

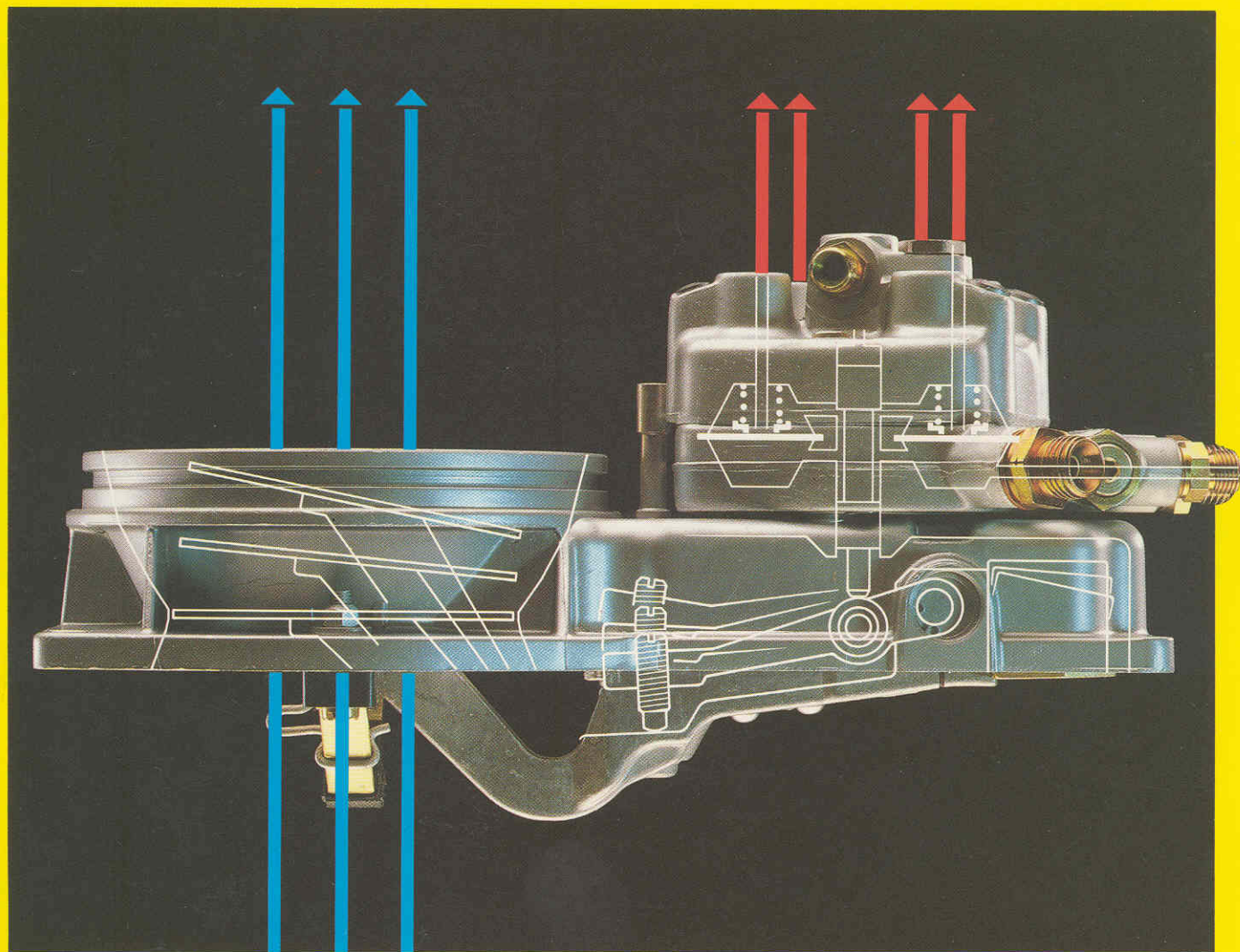
pour utilisation
avec catalyseur



BOSCH

Systeme mécanique d'injection d'essence à régulation Lambda

K-Jetronic



Cahier technique

K-Jetronic

Depuis leur introduction sur le marché, les dispositifs d'injection d'essence Jetronic ont fait leurs preuves à des millions d'exemplaires. Cette évolution a été favorisée par les avantages que l'injection de carburant peut offrir pour satisfaire aux exigences de rentabilité, de rendement et, surtout, de protection de l'environnement.

Le K-Jetronic est un système à fonctionnement mécanique, qui assure le dosage continu du carburant en fonction de la quantité d'air aspirée par le moteur. L'utilisation de la régulation Lambda permet à ce système de répondre dès aujourd'hui aux prescriptions antipollution de demain.

La présente publication vous renseigne sur la conception et le mode de fonctionnement du K-Jetronic.

Besoins du moteur en carburant	2
Rapport air/carburant, coefficient d'air	
Systèmes de carburation	3
Systèmes à commande électronique, systèmes mécaniques	
K-Jetronic	4
Alimentation en carburant	5
Conception du système, pompe électrique à carburant, accumulateur de carburant, filtre à carburant, régulation de pression d'alimentation, injecteur	
Carburation	8
Régulateur de mélange, débitmètre d'air, doseur-distributeur de carburant, pression de commande, régulateurs de pression différentielle, formation du mélange	
Adaptation du mélange	12
Démarrage à froid, phase de réchauffage (mise en action), états de charge, reprises, modulation du mélange air-carburant	
Circuit électrique	19
Fonctionnement	
Technique des gaz d'échappement	20
Composition des gaz d'échappement, traitement catalytique secondaire, régulation Lambda	
Schéma de l'installation	24



Les besoins du moteur en carburant

Un moteur à explosion a besoin, pour fonctionner, d'un rapport air/carburant bien déterminé. Le rapport air/carburant théorique, idéal, est de 14,7/1. Certaines conditions de fonctionnement exigent une correction de ce rapport.

