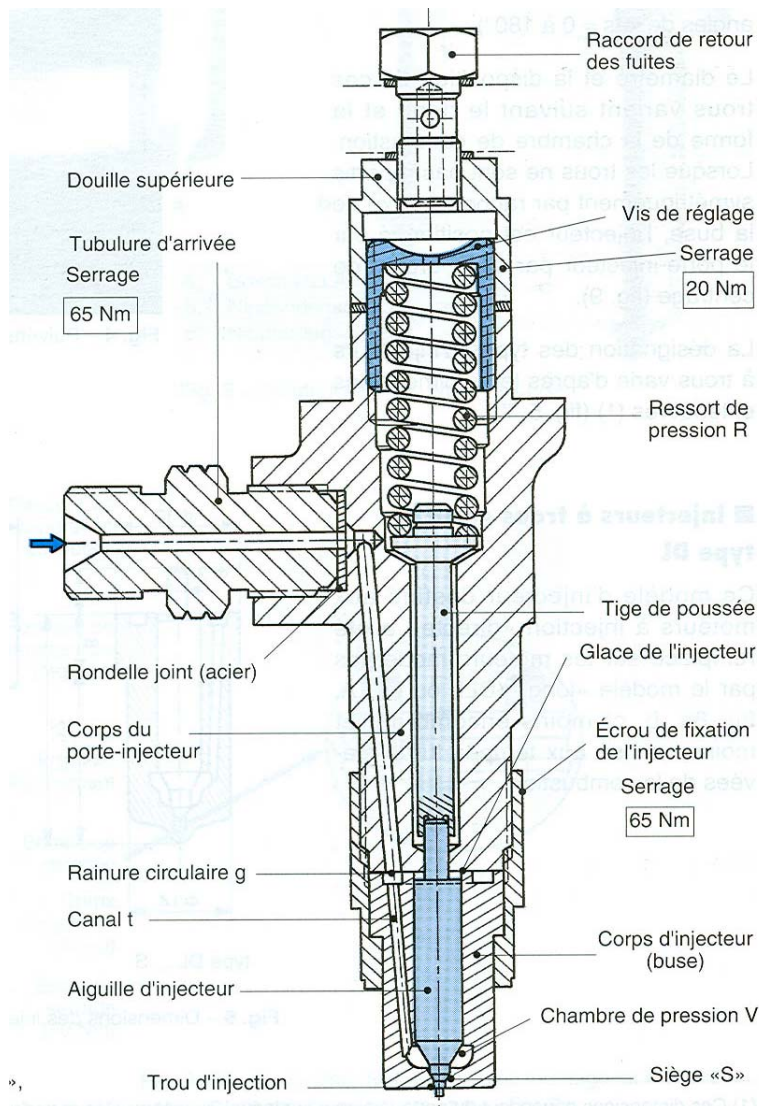


Fig.13.11. Porte-injecteur Lucas-Diesel avec injecteur à téton type DN

### **Fonctionnement :**

L'aiguille est appliquée, au repos sur son siège **S**, par un ressort qui prend l'appui dans le porte-injecteur.

Le gazole arrive par le porte-injecteur dans une gorge circulaire "**g**" puis est dirigé vers la chambre de pression "**V**", par le canal "**t**".

Au moment du refoulement de combustible par la pompe d'injection, une montée en pression très rapide s'effectue dans la chambre de pression **V**, jusqu'à l'instant où l'aiguille se soulève (c'est le début d'injection), exercent alors une force plus importante que la pré-charge du ressort de pression "**R**".

Le combustible est pulvérisé finement, jusqu'à la fin du refoulement de la pompe d'injection, l'aiguille d'injecteur retombe alors sur son siège, plaquée par la force du ressort de pression "**R**" et obture le ou les orifices de la buse d'injecteur (étanchéité parfaite indispensable).

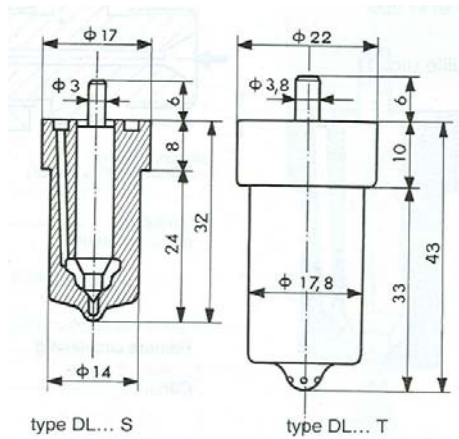
## 3.2. Différents types d'injecteurs

### 3.2.1. Injecteurs à trous

Ce type d'injecteur est utilisé en général sur les moteurs à injection directe car son rôle est essentiellement de répartir le combustible.

