

## Leçon 30 L'injection des moteurs Diesel

*Quelles sont les qualités demandées à l'injection dans un moteur Diesel ?*

Le carburant doit être **parfaitement dosé**. Il doit être soumis à une **pression déterminée** et **pulvérisé** dans des conditions précises : finesse, vitesse de pénétration et forme du jet adaptées au type de moteur. La **répartition des gouttelettes** de carburant doit être uniforme dans toute la chambre.

Le **début d'injection** doit être déclenché à des moments précis, mais **variables en fonction** de la **vitesse de rotation** du moteur.

La **durée d'injection** doit être précise et variable en fonction de la demande.

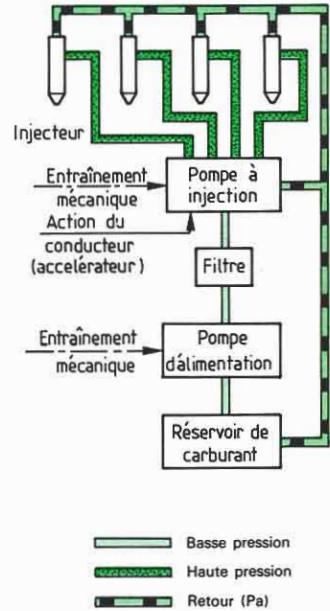


Fig. 30.1. Principe du circuit d'injection.

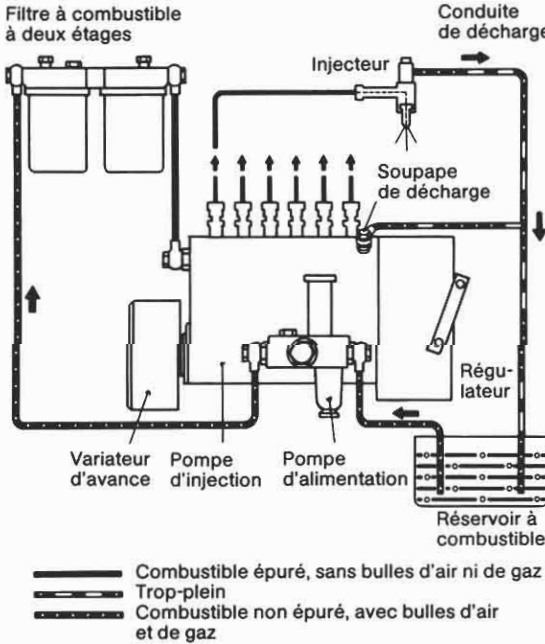


Fig. 30.2. Circuit d'injection (document Bosch).

*Quelles sont les éléments qui permettent la réalisation de ces conditions ?*

L'équipement d'injection comprend :

- un **circuit basse pression** : réservoir, pompe d'alimentation, dispositif de filtrage, canalisations de liaison avec la pompe à injection,
- un **circuit haute pression** : pompe à injection, tubes d'injecteurs et injecteurs,
- un **circuit de retour** au réservoir.

Le gazole contenu dans le **réservoir** est aspiré par une **pompe d'alimentation** ou de préalimentation après un premier **filtrage**. Il est refoulé vers la **pompe à injection** en passant dans une série de **filtres** à finesse progressive.

Le carburant, qui arrive à la pompe à pression moyenne est refoulé vers les **injecteurs** à une pression élevée.

La pompe permet d'alimenter chaque injecteur en respectant l'**ordre d'allumage** du moteur. La **quantité injectée** est soigneusement **dosée** en fonction de diverses conditions : positions de l'accélérateur, vitesse de rotation du moteur.

Le **début d'injection** est déclenché au moment approprié à chaque phase de fonctionnement du moteur.

### Quel est le principe de fonctionnement des injecteurs ?

L'injecteur comporte une **aiguille** dont la **pointe** possède une forme en rapport avec le **type de jet** que l'on veut obtenir.

Cette aiguille est maintenue sur son siège par la poussée d'un **ressort taré** à une valeur précise.

Le carburant venant de la pompe à injection est introduit à la base de l'aiguille.

Lorsque la pression du carburant devient supérieure à celle exercée par le ressort, l'**aiguille se soulève** et l'**injection commence**.

Lorsque la pompe cesse de débiter, la pression devient inférieure à celle du tarage du ressort. L'**aiguille revient sur son siège** ; c'est la **fin d'injection**. La fermeture par l'aiguille évite tout écoulement de carburant après la fin de l'injection.

### Quels sont les principaux types d'injecteurs ?

Chaque type d'injecteur possède des caractéristiques précises en fonction du type de moteur sur lequel il est monté :

- **pression de tarage,**
- **forme du jet,**
- **direction du jet.**

On peut citer : l'**injection directe** : injecteurs à trous (fig. 30.3) ; l'**injection indirecte** : injecteurs à tétons (fig. 30.4).

### Quels sont les types de pompes à injection les plus couramment utilisées ?

On rencontre deux grandes familles de pompes à injection :

- **les pompes en ligne** qui comportent un **piston par injecteur** à alimenter, les pistons sont actionnés par un arbre de pompe à cames,

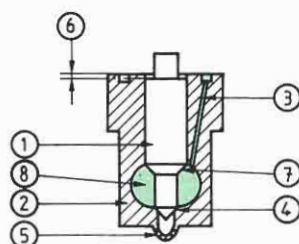


Fig. 30.3. Injecteur à trous.

1. Aiguille.
2. Corps d'injecteur.
3. Canal d'arrivée du combustible.
4. Siège d'aiguille ou cône d'échantéité.
5. Trous de pulvérisation.
6. Levée d'aiguille.
7. Cône de soulèvement de l'aiguille.
8. Chambre de pression.

