



## Programme autodidactique 352

# L'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique

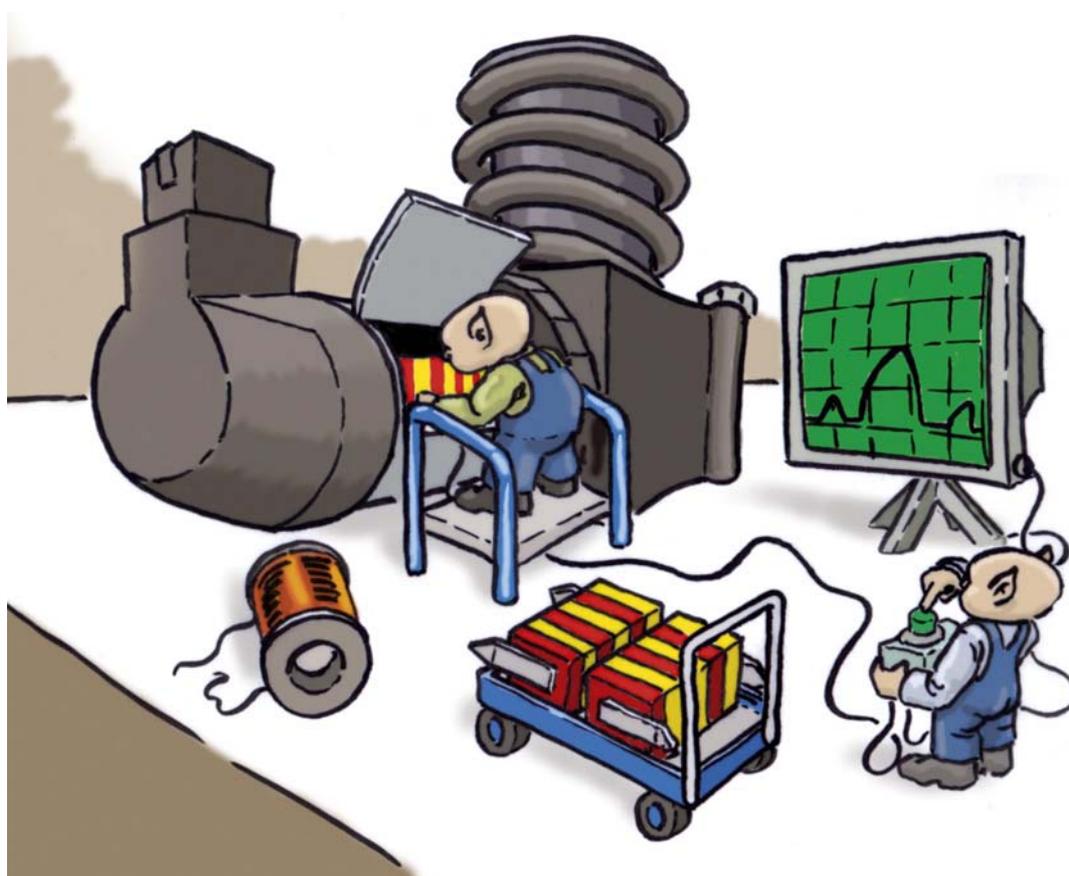
Conception et fonctionnement



Le triomphe des moteurs diesel, lié à leur faible consommation et à leurs performances, est incontestable - ce qui n'empêche pas de reconsidérer à la hausse les objectifs en matière d'émissions, de confort routier et de puissance moteur. La satisfaction des clients, la protection de l'environnement et les dispositions légales viennent systématiquement au premier plan et ne peuvent être réalisées que par un perfectionnement constant.

L'avènement et la continuelle optimisation de l'injecteur-pompe nous ont permis de nous assurer d'importants avantages concurrentiels dans les domaines de la pression d'injection, de la précision d'injection et du rendement. En collaboration avec Siemens VDO Automotive AG, il a été possible de mettre au point un injecteur-pompe, conservant ou améliorant les avantages connus et autorisant une définition plus souple des injections pilote et principale ainsi que de la post-injection.

Un conditionnement du mélange amélioré, un rendement accru et un niveau de bruit réduit en sont les résultats prometteurs.



S352\_002

**NOUVEAU**



**Attention  
Nota**



**Le programme autodidactique présente la conception et le fonctionnement de nouveaux développements ! Il n'est pas remis à jour.**

Pour les instructions de contrôle, de réglage et de réparation, prière de vous reporter aux ouvrages SAV correspondants.



<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
Généralités .....	4
Améliorations .....	5
<b>Architecture</b> .....	<b>8</b>
Vue d'ensemble .....	8
L'injecteur piézo-électrique .....	9
La chambre du ressort d'injecteur .....	11
<b>Injection</b> .....	<b>13</b>
L'injection pilote .....	13
L'injection principale .....	16
La post-injection .....	18
<b>Service</b> .....	<b>20</b>
<b>Contrôle des connaissances</b> .....	<b>23</b>



# Introduction



## Généralités

L'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique (version : PPD 1.1) constitue un perfectionnement de l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique. Comme l'indique son nom, l'injecteur électromagnétique a entre autres été remplacé par un injecteur piézo-électrique, plus rapide et plus aisément pilotable. En outre, la commande mécanique des diverses pressions d'injection au sein de l'injecteur-pompe a été améliorée, ce qui a permis de supprimer le piston étagé et de réduire le volume haute pression en faveur du rendement.

Pour ne pas générer de coûts supplémentaires au niveau de la conception du moteur, les cotes de montage et la fixation à l'aide de 2 vis ont été reprises de l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique (PDE-P2).

Il est prévu d'équiper des nouveaux injecteurs-pompes le nouveau moteur TDI à 4 soupapes par cylindre de 2,0l, d'une puissance de 125 kW et, ultérieurement, d'autres moteurs TDI à 4 soupapes.

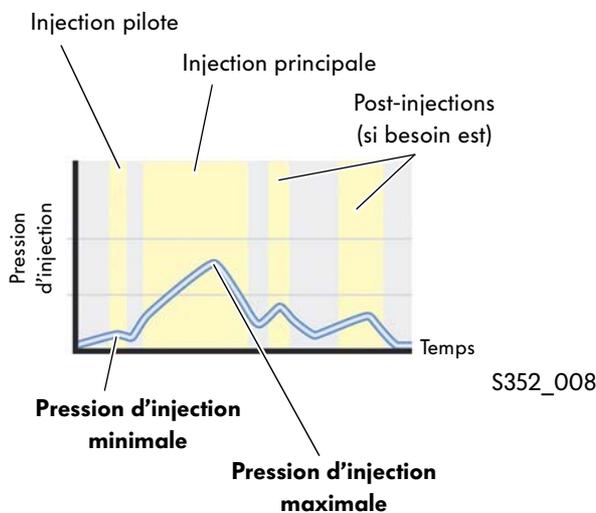
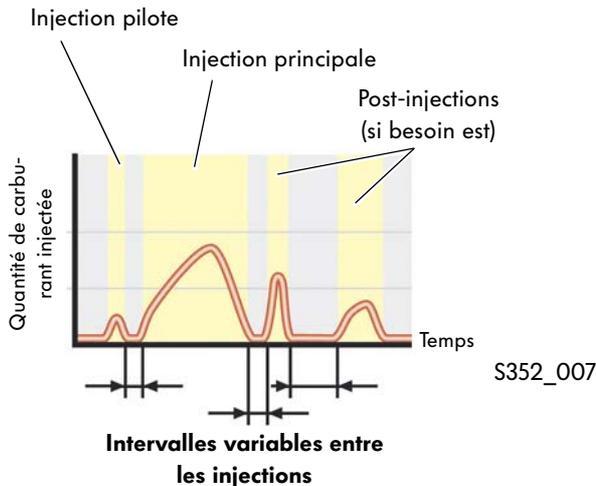


S352\_005

La société Volkswagen Mechatronic GmbH & Co. KG a été créée en coopération avec Siemens VDO Automotive AG en vue de la fabrication de l'injecteur-pompe à piézo-injecteur. La nouvelle usine de production est implantée à Stollberg, en Saxe.

Actuellement, quelque 200 personnes travaillent à la production du nouvel injecteur-pompe.

## Améliorations



## Emissions de bruits

Les émissions typiques de bruits des moteurs diesel au ralenti ne sont pas dues en premier lieu à la combustion, mais aux bruits des injecteurs-pompes. Ces bruits sont générés par des variations de pression rapides et massives au sein de l'injecteur-pompe et leur transmission au moteur via l'entraînement des injecteurs-pompes.

Il est maintenant possible d'exercer une influence sur ces variations de pression et sur le bruit qu'elles génèrent grâce à l'injecteur piézo-électrique, au fonctionnement à la fois plus rapide et plus précis. L'injecteur piézo-électrique peut être piloté avec une

## Pilotage des phases d'injection

En raison de la vitesse de commutation du nouvel injecteur piézo-électrique, pratiquement quatre fois plus rapide que l'ancien injecteur électromagnétique, il est possible de fermer et de rouvrir l'injecteur de commande pour chaque phase d'injection. Cela permet un pilotage à la fois plus souple et plus précis des phases d'injection et des quantités de carburant injectées.