Le rapport air/carburant

Le rendement, la consommation et la constitution des gaz d'échappement d'un moteur à explosion dépendent surtout de la composition du mélange air/carburant.

Seules des proportions bien définies garantissent l'inflammation et la combustion parfaites du mélange carburé. Dans le cas de l'essence, le rapport idéal est de 15/1. Cela signifie qu'il faut 15 kg d'air pour assurer la combustion totale de 1 kg d'essence (rapport stœchiométrique). Les différentes conditions de fonctionnement du moteur font cependant varier ce rapport.

La quantité de carburant à injecter est fonction de la charge, de la vitesse de rotation et de la composition prescrite des gaz d'échappement. Le mélange optimal est toujours adapté aux conditions d'exploitation momentanées: ralenti, charge partielle ou pleine charge. Il est essentiel d'obtenir toujours le rapport air/carburant le meilleur.

Le coefficient d'air

Le coefficient d'air λ (lambda) caractérise le mélange air/carburant.

$$\lambda = \frac{\text{volume d'air aspiré}}{\text{besoin d'air théorique}}$$

$$\lambda = 1$$

Le volume d'air aspiré correspond au besoin théorique (rapport stœchiométrique).

$$\lambda < 1$$

Défaut d'air ou mélange riche: rendement plus élevé.

$$\lambda > 1$$

Surplus d'air ou mélange pauvre: consommation de carburant réduite, rendement plus faible.

$$\lambda > 1,3$$

Le mélange ne peut plus s'enflammer, la limite de fonctionnement est dépassée.

		14,7 kg d'air		
1 kg de carburant				

Fig. 1
Rapport air/carburant pour une combustion théoriquement idéale.

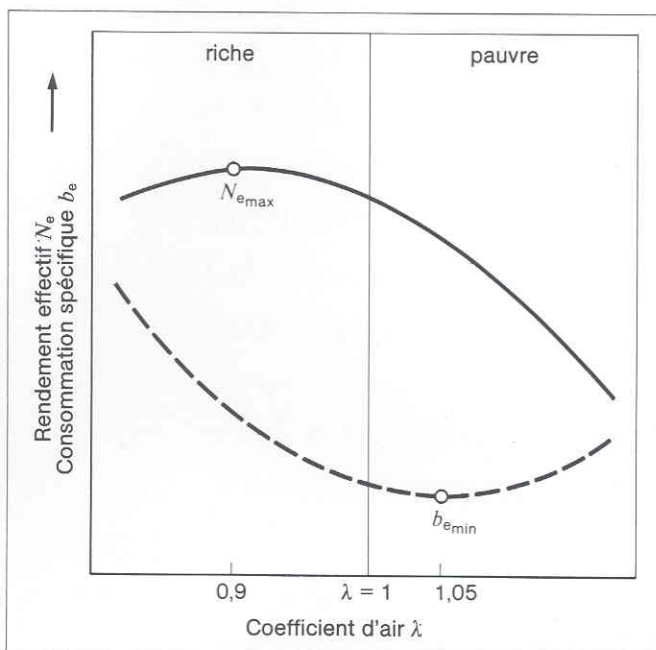


Fig. 2
Influence du coefficient d'air λ sur le rendement effectif et sur la consommation spécifique de carburant.

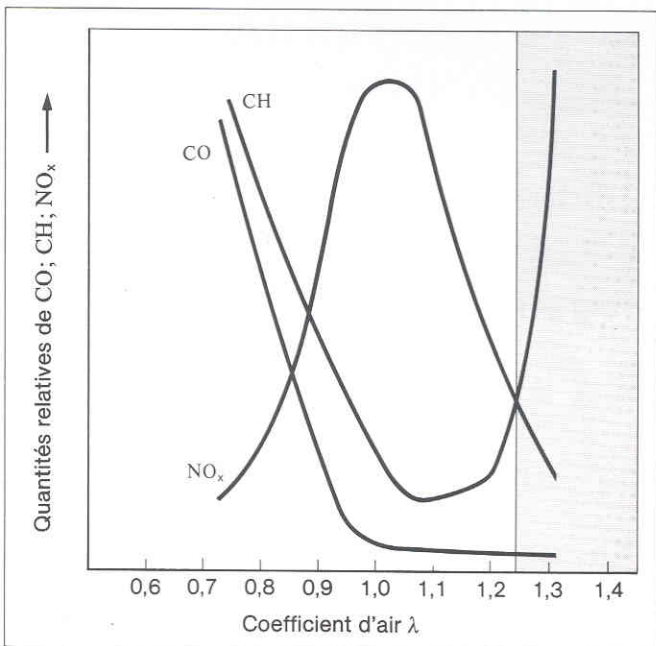


Fig. 3
Influence du coefficient d'air λ sur les émissions d'un moteur à explosion.