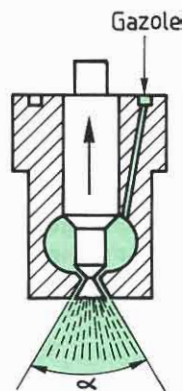
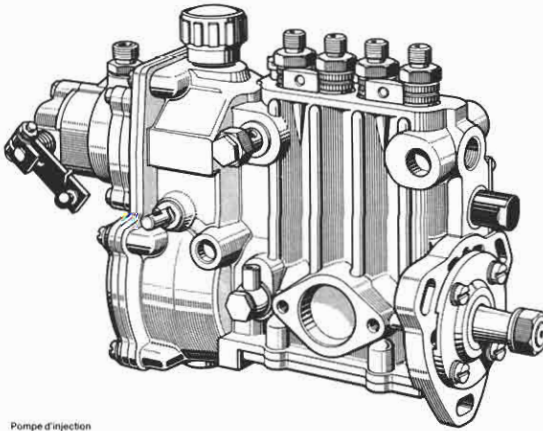


Fig. 30.4. Injecteur à téton.

$\alpha$  = angle de diffusion.



Pompe d'injection

Fig. 30.5 (a). Pompe d'injection en ligne (document Bosch).

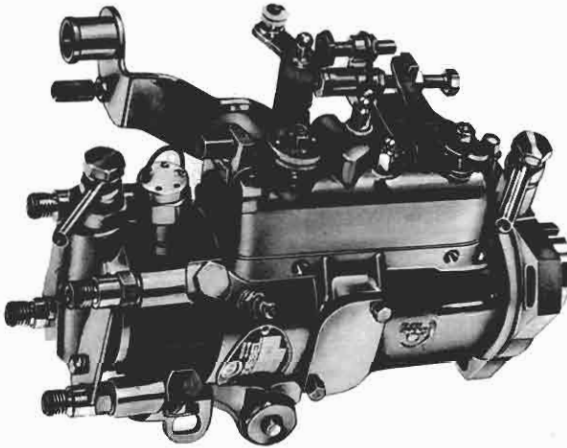


Fig. 30.5 (b). Pompe d'injection à piston unique appelée pompe rotative (document Citroën).

- **les pompes rotatives** dont la **tête hydraulique** comporte **un seul piston commandant successivement tous les injecteurs.**

Dans tous les cas, ces pompes doivent comporter :

- **un régulateur de pression,**
- **un dispositif de variation de débit** commandé en parallèle par l'accélérateur et par un régulateur,
- **un dispositif d'avance à l'injection** automatique.

*Quel est le principe de fonctionnement d'une unité de pompage de pompe en ligne ?*

Chaque élément permet l'alimentation d'un injecteur. Le piston est actionné par une des cames de l'arbre de pompe.

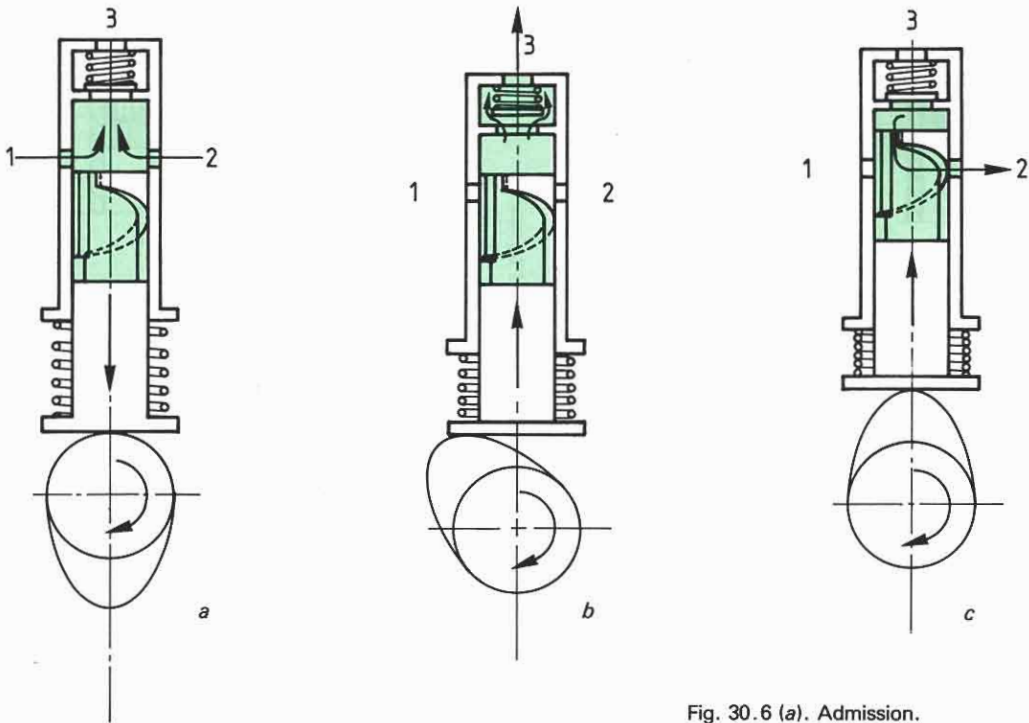


Fig. 30.6 (a). Admission.  
(b). Début d'injection.  
(c). Fin d'injection.

