

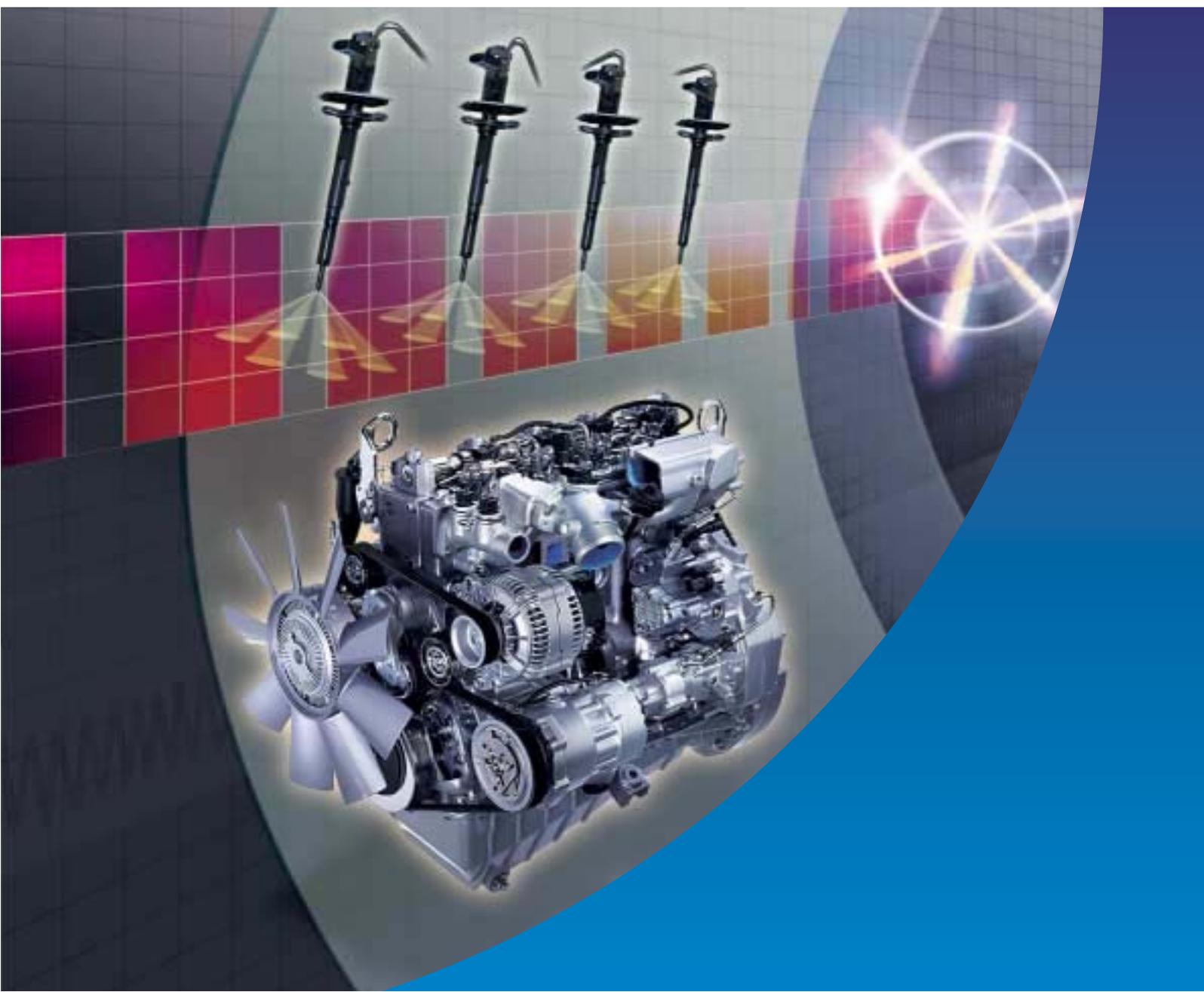
Service.



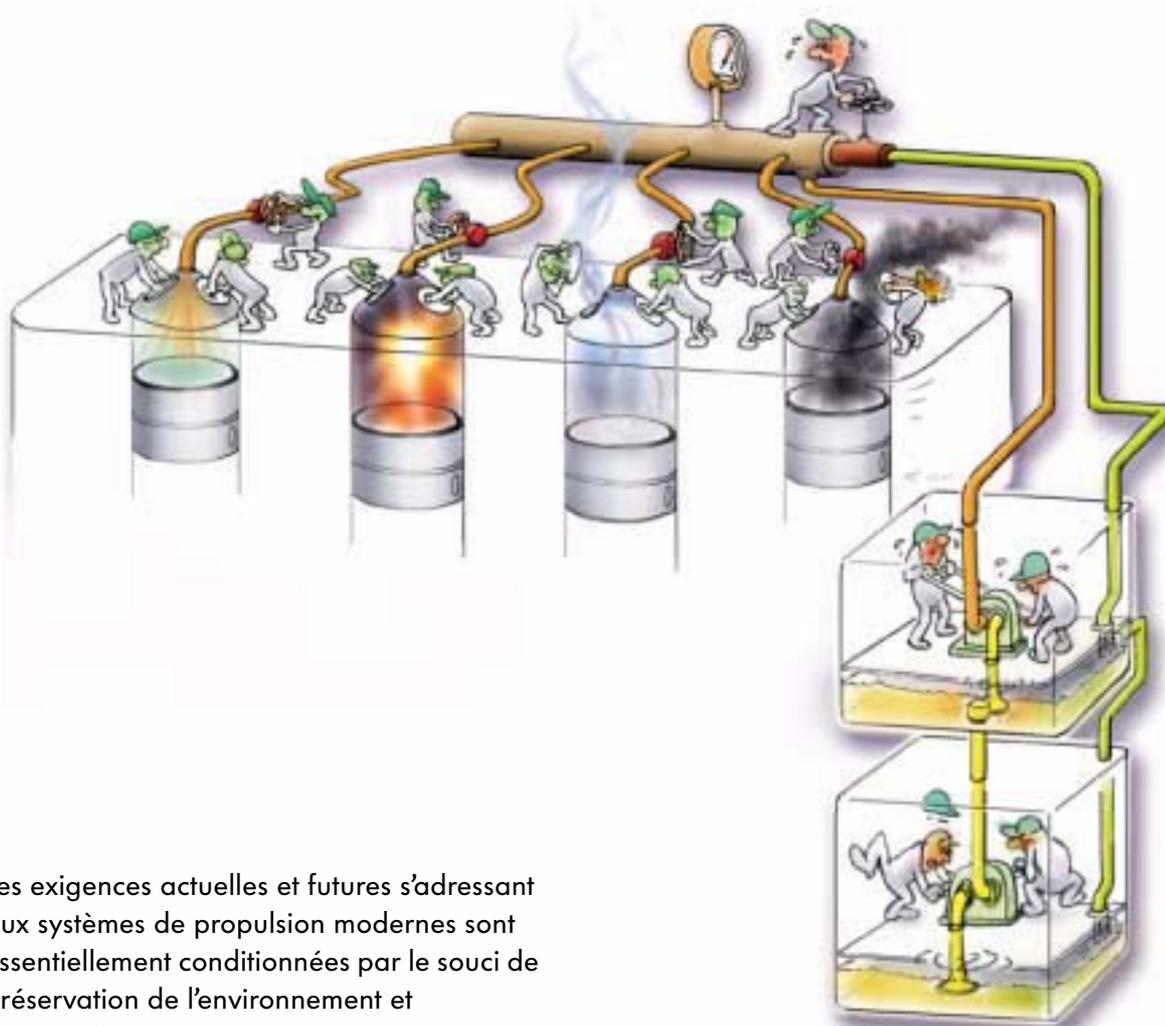
**Programme autodidactique 266**

# **Moteur TDI de 2,8 l avec système d'injection Common Rail**

Conception et fonctionnement



## Système d'injection Common Rail



266\_059

Les exigences actuelles et futures s'adressant aux systèmes de propulsion modernes sont essentiellement conditionnées par le souci de préservation de l'environnement et l'économie.

Ces exigences prennent de plus en plus d'importance vu la proportion croissante de véhicules diesel.

Avec les systèmes à régulation mécanique utilisés jusqu'à présent, les exigences de réduction de la consommation, de dépollution des gaz d'échappement et de silence de fonctionnement du moteur ne pouvaient être remplies que dans certaines conditions.

On requiert pour cela de très hautes pressions d'injection, des cycles d'injection précis ainsi qu'un débit d'injection dosé avec une grande exactitude.

Ces exigences sont satisfaites par le système d'injection Common Rail, qui équipe le moteur TDI de 2,8 l du LT2 VW.

Vous trouverez dans ce Programme autodidactique une description du système et des modifications qu'il a fallu apporter au moteur de base.

NOUVEAU



Attention  
Nota

**Le programme autodidactique vous informe sur la conception et le fonctionnement des innovations techniques!**  
**Les contenus ne sont pas réactualisés.**

Pour les instructions de contrôle, de réglage et de réparation, veuillez vous reporter à la documentation Service après-vente prévue à cet effet.



**Introduction . . . . .4**



**Mécanique moteur . . . . .6**



**Système d'injection Common Rail . . . . .15**



**Gestion du moteur . . . . .32**



**Fonctions supplémentaires. . . . .50**



**Contrôle des connaissances. . . . .54**



# Introduction



Le moteur turbodiesel de 2,8 l à pompe d'injection distributrice (lettres-repères du moteur AGK/ATA) est maintenant doté d'un système d'injection Common Rail moderne. Cela a nécessité quelques modifications et adaptations sur le moteur. Ce moteur porte les lettres-repères AUH.



266\_033



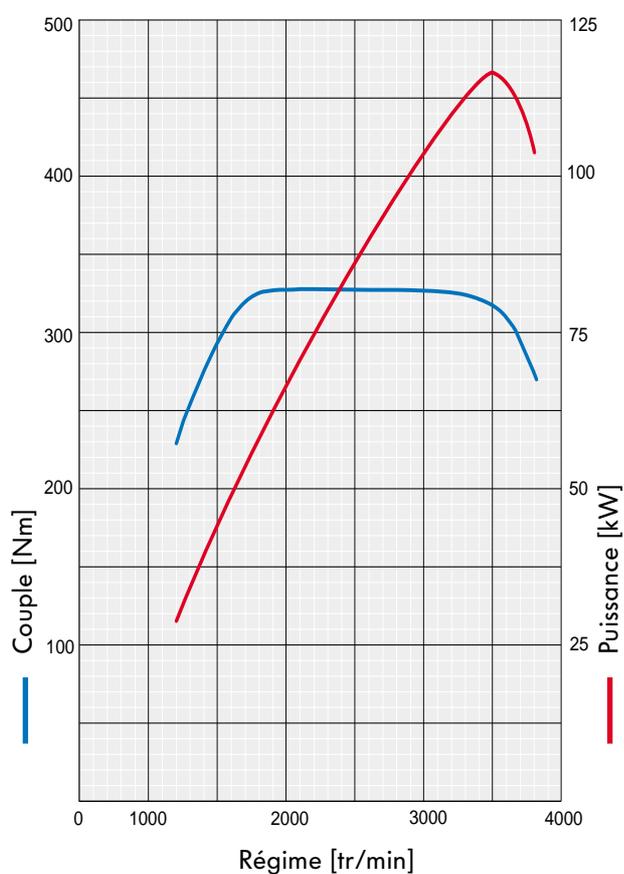
Les personnes porteuses d'un stimulateur cardiaque sont priées de ne pas se pencher au-dessus du compartiment-moteur avec le moteur tournant, étant donné que les injecteurs sont pilotés à une fréquence de 100 Hz.

## Caractéristiques techniques

Lettres-repères du moteur	AUH
Type	Moteur diesel à quatre cylindres en ligne suralimenté par turbocompresseur
Cylindrée	2798 cm <sup>3</sup>
Puissance maximale	116 kW (158 ch) à 3500 tr/min
Alésage	93 mm
Course	103 mm
Rapport de compression	18,5 : 1
Couple maximal	331 Nm à 1800 ... 3000 tr/min
Gestion du moteur	Injection directe par système d'injection Common Rail avec pompe à haute pression Bosch CP 3.3
Système de suralimentation	Turbocompresseur variable à refroidissement de l'air de suralimentation
Carburant	Gazole de CN 49 min. ou EMC (ester méthylique de colza = biogazole)
Norme de dépollution	EU 3



Diagramme de puissance et de couple



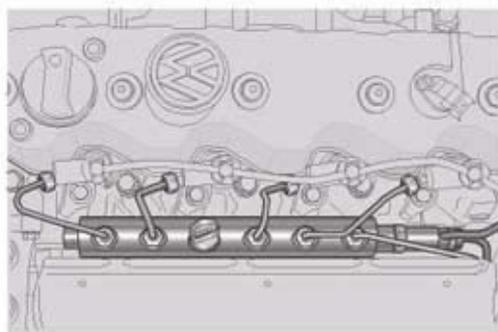
266\_003

# Mécanique moteur

## Modifications par rapport au moteur TDI de 2,8 l (AGK/ATA)

L'équipement du moteur avec un système d'injection Common Rail a nécessité des modifications et adaptations sur l'ancien moteur.

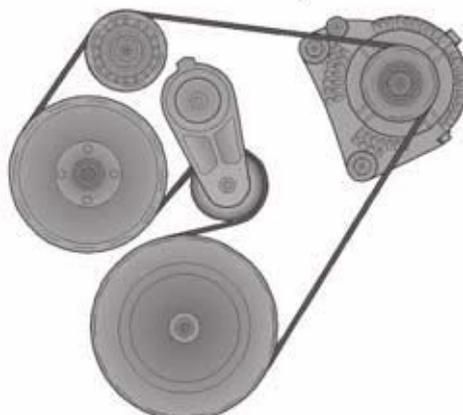
Les principales modifications sont:



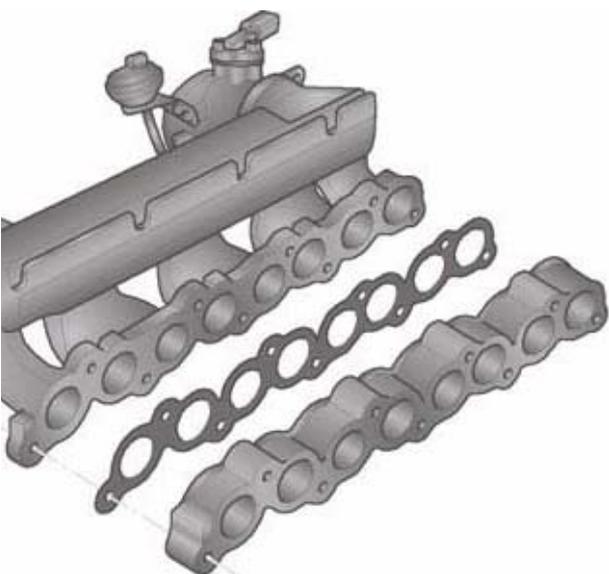
Distribution du carburant via une rampe (rail)



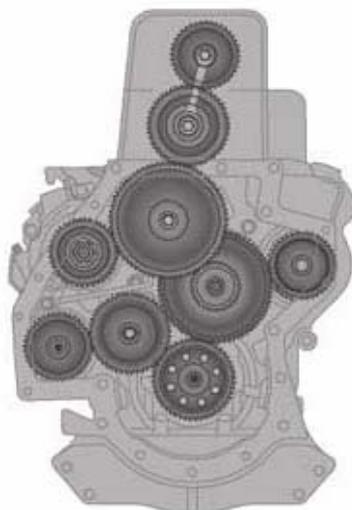
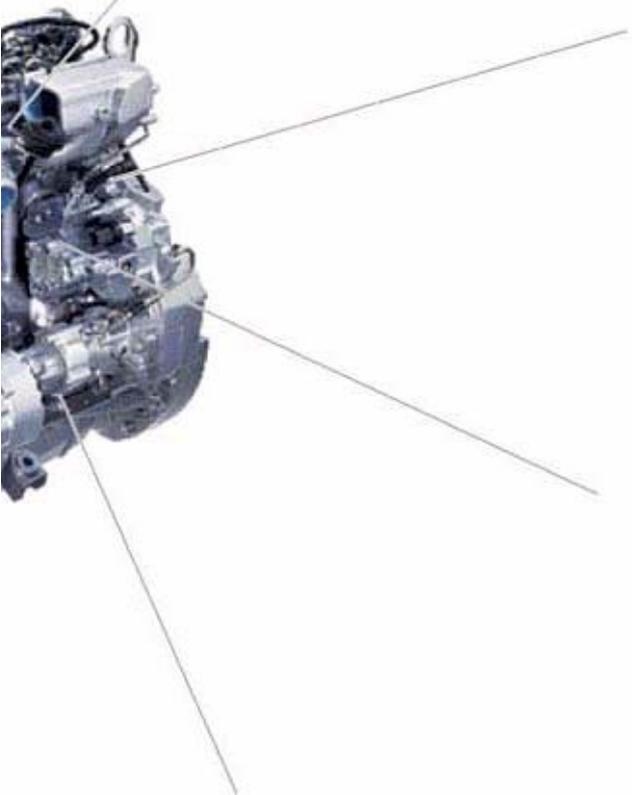
Turbocompresseur variable



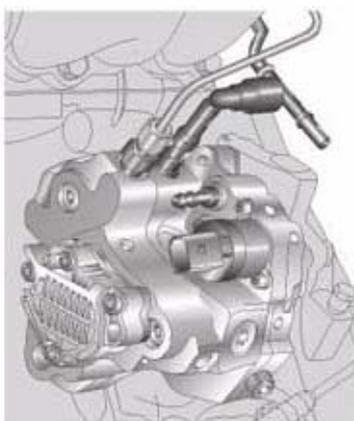
Commande par courroie optimisée



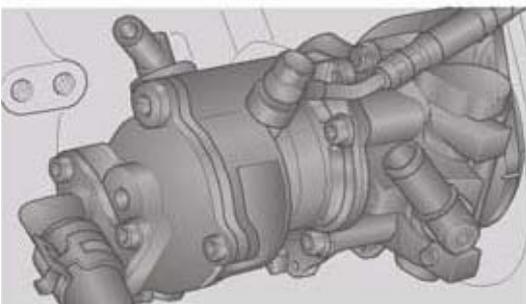
Flasque intermédiaire entre collecteur d'admission et culasse



Commande de la distribution adaptée avec pignons modifiés



Pompe à haute pression du système d'injection Common Rail



Pompe hydraulique et pompe à dépression regroupées en une unité commune

266\_087



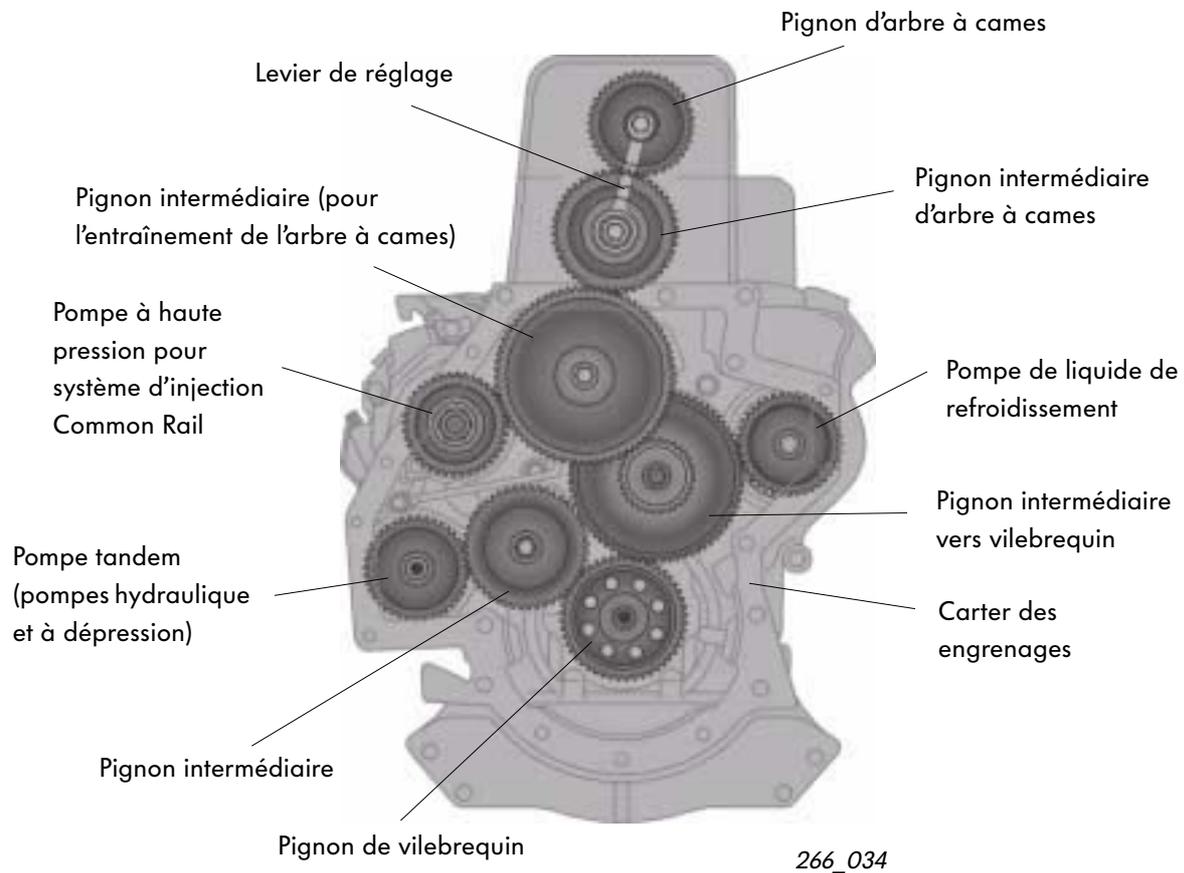
# Mécanique moteur

## Organes de distribution

L'entraînement de l'arbre à cames est assuré via des pignons intermédiaires par le vilebrequin.

La pompe de liquide de refroidissement, la pompe à haute pression du système Common Rail et la pompe tandem (pompe hydraulique et pompe à dépression) sont également commandées par des pignons intermédiaires.

Tous les pignons sont à denture oblique de  $3^\circ$ . Cela se traduit, en comparaison de l'ancien moteur (denture oblique de  $15^\circ$ ) par une nette réduction des forces axiales engendrées.