## Pression d'injection

Chaque phase d'injection a ses exigences spécifiques en matière de pression d'injection. Par exemple, l'injection pilote requiert une pression d'injection faible, tandis que l'injection principale a besoin d'une pression d'injection très élevée. L'élargissement de la plage des pressions d'injection (130-2200 bar) a permis ici aussi de réaliser une amélioration. Une réduction des polluants et une augmentation possible de puissance en sont les conséquences.

précision telle qu'il est possible d'influer sur l'établissement et l'élimination de la pression lors des différentes phases d'injection.

Les bruits mécaniques transmis par la transmission sont limités par réduction du diamètre du piston de pompe. Les forces nécessaires à l'actionnement de l'injecteur-pompe s'en trouvent également réduites.



# Introduction

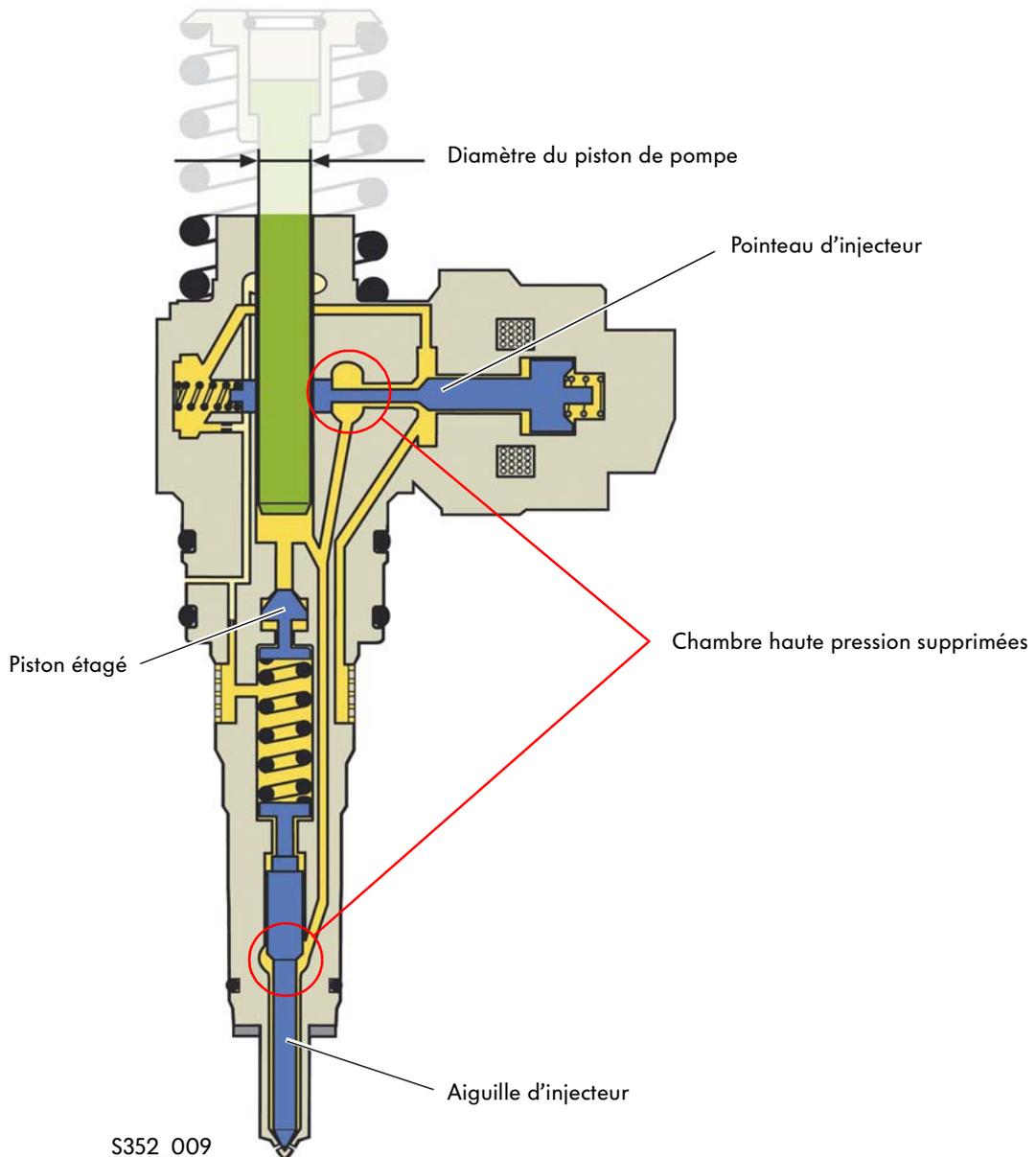


## Rendement

Un rendement plus élevé se traduit dans ce cas par des forces d'actionnement moins importantes ainsi que par une consommation de carburant réduite. Ce rendement élevé a été réalisé par suppression des chambres haute pression et du piston étagé.

Le volume haute pression s'en est trouvé réduit, si bien qu'un diamètre du piston de pompe de 6,35mm suffit à la génération des quantités de carburant injectées requises.

### Injecteur-pompe à injecteur électromagnétique



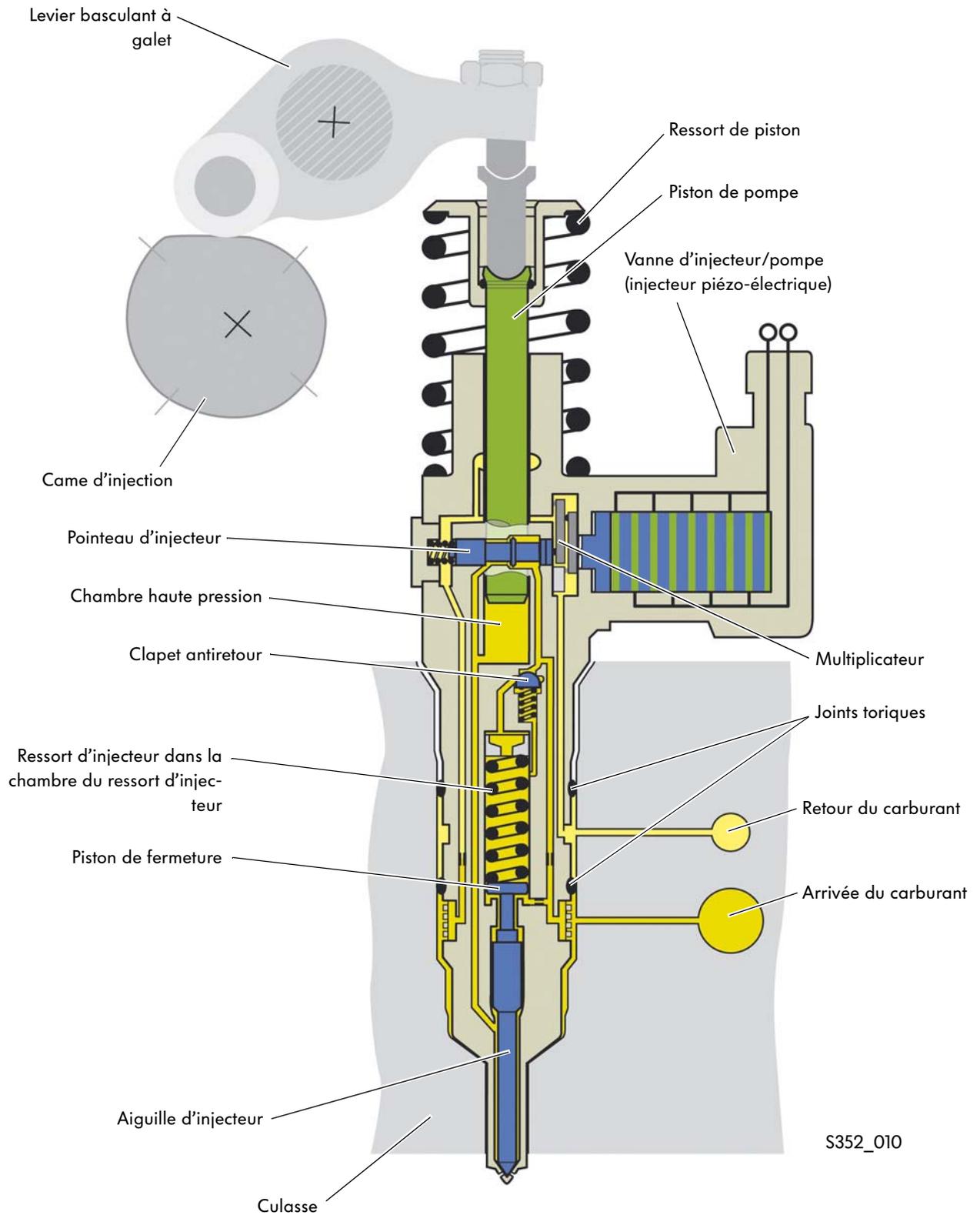
## Tableau des caractéristiques techniques

	<b>Injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique (PPD 1.1)</b>	<b>Injecteur-pompe à injecteur électromagnétique (PDE-P2)</b>
Diamètre du piston de pompe [mm]	6,35	8,0
Pression d'injection minimale [bar]	130	160
Pression d'injection maximale [bar]	2200	2050
Nombre possible d'injections pilotes	0-2 (variable)	1 (fixe)
Nombre possible de post-injections	0-2 (variable)	0 ou 2
Intervalle entre injection pilote, injection principale et post-injection [° vilebrequin]	> 6 (variable)	env. 6-10 (fixe)
Débit d'injection pilote [mm <sup>3</sup> ]	quelconque (> env. 0,5)	env. 1-3
Commande de l'injection pilote	Injecteur piézo-électrique (électronique)	Piston étagé (mécanique-hydraulique)
Augmentation de pression pour injection principale	Piston de fermeture, clapet antiretour	Piston étagé



# Architecture

## Vue d'ensemble



S352\_010

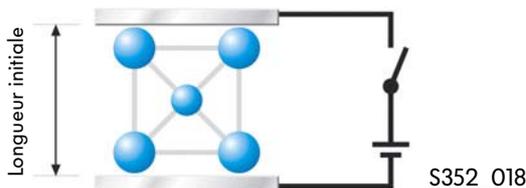
# L'injecteur piézo-électrique

La principale nouveauté du nouvel injecteur-pompe en est l'injecteur piézo-électrique, qui remplace l'injecteur électromagnétique utilisé jusqu'à présent. L'injecteur piézo-électrique se caractérise par des vitesses de commutation plus élevées et la course de commutation peut être pilotée via l'alimentation en tension. Il se compose d'un piézo-actionneur avec boîtier et connecteur, du multiplicateur et du pointeau d'injecteur dans le corps de pompe.