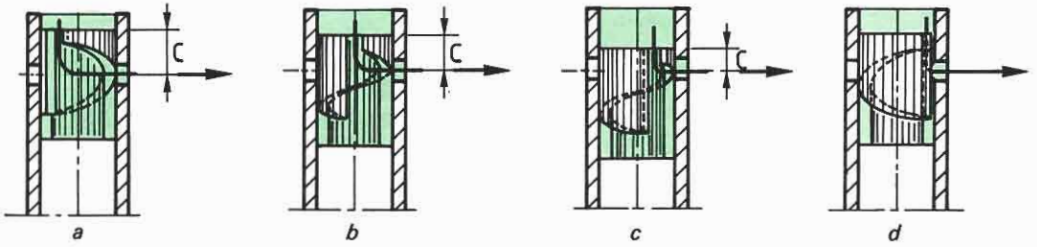
**Première phase : admission.** Le clapet de refoulement est fermé, le piston descend. Le carburant commence à pénétrer dès que le piston découvre les orifices latéraux 1 et 2. L'admission est terminée lorsque le piston est au P.M.B.

**Deuxième phase : début d'injection.** Le piston monte, les orifices 1 et 2 sont obturés. La pression du carburant augmente et permet l'ouverture du clapet de refoulement. Le carburant se dirige vers l'injecteur qui effectue sa pulvérisation.

**Troisième phase : fin d'injection.** Le piston continue sa course ascendante. L'injection cessera dès que la rampe hélicoïdale permettra la communication entre la chambre sous pression et l'orifice 2.

*Comment obtient-on les variations de débit dans ce type de pompe ?*

Une crémaillère liée mécaniquement à la pédale d'accélérateur ainsi qu'au régulateur, permet le **pivotement partiel du piston** sur lui-même. Cette disposition permet à la rampe hélicoïdale du piston de **découvrir plus ou moins tôt** l'orifice d'admission. La fuite ainsi créée fait chuter la pression d'injection.



*Quel est le principe de fonctionnement des pompes rotatives ?*

Ces pompes ne comportent en général qu'un seul élément de pompage. La rotation continue du piston sur lui-même permet d'alimenter successivement chacun des cylindres dans l'ordre d'allumage. Le piston de ces pompes est donc animé simultanément d'un mouvement de rotation et d'un mouvement rectiligne alternatif.

**Exemple de fonctionnement** (document Bosch, figure 30.9) :

**a) Première phase : admission.** Le piston dans son mouvement de recul découvre l'orifice d'admission qui se situe à ce moment face à une rainure pratiquée dans la tête du piston. Il y a autant de rainures que de cylindres à alimenter.

**b) Deuxième phase : injection.** Le piston avant tout en décrivant un mouvement de rotation. La rainure de tête n'est plus en face de l'orifice d'admission. Par contre la rainure de refoulement se trouve en communication avec la canalisation d'un injecteur. Le piston en avançant refoule le gazole sous pression vers l'injecteur en passant par un clapet anti-retour.

**c) Troisième phase : fin d'injection.** Le piston continue sa course. L'injection continue de se produire jusqu'à ce que le manchon de fin d'injection mette le piston en position de fuite par le canal pratiqué en son centre.

Fig. 30.7 (a). Plein débit.  
(b). Débit moyen.  
(c). Ralenti  
(d). Stop.

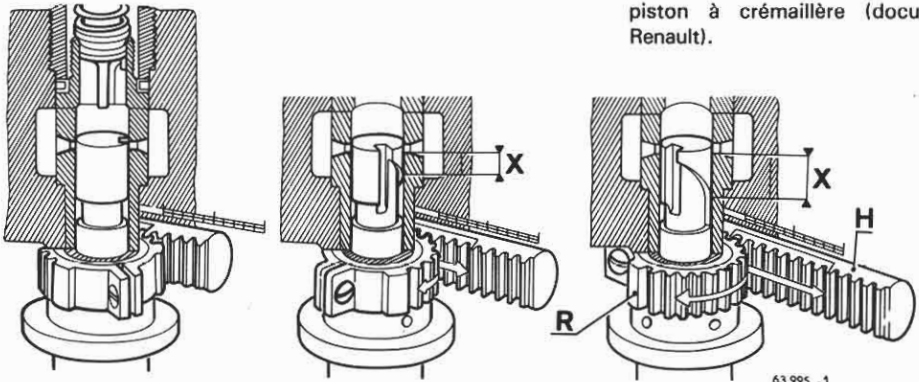


Fig. 30.8. Dispositif de rotation du piston à crémaillère (document Renault).