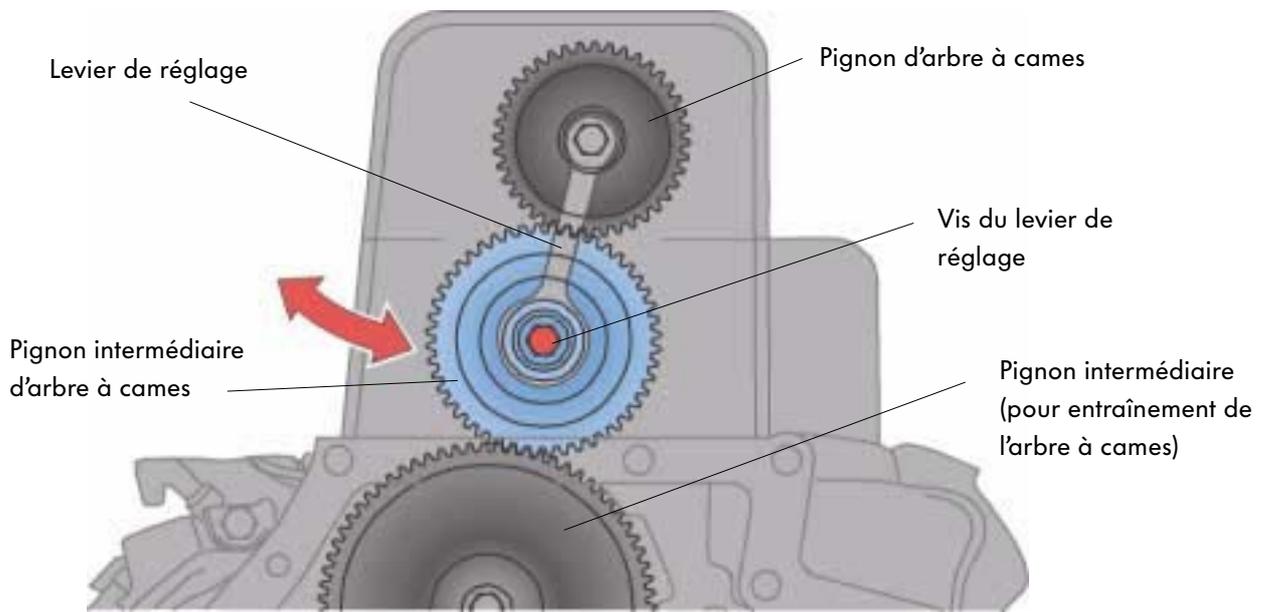


Le cylindre 1 se trouve côté volant-moteur, qui est le côté de commande du moteur.

## Réglage du jeu d'entre-dents

Le jeu d'entre-dents du pignon intermédiaire d'arbre à cames est réglable.

Sur tous les autres pignons, il est uniquement possible de contrôler le jeu d'entre-dents.



266\_068

Lorsqu'un contrôle du jeu d'entre-dents est nécessaire, il faut d'abord contrôler le jeu d'entre-dents entre le pignon intermédiaire (pour entraînement de l'arbre à cames) et le pignon intermédiaire d'arbre à cames.

On peut alors passer au contrôle du jeu d'entre-dents entre le pignon intermédiaire d'arbre à cames et le pignon d'arbre à cames.

Pour le réglage, il faut tout d'abord desserrer la vis du levier de réglage (sans la dévisser complètement!).

Il est alors possible de régler le jeu d'entre-dents en décalant latéralement le levier de réglage (flèche).

Après avoir effectué le réglage, resserrer la vis du levier de réglage.



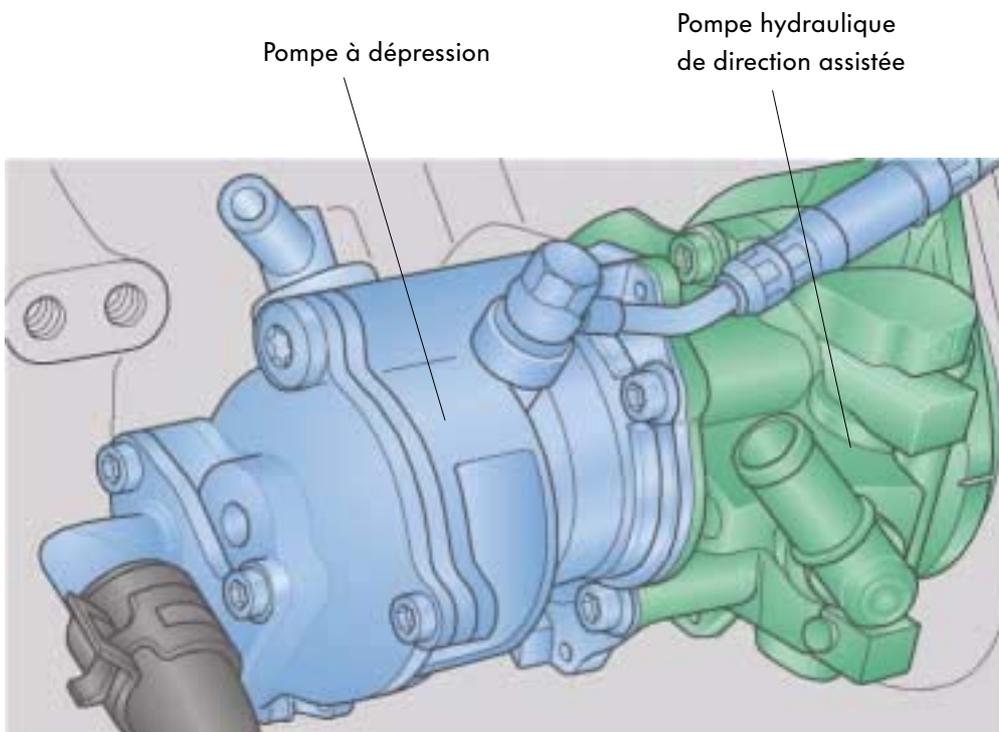
L'ordre précis des opérations et les valeurs de réglage permettant de contrôler et de régler le jeu d'entre-dents figurent dans le Manuel de réparation.

# Mécanique moteur

## Pompe tandem

En raison du nombre croissant d'organes auxiliaires des moteurs, les organes de distribution et commandes par courroie prennent de plus en plus d'ampleur.

C'est la raison pour laquelle, sur le moteur de 2,8 l à système d'injection Common Rail, la pompe à dépression et la pompe hydraulique de direction assistée ont été regroupées en un composant.



266\_041

La pompe à dépression et la pompe hydraulique de direction assistée sont logées dans un carter commun.

Cette unité vissée sur le flasque intermédiaire des engrenages est appelée pompe tandem.

L'entraînement des deux pompes est assuré par un arbre commun entraîné quant à lui par les organes de distribution du moteur.

## Pompe hydraulique de direction assistée

A l'avant de la pompe tandem (directement derrière le pignon d'entraînement) se trouve la pompe hydraulique assurant l'alimentation en huile sous pression de la direction assistée.

### Architecture

La pompe est constituée par un piston rotatif à dix coulisseaux.

Le piston rotatif se trouve sur l'arbre d'entraînement de la pompe.

Il tourne avec les coulisseaux dans une chambre de pression.

La partie avant du carter de pompe est dotée d'orifices d'alimentation et de retour reliés par des canaux aux raccords correspondants.

### Fonctionnement

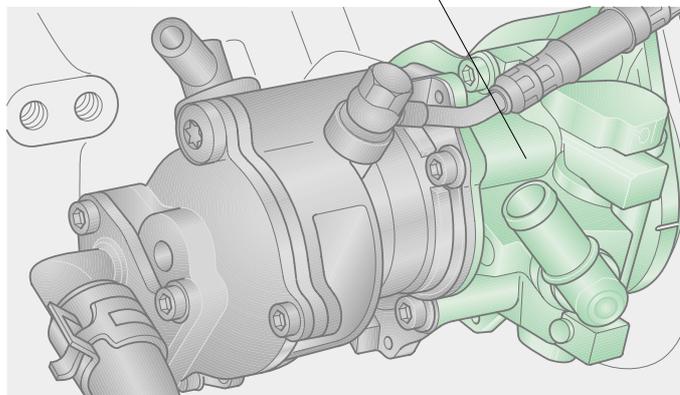
L'huile parvient par un orifice d'alimentation à l'intérieur de la pompe et est acheminée par des canaux au piston rotatif.

Les coulisseaux forment en raison de leur déplacement des chambres hermétiques de pression. La taille de ces chambres varie au cours d'une rotation.

Lorsque le volume d'une chambre augmente, une dépression s'établit dans la chambre et l'huile est aspirée. L'huile est ensuite acheminée au côté pression.

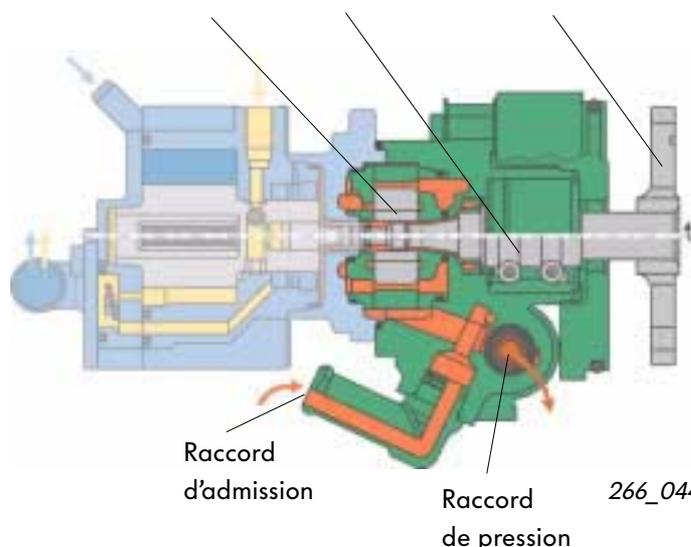
Là, le volume de la chambre diminue en raison de la forme de la pompe. Une pression s'établit alors à l'intérieur de la chambre. L'huile sous pression peut quitter la chambre considérée en direction du raccord de pression après avoir atteint les orifices de sortie.

Pompe hydraulique de direction assistée



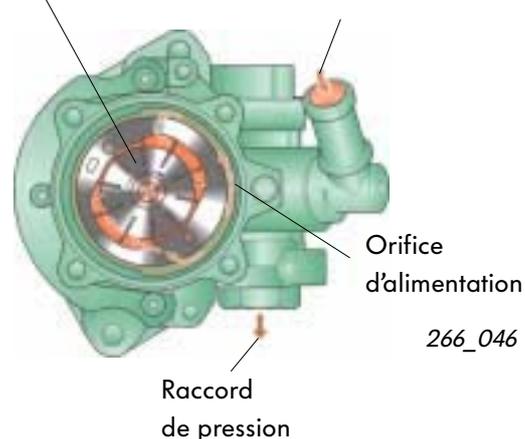
266\_043

Piston rotatif Palier Pignon d'entraînement



266\_044

Piston rotatif et coulisseaux Raccord d'admission



266\_046

# Mécanique moteur

## Pompe à dépression

La partie arrière de la pompe tandem est constituée par la pompe à dépression. Elle génère la dépression nécessaire au servofrein et à la gestion des fonctions du moteur.

## Architecture

La pompe à dépression se compose d'un rotor désaxé et d'une ailette. L'ailette, en matière plastique, est mobile. La lubrification de l'arbre de pompe est assurée par un raccord d'huile sous pression du circuit d'huile du moteur.

## Fonctionnement

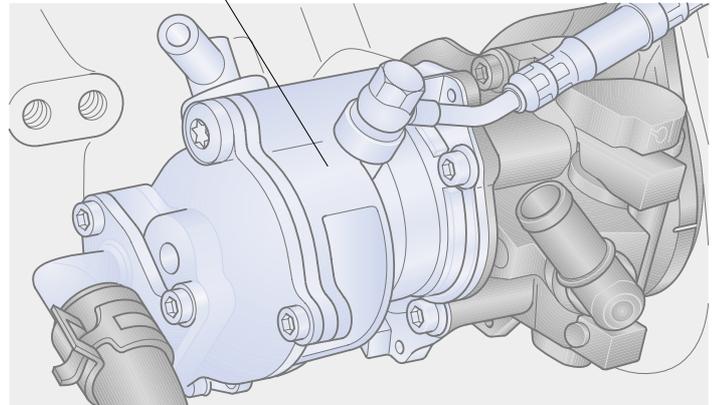
La rotation du rotor et la poussée de l'ailette entraînent la formation de deux chambres de volume différent. Lors de l'agrandissement d'une chambre, il y a augmentation de son volume - l'espace se remplit d'air.

Au fur et à mesure du déplacement du rotor, la chambre est fermée par l'ailette et l'espace est rétréci. Il s'ensuit une compression de l'air d'admission.

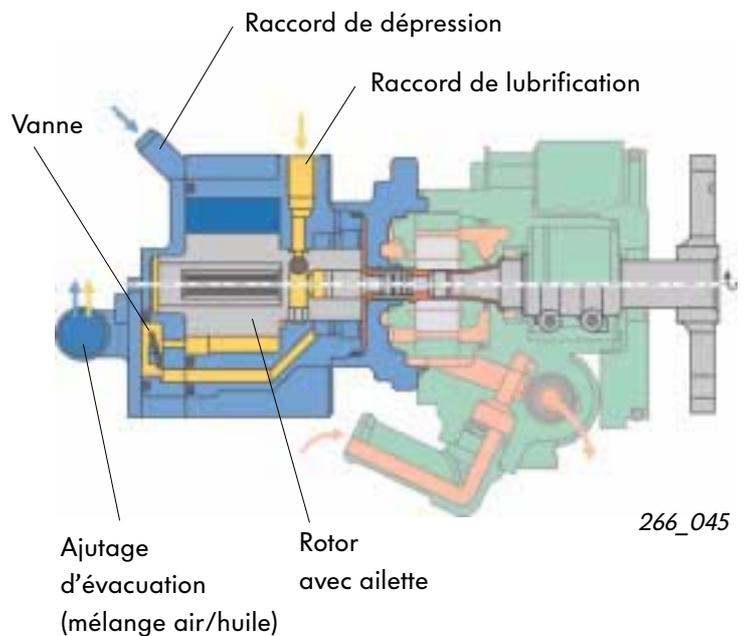
Cet air est évacué par une vanne dans le carter-moteur. Simultanément, une nouvelle chambre se forme au niveau du raccord de dépression.

L'huile de lubrification devenue inutile est évacuée avec l'air dans le carter-moteur.

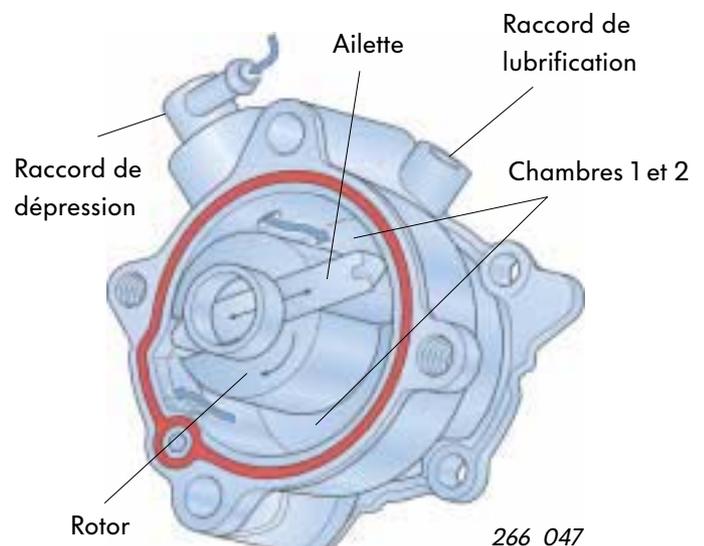
Pompe à dépression



266\_042



266\_045



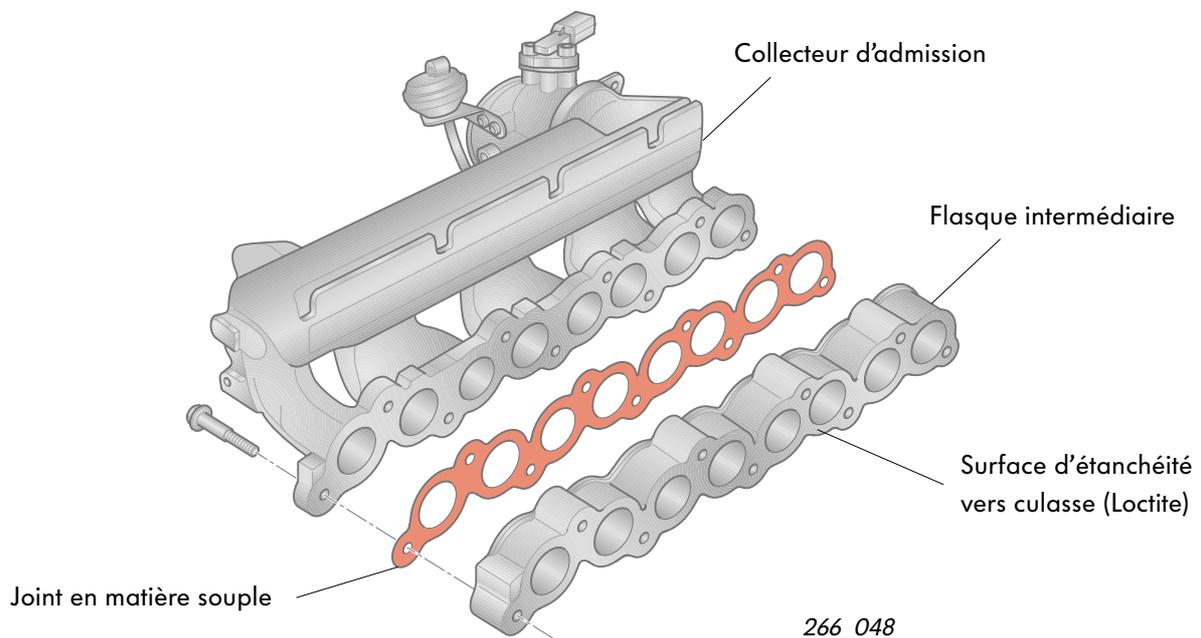
266\_047

## Flasque intermédiaire

En vue de créer un emplacement de montage suffisant pour l'accumulateur haute pression du système d'injection Common Rail, il a été nécessaire de monter un flasque intermédiaire entre la culasse et le collecteur d'admission.

Le flasque intermédiaire et le collecteur d'admission sont reliés par des vis communes à la culasse.

L'étanchement est assuré côté moteur par du produit de scellement "Loctite 5182" et en direction du collecteur d'admission par un joint en matière souple.

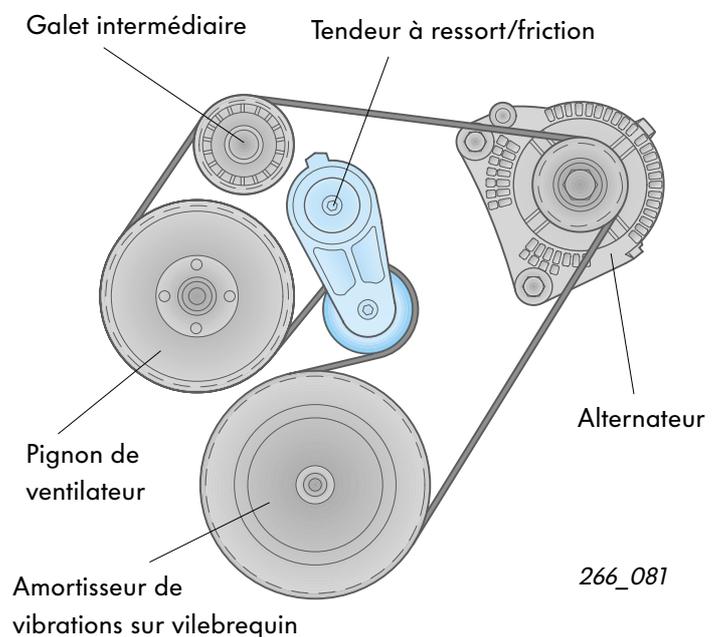


## Commande par courroie

Une autre nouveauté concerne la commande par courroie du moteur.

En raison du grand nombre d'organes auxiliaires, la fiabilité de la commande par courroie revêt une importance primordiale. C'est pourquoi les tendeurs hydrauliques utilisés jusqu'à présent ont été remplacés par de nouveaux tendeurs à ressort/friction.

Cette mesure a permis d'optimiser la fiabilité et la longévité de la commande par courroie.



# Mécanique moteur

## Turbocompresseur à géométrie variable

Une autre nouveauté du moteur TDI de 2,8 l à système d'injection Common Rail est le turbocompresseur à gaz d'échappement à turbine à géométrie variable.

L'avantage d'un turbocompresseur à gaz d'échappement à turbine à géométrie variable tient surtout au fait qu'il est possible de réaliser une pression de suralimentation optimale sur toute la plage de régime et donc d'améliorer la combustion. De plus, la pression des gaz d'échappement est réduite dans les plages de régime élevé et de meilleures performances sont réalisables à bas régimes.

Le moteur est par conséquent moins polluant et consomme moins que son prédécesseur.