L'extrémité de la buse est percée d'un trou central ou de plusieurs trous capillaires dont le diamètre minimal est de 0.2 mm (nombre de trous = 1 à 12, angles de jets = 0 à 180°).

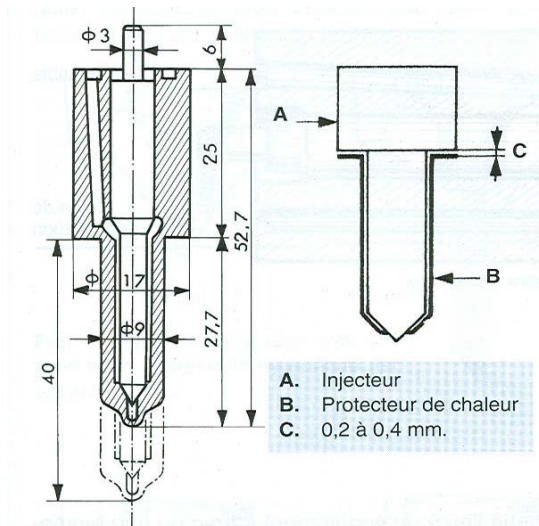
### Injecteurs à trous court type DL



Ce modèle d'injecteur destiné aux moteurs à injection directe a été remplacé sur les moteurs modernes par le modèle long (DLL), moins encombrant et moins exposé aux températures élevées de la combustion.

Fig.13.12. Injecteur Bosch type DL

### Injecteurs à aiguille allongée



Ces injecteurs sont les plus utilisés sur les moteurs à injection directe et le gain de place est important (par exemple lors du montage de l'injecteur entre les soupapes).

Dans certains cas, on cherche à diminuer la surface offerte à l'action des gaz brûlants, afin de réduire l'échauffement de l'injecteur; on monte alors un fourreau "protecteur de chaleur".

Fig.13.13. Injecteur à trous Bosch type DLL avec protecteur de chaleur

#### 3.2.2. Injecteurs à tétons

Ils sont utilisés sur les moteurs à turbulence, car la préparation du mélange combustible est assurée principalement par le tourbillonnement de l'air et facilitée par la forme étudiée du jet d'injection.

La buse est percée d'un trou central de diamètre relativement important  $d = 0.8$  à 3 mm et l'aiguille présente un téton de diamètre légèrement inférieur.

Avec ce dispositif, on obtient un jet conique dont l'angle de dispersion  $\alpha$  dépend de la forme du téton de l'aiguille. En outre, le téton empêche tout dépôt de calamine sur le trou d'injection.

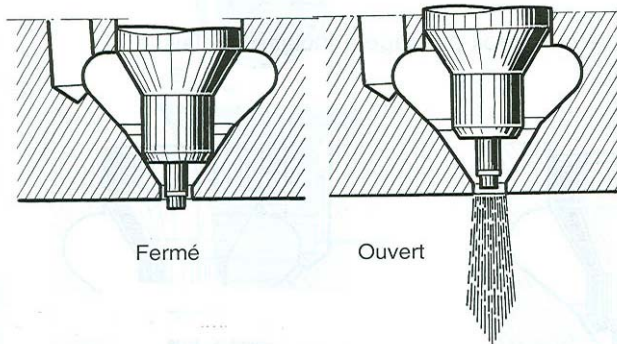


Fig.13.14. Injecteurs à téton à extrémité cylindrique

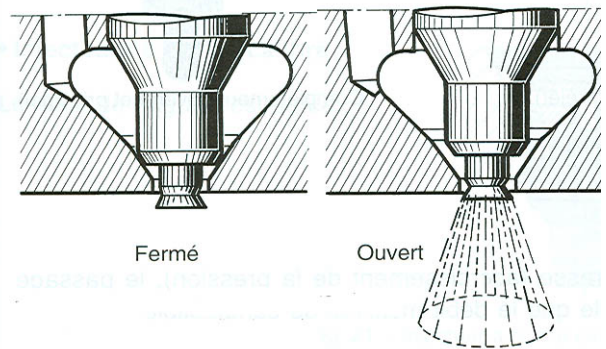


Fig.13.15. Injecteurs à téton à extrémité conique

### 3.2.3. Injecteurs à étranglement

Dans ce type d'injecteur, la forme particulière du téton de l'aiguille et un ressort spécial dans le porte-injecteur permettent d'obtenir une "préinjection".