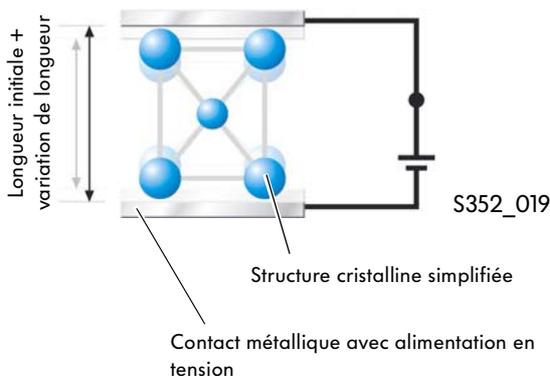


## Effet piézo-électrique inversé (structure cristalline simplifiée d'un piézo-élément)

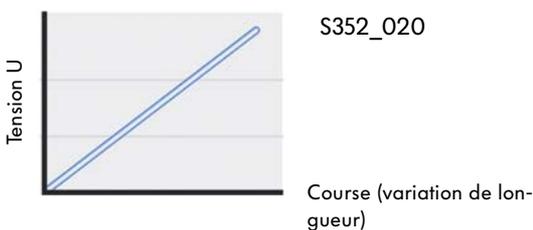
### Piézo-élément sans tension U



### Piézo-élément avec tension U



## Variation de longueur d'un piézo-élément



## Piézo-actionneur

Piézo (du grec) = pousser

La technique des capteurs est l'un des domaines d'application connus des piézo-éléments. Une pression est alors appliquée à un piézo-élément et une tension mesurable est générée. Ce comportement d'une structure cristalline est appelé effet piézo-électrique.

Dans le cas de l'utilisation d'un piézo-actionneur, c'est le comportement inverse qui est exploité. Il est fait appel à l'effet piézo-électrique inversé.

En d'autres termes, une tension est appliquée sur le piézo-élément, dont la structure cristalline réagit par une variation de longueur.

La variation de longueur d'un piézo-élément est proportionnelle à la tension appliquée. Cela revient à dire que la variation de longueur d'un piézo-élément, et donc du piézo-actionneur, peut être pilotée par la tension.

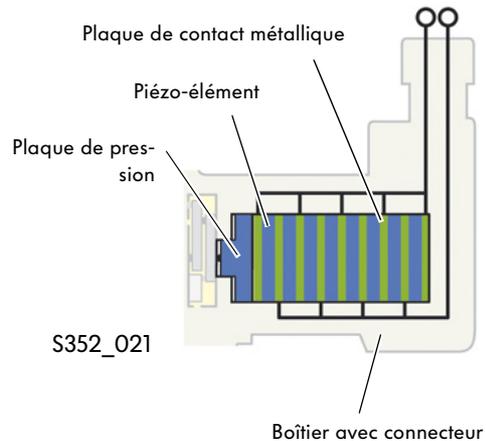
La tension de commande du piézo-actionneur s'inscrit entre 100V et 200V.

# Architecture

Un piézo-élément a une épaisseur d'env. 0,08mm et la variation lors de l'application d'une tension se monte à seulement 0,15%. Afin de réaliser une course de commutation maximale d'env. 0,04mm, il faut empiler plusieurs piézo-éléments. Dans cet empilement (également appelé « piézo-stack ») les différents piézo-éléments sont séparés par des plaques de contact métalliques (alimentation en tension).

La plaque de pression et le piézo-stack constituent le piézo-actionneur.

## Piézo-actionneur (représentation schématique)

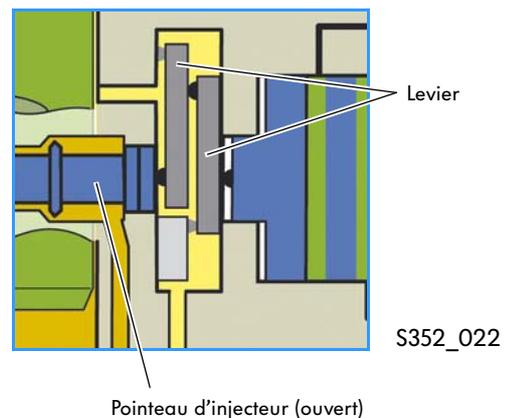


## Multiplicateur

Le piézo-actionneur a une course de commutation d'env. 0,04mm. Le pointeau d'injecteur requiert quant à lui une course de commutation d'env. 0,1mm. Pour compenser cette différence, il est fait appel à un multiplicateur, réalisé sous forme de système à levier en série.

Lorsque le piézo-actionneur n'est pas activé, le multiplicateur est en position de repos. Le pointeau d'injecteur est ouvert par le ressort du pointeau d'injecteur.

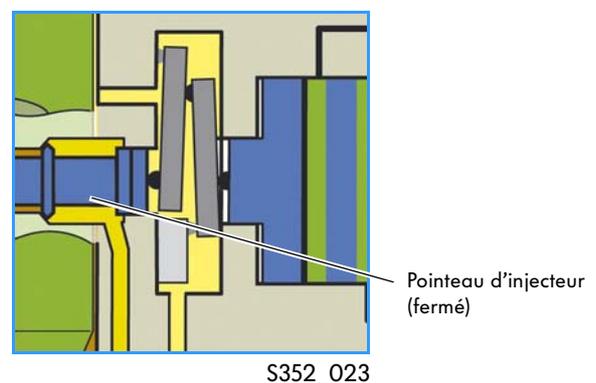
## Multiplicateur en position de repos



Lorsque le piézo-actionneur est activé, la plaque de pression appuie sur le multiplicateur. Ce dernier prolonge alors, par le biais de la démultiplication du système à leviers en série, la course de commutation à env. 0,1mm.

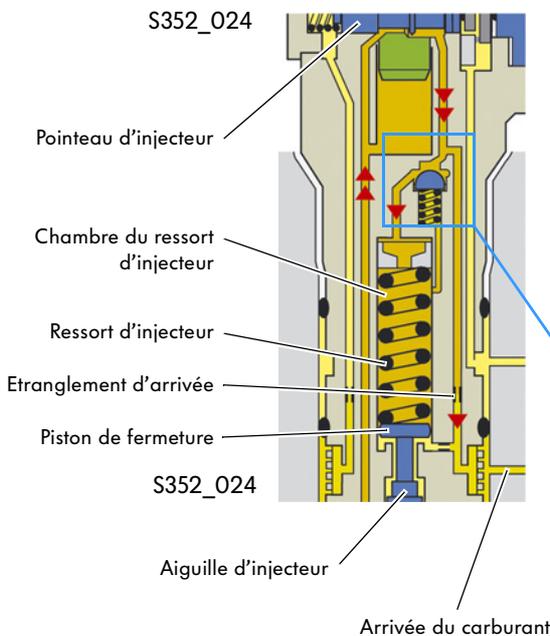
Le pointeau d'injecteur est fermé et la pression d'injection est établie.

## Multiplicateur actionné



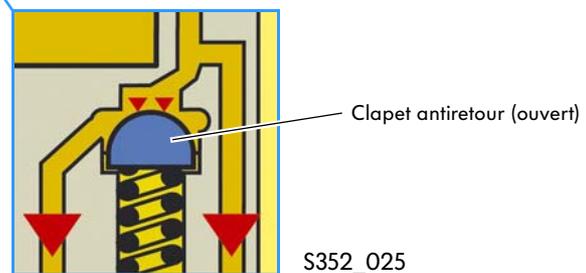
## La chambre du ressort d'injecteur

La chambre du ressort d'injecteur abrite le ressort d'injecteur, qui est d'une part chargé de la fermeture de l'aiguille d'injecteur et empêche de l'autre une ouverture prématurée au début d'une phase d'injection. Les exigences de force du ressort d'injecteur (force de fermeture de l'aiguille d'injecteur) sont cependant très variées. L'aiguille d'injecteur doit par exemple, dans le cas d'une injection pilote, s'ouvrir pour une faible pression du carburant, tandis que lors d'une injection principale, elle ne doit s'ouvrir qu'en présence d'une forte pression du carburant. L'aiguille d'injecteur doit en outre être fermée très rapidement après une phase d'injection. Pour pouvoir répondre aux exigences de force du ressort d'injecteur, il faut par exemple que le ressort d'injecteur soit assisté lors de l'injection principale et de la fermeture de l'aiguille d'injecteur par une haute pression du carburant dans la chambre du ressort d'injecteur. Cette assistance est réalisée à l'aide du clapet antiretour et du piston de fermeture.