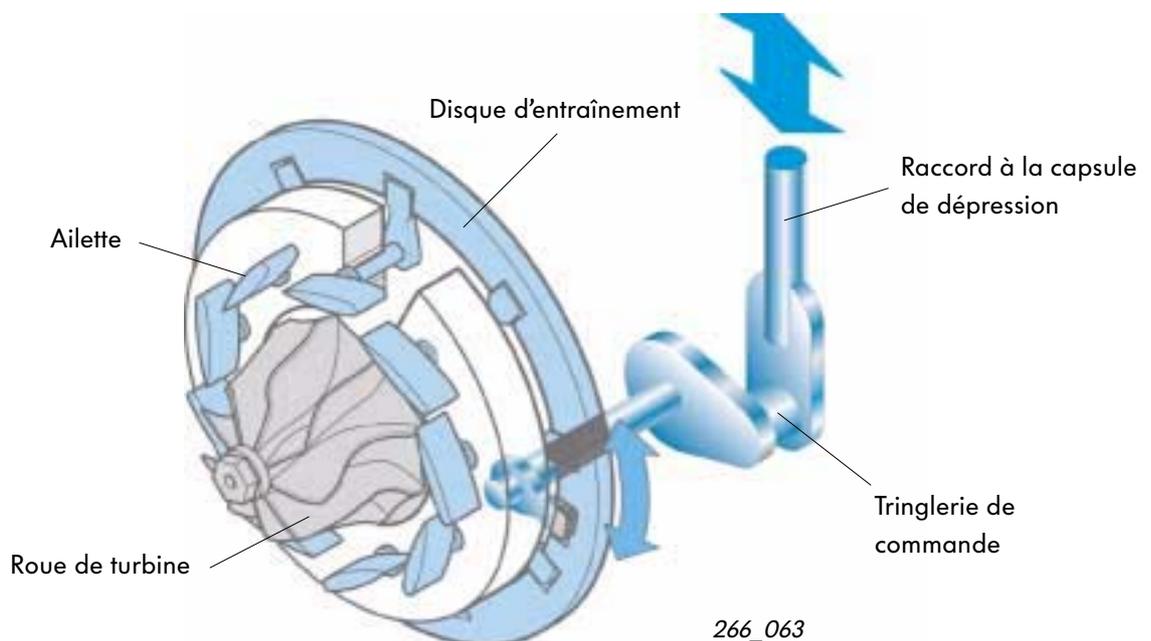
Les ailettes réglables disposées tout autour de la roue de turbine dirigent en permanence la totalité du flux de gaz d'échappement via la turbine. La mobilité des ailettes permet d'agir sur l'orientation et la vitesse et du flux. Le réglage des ailettes est assuré par une tringlerie de commande via une capsule de dépression. Cette capsule de dépression est pilotée par l'électrovanne de limitation de pression de suralimentation N75.



266\_060



La conception et le fonctionnement en sont décrits dans le Programme autodidactique 190 "Turbocompresseur à géométrie variable".



266\_063

# Système d'injection Common Rail

## Généralités

Le système d'injection Common Rail est un système d'injection haute pression mis au point pour les moteurs diesel. On parle également de système d'injection à accumulateur.

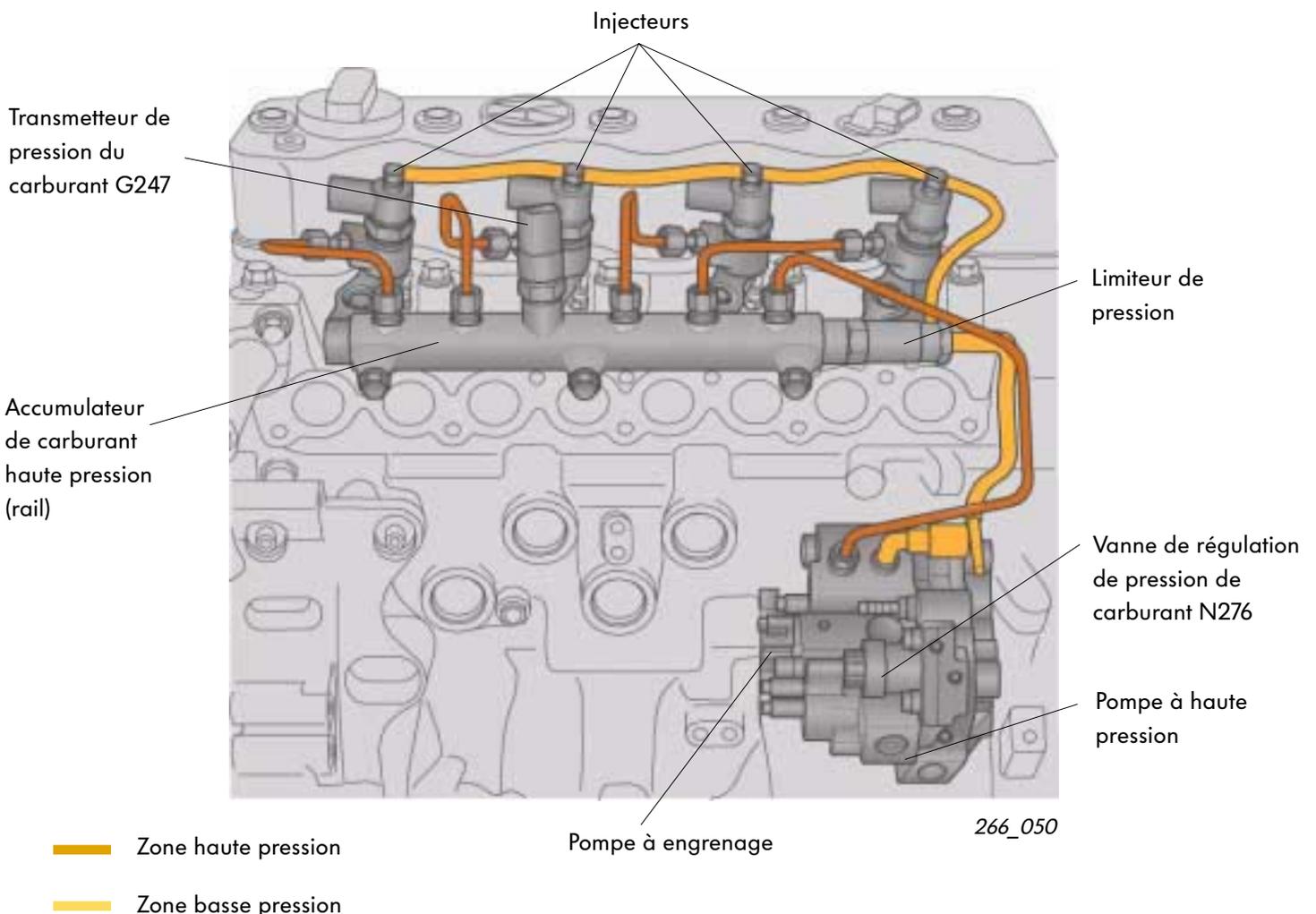
“Common Rail” signifie “rampe commune” et désigne un accumulateur haute pression de carburant commun à tous les injecteurs.

La génération de pression et l'injection sont, sur le système d'injection Common Rail, distinctes.

Une pompe à haute pression distincte génère la haute pression nécessaire à l'injection. Celle-ci est stockée dans l'accumulateur haute pression et mise à disposition des injecteurs via des conduites d'injection courtes.

Les avantages du système d'injection Common Rail sont:

- la pression d'injection pouvant être pratiquement sélectionnée librement dans la cartographie
- l'offre élevée de pression d'injection à bas régimes et dans la plage de charge partielle
- le début d'injection flexible avec pré-injection et injection principale.

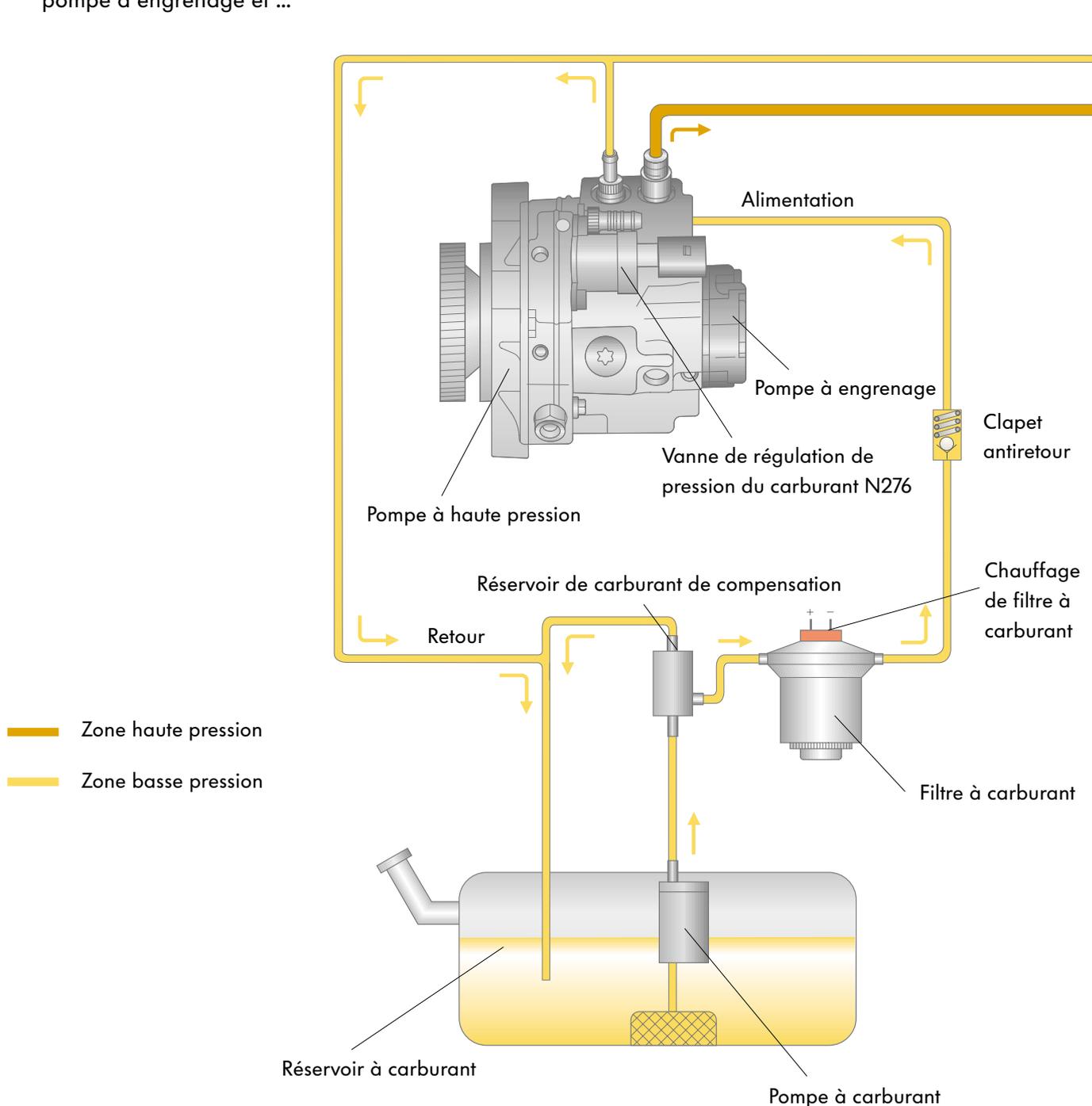


# Système d'injection Common Rail

## Système d'alimentation

Le système d'alimentation se subdivise en deux zones:

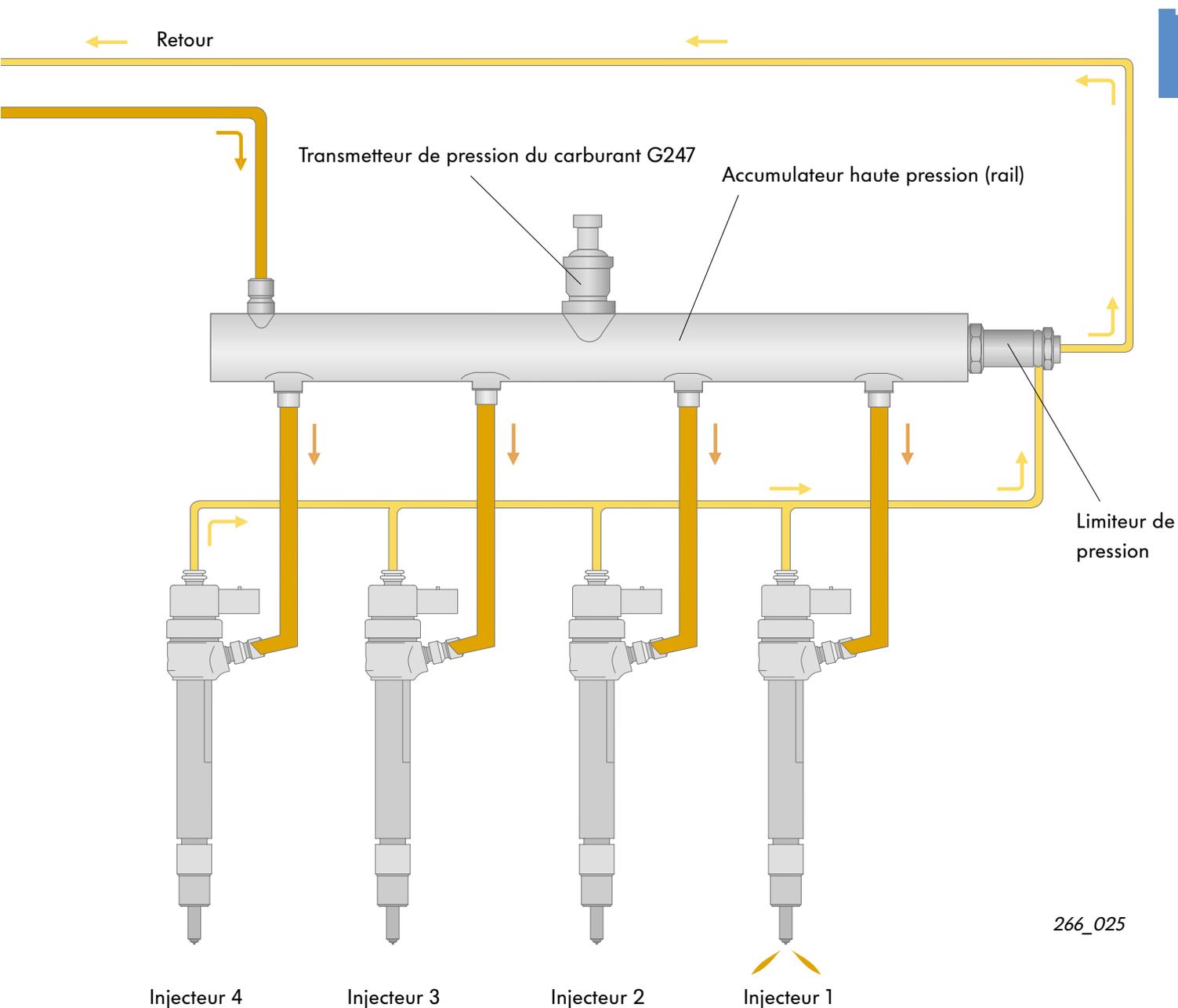
- la zone basse pression avec la pompe à carburant logée dans le réservoir à carburant, le réservoir de carburant de compensation, le filtre à carburant et la pompe à engrenage et ...
- la zone haute pression avec la pompe à haute pression, l'accumulateur haute pression (rail), les injecteurs et le limiteur de pression.



Dans la zone basse pression, le carburant est refoulé par la pompe à carburant et la pompe à engrenage depuis le réservoir à carburant jusqu'à la pompe à haute pression, en passant par le réservoir à carburant de compensation et en traversant le filtre à carburant.

La haute pression du carburant nécessaire à l'injection est générée au niveau de la pompe et stockée dans un accumulateur haute pression (rail).

Partant du réservoir haute pression, le carburant arrive aux injecteurs, qui l'injectent dans les chambres de combustion.



266\_025



# Système d'injection Common Rail

## Refoulement du carburant

### Pompe à carburant G6

La pompe à carburant est logée dans le réservoir à carburant.

Elle joue le rôle de pompe de préalimentation et fournit à tous les états de marche suffisamment de carburant à la pompe à engrenage intégrée dans la pompe à haute pression.

### Fonctionnement

Lorsque l'on met le contact d'allumage, la pompe à carburant est pilotée par le relais de pompe à carburant de l'appareil de commande d'injection directe diesel.

La pompe tourne durant environ 3 secondes et établit une pression de préalimentation.

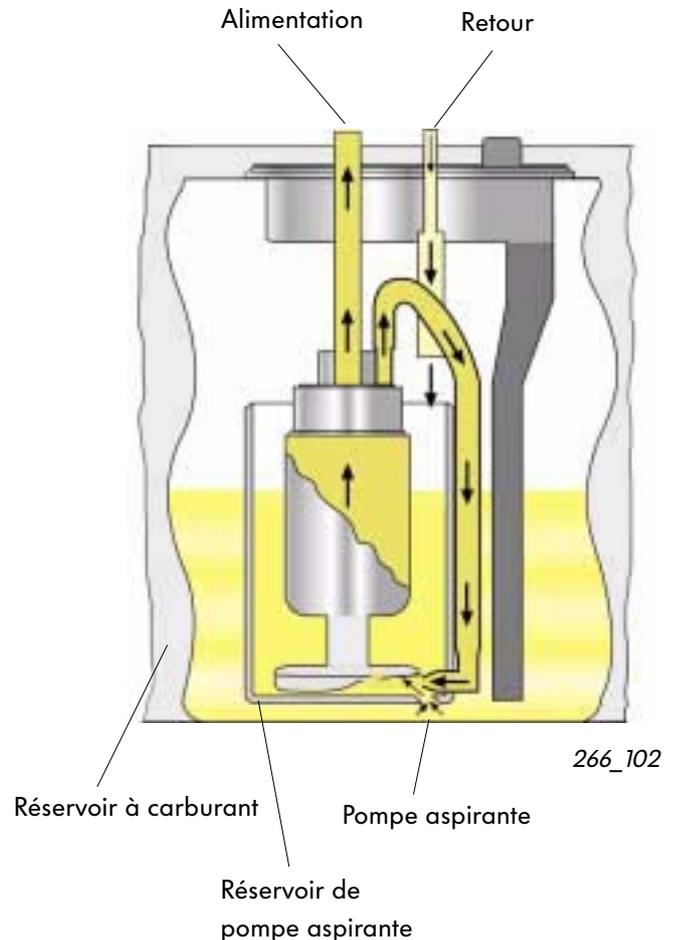
Dès que le moteur tourne, la pompe refoule en permanence du carburant dans la zone basse pression.

La pompe à carburant aspire, via un filtre, le carburant du réservoir.

La quantité refoulée se subdivise dans le couvercle de pompe.

Une partie du carburant est envoyée à l'alimentation vers la pompe à engrenage, l'autre sert à l'entraînement de la pompe aspirante.

La pompe aspirante aspire le carburant dans le réservoir à carburant et le refoule vers le réservoir de la pompe à carburant.

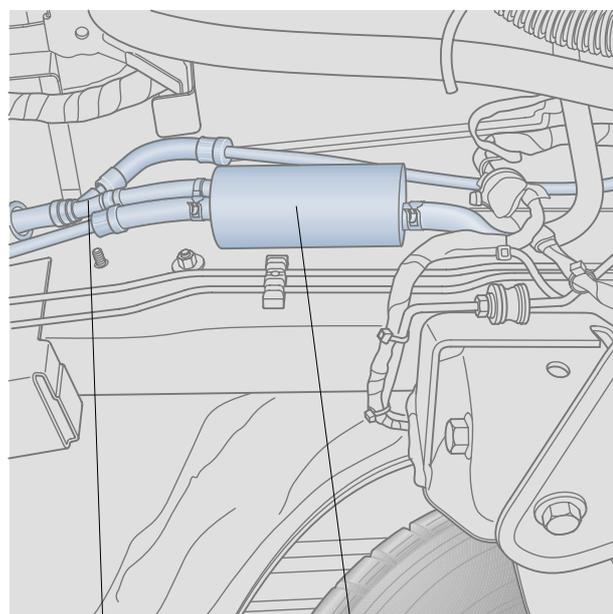


## Réservoir de carburant de compensation

Le carburant refoulé par la pompe à carburant est acheminé dans le réservoir de carburant de compensation.

De là, il parvient à la pompe à engrenage.

Le rôle du réservoir à carburant de compensation est de maintenir la pression du carburant en amont de la pompe à engrenage pratiquement identique à tous les états de marche.



Pièce en T

Réservoir de carburant de compensation

266\_090

## Fonctionnement

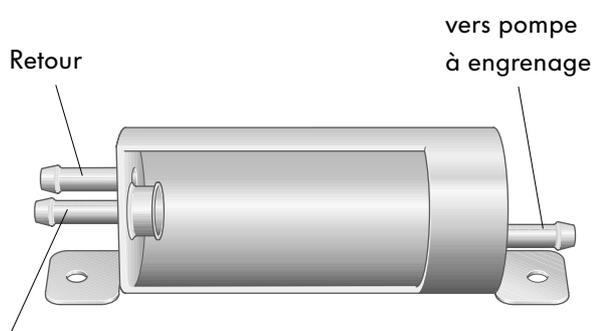
Le carburant refoulé par la pompe à carburant est envoyé au réservoir de carburant de compensation.

De là, il parvient à la pompe à engrenage.

Afin de compenser les variations de pression, le carburant excédentaire dans le réservoir de carburant de compensation est réacheminé au retour du carburant par une pièce en T.

Dans la pièce en T, le carburant revenant du moteur se mélange au carburant du retour du réservoir de carburant de compensation.

Le carburant retournant au réservoir est alors refroidi.



Carburant de la pompe à carburant

266\_099



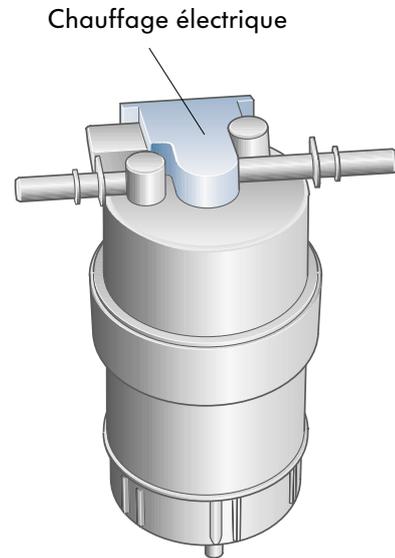
# Système d'injection Common Rail

## Filtre à carburant à chauffage électrique

Le filtre à carburant est équipé d'un chauffage électrique.

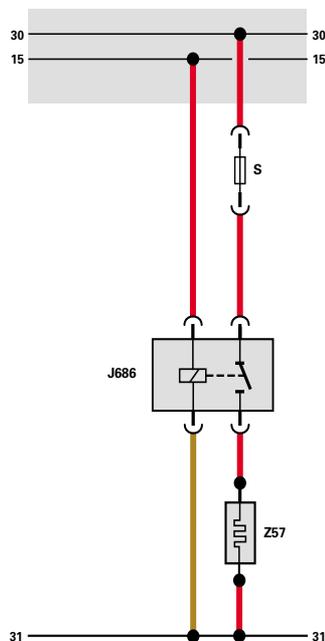
Ce chauffage est mis en circuit par le relais de chauffage de filtre à carburant. Il réchauffe le carburant dans le conduit d'alimentation.