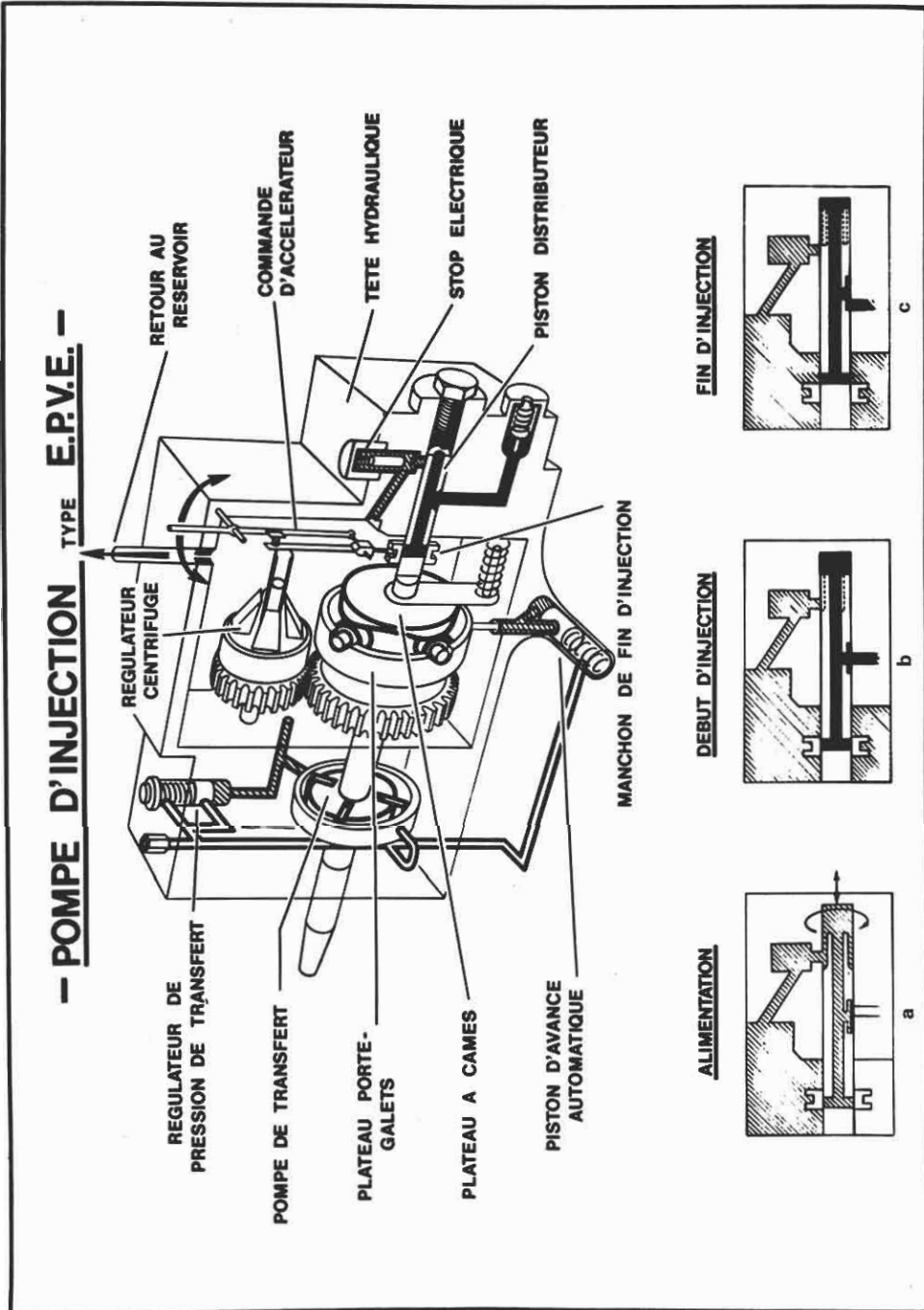


Fig. 30.9. (Document Bosch.)

Les **variations de charge du moteur** (accélérations) sont réalisées par le déplacement du manchon de fin d'injection.

Ce manchon est commandé en parallèle :

- par la **pédale d'accélérateur**,
- par le **régulateur centrifuge** permettant le contrôle permanent du régime moteur.

L'**avance à l'injection** proportionnelle au régime du moteur est possible grâce au déplacement angulaire du **plateau porte-galets**, lui-même actionné par le **piston d'avance automatique**.

La **commande de stop** est réalisée par coupure de l'arrivée de carburant grâce à une électrovanne commandée par la clé de contact.

Dans les deux exemples étudiés, nous voyons que les variations de débit sont obtenues en agissant sur la fin d'injection. D'autres types de pompes font varier le débit d'injection.

#### Comment le départ à froid est-il réalisé ?

Lorsque le moteur ne permet pas un démarrage instantané (injection directe), il est nécessaire de doter chaque cylindre d'une **bougie de préchauffage**.

Les bougies de préchauffage sont des **résistances électriques** branchées entre elles **en série ou en parallèle** selon le cas.

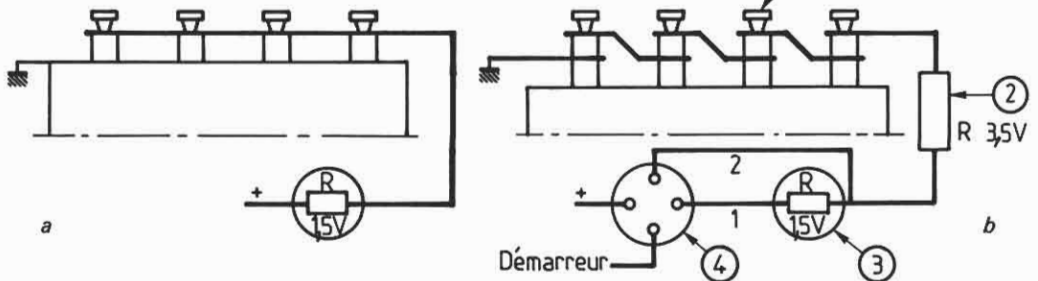
Leur mise en action permet d'échauffer les molécules d'air et de carburant. Leur inflammation est facilitée en évitant la condensation du carburant sur les parois froides de la préchambre.

Le temps de préchauffage nécessaire est indiqué par un témoin au tableau de bord.

#### Principe de fonctionnement d'un préchauffage manuel.

**Premier temps :** Les bougies sont alimentées en passant par la résistance du tableau de bord.

**Deuxième temps :** La résistance témoin est rouge. Le démarreur est actionné et les bougies sont alimentées sans passer par la résistance témoin.