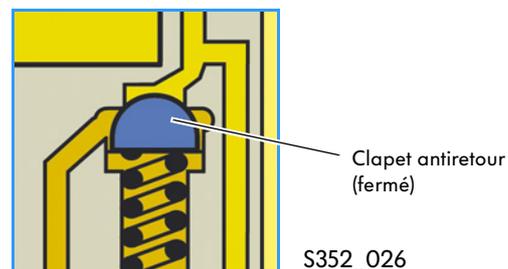


### Clapet antiretour

La chambre du ressort d'injecteur est remplie à la fin de chaque phase d'injection par la haute pression du carburant, éliminée au niveau du pointeau d'injecteur et retournant dans l'arrivée du carburant, qui est retenue par l'étranglement d'arrivée. Le clapet antiretour est ouvert par la haute pression et libère l'accès à la chambre du ressort d'injecteur.



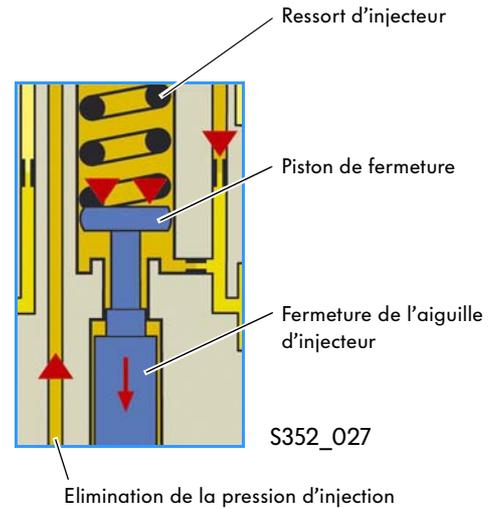
La haute pression du carburant est éliminée dans l'arrivée du carburant. La pression du carburant chute alors et le clapet antiretour se ferme. Cela permet de maintenir la pression établie dans la chambre du ressort d'injecteur.



## Piston de fermeture

### Fermeture de l'aiguille d'injecteur

A la fin d'une phase d'injection, la chambre du ressort d'injecteur est remplie par la haute pression du carburant. Cette haute pression du carburant appuie sur le piston de fermeture et assiste ainsi le ressort d'injecteur lors de la fermeture de l'aiguille d'injecteur. Une fermeture plus rapide de l'aiguille d'injecteur a des répercussions positives sur le comportement polluant et remplace la fonction du piston étagé utilisé jusqu'alors sur l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique.

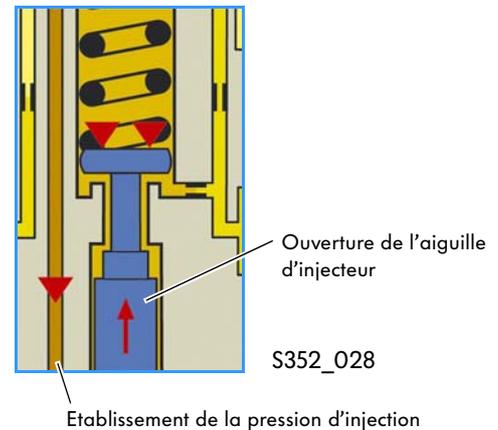


### Ouverture de l'aiguille d'injecteur

La haute pression du carburant dans la chambre du ressort d'injecteur retenue à la fin d'une phase d'injection par le clapet antiretour agit sur le début de la phase d'injection suivante. La haute pression du carburant assiste ici aussi le ressort d'injecteur et évite ainsi l'ouverture prématurée de l'aiguille d'injecteur.

La phase d'injection commence avec une pression d'injection élevée.

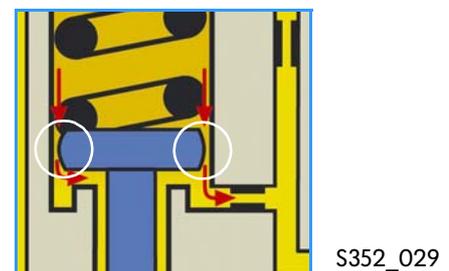
Cette pression d'injection élevée est particulièrement importante pour la combustion et le comportement polluant de l'injection principale.



### Elimination de la pression

L'injection pilote requiert quant à elle une pression d'injection faible. Il faut donc qu'à l'issue d'un cycle d'injection (injection pilote, injection principale et post-injection), la pression du carburant dans la chambre du ressort d'injecteur puisse être éliminée. Cela est réalisé par un interstice de fuite sur le piston de fermeture. La pression du carburant est éliminée entre les cycles d'injection, le ressort d'injecteur n'est plus assisté et l'injection pilote peut débuter avec une pression d'injection faible.

### Interstice de fuite sur le piston de fermeture



## L'injection pilote

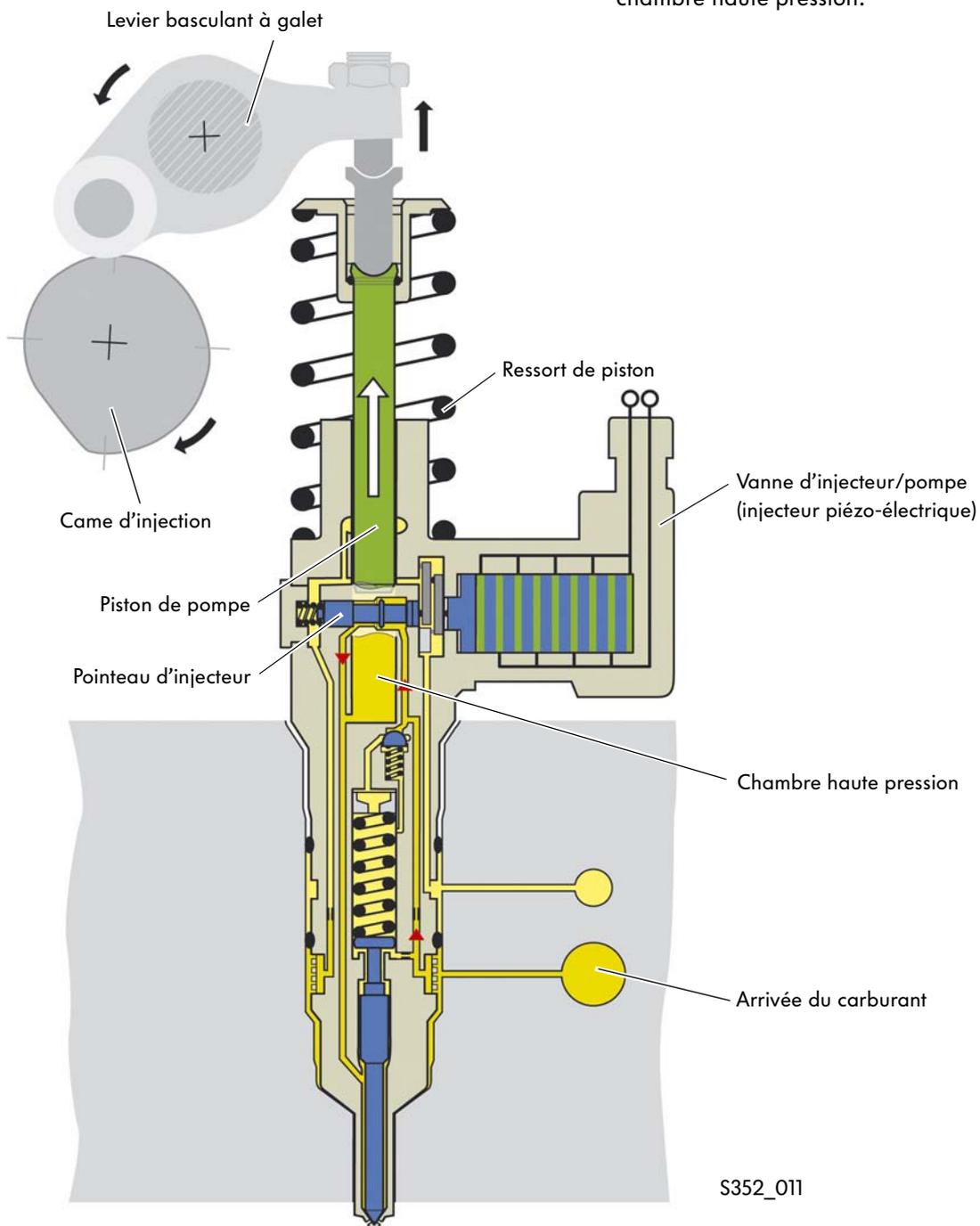
### Remplissage de la chambre haute pression

En raison du déplacement de la came d'injection et du mouvement ascendant du levier basculant à galet en résultant, le piston de pompe est repoussé vers le haut par le ressort de piston.

La forme spéciale de la came d'injection permet la réalisation d'un mouvement ascendant lent.

La chambre haute pression s'agrandit.

L'injecteur piézo-électrique n'est pas piloté et le pointeau d'injecteur est donc ouvert. Le carburant provenant de l'arrivée du carburant peut remplir la chambre haute pression.