Au moment de l'ouverture, l'aiguille découvre en premier lieu un étroit passage annulaire qui laisse pénétrer très peu de combustible (effet de l'étranglement).

Au fur et à mesure que le mouvement d'ouverture progresse (accroissement de la pression), le passage s'élargit et ce n'est que vers la fin de la course de l'aiguille que le débit maximal de combustible est injecté.

C'est actuellement le type le plus employé sur les moteurs rapides de faible cylindrée, à injection indirecte.

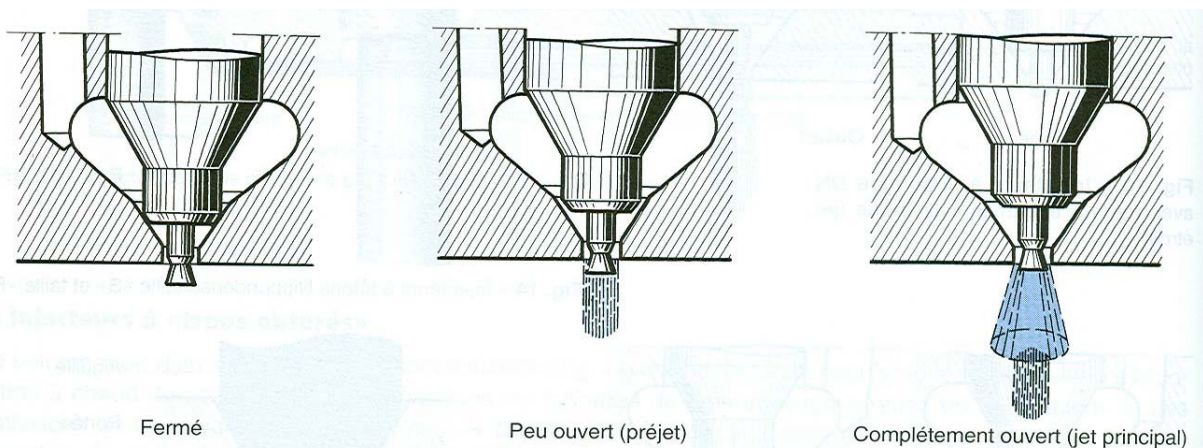
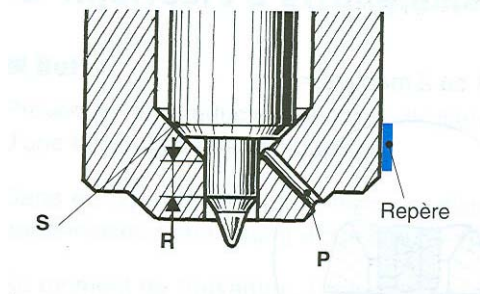


Fig.13.16. Injecteurs à étranglement type DN Bosch à téton conique



### 3.2.4. Injecteurs à trous pilote



C'est un injecteur à téton à grand recouvrement "R", dont la buse est percée d'un trou capillaire oblique "P" qui débouche sous le siège de l'aiguille "S".

Il est utilisé sur des culasses à préchambres.