B.14.11

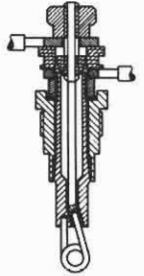


Fig. 30.10. Bougie de préchauffage.

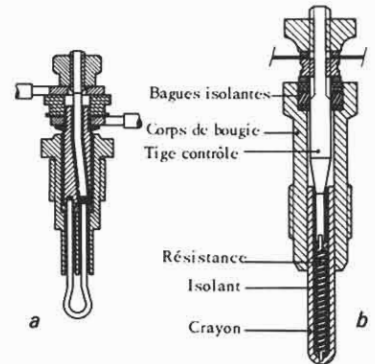


Fig. 30.11. (a) Bougie bipolaire pour montage en série.

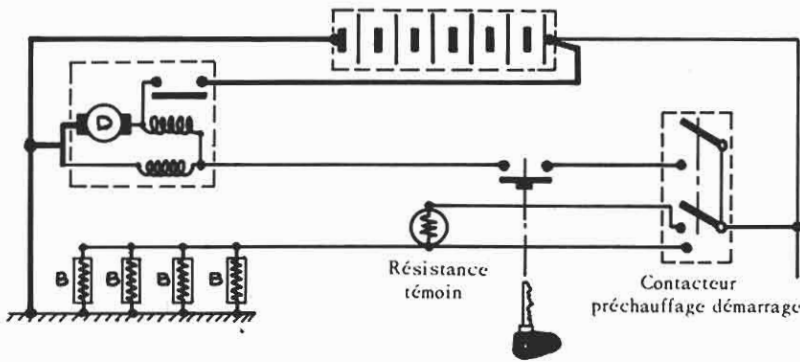
(b) Bougie unipolaire pour montage en parallèle.

Fig. 30.12. (a) Branchement en parallèle.

(b) Branchement en série.

1. Bougie bipolaire.
2. Résistance d'appoint.
3. Résistance témoin de tableau de bord.
4. Combiné de démarrage.

## Commande manuelle des bougies de préchauffage :

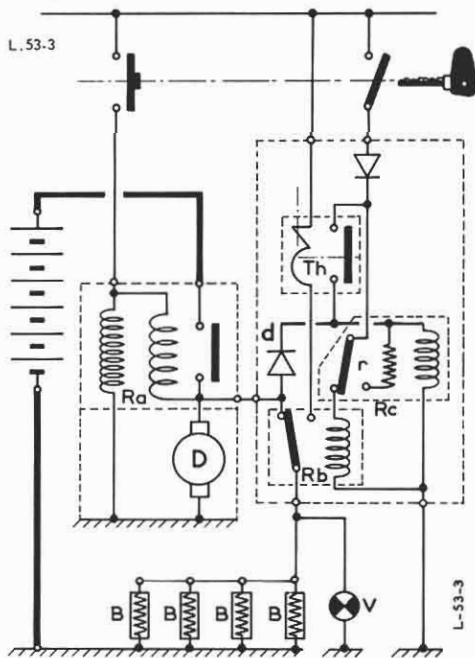


Lorsqu'on alimente le démarreur, la résistance témoin est court-circuitée. En effet lorsque le démarreur fonctionne la chute de tension aux bornes de la batterie est importante. Pour conserver une intensité suffisante aux bougies, il est nécessaire de diminuer la résistance de l'ensemble du circuit de préchauffage. Dans ce but le contact préchauffage démarrage se fait en deux temps.

**1er temps :** Les bougies sont alimentées en passant par le voyant de préchauffage.

**2ème temps :** Le relais du démarreur est alimenté ainsi que les bougies de préchauffage mais cette fois-ci en court-circuitant le voyant de préchauffage.

## Commande automatique des bougies de préchauffage :



## Démarrage avec préchauffage :

- Mettre le contact.

La bobine du relais «Rb» alimentée, établit le courant dans les bougies B à travers la bilame «Th»; le voyant V s'allume.

Après un temps variable de chauffage en fonction de la température ambiante (40 à 70 s à 20° C, 90 à 120 s à - 15° C), la bilame «Th» ferme son contact; la bobine du relais «Rc» alimentée coupe celle du relais «Rb»; les bougies ne chauffent plus et le voyant s'éteint.

- Actionner la clé «Position démarrage».

Le solénoïde «Ra» excité alimente le démarreur et les bougies de préchauffage.

Le voyant s'allume de nouveau.

## Démarrage sans préchauffage :

Le solénoïde «Ra» excité immédiatement après la mise sous tension du boîtier de préchauffage alimente le démarreur et le relais «Rc» à travers la diode «d»; le voyant V s'allume.

Le relais «Rc» neutralise la temporisation de «Th». Les bougies chauffent que lorsque le démarreur tourne.

Fig. 30. 12. (Document Citroën.)

## Leçon 31

### Variations d'avance et régulation de l'injection dans les moteurs Diesel.

*Quels sont les types d'avance à l'injection nécessaires au fonctionnement des moteurs Diesel ?*

Nous avons défini deux types d'avance à l'injection :

- **avance initiale** — calage statique angulaire de la pompe d'injection,
- **avance automatique** proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur.

*Comment l'avance automatique est-elle réalisée ?*

Le dispositif comprend :

- un **élément de détection sensible à la vitesse de rotation**,
- un **élément de commande agissant sur le début d'injection**.

*Quels sont les éléments de détection de vitesse utilisés ?*

On utilise :

- l'action de la **force centrifuge** sur des masselottes (avance mécanique) ;
- action de la **pression du combustible** sur un vérin hydraulique (avance hydraulique).