# Injection

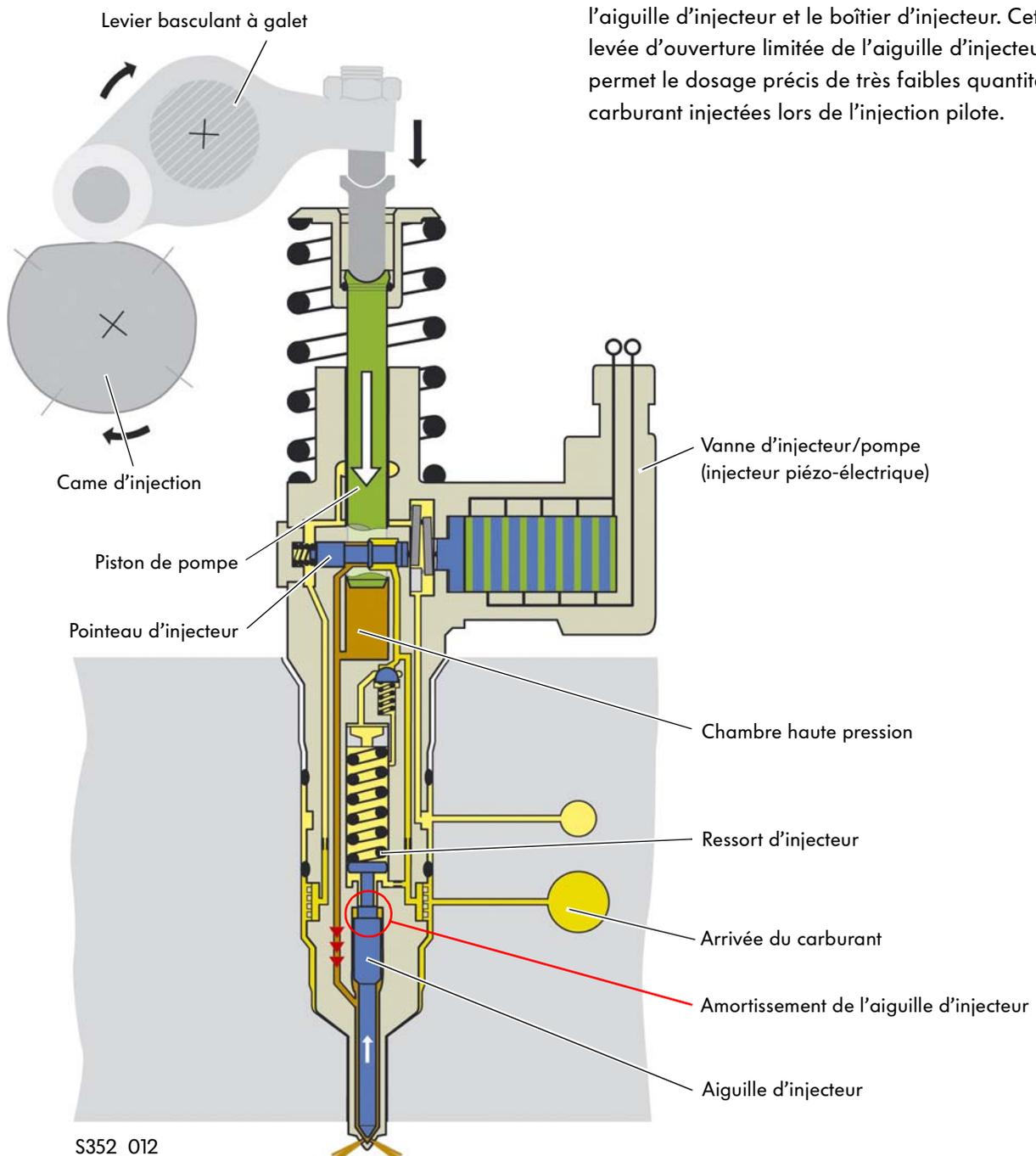
## Début de l'injection pilote

La came d'injection repousse, par l'intermédiaire du levier basculant à galet, le piston de pompe à grande vitesse vers le bas. Le carburant est refoulé dans l'arrivée du carburant jusqu'à ce que l'injecteur piézo-électrique soit piloté et donc fermé. Après la fermeture de l'injecteur piézo-électrique, le carburant est comprimé et l'établissement de la pression commence. A partir de 130 bar, la pression du carburant

sur l'aiguille d'injecteur est supérieure à la force du ressort d'injecteur. L'aiguille d'injecteur est soulevée et l'injection pilote débute.

L'amortissement de l'aiguille d'injecteur fonctionne exactement comme dans le cas de l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique.

La levée de l'aiguille d'injecteur est limitée, lors de l'injection pilote, par un tampon hydraulique entre l'aiguille d'injecteur et le boîtier d'injecteur. Cette levée d'ouverture limitée de l'aiguille d'injecteur permet le dosage précis de très faibles quantités de carburant injectées lors de l'injection pilote.



S352\_012

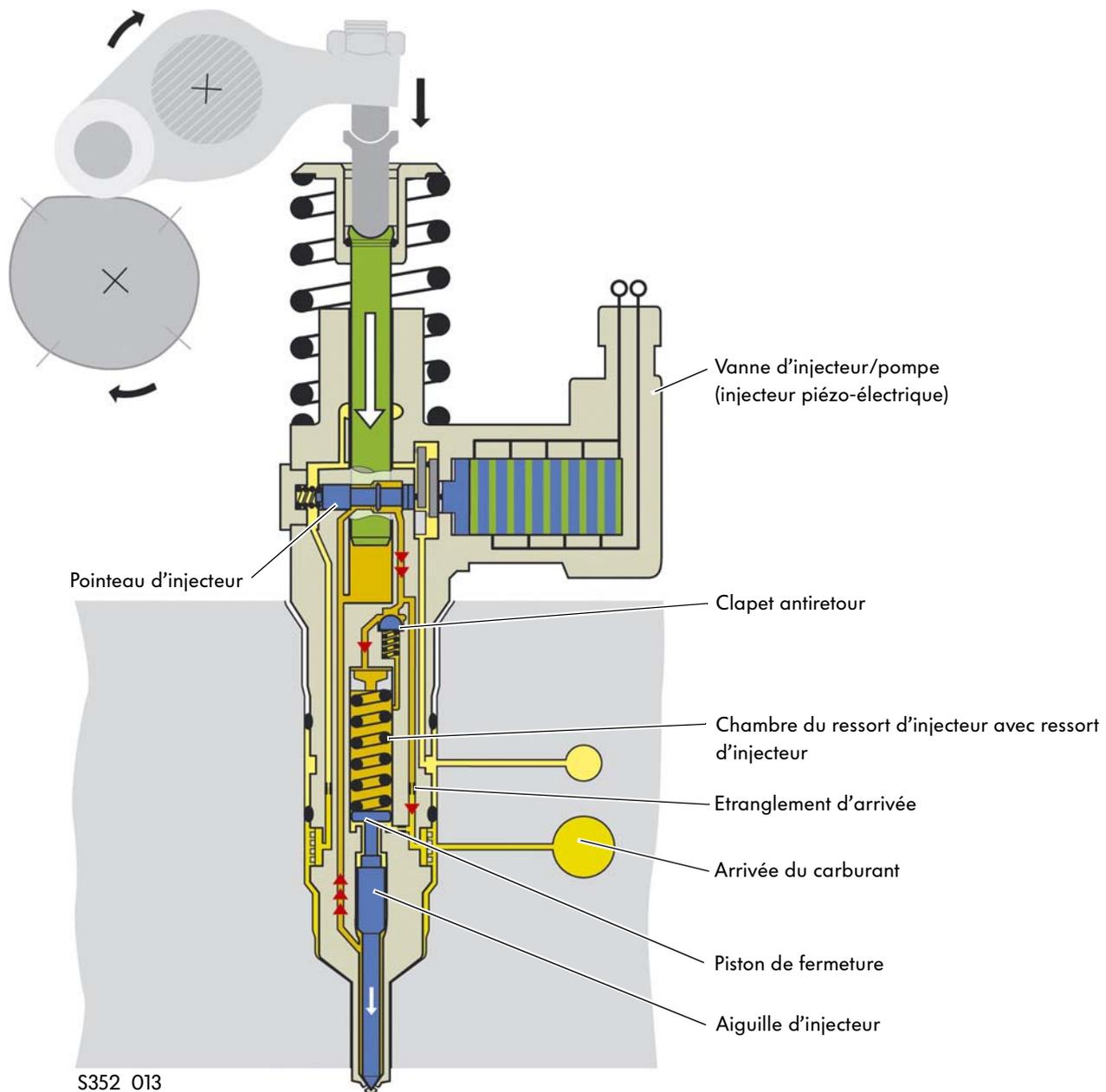
## Fin de l'injection pilote

L'injection pilote s'achève lorsque l'injecteur piézo-électrique ouvre le pointeau d'injecteur. La haute pression du carburant est éliminée dans l'arrivée du carburant et l'aiguille d'injecteur est fermée par le ressort d'injecteur.

Le ressort d'injecteur est assisté par la haute pression du carburant qui s'écoule, retenue par l'étranglement d'arrivée et pénétrant par le clapet antiretour, qui s'ouvre, dans la chambre du ressort d'injecteur.

Cette haute pression du carburant appuie sur le piston de fermeture et accélère ainsi la fermeture de l'aiguille d'injecteur.

Suivant l'état de marche du moteur, le calculateur du moteur peut déclencher une ou deux injections pilotes par cycle d'injection.