Fig.13.17. *Injecteur à trou pilote*

#### **Fonctionnement :**

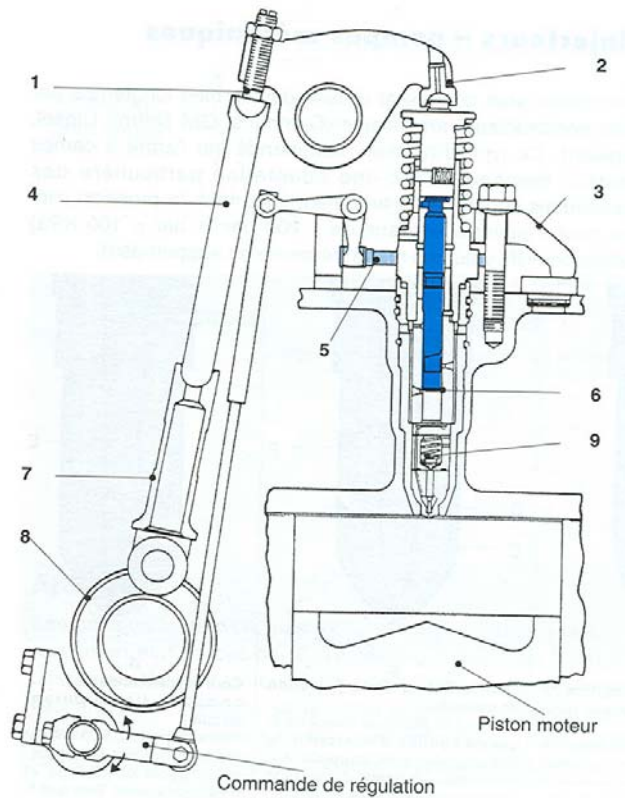
Aux faibles régimes du moteur et surtout à la vitesse d'entraînement du démarreur, l'injecteur se lève lentement et d'une valeur souvent inférieure à sa levée maximale : la plus grande partie du débit a le temps d'être évacuée par le trou pilote, le téton étant encore étanche sur son recouvrement. L'injecteur fonctionne comme un injecteur à trou. Cet injecteur comporte un trait repère qui doit être positionné face au raccord d'arrivée sur le porte-injecteur.

## 4. Injecteurs-pompes et systèmes électroniques

### 4.1. Injecteurs-pompes

#### 4.1.1. Injecteurs-pompes mécaniques

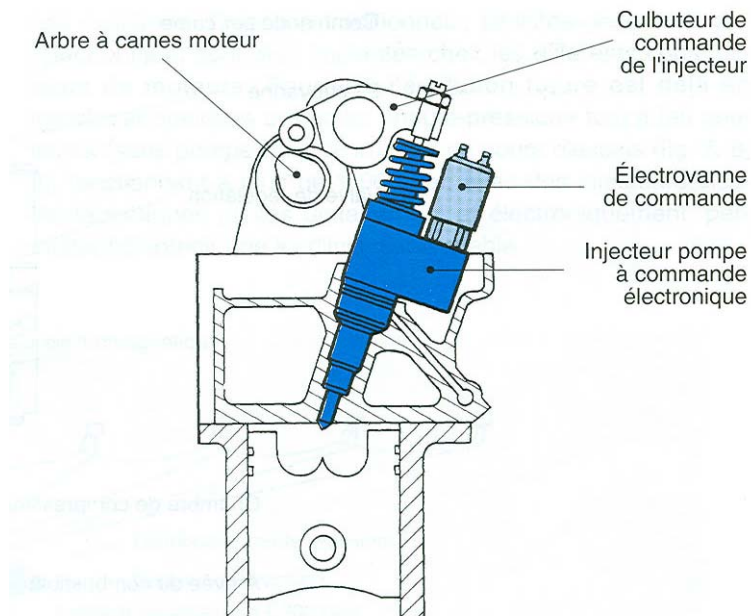
Ces injecteurs sont connus et utilisés depuis bien longtemps par certains constructeurs américains (GM Détroit Diesel, Caterpillar). Ce type d'injection, commandé par l'arbre à cames du moteur demande donc une adaptation particulière des culasses, mais comporte un argument important : la pression d'injection peut s'élever au-dessus de 1200 bars.



1. Vis de réglage
2. Culbuteur
3. Bride de fixation
4. Tige de poussée
5. Crémaillère
6. Élément de refoulement
7. Poussoir à galet
8. Arbre à cames
9. Injecteur