Cela évite le colmatage du filtre à carburant par des cristaux de paraffine à basses températures extérieures.



266\_097

## Schéma électrique



266\_089

## Légende:

- J686 - Relais de chauffage de filtre à carburant
- Z57 - Chauffage de filtre à carburant

## Pompe à engrenage

La pompe à engrenage est une pompe de préalimentation purement mécanique. Elle augmente la pression du carburant fourni par la pompe à carburant G6 en vue d'assurer l'alimentation en carburant de la pompe à haute pression à tous les états de marche. La pompe à engrenage est directement montée sur la pompe à haute pression. Les deux pompes sont entraînées par un arbre commun.



266\_057

Pompe à engrenage

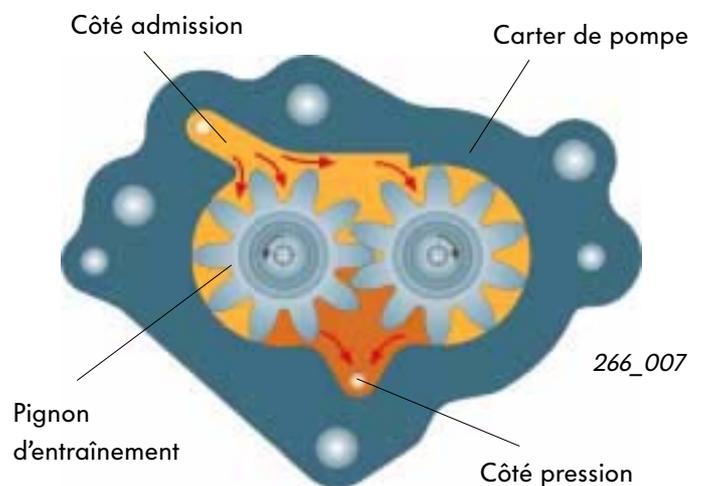
Pompe à haute pression

## Architecture

Le carter de la pompe à engrenage renferme deux pignons tournant en sens opposé. Un pignon est entraîné par l'arbre d'entraînement.

## Fonctionnement

Lorsque les pignons tournent, du carburant est entraîné par les entre-dents et refoulé le long de la paroi interne de la pompe en direction du côté pression. De là, il est acheminé au carter de pompe de la pompe à haute pression. L'entrée en prise des dents des deux pignons évite le reflux du carburant.



266\_007

# Système d'injection Common Rail

## Zone haute pression

### Pompe à haute pression

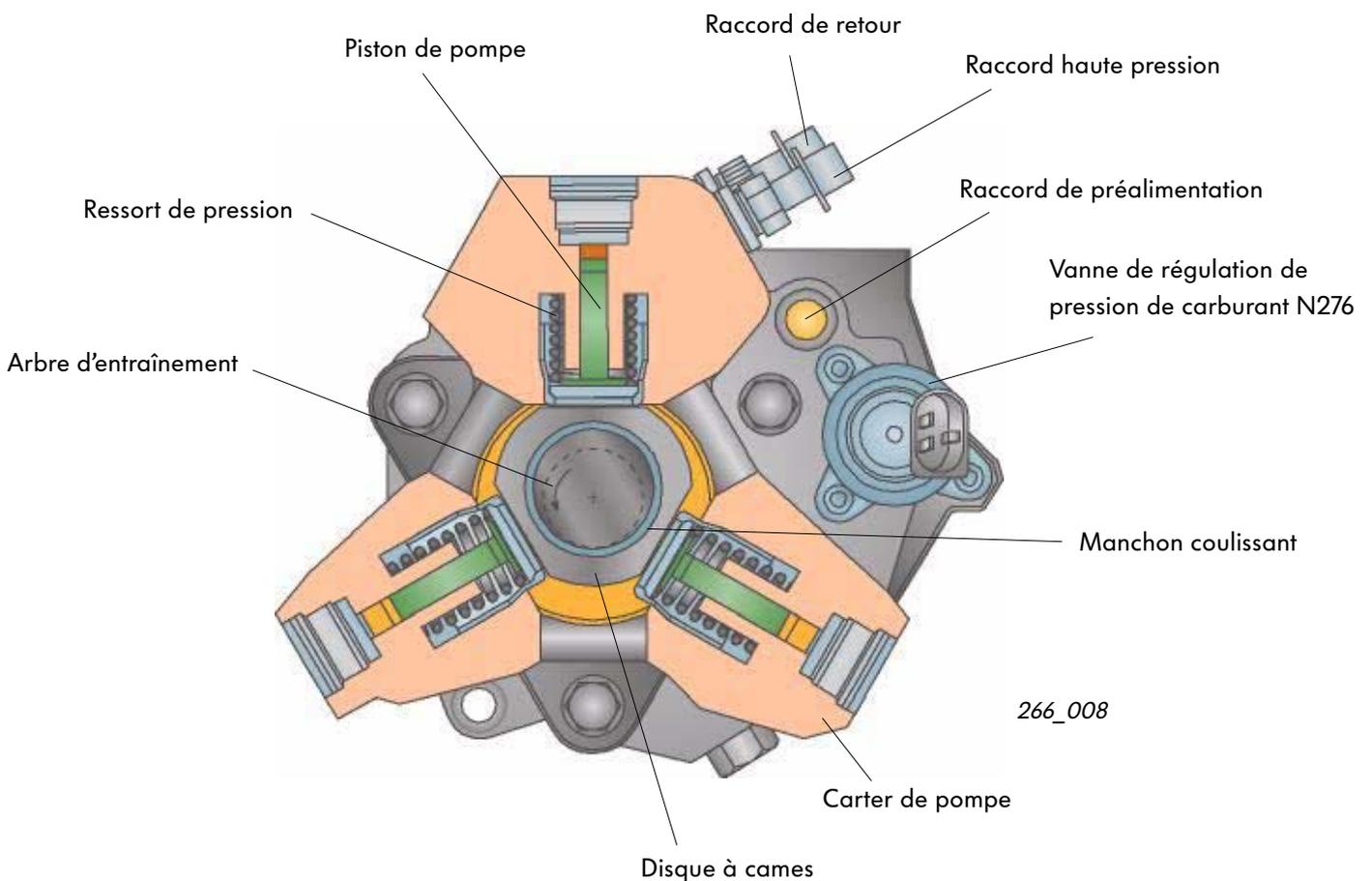
Son rôle est de générer la pression du carburant nécessaire à l'injection haute pression. La haute pression est générée par trois pistons de pompe disposés en étoile selon un angle de 120°.

La pompe à haute pression est vissée sur le flasque intermédiaire des organes de distribution et est entraînée via des pignons intermédiaires par le vilebrequin.

La pompe à haute pression supporte également la pompe à engrenage et la vanne de régulation de pression de carburant.



Pompe à engrenage  
Pompe à haute pression  
Vanne de régulation de pression du carburant  
266\_051



266\_008

## Fonctionnement

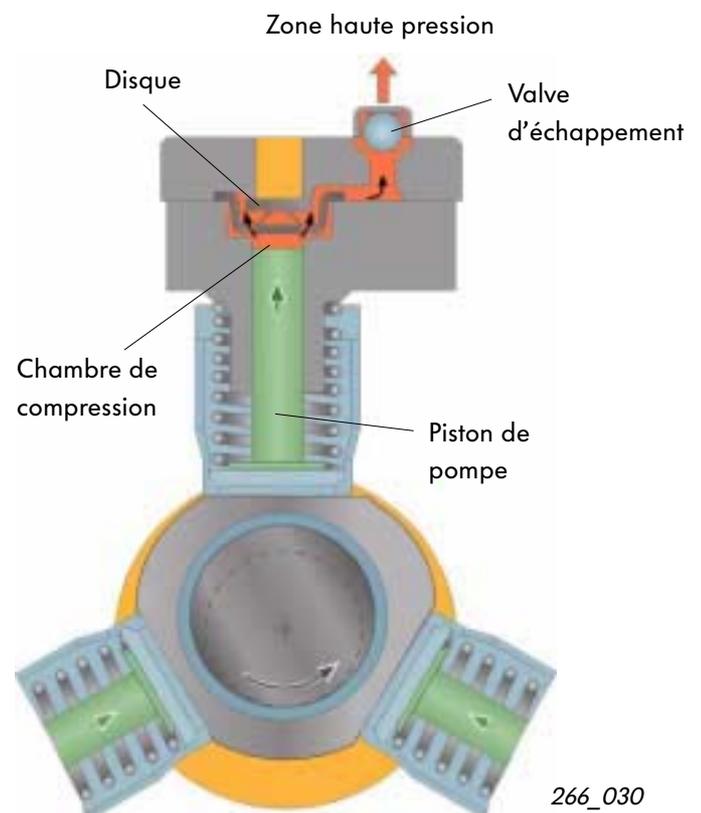
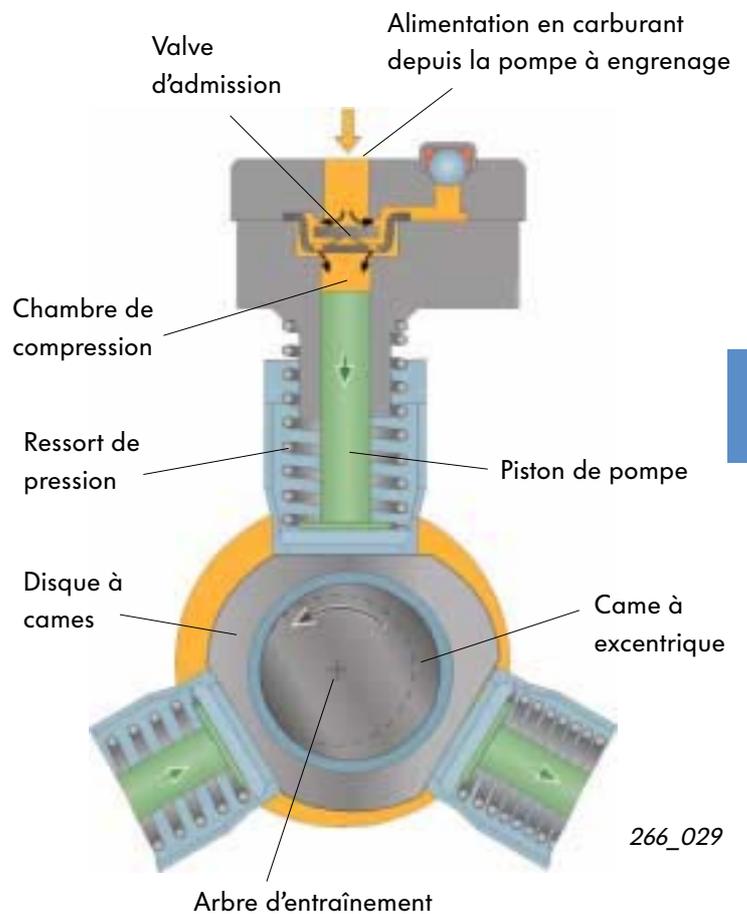
Sur l'arbre d'entraînement de la pompe à haute pression se trouve une came à excentrique. Elle est entraînée par l'arbre d'entraînement et imprime via le disque à cames des mouvements de montée et de descente aux pistons de pompe des trois éléments de pompage.

## Course d'admission

La montée du piston de pompe provoque une augmentation de volume de la chambre de compression. Le carburant descend dans la chambre de combustion. La pression de la pompe à engrenage permet le refoulement du carburant via la valve d'admission dans la chambre de compression.

## Course de refoulement

Dès que le piston de pompe commence à monter, la pression augmente dans la chambre de compression. Le disque de la valve d'admission est repoussé vers le haut et ferme la chambre de compression. L'établissement de la pression se poursuit en raison du déplacement du piston vers le haut. Dès que la pression du carburant dans la chambre de compression dépasse la pression de la zone haute pression, la valve d'échappement s'ouvre et le carburant arrive dans la zone haute pression.



# Système d'injection Common Rail

## Passage du carburant dans la pompe à haute pression

Le carburant arrive d'abord par la préalimentation à l'intérieur de la pompe. Il est ensuite acheminé par des canaux à la pompe à engrenage.

Depuis le côté pression de la pompe à engrenage, le carburant est refoulé en direction de la vanne de régulation de pression de carburant.

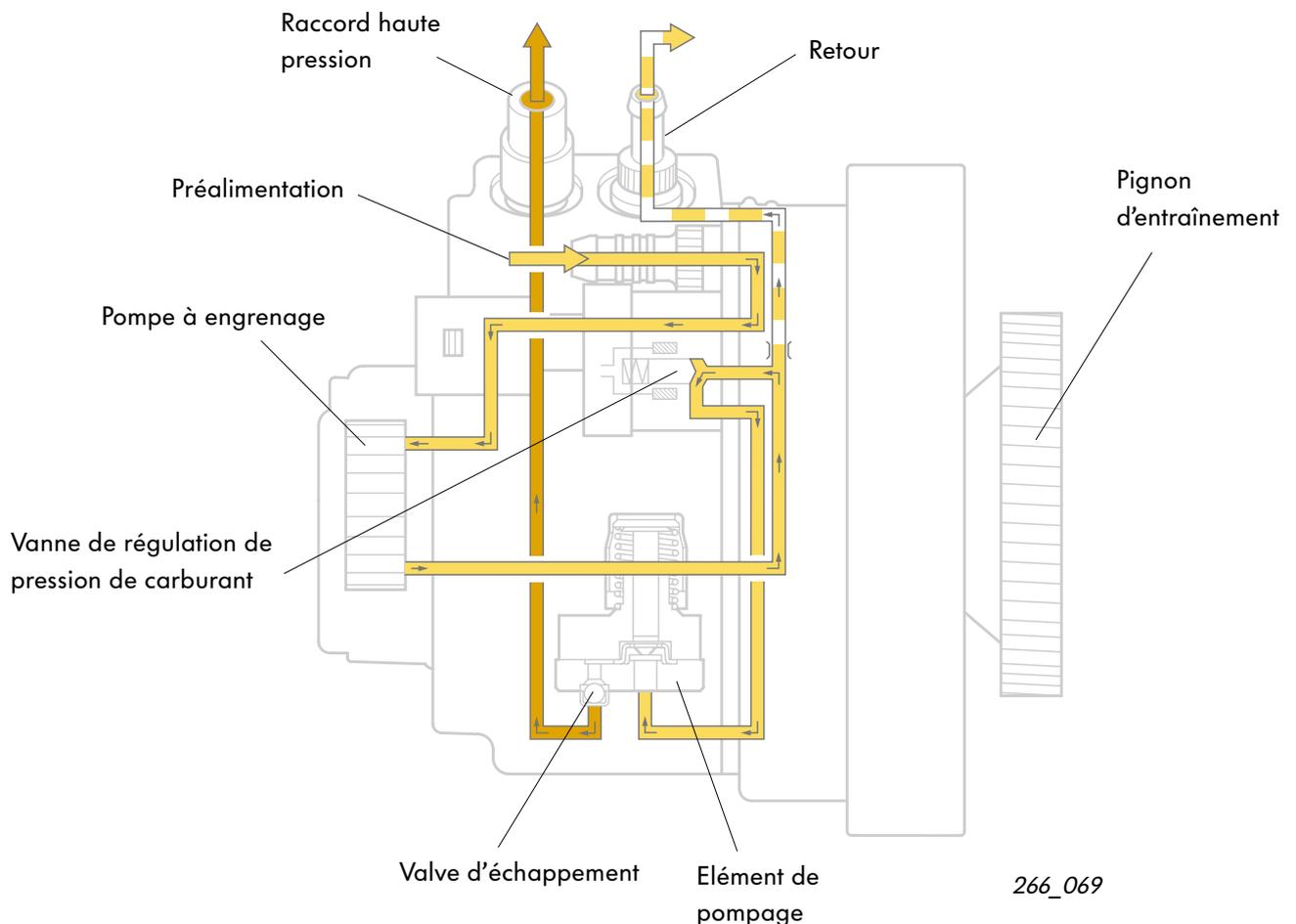
Suivant le pilotage électrique (rapport d'impulsions) de l'électrovanne, une partie du carburant est envoyée aux éléments de pompage.

L'autre partie du carburant est refoulée dans le retour.

Dans l'élément de pompage, il y a génération de la pression du carburant pour l'injection haute pression.

La valve d'échappement de l'élément de pompage s'ouvre et le carburant peut s'échapper en direction du raccord haute pression.

Du raccord haute pression, le carburant est envoyé à l'accumulateur haute pression (rail) par une conduite de pression.



## Accumulateur haute pression (rail)

L'accumulateur haute pression est un tube en acier forgé.

Son rôle est de stocker sous haute pression le carburant requis pour l'injection pour tous les cylindres.

Il sert en outre, par son volume important, à compenser les variations de pression imputables au refoulement de la pompe à haute pression et aux injections.

## Architecture

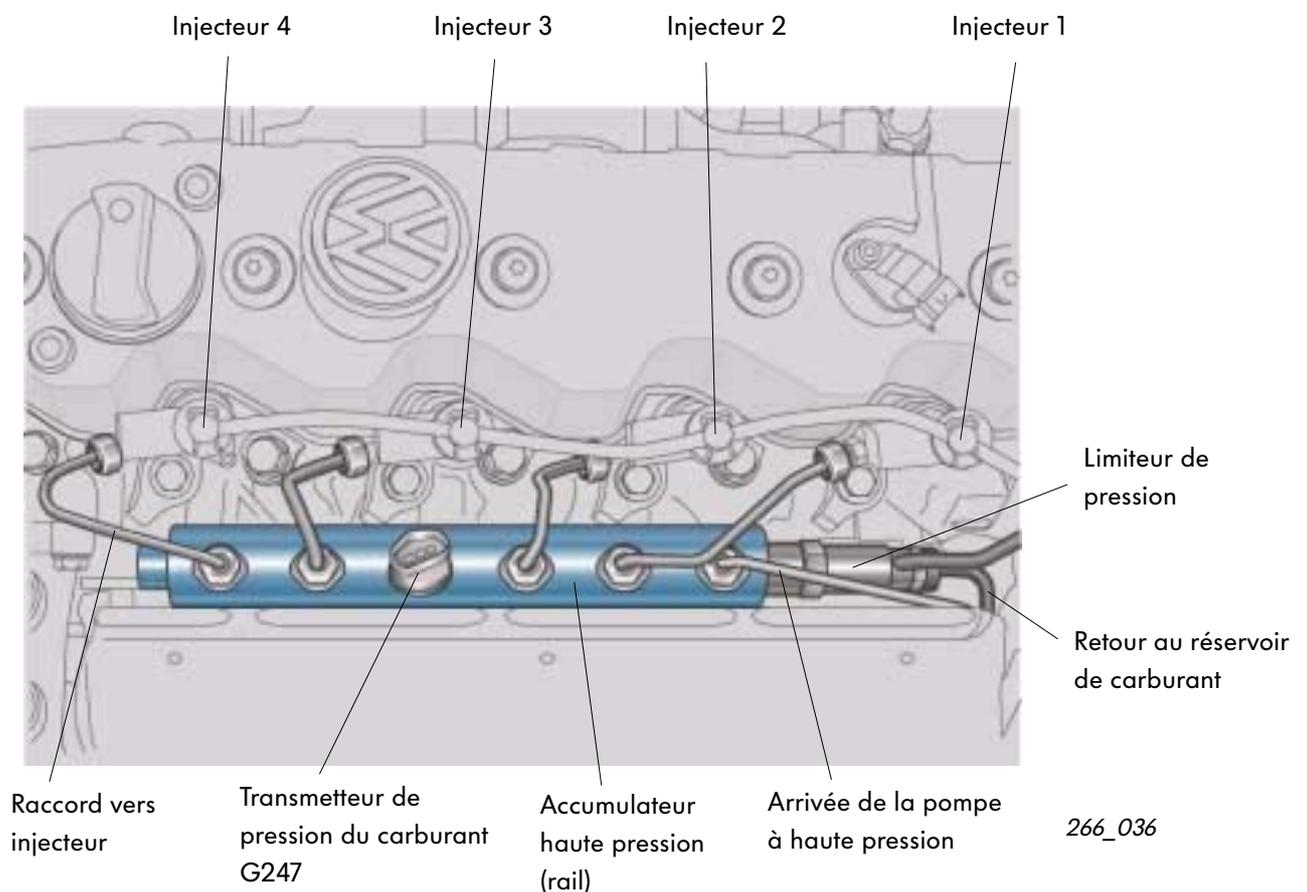
Sur l'accumulateur de pression se trouvent le raccord d'alimentation en carburant de la pompe à haute pression, les raccords vers les injecteurs, le retour au réservoir de carburant, le limiteur de pression et le transmetteur de pression du carburant.

## Fonctionnement

Le carburant se trouvant dans l'accumulateur haute pression est constamment sous haute pression.

Lorsque du carburant est prélevé dans l'accumulateur de pression pour l'injection, la pression dans l'accumulateur reste pratiquement constante en raison de son important volume de stockage.

Les variations de pression dues à l'alimentation par impulsions de l'accumulateur haute pression via la pompe à haute pression sont également compensées.