# Injection

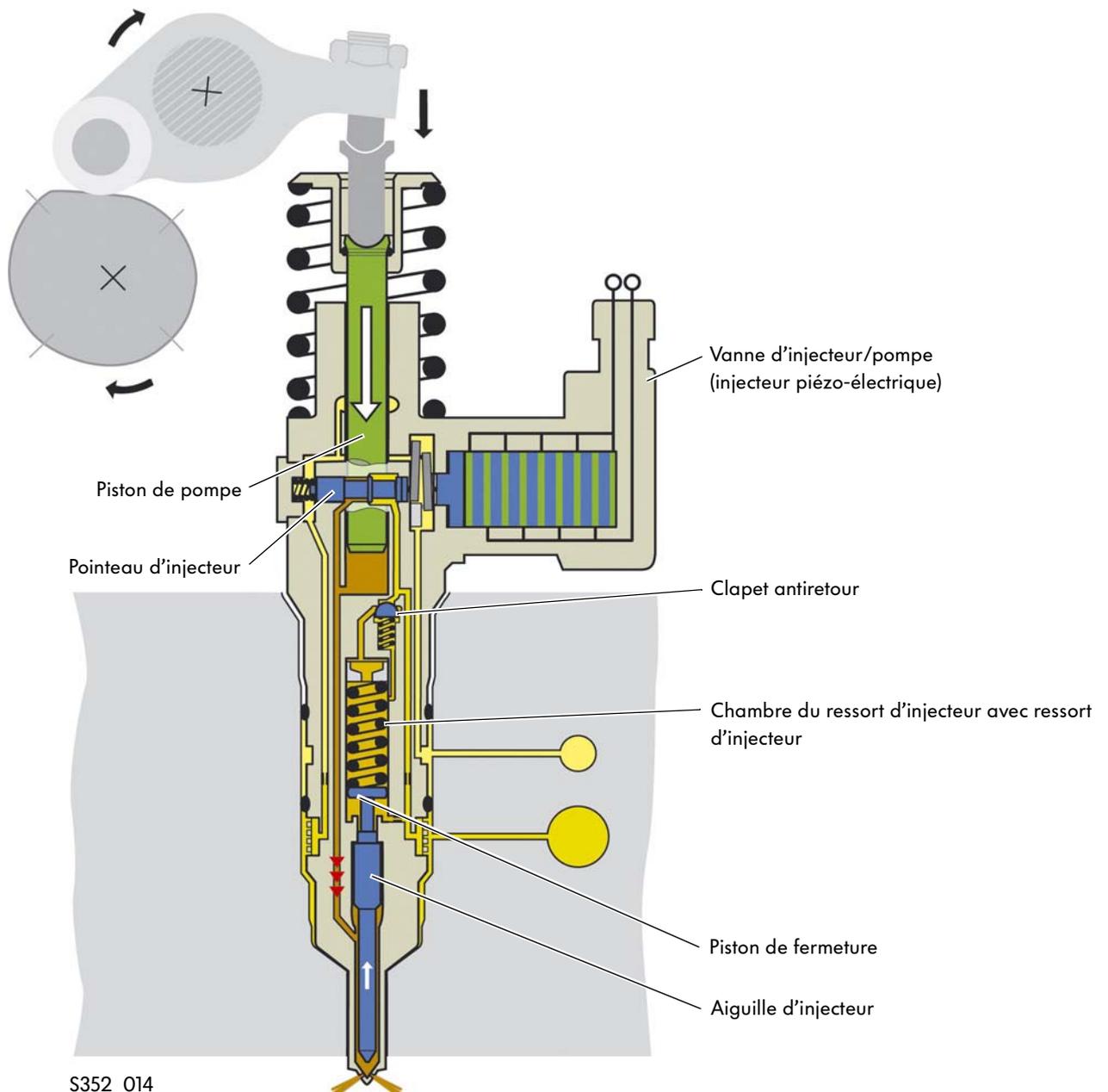
## L'injection principale

### Début de l'injection principale

Le piston de pompe continue de se déplacer vers le bas. Après fermeture du pointeau d'injecteur, il y a à nouveau établissement de la haute pression du carburant et l'injection principale peut commencer. Pour que, lors de l'injection principale, l'aiguille d'injecteur ne s'ouvre qu'à partir d'une pression plus élevée, le ressort d'injecteur est assisté par la pression du

carburant dans la chambre de l'injecteur. Cette haute pression du carburant a été établie après l'injection pilote, est maintenue par la fermeture du clapet antiretour dans la chambre de l'injecteur et appuie sur le piston de fermeture.

La pression d'injection augmente dans le cas d'une puissance moteur maximale jusqu'à 2200 bar.



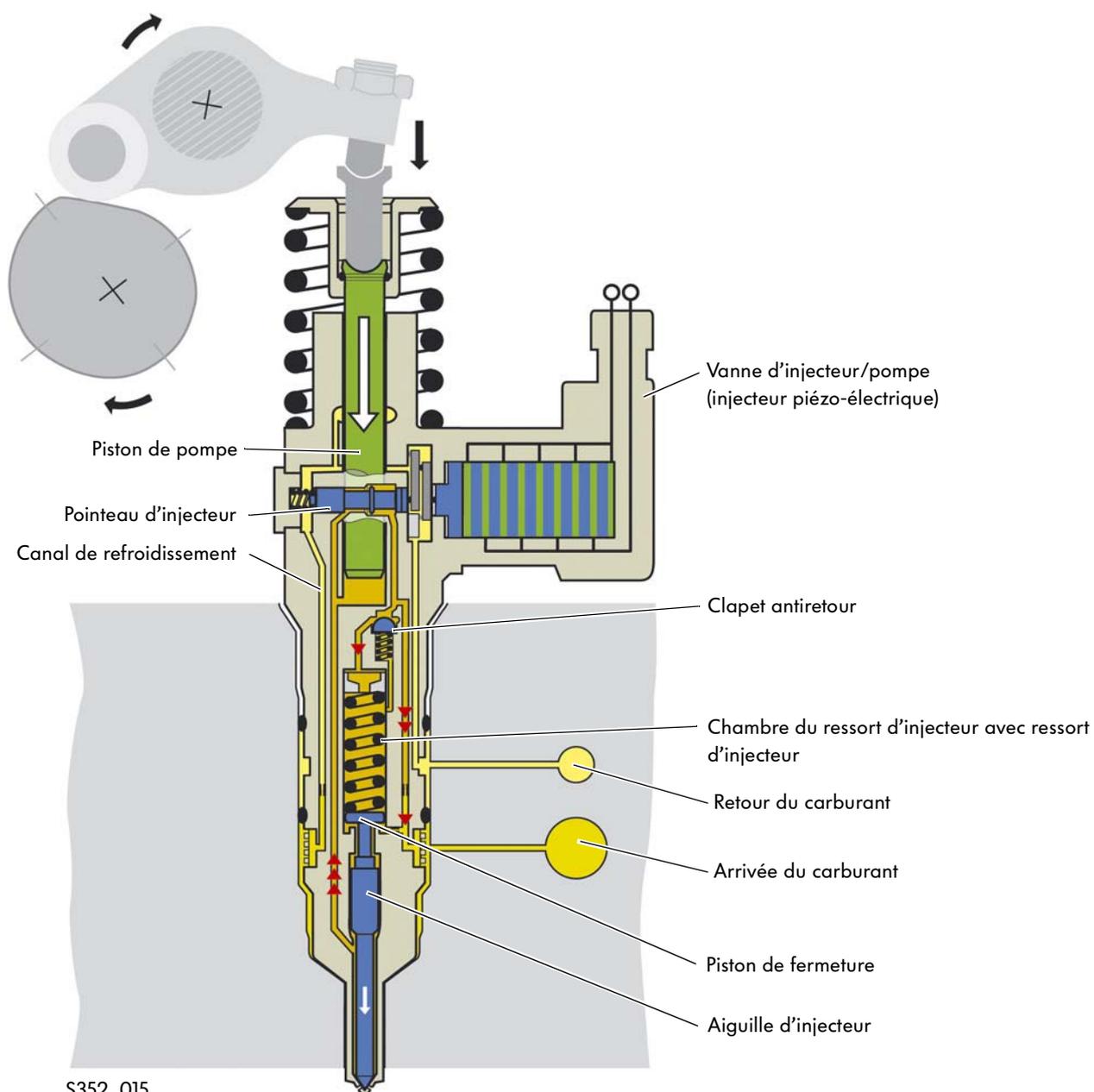
S352\_014

## Fin de l'injection principale

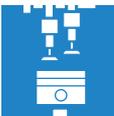
L'ouverture du pointeau d'injecteur marque la fin de l'injection principale. La haute pression du carburant est éliminée, comme après l'injection pilote, dans l'arrivée du carburant et la chambre du ressort d'injecteur. L'aiguille d'injecteur est fermée par le ressort d'injecteur et le piston de fermeture.

Le carburant s'écoule, son débit étant limité, de l'arrivée du carburant via l'injecteur-pompe dans le retour du carburant. Le carburant de fuite du piston de pompe peut également s'écouler.

Le refroidissement a lieu comme dans le cas de l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique.