CH:
hydrocarbures
CO:
monoxyde de carbone
NO_x:
oxydes d'azote

Les illustrations montrent la corrélation entre le rendement effectif et la consommation spécifique, ainsi que l'évolution des émissions toxiques en fonction de différents coefficients d'air. On constate qu'il n'existe aucun coefficient d'air capable d'optimiser tous les facteurs en présence. Dans la pratique, les coefficients (λ) compris entre 0,9 et 1,1 donnent les meilleurs résultats.

Pour obtenir un resserrement des tolérances, il faut cependant déterminer exactement le volume d'air aspiré et doser avec précision la quantité de carburant correspondante.

Systèmes de carburation

Le rôle des systèmes de carburation, qu'ils soient à carburateur(s) ou à injection, est de former un mélange gazeux, combustible, adapté à toutes les conditions d'emploi du moteur. La préparation du mélange par injection dans le collecteur d'admission permet d'optimiser le mélange carburé et de réduire les émissions toxiques des gaz d'échappement.

Dans le cas du moteur à explosion, la carburation est assurée par des systèmes à carburateur(s) ou à injection. Le carburateur est le dispositif de formation du mélange le plus utilisé jusqu'à présent. Ces derniers temps, on assiste toutefois à une nette tendance en faveur de l'injection indirecte.

Cette tendance est favorisée par les avantages offerts par ce mode de carburation, à savoir: économie d'essence, meilleures performances, baisse du taux des substances toxiques des gaz d'échappement. L'injection permet de satisfaire aux exigences de plus en plus sévères imposées à l'automobile.

Ces avantages proviennent du fait que l'injection dans le collecteur d'admission assure un dosage très précis du carburant en fonction des conditions de marche et du régime du moteur, tout en tenant compte des influences sur l'environnement. La composition du mélange est déterminée avec une précision telle que le taux des émissions toxiques reste toujours au niveau minimum. Grâce à la suppression du carburateur, une forme et une disposition optimales peuvent être données aux canaux d'admission. Il en résulte un meilleur remplissage des cylindres et, par conséquent, une optimisation du couple aux différents régimes.

Quelles sont les différentes méthodes de formation du mélange par injection ?

On distingue les systèmes à commande électronique et ceux à commande mécanique.

Le K-Jetronic est un système d'injection mécanique, continue, sans dispositif d'entraînement.

Systèmes à commande électronique

Le carburant est refoulé par une pompe à commande électrique. La pompe engendre aussi la pression nécessaire à l'injection. Le carburant est injecté dans les pipes d'admission par des injecteurs électromagnétiques. Les injecteurs sont commandés par un calculateur électronique; le dosage du carburant est fonction de leur durée d'ouverture. Des sondes transmettent au calculateur électronique des informations sur les états de fonctionnement du moteur et sur les facteurs influençant l'environnement. Le volume d'air aspiré par le moteur constitue le paramètre essentiel pour le dosage du carburant.

Le L-Jetronic est un système d'injection à commande électronique.

Dans le cas du L-Jetronic, le volume d'air aspiré par le moteur est mesuré directement par un débitmètre d'air.

Les systèmes d'injection à commande électronique sont décrits dans le cahier «L-Jetronic» de la série des cahiers techniques Bosch.

Systèmes mécaniques

Dans le cas de l'injection mécanique, il faut distinguer les systèmes commandés par le moteur à combustion et ceux qui n'exigent pas de dispositifs d'entraînement.

Les systèmes commandés par le moteur disposent d'une pompe d'injection et d'un régulateur incorporé. Leur mode de fonctionnement est identique à celui des systèmes d'injection des moteurs Diesel.

L'autre variante est un système autonome, qui injecte le carburant en permanence. La description de cet équipement, le K-Jetronic, fait l'objet du présent cahier technique.

Le K-Jetronic

Le K-Jetronic est un système d'injection mécanique de Bosch.

Son organisation comprend trois fonctions:

- Mesure du débit d'air
- Alimentation en carburant
- Carburant

Mesure du débit d'air

La quantité d'air aspirée par le moteur est commandée par un papillon et mesurée par un débitmètre d'air (sonde de débit d'air).

Alimentation en carburant

Une pompe à commande électrique refoule le carburant vers un doseur-distributeur par l'intermédiaire d'un accumulateur et d'un filtre. Le rôle du doseur-distributeur est de répartir le carburant entre les différents injecteurs montés sur les pipes d'admission du moteur.

Carburant

Le volume d'air aspiré par le moteur, en fonction de la position du papillon, représente le critère essentiel pour le dosage du carburant. Il est déterminé par le débitmètre d'air qui, de son côté, commande le doseur-distributeur.

Le débitmètre d'air et le doseur-distributeur constituent le régulateur de mélange.