*Comment la variation d'avance se produit-elle ?*

Le dispositif de détection mécanique ou hydraulique peut agir :

- par **décalage angulaire** progressif de l'arbre à cames de pompe (pompes en ligne),
- par décalage angulaire du plateau à cames (pompes à piston rotatif).

*Comment contrôle-t-on la vitesse de rotation du moteur et sa charge ?*

La vitesse de rotation du moteur et sa charge sont contrôlées :

- par le conducteur dans son action sur l'**accélérateur**,
- par le **régulateur** agissant en **parallèle** avec l'accélérateur.

Ces deux éléments agissent en commun sur un dispositif de commande de début ou de fin d'injection.

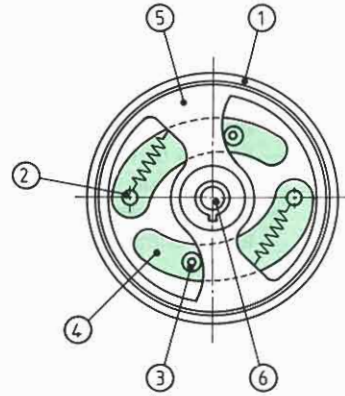


Fig. 31.1. Élément de détection mécanique sensible à la vitesse de rotation.

1. Boîtier solide de l'arbre d'entrée de pompe actionnée par le moteur.

2. Axe des masselottes solidaires du boîtier.

3. Galet.

4. Masselotte.

5. Boisseau d'avance.

6. Entraînement de l'arbre à cames de la pompe.

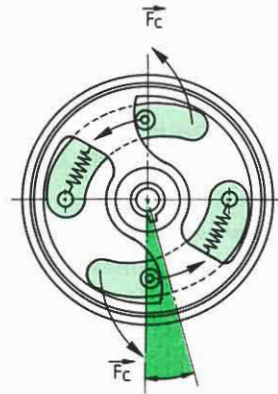


Fig. 31.2. Masselottes développées boisseau d'avance décalé angulairement.

### Comment la régulation est-elle réalisée ?

Le dispositif comprend :

- un **élément de détection, sensible au régime du moteur** ;
- un **élément de liaison** avec le système de réglage de débit du combustible.

### Quels sont les dispositifs de détection utilisés ?

On utilise :

- l'action de la **force centrifuge** sur des masselottes ; régulateur mécanique,
- l'action de la **pression du combustible** sur un vérin hydraulique ; régulateur hydraulique,
- l'action de la **pression de l'air** régnant dans la tubulure d'admission ; régulateur pneumatique.

### Quelles sont les fonctions à remplir par les régulateurs ?

Les régulateurs peuvent avoir plusieurs types d'actions :

- **limitation du régime maximal** du moteur ; régulateur « maxi » ;
- **contrôle précis du régime de ralenti** et de la **vitesse maximale** ; régulateur mini-maxi,
- **stabilité permanente** du régime quelle que soit la charge du moteur ; régulateur « toutes vitesses ».

### Quel est le principe de fonctionnement d'un régulateur mécanique de vitesse maximale ?

Les **masselottes** sont maintenues en position de repos par des **ressorts** dont la force est en rapport avec la **force centrifuge** acquise par les masselottes au moment du régime maximal du moteur.

Lorsque ce régime est atteint, la force des masselottes devient supérieure à la force de retenue des ressorts.

Les **masselottes se déplacent** vers l'extérieur et entraînent avec elles le mécanisme de **commande de débit** vers la position « stop ».

Dès que le moteur ralentit, les ressorts ramènent les masselottes permettant l'augmentation de débit du combustible.

### Comment un régulateur mini-maxi fonctionne-t-il ?

Les masselottes sont maintenues en position de repos par deux sortes de ressorts :

- **ressorts faibles** pour le **contrôle du ralenti**,
- **ressorts puissants** pour la **vitesse maximale**.

Lorsque le conducteur relâche l'accélérateur, les masselottes ne reviennent pas en position de repos car il suffit d'une faible vitesse de rotation pour vaincre la force des ressorts de ralenti.

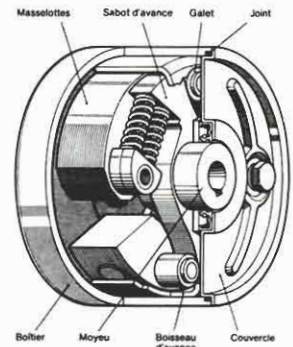


Fig. 31.3. Variation d'avance automatique (document Bosch).

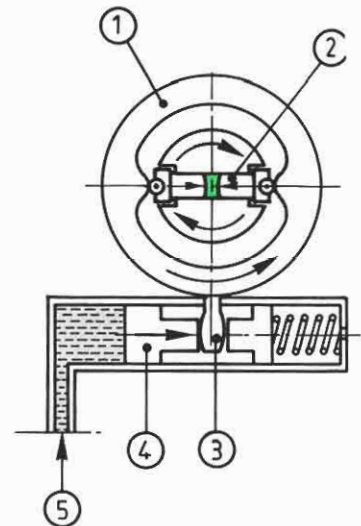


Fig. 31.4. Détecteur hydraulique : décalage angulaire de l'anneau à cames.

1. Anneau à cames.
2. Pistons de pompage haute pression.
3. Commande d'avance de l'anneau à cames.
4. Piston du vérin hydraulique.
5. Pression d'alimentation.