S352\_015



# Injection

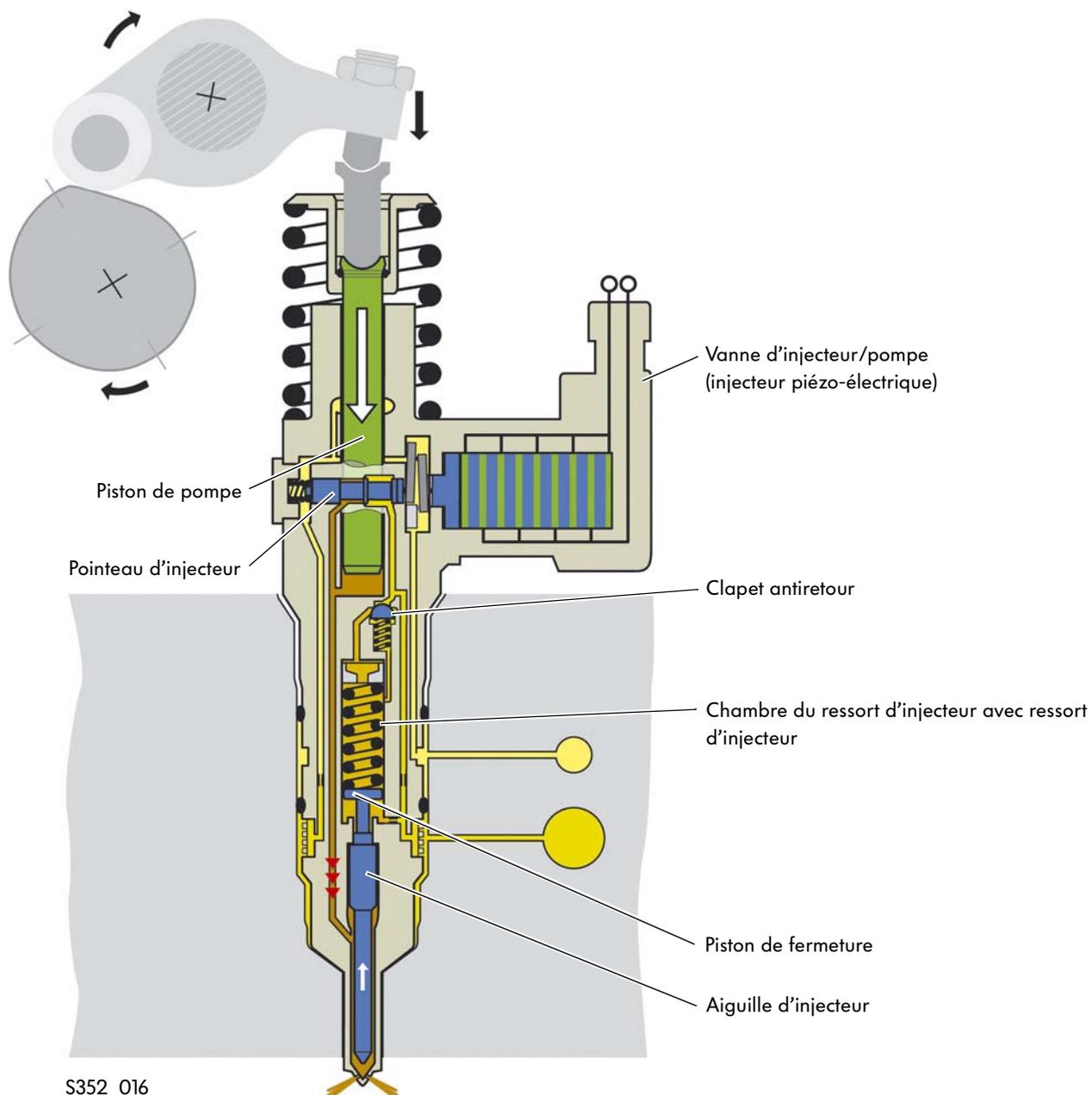
## La post-injection

### Début de la post-injection

Nous allons expliquer le déroulement des post-injections à l'appui d'une phase de post-injection. Dans la pratique, il y a généralement déclenchement de deux post-injections, dont le principe est identique. Les post-injections ne sont déclenchées que lorsqu'elles sont nécessaires à la régénération d'un filtre à particules.

Le piston de pompe continue de se déplacer vers le bas et la post-injection débute une fois le pointeau d'injecteur fermé et la pression d'ouverture de l'injecteur atteinte.

La post-injection fonctionne comme une injection principale, à la seule différence que la quantité de carburant injectée et la pression d'injection peuvent être plus faibles, étant donné que la durée de l'injection est plus courte.

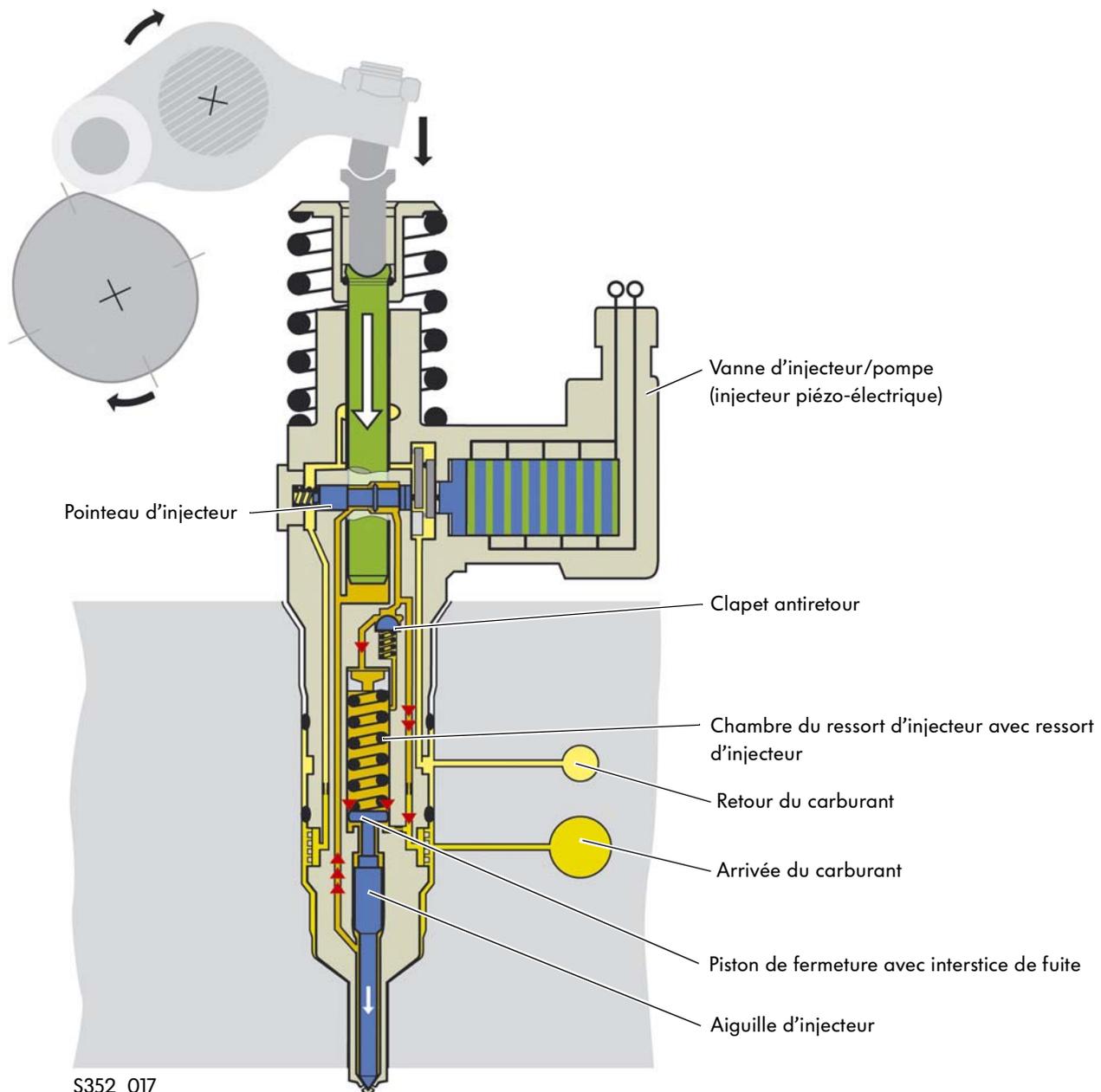


## Fin de la post-injection

La post-injection se termine par l'ouverture du pointeau d'injecteur. La haute pression du carburant est éliminée et l'aiguille d'injecteur se ferme.

Dans la chambre du ressort d'injecteur, la haute pression du carburant est alors éliminée à nouveau par le clapet antiretour ouvert. Pour qu'il soit possible de procéder à une injection à faible pression du carburant lors de l'injection pilote suivante, il faut que,

d'ici là, la haute pression du carburant puisse s'échapper de la chambre du ressort d'injecteur. Le laps de temps entre les différents cycles d'injection suffit pour que le carburant s'échappe via un interstice de fuite pratiqué sur le piston de fermeture dans l'arrivée du carburant.



## Diagnostic

### Surveillance de la vanne d'injecteur-pompe (injecteur piézo-électrique)

Le nouvel injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique s'accompagne de la sortie d'un nouveau calculateur du moteur, le Simos PPD 1.

Le diagnostic du Simos PPD 1 est identique à celui du Motronic dans le cas de l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique.