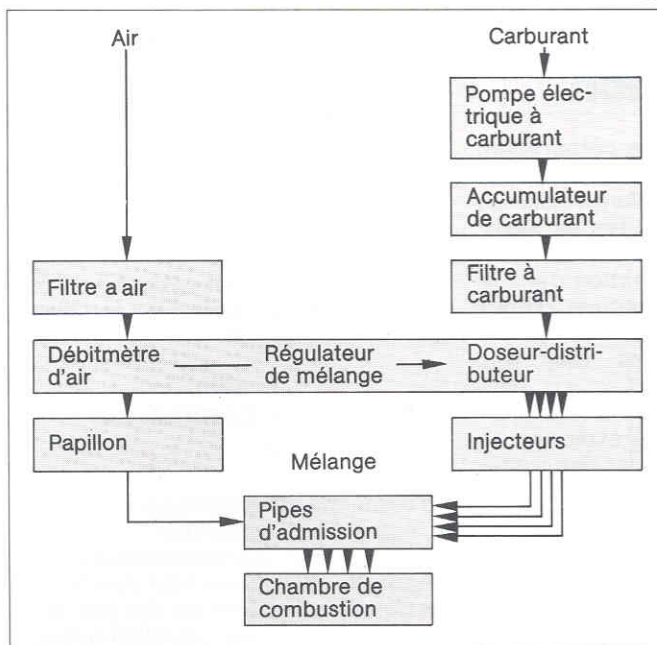
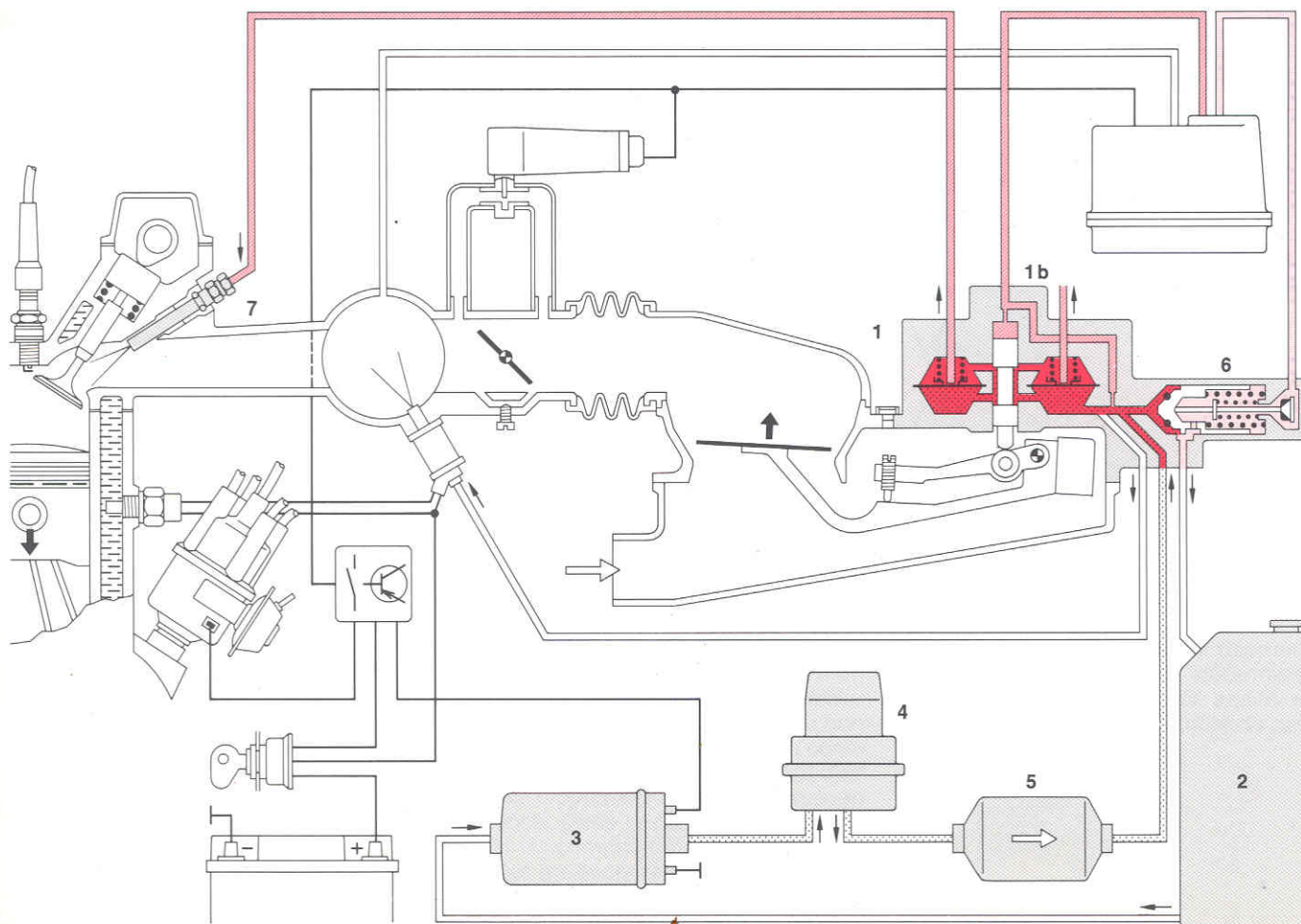


Fig. 4
Schéma de principe du K-Jetronic.
Organisation des fonctions:
mesure du débit d'air, alimentation en carburant, carburant.

L'injection continue du carburant a lieu indépendamment de la position de la soupape d'admission. Pendant la phase de fermeture, le mélange est «stocké» en amont de la soupape d'admission.