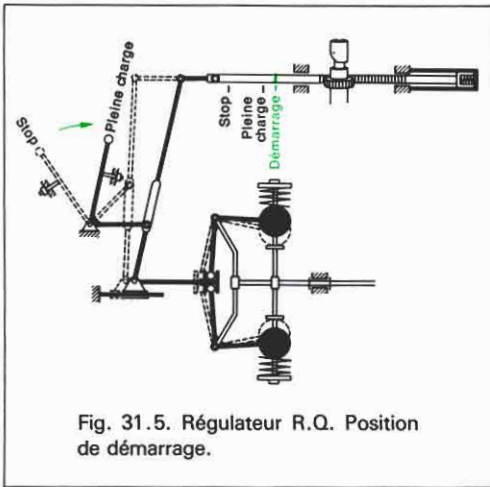


Fig. 31.5. Régulateur R.Q. Position de démarrage.

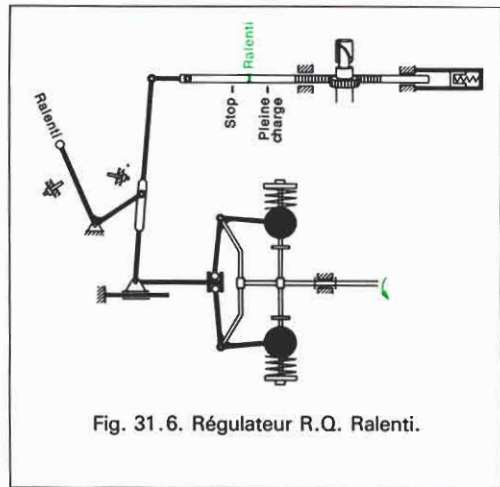


Fig. 31.6. Régulateur R.Q. Ralenti.

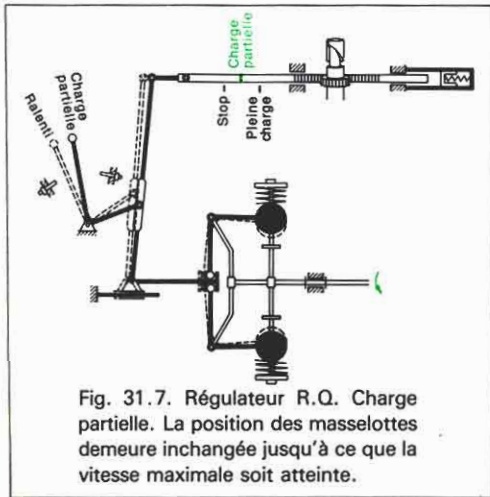


Fig. 31.7. Régulateur R.Q. Charge partielle. La position des masselottes demeure inchangée jusqu'à ce que la vitesse maximale soit atteinte.

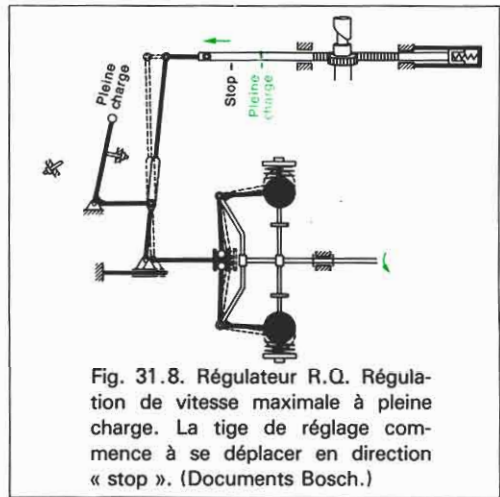


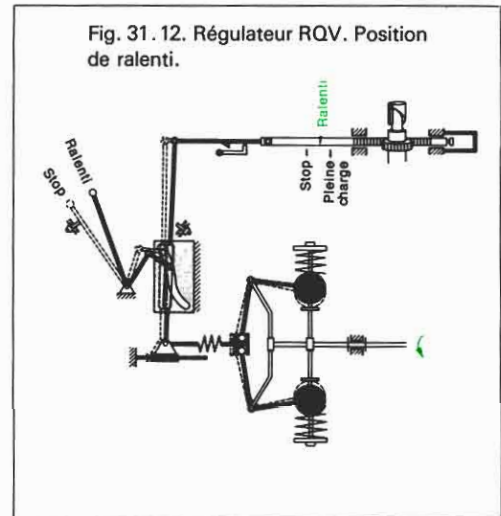
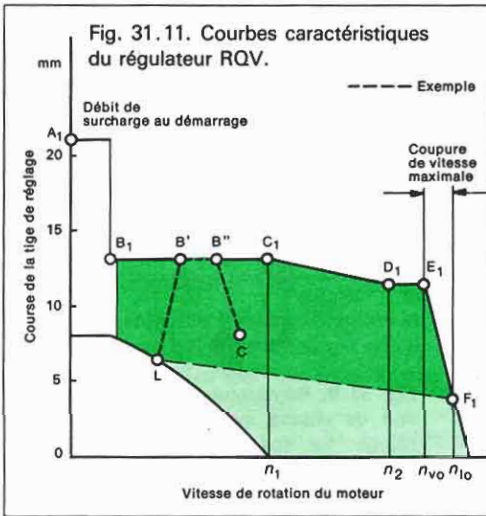
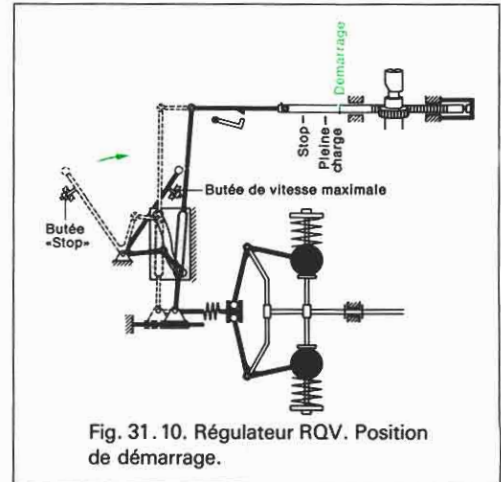
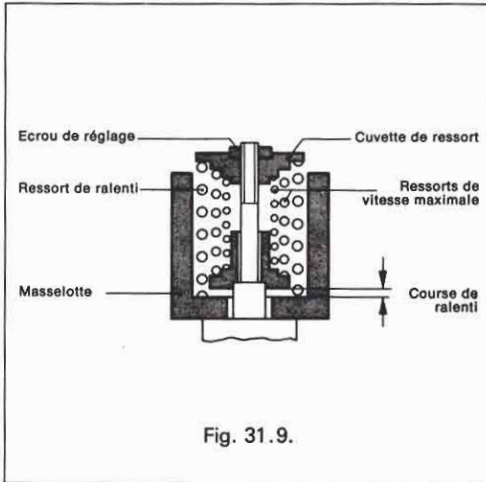
Fig. 31.8. Régulateur R.Q. Régulation de vitesse maximale à pleine charge. La tige de réglage commence à se déplacer en direction « stop ».