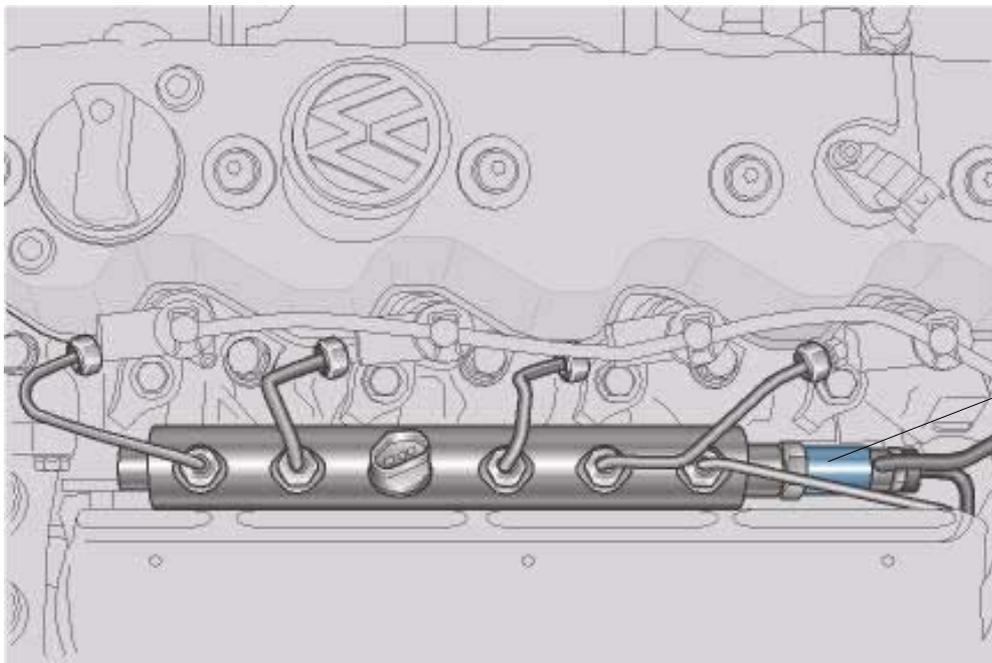


# Système d'injection Common Rail

## Limiteur de pression

Le limiteur de pression est monté directement sur l'accumulateur de pression.

Son rôle est de limiter la pression maximale dans l'accumulateur haute pression et de donc de protéger ce dernier de la surcharge.



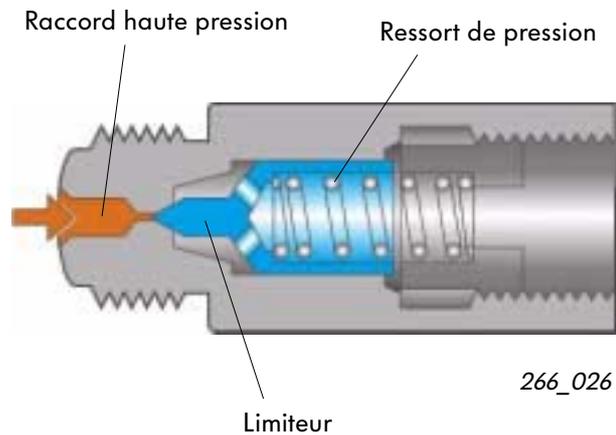
266\_036a

Si la pression à l'intérieur de l'accumulateur de pression dépasse la valeur maximale de 1450 bars, le limiteur de pression s'ouvre et le carburant excédentaire est acheminé à la conduite de retour. A titre de comparaison: 1450 bars correspondent approximativement au poids d'un véhicule de classe moyenne exerçant une pression sur un centimètre carré de surface.

## Architecture

Le limiteur de pression est un composant purement mécanique.  
La liaison avec l'accumulateur de pression est réalisée par un filetage.  
A l'intérieur se trouve une valve dotée d'orifices maintenue en position par un ressort de pression.

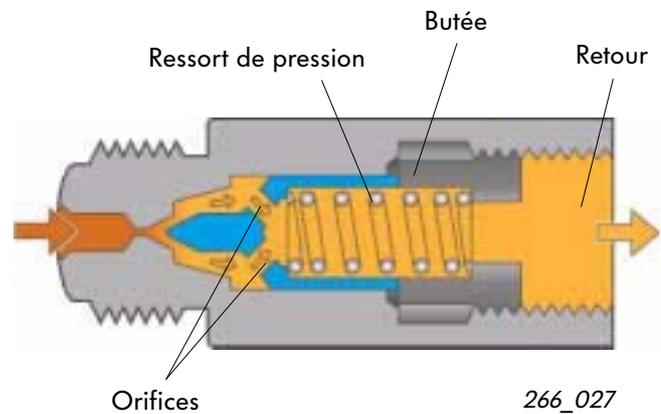
## Limiteur fermé



## Fonctionnement

Lorsque la pression du carburant dans l'accumulateur de pression dépasse 1450 bars, le limiteur s'ouvre.  
Du carburant peut alors s'échapper de l'accumulateur haute pression et être ramené au retour en passant par les orifices.  
La pression dans l'accumulateur haute pression chute.

## Limiteur fermé



# Système d'injection Common Rail

## Injection

Le carburant est injecté dans les chambres de combustion par des injecteurs à pilotage électromagnétique.

En vue d'une combustion aussi efficace que possible, l'injection se subdivise en deux phases: préinjection et injection principale.

### Préinjection

Avant que le piston n'arrive à son point mort haut, une petite quantité de carburant est déjà injectée dans la chambre de combustion considérée. Cela provoque une augmentation de la température et de la pression dans la chambre de combustion.

Il s'ensuit une réduction du retard à l'allumage de l'injection principale et une diminution de l'augmentation et des pointes de pression.

Les avantages de la préinjection sont:

- faibles bruits de combustion
- réduction des polluants dans les gaz d'échappement

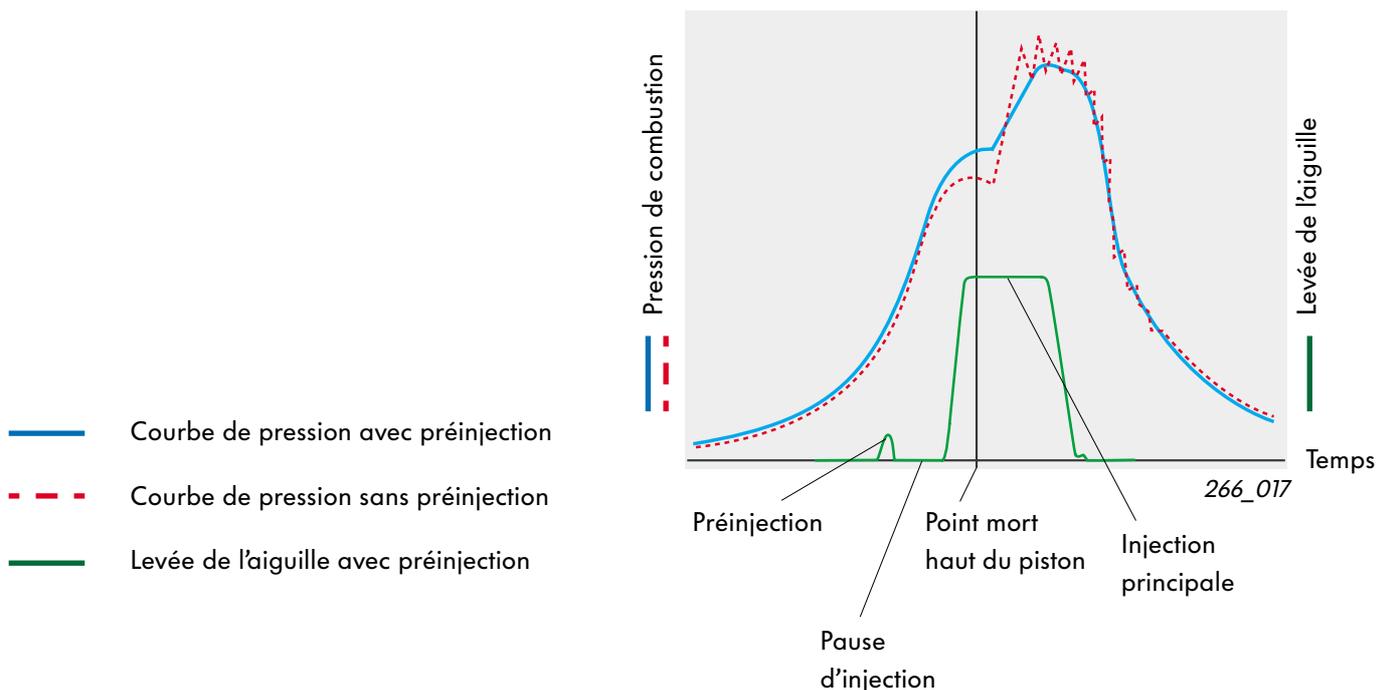
Pour cela, les injecteurs sont pilotés, une fois en vue de la préinjection et une fois en vue de l'injection principale, par l'appareil de commande d'injection directe diesel.

### Injection principale

A l'issue de la précombustion, la quantité nécessaire à l'injection principale est injectée dans la chambre de combustion après une brève pause.

La valeur de la pression d'injection reste pratiquement constante durant toute l'injection.

Différence de courbe de pression d'une combustion avec et sans préinjection



## Injecteurs

Les injecteurs sont montés dans la culasse.

Leur rôle est l'injection de carburant dans les chambres de combustion, avec un débit correct et au moment précis où cela doit avoir lieu. Ils sont pour cela pilotés par l'appareil de commande du système d'injection direct diesel.

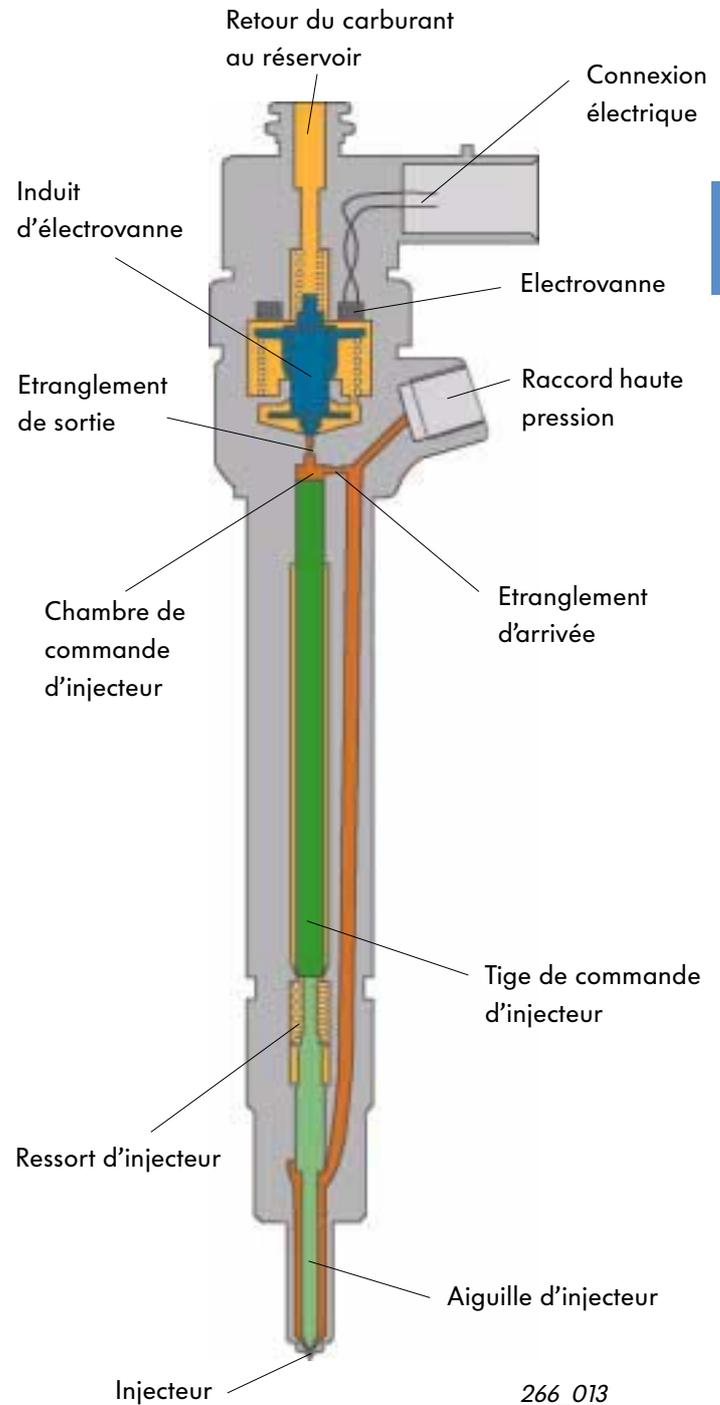
### Position de repos

En position de repos, l'injecteur est fermé. L'électrovanne n'est pas pilotée. L'induit de l'électrovanne est repoussé dans son siège par la force du ressort de l'électrovanne. L'aiguille d'injecteur est fermée par la haute pression du carburant du fait du rapport de surfaces de pression plus important entre surface du piston de commande et aiguille d'injecteur.



Une coupure du câble électrique allant à un injecteur ou une électrovanne provoque l'arrêt du moteur.

## Architecture



- Haute pression
- Pression de retour

266\_013



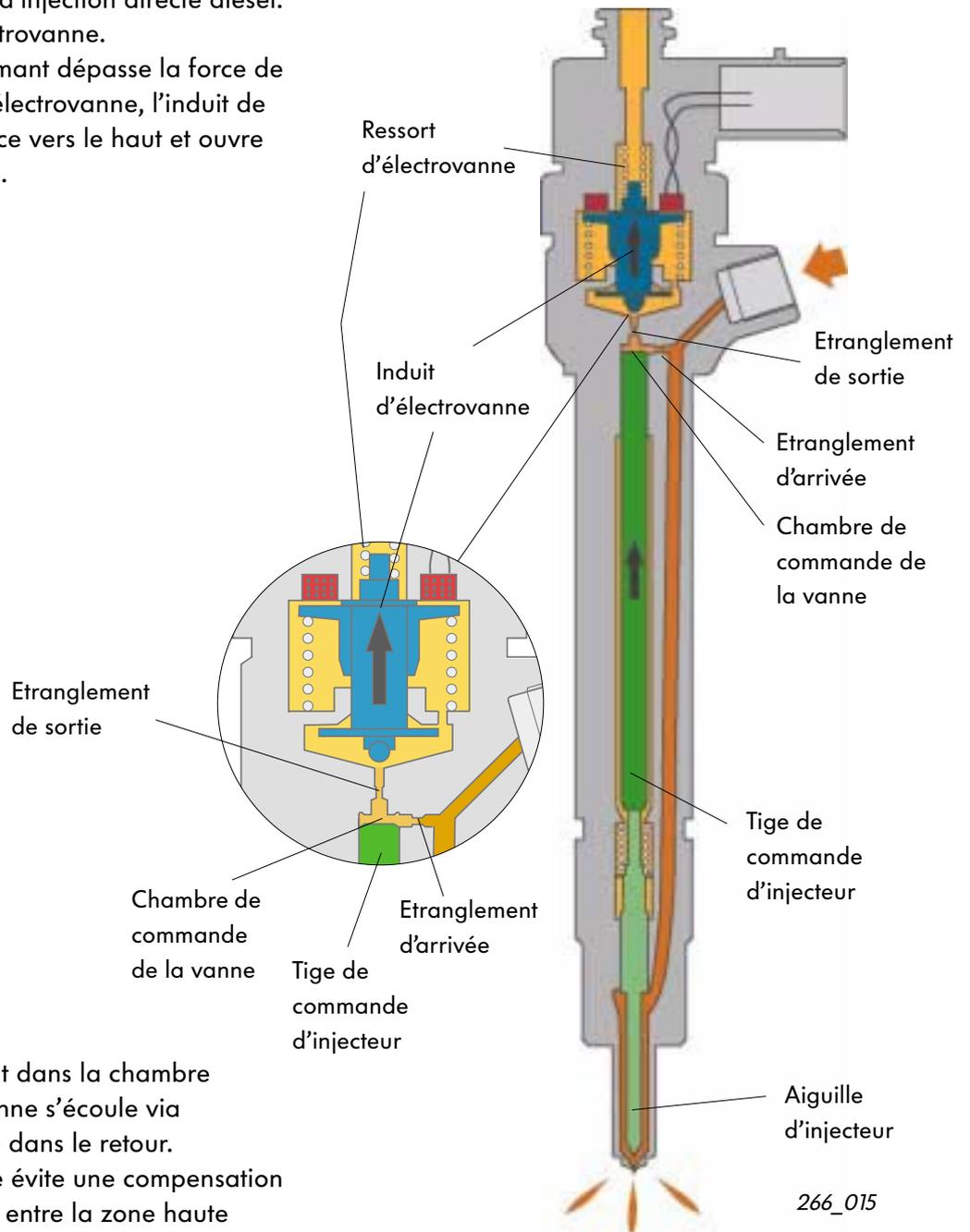
# Système d'injection Common Rail

## Fonctionnement

### Début d'injection

Le début d'injection est amorcé par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel. Il pilote pour cela l'électrovanne.

Dès que la force de l'aimant dépasse la force de fermeture du ressort d'électrovanne, l'induit de l'électrovanne se déplace vers le haut et ouvre l'étranglement de sortie.



Le carburant se trouvant dans la chambre de commande de la vanne s'écoule via l'étranglement de sortie dans le retour. L'étranglement d'arrivée évite une compensation de pression trop rapide entre la zone haute pression du carburant et la chambre de commande de la vanne.

La pression agissant sur la tige de commande d'injecteur est, à cet instant, inférieure à la haute pression du carburant agissant sur l'aiguille d'injecteur. L'aiguille d'injecteur se soulève et l'injection commence.

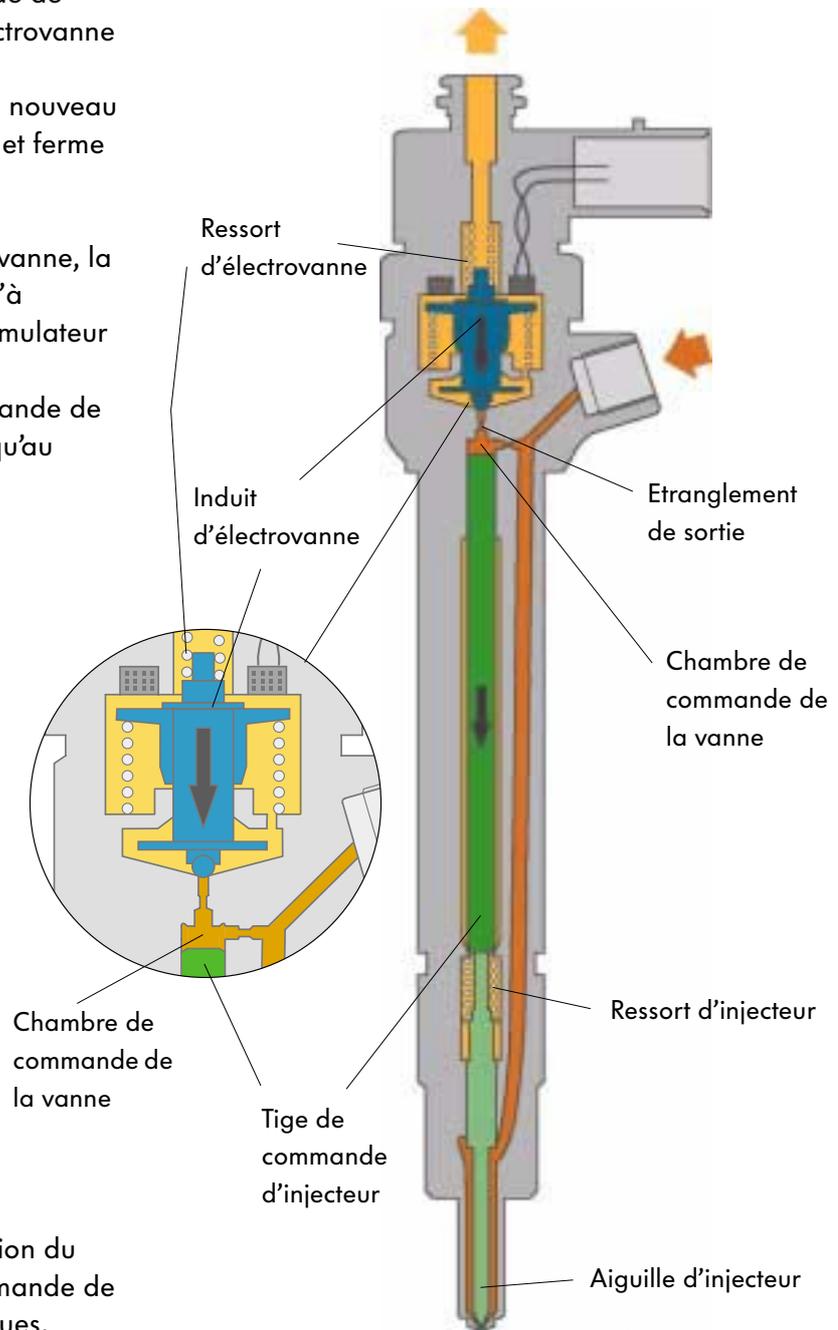
## Fin d'injection

L'injection se termine lorsque l'électrovanne n'est plus pilotée par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel. L'électrovanne n'est plus alimentée en courant.

Le ressort de l'électrovanne repousse à nouveau l'induit de l'électrovanne dans le siège et ferme l'étranglement de sortie.

Dans la chambre de commande de la vanne, la pression du carburant augmente jusqu'à atteindre la valeur régnant dans l'accumulateur haute pression.

La pression dans la chambre de commande de la vanne redevient alors aussi élevée qu'au niveau de l'aiguille d'injecteur.



Les pressions dans la zone haute pression du carburant et dans la chambre de commande de la vanne sont donc redevenues identiques.

En raison de la pression superficielle plus élevée agissant sur la tige de commande, l'aiguille d'injecteur se ferme.

L'injection est terminée et l'injecteur se trouve à nouveau en position de repos.