Fig.13.18. *Système d'injecteur-pompe 3500 Caterpillar*

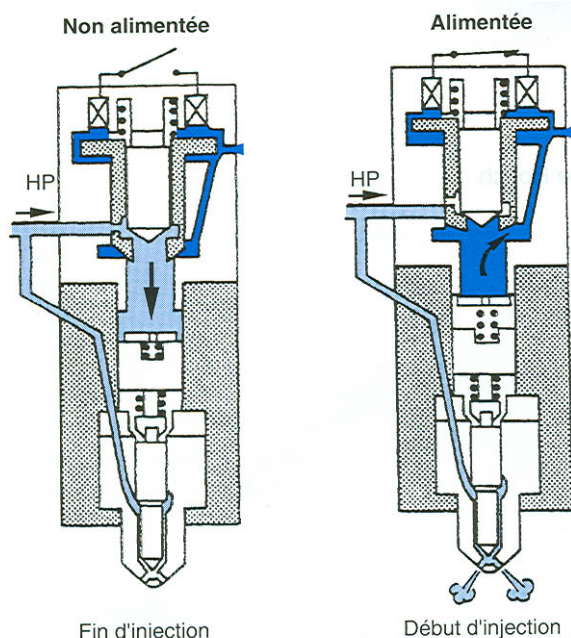
#### 4.1.2. Injecteurs-pompes à commande électronique



La recherche de puissance, liée aux impératifs de dépollution des moteurs diesel nouveaux, demande des pressions d'injection de plus en plus élevées et favorise le développement de ce produit, avec bien entendu non plus un dosage à commande mécanique, mais en pilotant une électrovanne à l'aide d'un système électronique (début, fin, durée, moment d'injection variables à commande unitaire).

*Fig.13.19. Système d'injecteur-pompe à commande électronique*

#### 4.2. Nouveaux systèmes d'injection Diesel



Les systèmes d'injection traditionnels, assistés désormais par l'électronique, sont bien implantés chez les différents constructeurs de moteurs.

Pourtant, l'évolution future est déjà en marche et quelques systèmes "haute pression" tout à fait nouveaux (sans pompe d'injection) sont en cours d'essais, fonctionnant à plus de 1000 bars, avec des injecteurs électromagnétiques pilotés unitairement et électroniquement, permettant d'obtenir une loi d'injection variable.

*Fig.13.20. Fonctionnement d'un injecteur électromagnétique*

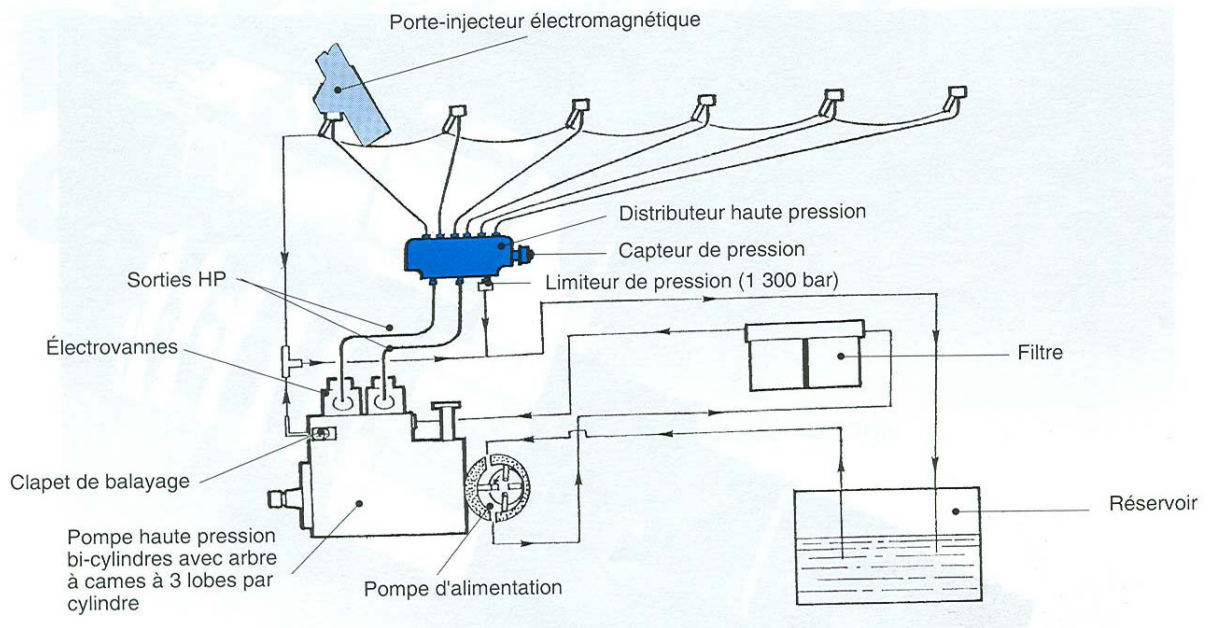


Fig.13.21. Système haute pression Nippondenso