Fig. 5
Schéma fonctionnel du K-Jetronic.
Circuit d'alimentation en carburant:
1 Régulateur de mélange
1b Doseur-distributeur de carburant
2 Réservoir à carburant
3 Pompe électrique à carburant
4 Accumulateur de carburant
5 Filtre à carburant
6 Régulateur de pression
7 Injecteur



Alimentation en carburant

Conception du système

Une pompe à commande électrique aspire le carburant du réservoir et le refoule sous pression vers le doseur-distributeur, composant du régulateur de mélange, par l'intermédiaire d'un accumulateur et d'un filtre fin. La pression est maintenue constante grâce à un régulateur incorporé au doseur-distributeur. Le carburant s'écoule alors du doseur-distributeur vers les injecteurs.

Les injecteurs assurent l'injection continue du carburant dans les différentes pipes d'admission du moteur.

D'où la caractéristique du système «K» = kontinuierlich: continu. Le mélange est aspiré par les cylindres lors de l'ouverture des soupapes d'admission.

Pompe électrique à carburant

Il s'agit d'une pompe multicellulaire à rouleaux, qui est traversée par le flux de carburant.

La pompe à carburant est une pompe multicellulaire à rouleaux, entraînée par un moteur électrique à excitation permanente.

Un rotor excentré, monté sur l'arbre du moteur électrique, comporte sur sa périphérie plusieurs logements contenant chacun un rouleau métallique. Les rouleaux sont plaqués contre le carter de la pompe sous l'effet de la force centrifuge et assurent ainsi l'étanchéité du système. Le carburant est aspiré dans les cavités formées par les intervalles entre les rouleaux, puis envoyé dans la conduite de refoulement.

Le moteur électrique est noyé dans le carburant. Il n'y a toutefois aucun risque d'explosion car le carter de la pompe ne renferme jamais de mélange inflammable. Le débit de la pompe est supérieur à la quantité maximale de carburant requise afin de maintenir la pression constante dans le circuit d'alimentation à tous les régimes du moteur.

Au démarrage, la pompe tourne aussi longtemps que le contacteur de démarrage est actionné. Lorsque le moteur est lancé, la pompe reste en circuit. Un circuit électrique de sécurité empêche le refoulement de carburant quand le contact d'allumage est mis et quand le moteur se trouve à l'arrêt (en cas d'accident p. ex.).

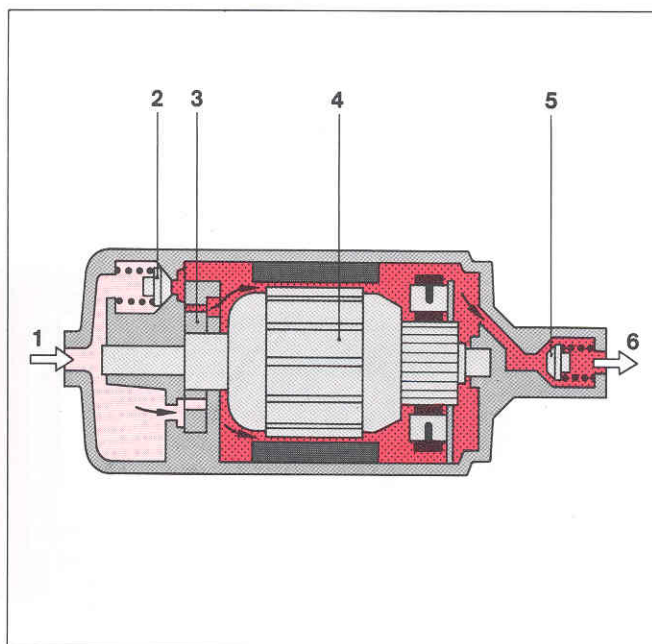


Fig. 6
Pompe électrique à carburant
1 Côté aspiration
2 Soupape de sûreté
3 Pompe multicellulaire à rouleaux
4 Induit du moteur
5 Clapet de non-retour
6 Côté refoulement