# Gestion du moteur

## Synoptique du système

### Capteurs

Transmetteur de régime-moteur G28

Transmetteur de Hall G40

Débitmètre d'air massique G70

Transmetteur temp. liquide refroid. G62

Contacteur de feux stop F avec contacteur de pédale de frein F47

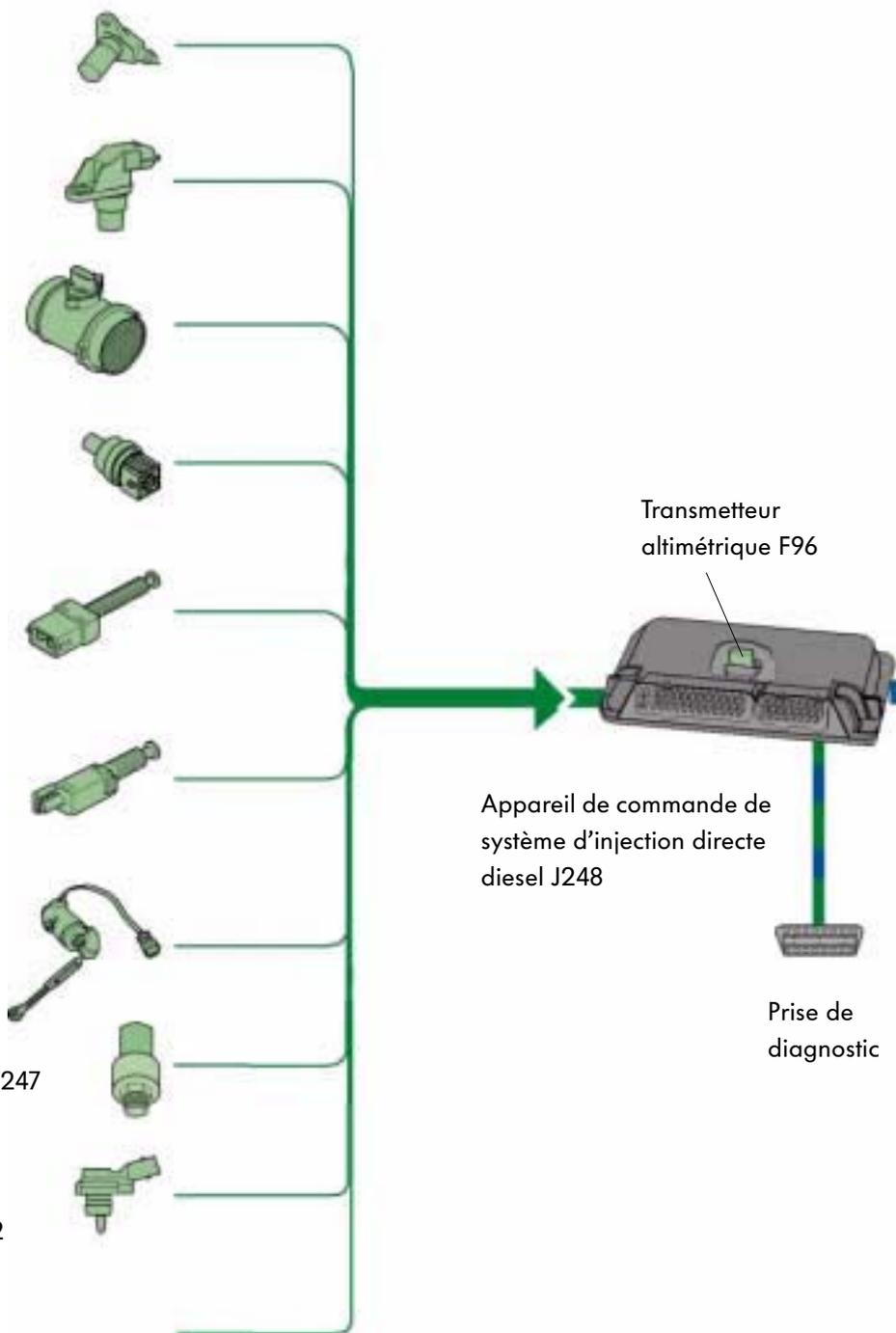
Contacteur de pédale d'embrayage F36

Accélérateur avec transmetteur de position de l'accélérateur G79 et contacteur de ralenti F60

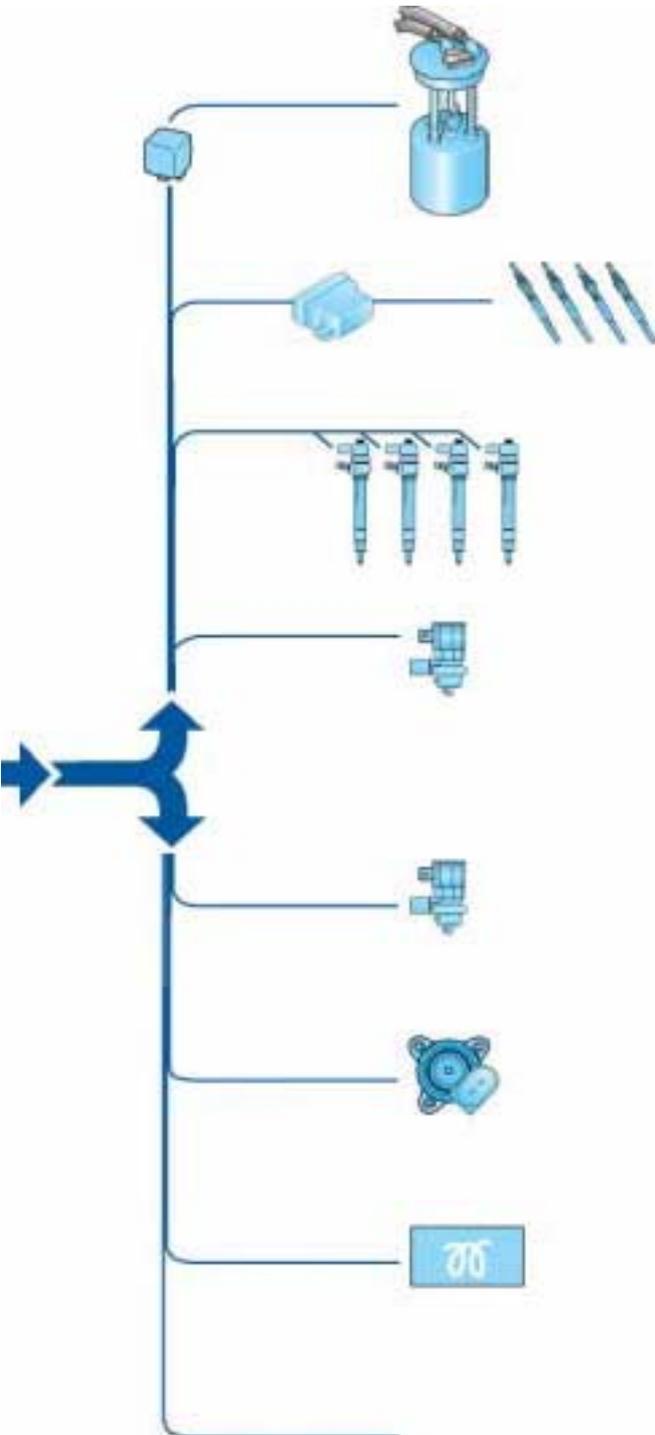
Transmetteur de pression du carburant G247

Transmetteur de pression de tubulure d'admission G71 avec transmetteur de température de tubulure d'admission G72

Signaux d'entrée supplémentaires



## Actionneurs



Relais de pompe à carburant J17 et  
pompe à carburant G6

Relais des bougies de préchauffage J52 et  
bougies de préchauffage 1 - 4 Q6

Electrovannes d'injecteur 1 - 4  
N30, N31, N32, N33

Electrovanne de limitation de pression de  
suralimentation N75

Vanne de commutation de volet de tubulure  
d'admission N239

Vanne de régulation de pression de carburant N276

Témoin de temps de préchauffage K29

Signaux d'entrée supplémentaires



# Gestion du moteur

## Capteurs

### Transmetteur de régime-moteur G28

Le transmetteur de régime-moteur est un capteur inductif. Il est fixé sur le carter de commande. Le pignon transmetteur est implanté sur le vilebrequin, entre le volant-moteur et le pignon de commande. Un espace entre segments sur le pignon transmetteur sert de repère de référence au transmetteur.

### Exploitation du signal

Le signal permet d'enregistrer le régime du moteur et la position exacte du vilebrequin. Cette information sert à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel pour le calcul du moment d'injection et du débit d'injection.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

Le moteur ne peut pas tourner.

### Transmetteur de Hall G40

Le transmetteur de Hall est fixé dans le couvercle. Un segment denté sur l'arbre à cames lui sert de repère de référence. Le transmetteur sert à la détection de la position de l'arbre à cames.

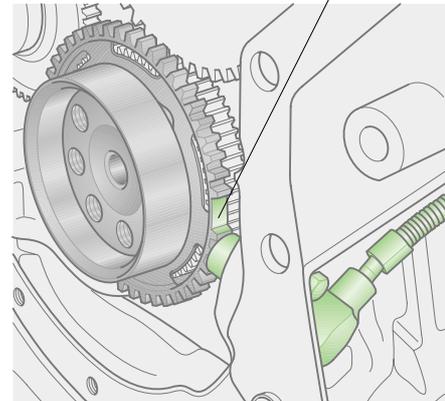
### Exploitation du signal

L'appareil de commande de système d'injection directe diesel a besoin de ce signal pour la détection de la position du premier cylindre au démarrage.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

Dans un premier temps, le moteur continue de tourner. Pour cela, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel utilise le signal du transmetteur de régime-moteur G28. Un redémarrage du moteur n'est toutefois pas possible.

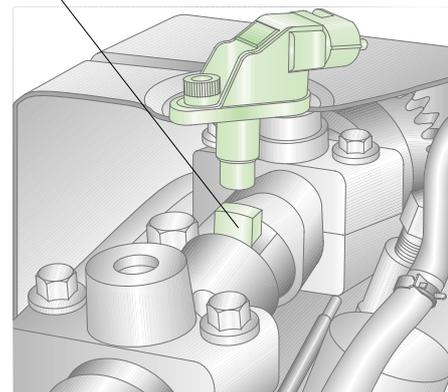
Espace entre segments



266\_019



Repère de référence

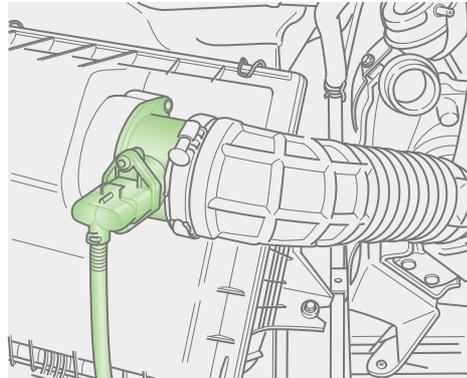


266\_018

## Débitmètre d'air massique G70

Le débitmètre d'air massique à détection du reflux se trouve dans la tubulure d'admission et détermine la masse d'air d'admission. L'ouverture et la fermeture des vannes provoquent des reflux de la masse d'air d'admission dans la tubulure d'admission.

Le débitmètre d'air massique à film chaud à détection du reflux détecte la masse d'air refluant et en tient compte pour le signal qu'il envoie à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.



266\_073

### Exploitation du signal

Les signaux sont exploités par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel en vue du calcul du débit d'injection.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

En cas de défaut du signal du débitmètre d'air massique, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel utilise une valeur de remplacement fixe.

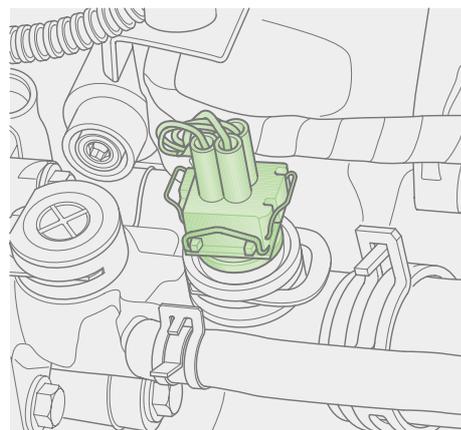
## Transmetteur de température de liquide de refroidissement G62

Le transmetteur de température de liquide de refroidissement se trouve sur le raccord de liquide de refroidissement de la culasse.

Le transmetteur informe l'appareil de commande de système d'injection directe diesel sur la température momentanée du liquide de refroidissement.

### Exploitation du signal

L'appareil de commande de système d'injection directe diesel utilise la température du liquide de refroidissement comme valeur de correction pour le calcul du débit d'injection.



266\_074

### Répercussion en cas de défaillance du signal

Si le signal fait défaut, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel fait appel à une valeur de remplacement fixe.



# Gestion du moteur

## Contacteur de feux stop F et contacteur de pédale de frein F47

Le contacteur de feux stop et le contacteur de pédale de frein sont regroupés dans un composant sur le pédalier. Les contacteurs sont utilisés par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel en vue de la détection de l'actionnement de la pédale de frein.



266\_078

### Exploitation du signal

Les deux contacteurs fournissent à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel le signal "frein actionné". Si le transmetteur de position de l'accélérateur est défectueux, la régulation est, pour des raisons de sécurité, coupée avec le frein actionné.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

En cas de défaillance de l'un des contacteurs, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel réduit le débit de carburant. Le moteur a moins de puissance.

## Contacteur de pédale d'embrayage F36

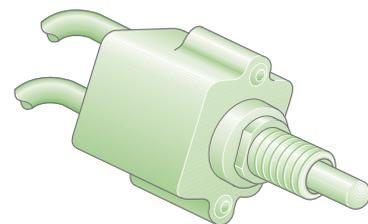
Le contacteur de pédale d'embrayage est logé au niveau du pédalier et est actionné par la pédale d'embrayage. Il sert à la détection de l'actionnement de l'embrayage.

### Exploitation du signal

Ce signal renseigne l'appareil de commande de système d'injection directe diesel sur les embrayages/débrayages. Lors d'un embrayage, le débit d'injection est brièvement réduit. Cela évite une secousse du moteur lors du passage du rapport.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

En cas de défaut du signal du contacteur de pédale d'embrayage, des à-coups dus à la charge peuvent se produire lors du passage d'un rapport.



266\_076

## Transmetteur de position de l'accélérateur G79 avec contacteur de ralenti F60

Le transmetteur de position de l'accélérateur est logé dans le compartiment-moteur et est relié par une tringlerie à l'accélérateur.

Le signal du transmetteur de position de l'accélérateur permet à l'appareil de commande de détecter la position de l'accélérateur. Le transmetteur abrite également le contacteur de ralenti.

### Exploitation du signal

La position de l'accélérateur est une des principales grandeurs d'influence pour le calcul du débit d'injection.

Le contacteur de ralenti signale à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel si l'accélérateur est actionné.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

Sans signal, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel ne peut pas reconnaître la position de l'accélérateur. Le moteur continue de tourner au régime de ralenti accéléré.

Le conducteur peut se rendre à l'atelier le plus proche.

## Transmetteur altimétrique F96

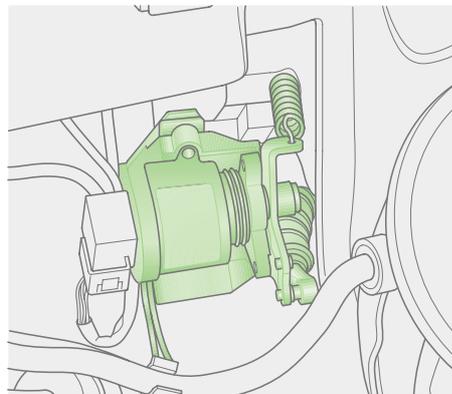
Le transmetteur altimétrique est intégré dans l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.

### Exploitation du signal

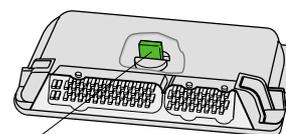
Le transmetteur altimétrique signale à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel la pression atmosphérique momentanée. Celle-ci dépend de l'altitude géographique. Ce signal induit une correction altimétrique pour la régulation de la pression de suralimentation.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

En altitude, des fumées noires se produisent.



266\_071



Transmetteur  
altimétrique

266\_077

# Gestion du moteur

## Transmetteur de pression du carburant G247

Le transmetteur de pression du carburant est monté sur l'accumulateur haute pression et détermine la pression momentanée du carburant dans la plage de haute pression.

### Fonctionnement

La pression du carburant est transmise au capteur par le raccord haute pression. Le capteur est constitué par une membrane en acier avec des résistances extensibles métallisées sous vide.

En cas de variations de pression, la flexion de la membrane entraîne la variation des résistances extensibles.

L'électronique d'exploitation mémorise ce signal de résistance et le transmet comme signal de tension à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.

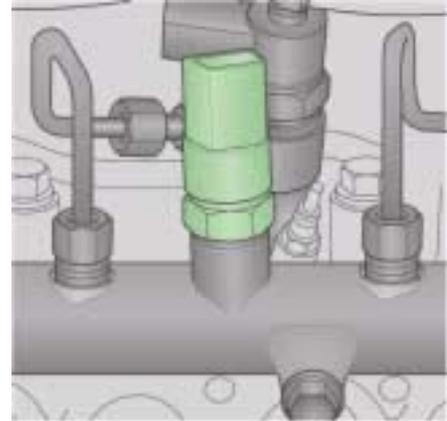
La pression momentanée peut alors être calculée à l'aide d'une cartographie mémorisée.

### Exploitation du signal

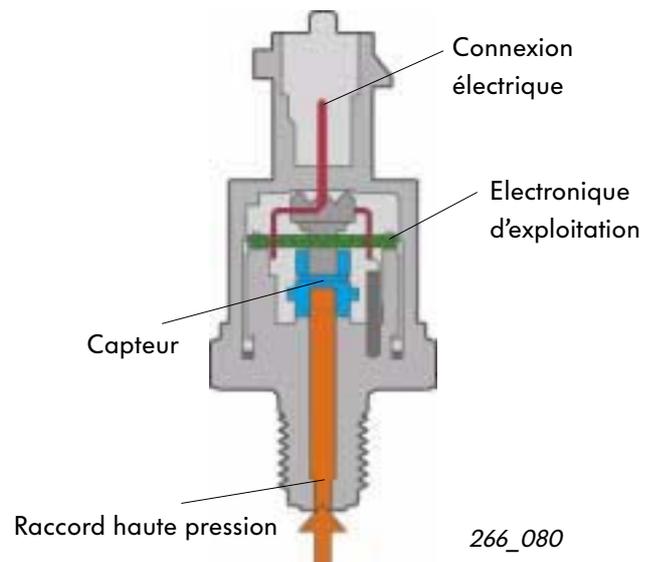
Le signal de tension joue pour l'appareil de commande de système d'injection directe diesel le rôle de grandeur d'influence pour la régulation de la pression du carburant dans la plage de haute pression.

### Répercussion en cas de défaillance du signal

Le moteur ne peut pas tourner.



266\_058



266\_080



Si le transmetteur de pression du carburant détecte une chute ou une augmentation importante de pression dans la plage de haute pression, le moteur est coupé pour raisons de sécurité.

### **Transmetteurs de pression de tubulure d'admission G71 et de température de tubulure d'admission G72**

Les deux transmetteurs sont regroupés en un composant, qui se trouve dans la tubulure d'admission.

#### **Transmetteur de pression de tubulure d'admission G71**

Il enregistre la pression momentanée dans la tubulure d'admission.

#### **Exploitation du signal**

L'appareil de commande de système d'injection directe diesel exploite le signal du capteur en vue de la régulation de la pression de suralimentation.

#### **Répercussion en cas de défaillance du signal**

En cas de défaillance, il n'existe pas de mode de fonctionnement de remplacement.  
La régulation de la pression de suralimentation est coupée; la puissance du moteur s'en trouve réduite.

#### **Transmetteur de température de tubulure d'admission G72**

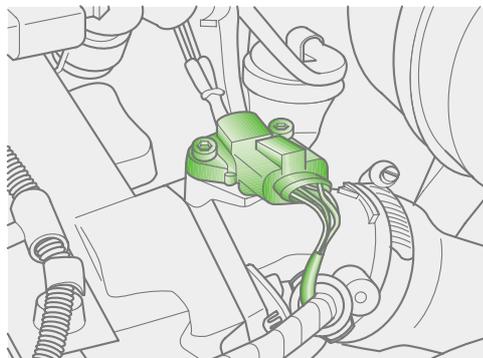
Il enregistre la température momentanée de l'air d'admission.

#### **Exploitation du signal**

Le signal est utilisé par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel comme valeur correctrice de la pression de suralimentation.  
L'influence de la température sur la densité de l'air de suralimentation peut ainsi être prise en compte.

#### **Répercussion en cas de défaillance du signal**

En cas de défaillance du signal, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel fait appel à une valeur fixe.  
Il peut s'ensuivre une perte de puissance du moteur.



266\_023



# Gestion du moteur

## Signaux d'entrée supplémentaires

### Signal de vitesse du véhicule

Ce signal est fourni à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel par le transmetteur de vitesse du véhicule.

Il est utilisé pour les fonctions suivantes:

- limitation de la vitesse maximale,
- amortissement des à-coups lors du passage des rapports et
- contrôle du fonctionnement du régulateur de vitesse.

### Régulateur de vitesse

Le signal du contacteur de régulateur de vitesse GRA permet à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel de détecter l'activation du régulateur de vitesse.

## Signaux de sortie supplémentaires

### Régime-moteur

Le signal sert d'information de régime-moteur pour le compte-tours dans le porte-instruments.

### Compresseur du climatiseur

Ce signal sert à la coupure du compresseur du climatiseur en vue de réduire les sollicitations du moteurs dans certaines circonstances.

### Veille du compresseur du climatiseur

L'appareil de commande de système d'injection directe diesel reçoit du contacteur du climatiseur le signal lui indiquant que le compresseur du climatiseur va être mis en circuit.

Il augmente le régime de ralenti du moteur en vue d'éviter une perte de régime lors du démarrage du compresseur.

### Régulation du régime de fonctionnement

Le contacteur de régime de fonctionnement délivre à l'appareil de commande de système d'injection directe diesel le signal d'augmentation du régime-moteur.



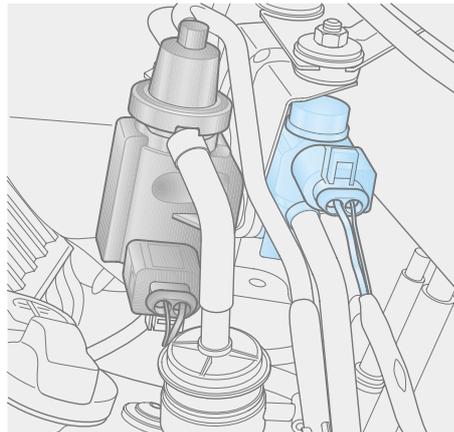
## Actionneurs

### Electrovanne de limitation de pression de suralimentation N75

L'électrovanne de limitation de pression de suralimentation est une vanne électropneumatique, montée avec la vanne de commutation de volet de tubulure d'admission N239 dans le compartiment-moteur, sur le tablier.

L'électrovanne est pilotée par impulsions par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel et fournit la pression de commande nécessaire à l'actionnement de la capsule de dépression servant à la variation des ailettes du turbocompresseur.

La pression de suralimentation est régulée suivant une cartographie mémorisée dans l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.