Si le régime de ralenti diminue, les **masselottes reviennent** vers le centre de rotation et provoquent le déplacement du levier vers la **position pleine charge**. Dès que le régime correct de ralenti est atteint le débit diminue de nouveau.

La régulation du régime maximal est effectuée d'une manière identique à celle du régulateur « maxi » étudié plus haut, grâce à l'action des ressorts plus puissants.

*Quel est le principe de fonctionnement d'un régulateur pneumatique ?*

L'élément de commande est une **capsule à dépression** agissant sur la tige de débit de la pompe. L'élément



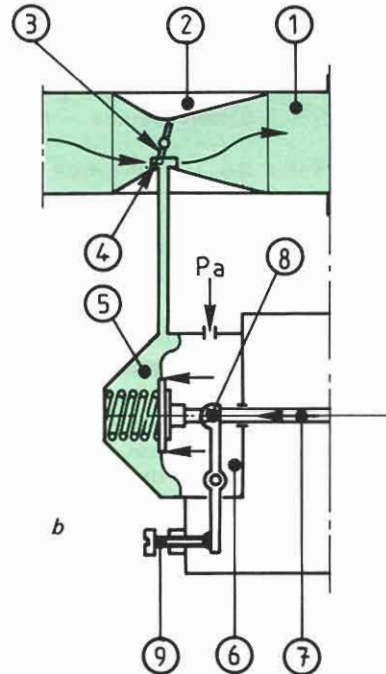
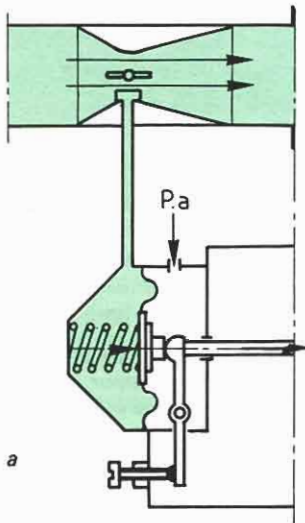
détecteur se compose d'un **venturi à papillon** placé dans la **tubulure d'admission** et d'une canalisation assurant la liaison entre le venturi et la capsule à dépression.

Lorsque le moteur tourne, la dépression qui règne au col du venturi est communiquée à une des deux chambres de la capsule à dépression, l'autre étant soumise en permanence à la pression atmosphérique.

**Si la vitesse de l'air augmente au venturi, la dépression augmente** et la différence de pression entre les deux chambres de la capsule devient suffisante pour **attirer la membrane en comprimant le ressort**.

La tige de réglage de débit étant liée mécaniquement avec la membrane, il s'ensuit un déplacement de la tige vers la position stop.

Conditions de fonctionnement	Position du papillon	Vitesse de l'air au venturi	Position de la membrane	Réglage du débit
moteur arrêté	fermé	nulle	avancée, poussée par le ressort	position pleine charge
ralenti	entrebâillé	moyenne	reculée, ressort moyennement comprimé	position de ralenti
le régime de ralenti augmente	toujours la même	augmente	recul plus important	vers la position stop
accélération	grand ouvert	diminue	avance repoussée par le ressort	vers pleine charge
vitesse désirée dépassée ou vitesse maximale dépassée	ouvert	augmente	recule	vers la position stop



Nous constatons que ce régulateur assure le contrôle du ralenti, des vitesses intermédiaires et de la vitesse maximale.

Nous dirons qu'il s'agit d'un **régulateur pneumatique toutes vitesses**.

*Le régulateur est-il indispensable sur les moteurs Diesel ?*

Le régulateur permet :

- de maintenir un **régime de ralenti constant** quelle que soit la température du moteur,
- **d'éviter l'autodestruction** du moteur par emballement.

Fig. 31. 13. Régulateur pneumatique. Position papillon ouvert (a) et papillon fermé (b), tige de réglage en position ralenti.

1. Tubulure d'admission.
2. Venturi.
3. Papillon d'air.
4. Capteur de la dépression.
5. Chambre de dépression.
6. Chambre à pression atmosphérique.
7. Tige de réglage de débit.
8. Butée de pleine charge.
9. Réglage de pleine charge.