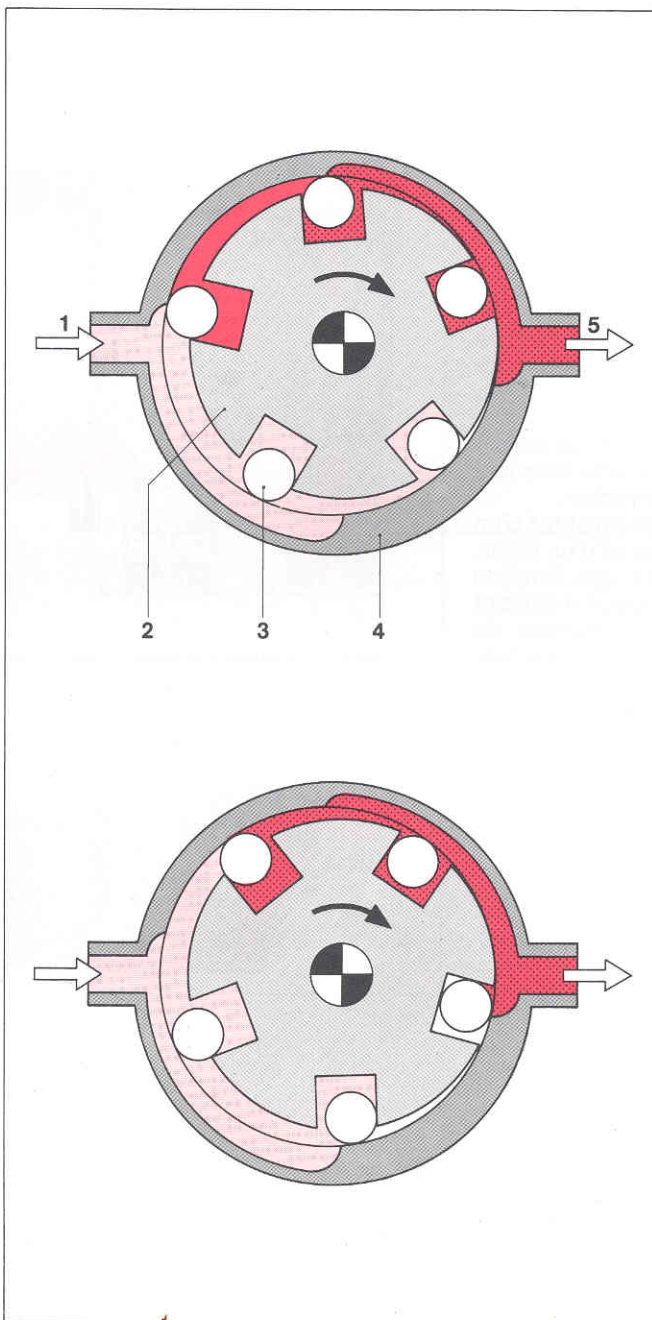


Fig. 7
Pompe multicellulaire à rouleaux
Phase de pompage
1 Côté aspiration
2 Rotor
3 Rouleau
4 Carter de pompe
5 Côté refoulement

□ Carburant sans pression
■ Carburant transfert
■ Carburant sous pression

Accumulateur de carburant

Le rôle de l'accumulateur de carburant est de maintenir la pression dans le circuit d'alimentation pendant un certain temps encore après la mise à l'arrêt du moteur. En service, il amortit le bruit de fonctionnement de la pompe d'alimentation.

Après la mise à l'arrêt du moteur, l'accumulateur de carburant maintient le circuit d'alimentation sous pression afin de faciliter le redémarrage, en particulier lorsque le moteur est chaud. Par la conception et la forme bien étudiées de son corps, l'accumulateur amortit aussi le bruit de fonctionnement de la pompe à carburant.

Une membrane divise l'intérieur de l'accumulateur en deux parties: une chambre d'accumulation et une chambre de ressort.

Pendant le fonctionnement, la chambre d'accumulation est remplie de carburant. La membrane s'incurve jusqu'à la butée sur le corps de l'accumulateur en s'opposant à la force du ressort. Aussi longtemps que le moteur tourne, la membrane conserve cette position qui correspond au volume emmagasiné maximum.

Filtre à carburant

En raison des faibles tolérances de certains composants, l'emploi d'un filtre fin spécial est nécessaire au bon fonctionnement du K-Jetronic.

Le filtre retient les impuretés du carburant, qui pourraient entraver le fonctionnement du dispositif d'injection.

Le filtre à carburant est constitué d'un élément filtrant en papier et d'un tamis. Cette association assure une filtration optimale. Une plaque-support maintient les éléments filtrants à l'intérieur du corps de filtre. Le sens d'écoulement indiqué sur le corps de filtre doit être absolument respecté. Le filtre est monté sur la conduite d'alimentation, en aval de l'accumulateur de carburant.