266\_075

### Répercussion en cas de défaillance

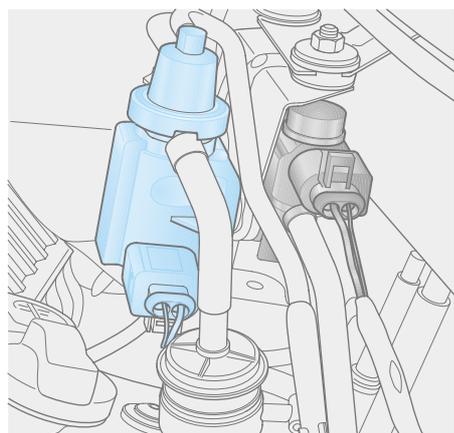
En cas de défaillance de l'électrovanne de limitation de pression de suralimentation, la puissance du moteur est réduite.

### Vanne de commutation de volet de tubulure d'admission N239

La vanne de commutation de volet de tubulure d'admission pilote la dépression servant à l'actionnement du volet de tubulure d'admission. Le volet évite les secousses lors de la coupure du moteur.

Il coupe l'arrivée d'air lorsque l'on arrête le moteur.

L'air comprimé est alors moins important et le moteur s'arrête en douceur.



266\_079

### Répercussions en cas de défaillance

En cas de défaillance de la vanne de commutation de volet de tubulure d'admission, le volet reste ouvert.



# Gestion du moteur

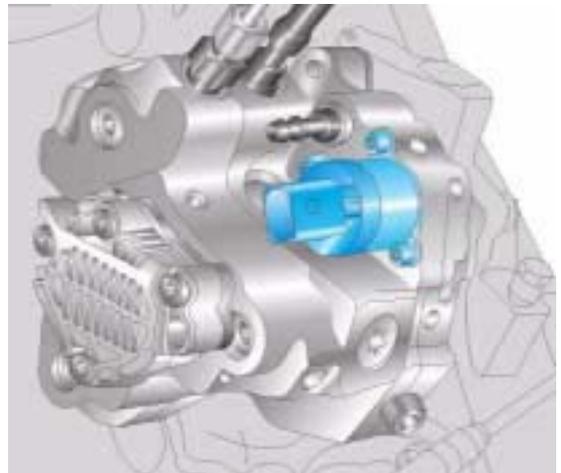
## Vanne de régulation de pression de carburant N276

La vanne de régulation de pression de carburant N276 est montée sur la pompe à haute pression.

Son rôle consiste à réguler la pression du carburant dans la plage de haute pression. Elle est pour cela directement pilotée par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.

La régulation de la pression du carburant s'effectue côté admission de la plage de basse pression. Cela présente l'avantage que la pompe à haute pression doit uniquement fournir la pression requise pour la situation de marche momentanée.

La consommation de puissance de la pompe à haute pression s'en trouve réduite et l'on évite un réchauffement inutile du carburant.



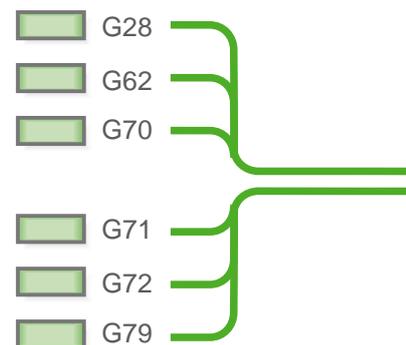
266\_054

## Régulation

La vanne de régulation N276 est pilotée par l'appareil de commande en vue de la régulation de la pression du carburant.

L'appareil de commande J248 calcule à partir des informations de:

- transmetteur de régime-moteur G28,
- transmetteur de température de liquide de refroidissement G62,
- débitmètre d'air massique G70,
- transmetteur de pression de tubulure d'admission G71,
- transmetteur de température de tubulure d'admission G72,
- transmetteur de position de l'accélérateur G79 et
- du transmetteur de pression du carburant G247



la pression du carburant requise pour l'injection.

Sur ces entrefaites, l'appareil de commande de système d'injection directe diesel commande la vanne de régulation N276 par un signal de modulation d'impulsions en largeur (MIL):

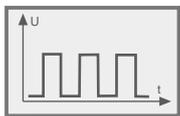
- grande largeur d'impulsions= pression élevée
- largeur d'impulsions courte = faible pression.

En fonction de la charge requise du moteur, l'appareil de commande varie la largeur d'impulsions de commande de la vanne de régulation.

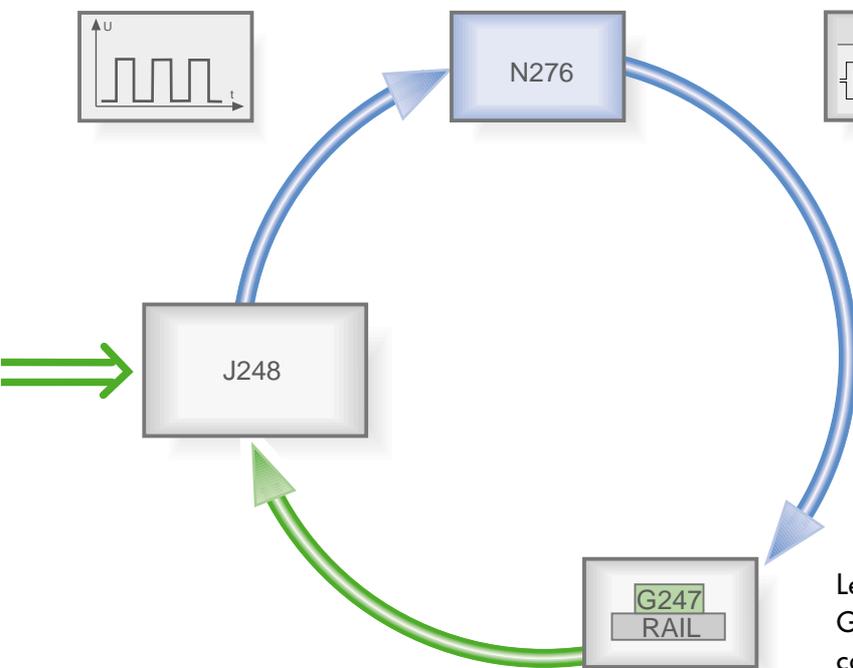
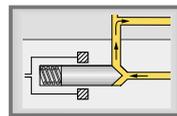
Il s'ensuit une régulation du débit de carburant en direction de la pompe à haute pression.



Signal MIL



Vanne de régulation



Le transmetteur de pression du carburant G247 signale la pression momentanée du carburant à l'appareil de commande J248.

266\_094a

# Gestion du moteur

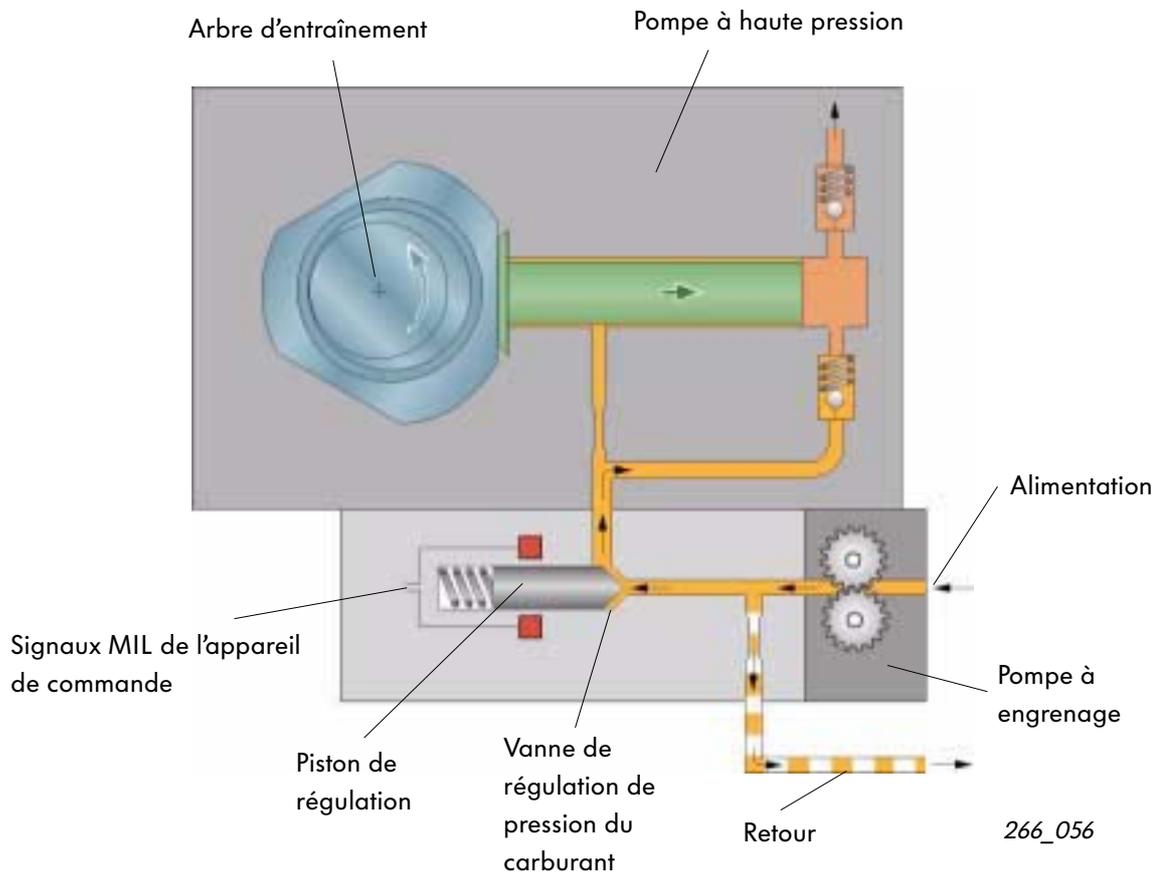
## Fonctionnement

### Faible pression du carburant

Lorsqu'on requiert une faible pression du carburant, la largeur d'impulsions du signal est courte.

Le piston de régulation réduit l'arrivée du carburant à la pompe à haute pression. Il ne parvient donc qu'une petite quantité de carburant à la pompe à haute pression, et la pression du carburant générée est faible.

Le carburant excédentaire refoulé par la pompe à engrenage est ramené par la conduite de retour au réservoir de carburant.



Signal MIL à largeur d'impulsions courte

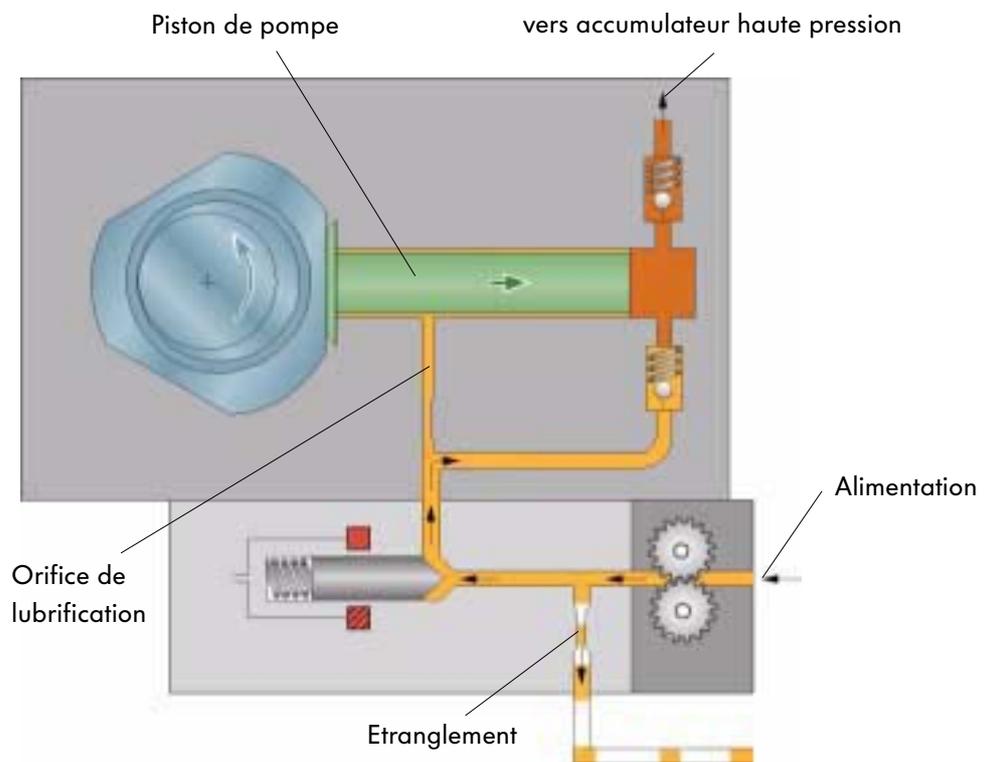
266\_106

## Pression du carburant élevée

Pour une pression du carburant élevée, la vanne de régulation de pression de carburant est pilotée par un signal à grande largeur d'impulsions.

Le piston de régulation libère alors une grande section de pompe à engrenage vers la pompe à haute pression.

Une quantité de carburant élevée parvient alors à la pompe à haute pression, d'où génération d'une pression du carburant élevée.



266\_055



Signal MIL à grande largeur d'impulsions

266\_107



# Gestion du moteur

## Système de préchauffage

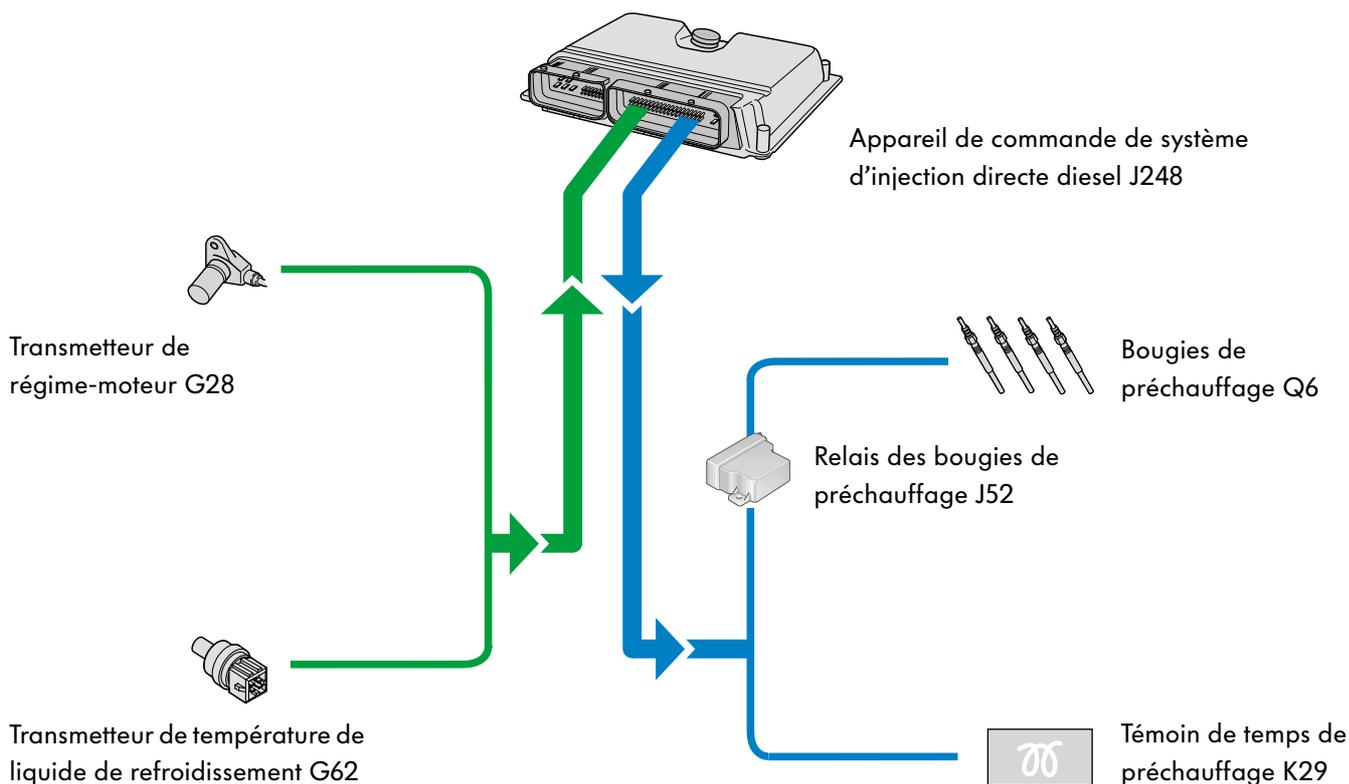
Le système de préchauffage facilite le lancement du moteur à basses températures. Il est mis en circuit par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel lorsque la température du liquide de refroidissement est inférieure à +9 °C.

Le relais des bougies de préchauffage est piloté directement par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel. Il alimente alors en courant les bougies de préchauffage.

Le synoptique du système de préchauffage vous montre quels sont les signaux des capteurs utilisés pour le préchauffage et quels actionneurs sont pilotés.



### Synoptique du système de préchauffage



266\_064

Lors du préchauffage, on distingue entre:

### Phase de préchauffage

Après mise du contact d'allumage, les bougies de préchauffage sont mises en circuit à une température inférieure à +9 °C.

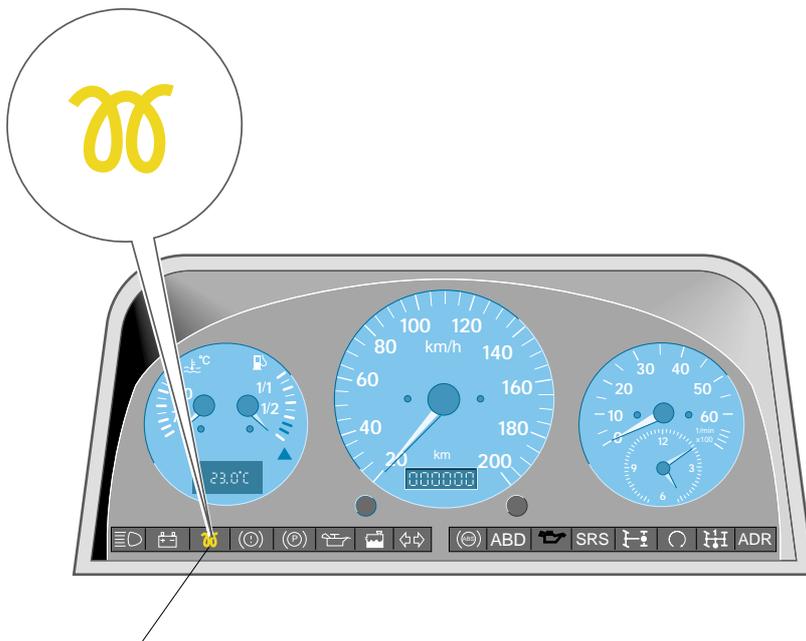
Le témoin de préchauffage du porte-instruments est allumé.

Une fois le préchauffage terminé, le témoin s'éteint et il est possible de lancer le moteur.

### Phase de post-réchauffage

Il y a après chaque lancement du moteur un post-réchauffage, qu'il y ait eu ou non préchauffage.

Cela permet de réduire les bruits de combustion, d'améliorer la qualité du ralenti et de limiter les émissions polluantes d'hydrocarbures.