La mesure porte sur le point de fermeture réel du pointeau d'injecteur à l'appui d'une inflexion de la courbe de tension (BIP = Beginning of Injection Period = début d'injection). Cette inflexion de la courbe de tension est générée par l'impact du pointeau d'injecteur sur le siège de l'injecteur et la force résultante, antagoniste au sens de déplacement du piézo-actionneur.

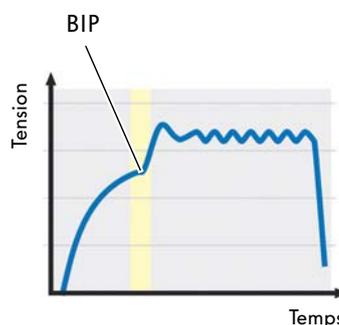
Pour la mesure, il y a déclenchement toutes les 5 injections d'une impulsion de test entre les cycles d'injection en vue de fermer le pointeau d'injecteur sans influences parasites (haute pression du carburant, par exemple).

### Simos PPD 1



S352\_031

### Courbe de tension de l'injecteur piézo-électrique



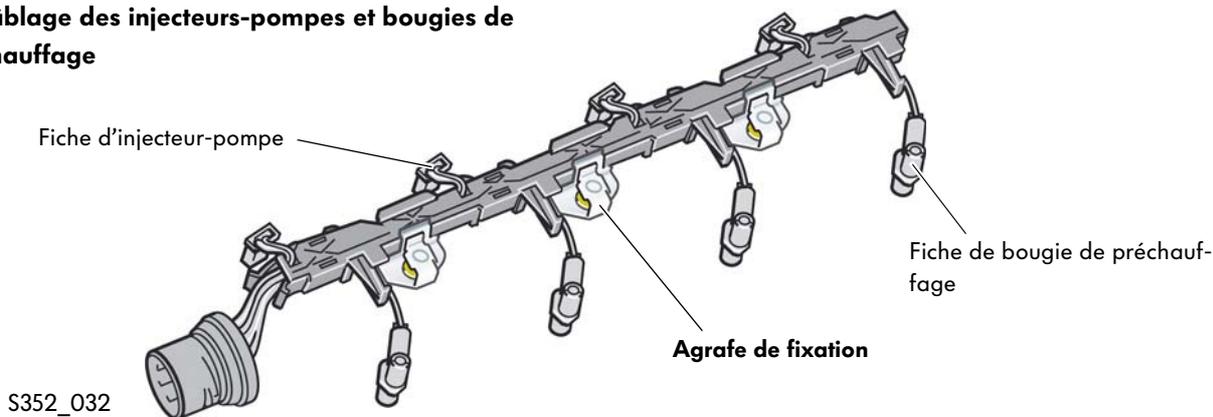
S352\_030

### Seuil de régulation dépassé ou non atteint

Si le BIP ne se situe pas dans une plage de régulation définie, un défaut est systématiquement mémorisé dans la mémoire de défauts. Suivant le type de défaut constaté, l'injecteur-pompe considéré continue d'être piloté ou est coupé. La coupure est une mesure de prévention en vue d'éviter un endommagement supplémentaire de l'injecteur-pompe et du moteur.

## Dépose et repose

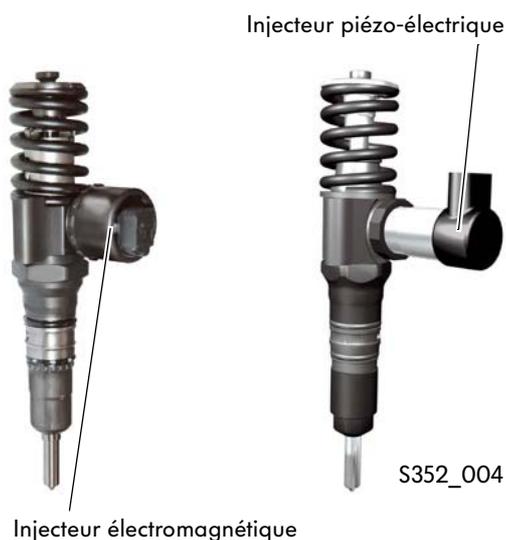
### Précâblage des injecteurs-pompes et bougies de préchauffage



Lors de la dépose et de la repose du précâblage des injecteurs-pompes et bougies de préchauffage, il ne faut pas séparer le conduit à câbles des agrafes de fixation. L'ouverture des agrafes de fixation et la dépose du conduit à câbles peuvent entraîner la rupture des câbles. ELSA vous informe en détail sur la marche à suivre !



### Cotes de montage et vissage



L'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique (PDE-P2/ 2 vis de fixation) et l'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique présentent des cotes de montage identique et se vissent de la même manière sur la culasse. Le remplacement d'un injecteur-pompe à injecteur électromagnétique par un injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique n'est cependant pas possible en raison des différences des raccords et commandes.

## Versions d'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique

Il existe deux versions d'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique, le modèle précédent (PPD 1.0) et le modèle décrit dans le présent Programme autodidactique (PPD 1.1). L'ancien modèle équipe déjà le moteur TDI à 4 soupapes par cylindre de 2,0l/103kW monté sur la Passat à partir du millésime 2006 et est remplacé progressivement en production par le modèle actuel (PPD 1.1). Ces deux versions ne se distinguent extérieurement que par la référence imprimée sur la pièce et ne doivent pas être confondues en cas de remplacement. Un montage mixte des deux versions entraîne un mauvais fonctionnement du moteur.

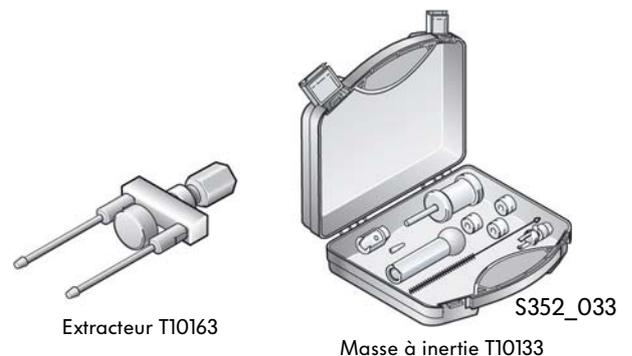


Prière de tenir compte de l'aspect extérieur et des numéros de pièce des différents injecteurs-pompes en vue d'éviter toute confusion en cas de remplacement.

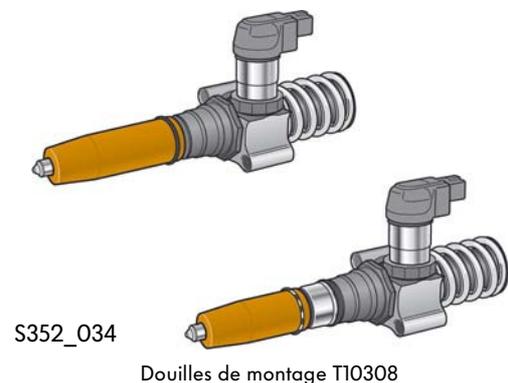


## Informations sur les outils spéciaux

L'extracteur T10163, combiné avec la masse à inertie T10133 est utilisé non seulement pour la dépose, mais aussi pour la repose de l'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique.



Pour l'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique, il est fait appel aux nouvelles douilles de montage T10308 pour monter les joints toriques.



ELSA vous informe en détail sur la marche à suivre !

# Contrôle des connaissances

**Veillez cocher la/les réponse(s) correcte(s).**

Une, plusieurs ou bien toutes les réponses peuvent être justes.

**1. Laquelle ou lesquelles des affirmations relatives à l'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique sont correctes ?**

- a) En raison de la suppression de l'injecteur électromagnétique, la connexion au calculateur du moteur n'est plus nécessaire. La régulation des pressions d'injection est strictement mécanique, via le piston de fermeture.
- b) L'injecteur piézo-électrique est si rapide qu'il peut être ouvert et fermé pour chaque phase d'injection (injection pilote, injection principale, post-injection).
- c) Du fait de la réduction du diamètre du piston de pompe, l'injecteur-pompe à injecteur piézo-électrique présente un volume haute pression réduit et ne convient pour cette raison qu'aux moteurs diesel de faible cylindrée.
- d) Les émissions de bruits ont pu être réduites grâce à des forces d'actionnement plus faibles et une meilleure harmonisation des variations de pression au sein de l'injecteur-pompe.

**2. Veuillez compléter les phrases suivantes.**

- a) L'effet piézo-électrique inversé signifie qu'un piézo-élément ..... sous l'effet de l'application d'une tension.
- b) Pour que l'injection principale débute avec une pression d'injection plus élevée que l'injection pilote, le ressort d'injecteur doit être assisté par .....

**3. Lors de la dépose et de la repose des injecteurs-pompes à injecteur piézo-électrique, il faut veiller à ce que ...**

- a) ils doivent être démontés en même temps que le précâblage.
- b) les cotes et la fixation (par deux vis) ont été reprises de l'injecteur-pompe à injecteur électromagnétique.
- c) le précâblage ne doit être démonté que complet (conduit à câbles et agrafes de fixation).



1. b), d)  
2. a) s'allonge (se dilate)  
2. b) le piston de fermeture/la haute pression du carburant  
3. b), c)

**Solutions**



© VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg  
Sous réserve de tous droits et modifications techniques.  
000.2811.66.40 Définition technique 03.2005

Volkswagen AG  
Service Training VK-21  
Brieffach 1995  
D-38436 Wolfsburg