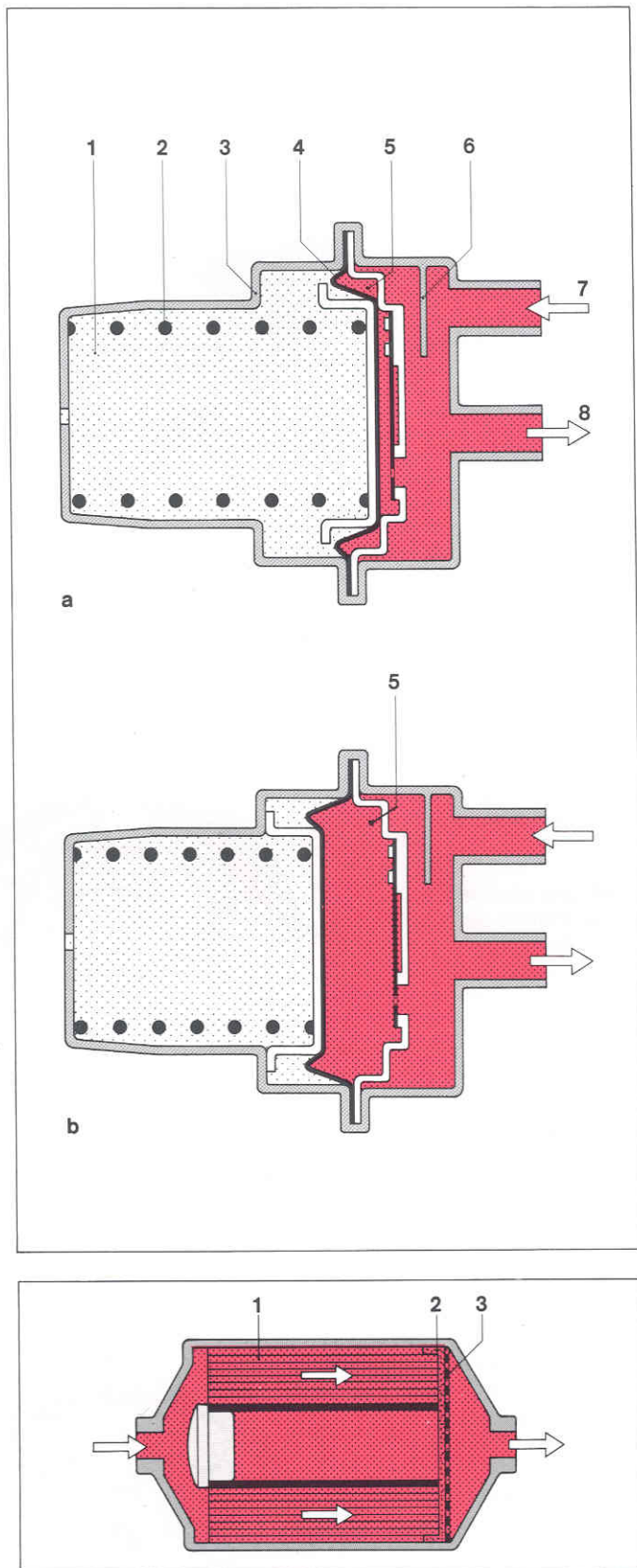


Fig. 8
Accumulateur de carburant
a vide
b plein
1 Chambre de ressort
2 Ressort
3 butée
4 Membrane
5 Volume d'accumulation
6 Déflecteur
7 Arrivée du carburant
8 Départ du carburant

Fig. 9
Filtre à carburant
1 Filtre en papier
2 Tamis
3 Plaque-support

Régulateur de pression d'alimentation

Le régulateur de pression d'alimentation maintient la pression constante dans le circuit de carburant.

Le régulateur de pression, incorporé au corps du doseur-distributeur de carburant, règle à 5 bar environ la pression d'alimentation (pression du système). La pompe électrique refoulant davantage de carburant que le moteur n'en consomme, le piston du régulateur de pression libère un orifice par lequel le carburant en excès retourne au réservoir (décharge).

La pression, qui règne dans le circuit d'alimentation, et la force du ressort agissant sur le piston du régulateur s'équilibrent. Si la pompe refoule un peu moins de carburant, le piston ferme davantage la section de passage sous l'action du ressort. La décharge de carburant est donc moins importante et la pression d'alimentation est à nouveau modulée à la valeur prédéterminée.

La pompe à carburant cesse de fonctionner lors de la mise à l'arrêt du moteur. La pression d'alimentation devient inférieure à la pression d'ouverture des injecteurs. Le régulateur de pression ferme le canal de décharge et empêche ainsi une baisse de pression supplémentaire dans le circuit de carburant.

Injecteurs

Les injecteurs s'ouvrent pour une pression de tarage prédéterminée et pulvérisent, par des oscillations de l'aiguille, le carburant dans le collecteur d'admission.

Les injecteurs introduisent le carburant dosé par le doseur-distributeur dans les différentes pipes d'admission, en amont des soupapes d'admission des cylindres.

Un support spécial isole parfaitement les injecteurs contre la chaleur rayonnée par le moteur. Cette isolation thermique évite la formation de bulles de vapeur dans les tuyauteries d'injection après la mise à l'arrêt du moteur. La présence de bulles entraînerait, en effet, un mauvais comportement du moteur en cas de démarrage à chaud.

Les injecteurs n'ont aucune fonction de dosage. Ils s'ouvrent automatiquement dès que la pression de tarage dépasse 3,3 bar. L'aiguille de l'injecteur oscille à haute fréquence et émet un bruit audible, le «ronflement», pendant la phase d'injection. La pulvérisation du carburant est donc toujours optimale, même pour de faibles débits d'injection. Après la mise à l'arrêt du moteur, les injecteurs se ferment dès que la pression d'alimentation devient inférieure à leur pression de tarage (d'ouverture). Aucune goutte ne peut plus tomber

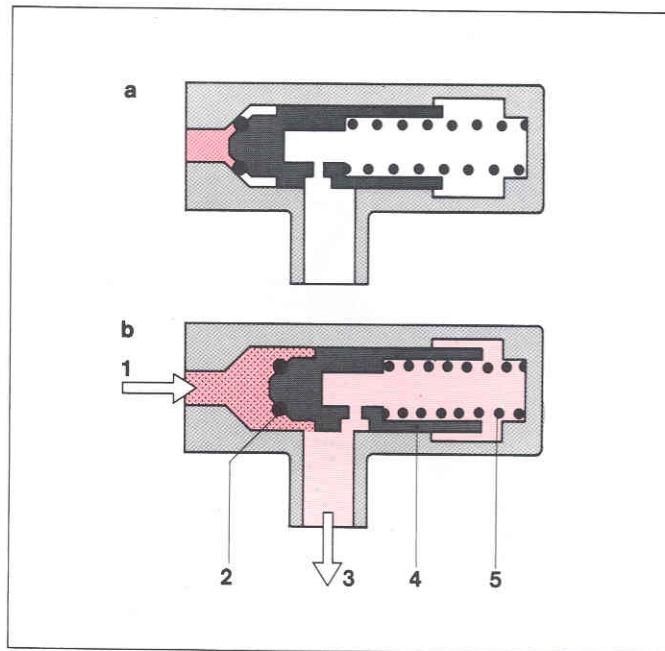


Fig. 10
Régulateur de pression d'alimentation du doseur-distributeur.
a en position de repos
b en position de service
1 Arrivée de la pression d'alimentation
2 Joint
3 Retour au réservoir carburant
4 Piston
5 Ressort de tarage