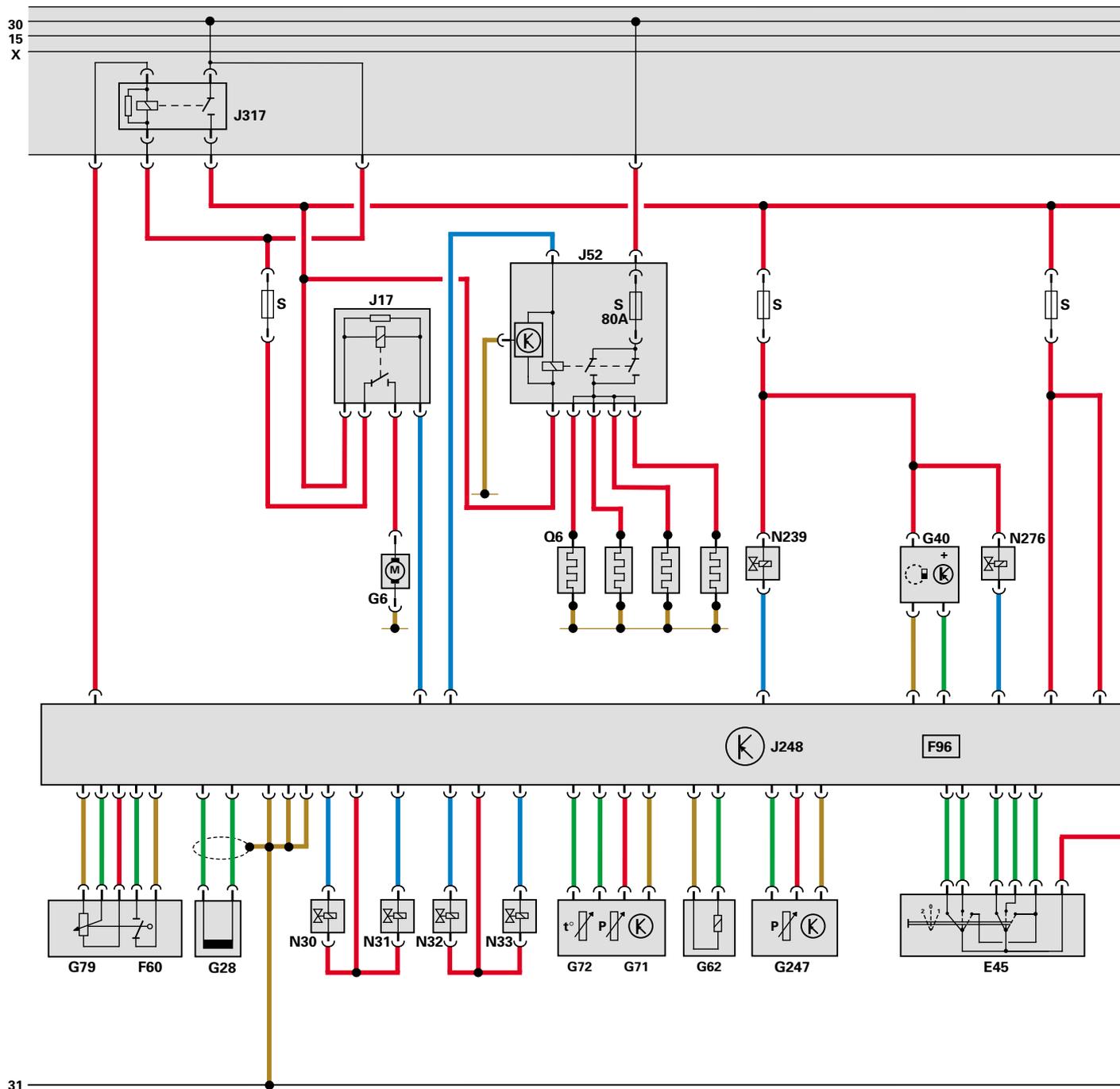
Témoin de temps de préchauffage K29

266\_105c

# Gestion du moteur

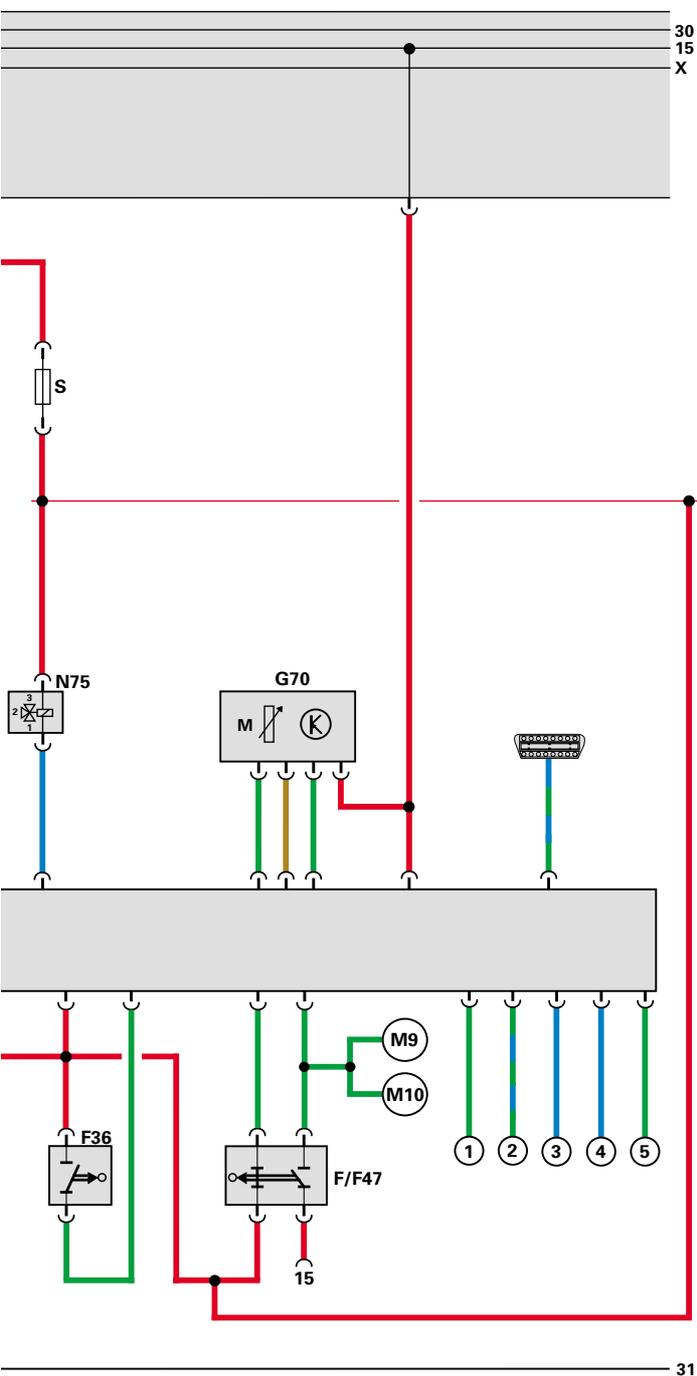
## Schéma fonctionnel

(Moteur TDI de 2,8 l avec Common Rail - AUH)



### Codage par couleur

- = Signal d'entrée
- = Signal de sortie
- = Positif
- = Masse
- = bidirectionnel



### Signaux supplémentaires

266\_001

- ① Signal de vitesse
- ② Signal de compresseur du climatiseur
- ③ vers témoin de temps de préchauffage K29
- ④ Signal de régime-moteur
- ⑤ Régulation du régime de travail

### Composants

- E45 - Commande pour régulateur de vitesse GRA
- F - Contacteur de feux stop
- F36 - Contacteur de pédale d'embrayage
- F47 - Contacteur de pédale de frein p. régulateur de vitesse GRA/injection directe diesel
- F60 - Contacteur de ralenti
- F96 - Transmetteur altimétrique
- G6 - Pompe à carburant
- G28 - Transmetteur de régime-moteur
- G40 - Transmetteur de Hall
- G62 - Transmetteur temp. liquide refroid.
- G70 - Débitmètre d'air massique
- G71 - Transmetteur pression tubulure d'admission
- G72 - Transmetteur temp. de tubulure d'admission
- G79 - Transmetteur de position de l'accélérateur
- G247 - Transmetteur de pression du carburant
- J17 - Relais de pompe à carburant
- J52 - Relais des bougies de préchauffage
- J248 - Appareil de commande de système d'injection directe diesel
- J317 - Relais d'alimentation en tension - borne 30
- M9 - Ampoule de feu stop G
- M10 - Ampoule de feu stop D
- N30 - Electrovanne pour injecteur cylindre 1
- N31 - Electrovanne pour injecteur cylindre 2
- N32 - Electrovanne pour injecteur cylindre 3
- N33 - Electrovanne pour injecteur cylindre 4
- N75 - Electrovanne de limitation de pression de suralimentation
- N239 - Vanne de commutation de volet de tubulure d'admission
- N276 - Vanne de régulation de pression de carburant
- Q6 - Bougies de préchauffage
- S - Fusible

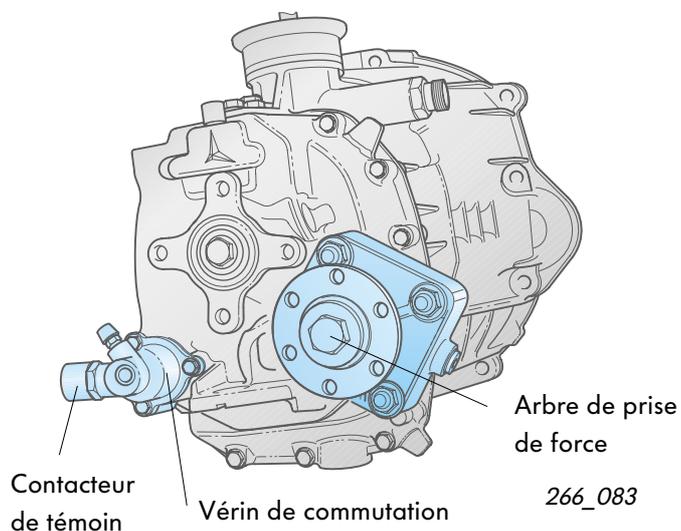


# Fonctions supplémentaires

## Prise de force

En option, le LT peut être, en vue du fonctionnement d'équipements supplémentaires, équipé d'une prise de force.

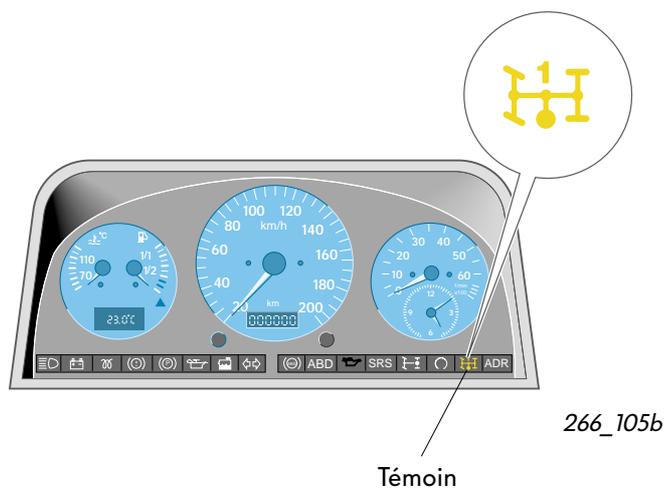
Cette prise de force permet l'actionnement de consommateurs auxiliaires, tels qu'une benne basculante ou une plate-forme de levage. Le prélèvement destiné à la prise de force s'effectue au niveau de la boîte de vitesses.



La prise de force est mise en circuit par la commande de prise de force du tableau de bord.

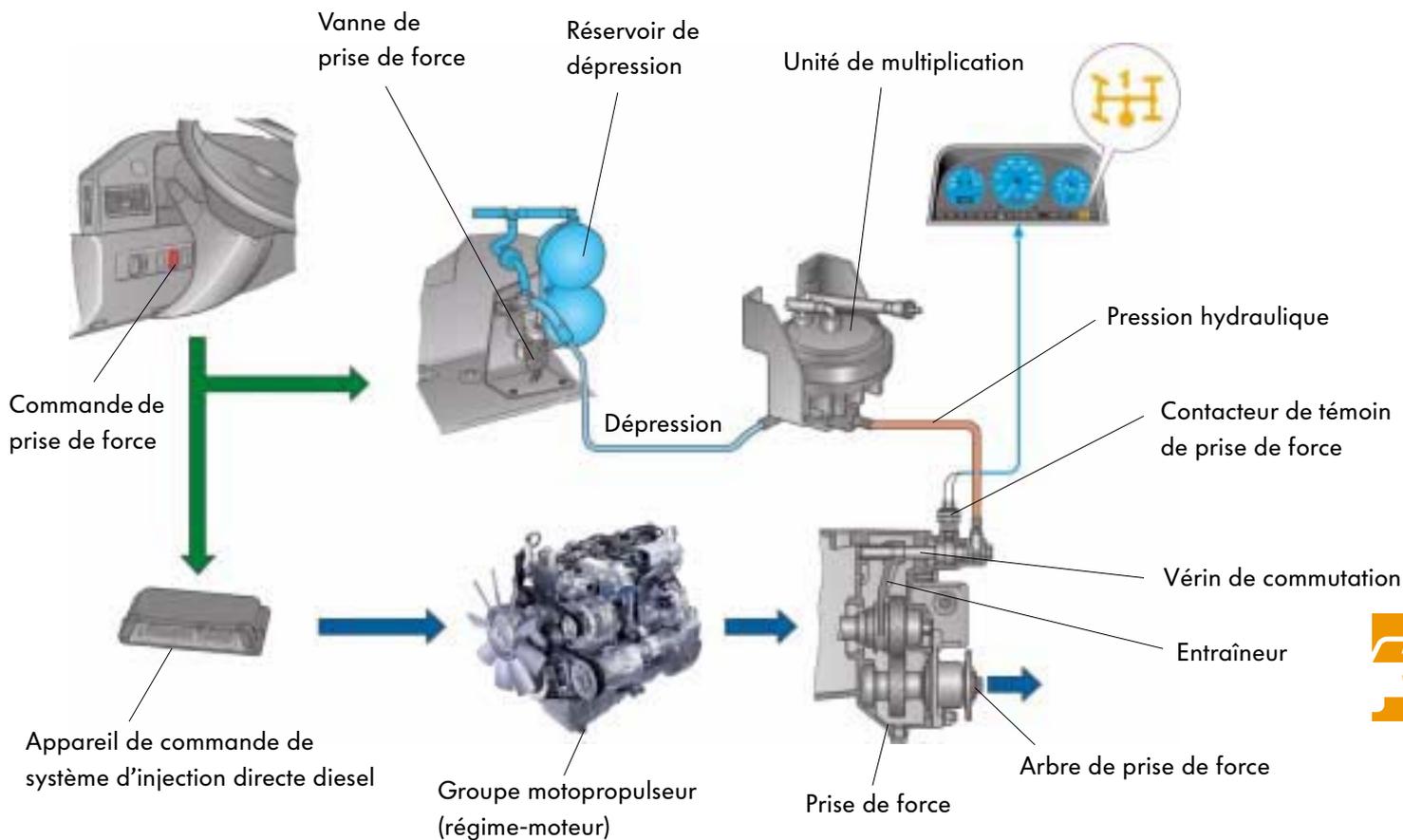


Lorsque la prise de force est activée, le témoin du porte-instruments s'allume.



Pour l'utilisation des consommateurs auxiliaires, tenir compte des instructions de service du constructeur considéré.

## Synoptique de la prise de force



266\_084

## Fonctionnement

La prise de force est activée par la commande à bascule du tableau de bord.  
 La vanne de prise de force s'ouvre et applique une dépression à l'unité de multiplication.  
 Une pression hydraulique s'établit dans l'unité de multiplication, qui commute l'étage multiplicateur de la prise de force via le vérin de commutation et l'entraîneur.

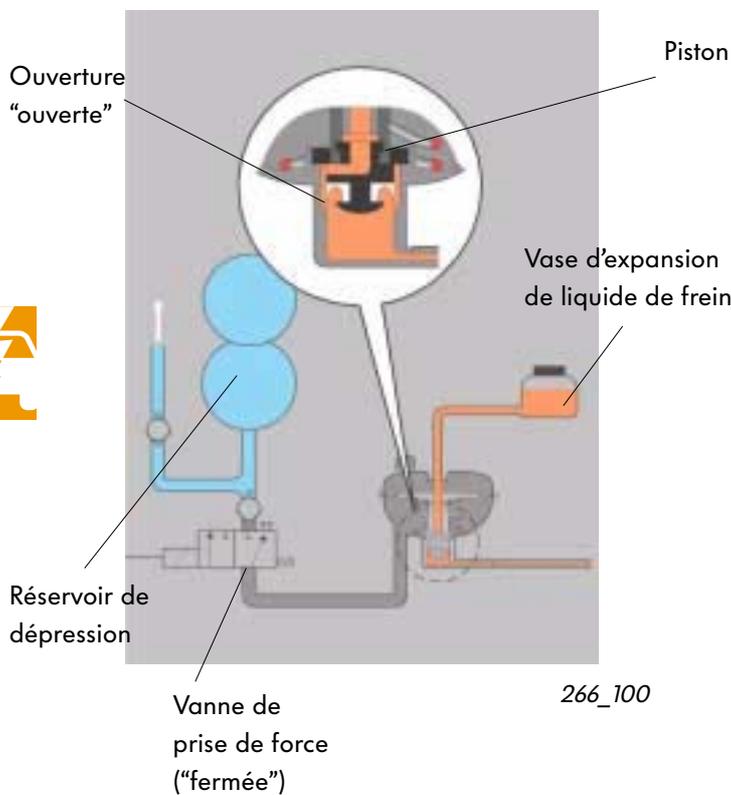
Le contacteur de témoin sur le vérin de commutation commande le témoin de prise de force dans le porte-instruments.  
 Le témoin reste allumé tant que la prise de force est en circuit.

# Fonctions supplémentaires

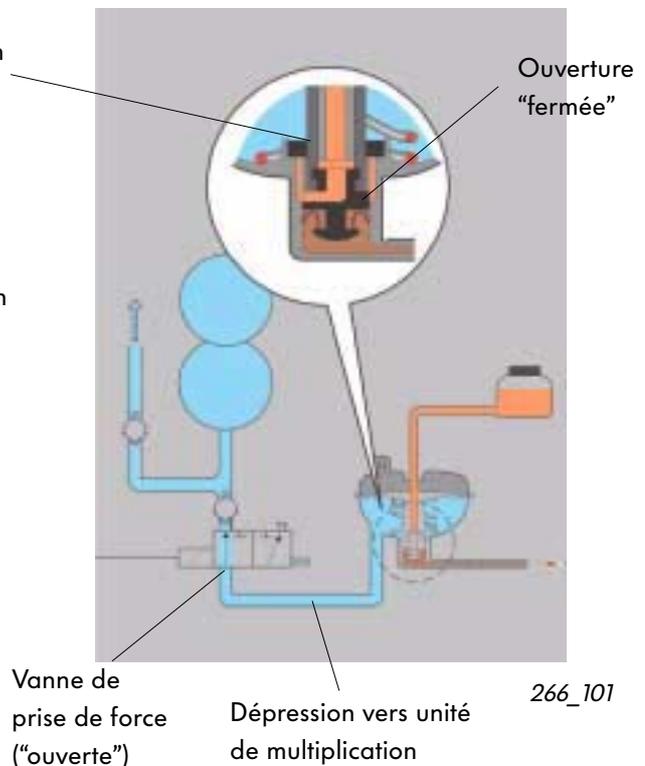
## Unité de multiplication

L'unité de multiplication "convertit" la dépression en une pression hydraulique.  
Cette pression d'huile actionne le vérin de commutation.

Prise de force non activée



Prise de force activée



Tant que la vanne de prise de force est fermée, il y a équilibre des pressions entre le vase d'expansion de liquide de frein et le vérin de commutation de la prise de force.

La mise en circuit de la prise de force provoque l'ouverture de la vanne de prise de force.  
Une dépression est alors appliquée à l'unité de multiplication.  
Le piston se déplace vers le bas.

Le piston se déplaçant vers le bas ferme l'ouverture entre vase d'expansion et vérin de commutation.  
Une pression hydraulique s'établit entre unité de multiplication et vérin de commutation.  
Cette pression permet au vérin de commutation d'activer la prise de force.  
L'arbre de prise de force tourne.

## Régulation du régime de fonctionnement

La régulation du régime de fonctionnement de la prise de force est assurée via le régime-moteur par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.

Un témoin de régulation automatique du régime (ADR) se trouve au porte-instruments.

En cas de défaut de la régulation automatique du régime, le témoin ADR clignote.

## Régulation automatique du régime

Afin d'éviter une chute de régime du moteur avec la prise de force en circuit, une régulation automatique du régime est activée lors de la mise en circuit de la prise de force. La régulation est assurée par l'appareil de commande de système d'injection directe diesel.

Suivant le type de prise de force, il est fait appel à

- une régulation variable du régime de fonctionnement ou à
- une régulation fixe du régime de fonctionnement.

## Régulation variable du régime de fonctionnement

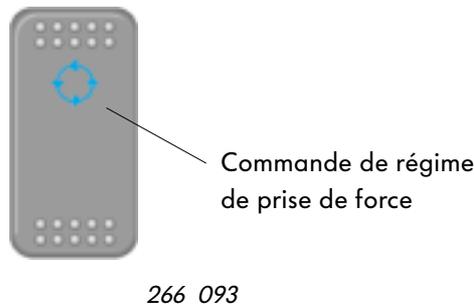
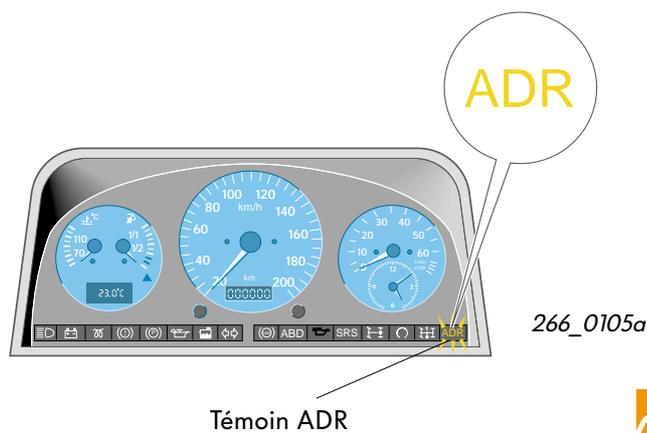
Dans ce cas, il est possible de faire varier le régime de fonctionnement vers "le haut" ou "le bas" en appuyant sur la commande de prise de force.

Le régime maximal peut être adapté dans une plage de 1 000 tr/min à 3 000 tr/min à l'aide du système de diagnostic embarqué, de métrologie et d'information VAS 5051.

## Régulation fixe du régime de fonctionnement

Dans ce cas, il n'est pas possible de faire varier le régime de fonctionnement avec la prise de force activée.

Le régime fixe peut être adapté dans une plage de 1 000 tr/min à 3 000 tr/min à l'aide du système de diagnostic embarqué, de métrologie et d'information VAS 5051.



Les indications relatives à l'adaptation de la régulation variable ou fixe du régime de fonctionnement figurent dans le Manuel de réparation.

# Contrôle des connaissances

**Veillez cocher les réponses correctes?**

Il peut s'agir d'une réponse, de plusieurs réponses ou de la totalité d'entre elles.

**1. Au niveau de quel pignon des organes de distribution est-il possible de régler le jeu d'entre-dents?**

- a) Pignon d'arbre à cames.
- b) Pignon intermédiaire d'arbre à cames.
- c) Le réglage peut s'effectuer sur tous les pignons.

**2. Quelle est la valeur maximale de la pression possible dans l'accumulateur de pression (rail)?**

La pression maximale possible est de ..... bars.

**3. Quels sont les composants responsables de la régulation de la pression du carburant dans le circuit haute pression du système d'injection Common Rail?**

- a) Le limiteur de pression.
- b) Le transmetteur de pression du carburant G247.
- c) Les injecteurs.

**4. Quel composant de la pompe à haute pression est responsable de la montée et de la descente des trois pistons de pompe?**

Les mouvements de montée et de descente des trois pistons de pompe sont réalisés par la ..... située sur l' .....

**5. Pourquoi est-il procédé, dans le cas du système d'injection Common Rail, à une injection étagée (pré-injection et post-injection)?**

- a) Pour pouvoir acheminer une plus grande quantité de carburant dans la chambre de combustion.
- b) Pour réduire le retard à l'allumage de l'injection principale.
- c) En vue de réduire les bruits de combustion.

**6. De quoi dépend le débit d'injection des injecteurs?**

- a) De la durée du pilotage de l'électrovanne de l'injecteur.
- b) De la pression du rail.
- c) Du limiteur de pression.



1. b; 2. 1450 bar; 3. b; 4. came  $\epsilon$  excentrique, arbre d'entraînement; 5. b, c; 6. a. b;



Réservé à l'usage interne © VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg  
Sous réserve de tous droits et modifications techniques  
240.2810.85.40 Définition technique 03/02

✿ Ce papier a été produit à partir  
de papier blanchi sans chlore.