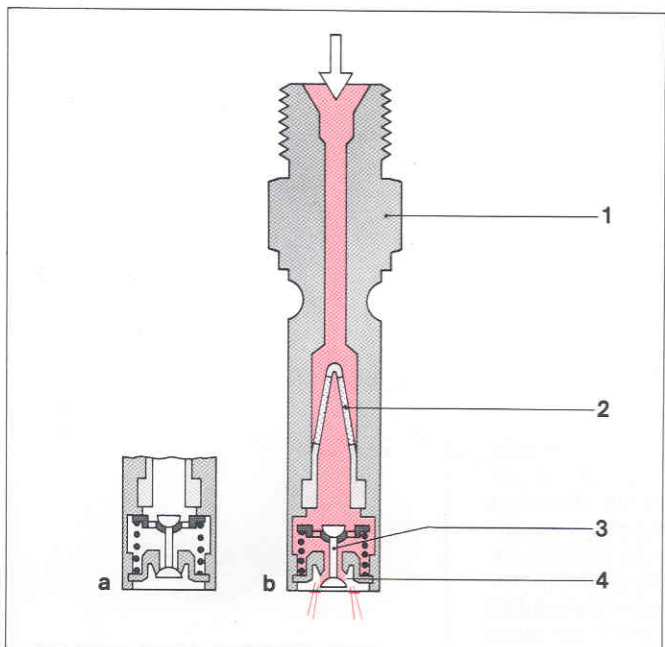


Fig. 11
Injecteur
a en position de repos
b en position de service
1 Corps d'injecteur
2 Filtre
3 Clapet à aiguille
4 Siège de clapet

dans les pipes d'admission; les injecteurs sont parfaitement étanches.

Carburateur

Régulateur de mélange

La carburateur consiste à former en quantité convenable avec deux éléments, l'un gazeux (air), l'autre liquide (carburant), un mélange gazeux combustible.

La carburateur est assurée par le régulateur de mélange. Il est constitué du débitmètre d'air et du doseur-distributeur de carburant.

Débitmètre d'air

Le débitmètre d'air fonctionne suivant le principe des corps flottants et mesure le volume d'air aspiré par le moteur.

La totalité de l'air aspiré par le moteur traverse un débitmètre monté en amont du papillon des gaz. Le débitmètre comprend un divergent d'air et un plateau-sonde mobile (corps flottant).

L'air, qui traverse le divergent, déplace le plateau-sonde d'une certaine valeur à partir de sa position de repos. Le mouvement du plateau-sonde est transmis par un système de leviers à un piston de commande qui détermine la quantité de carburant à doser.

L'apparition possible de retours d'allumage (ratés d'allumage) dans le collecteur d'admission du moteur provoque de forts contre-coups de pression dans le système d'aspiration. Le débitmètre d'air est donc conçu de telle manière que le plateau-sonde puisse basculer dans le sens opposé en cas de retours d'allumage. Une section de décharge est alors libérée. Un tampon en caoutchouc limite la descente (la montée sur les appareils inversés) du plateau-sonde. Un ressort à lame assure le maintien du plateau-sonde en position de repos quand le moteur est à l'arrêt. Le poids du système de leviers et du plateau-sonde est compensé par un contrepoids.

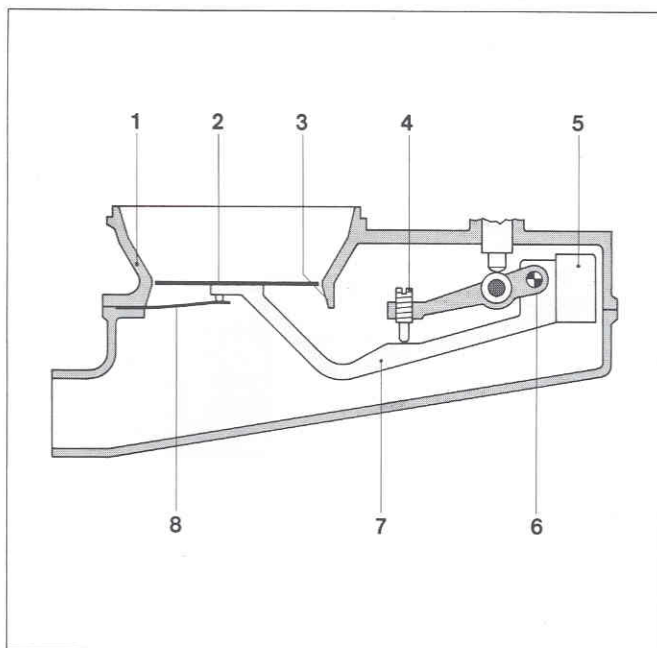


Fig. 12
Débitmètre d'air en position de repos.
1 Divergent d'air
2 Plateau-sonde
3 Section de décharge
4 Vis de richesse du mélange
5 Contrepoids
6 Point d'appui
7 Levier
8 Ressort à lame

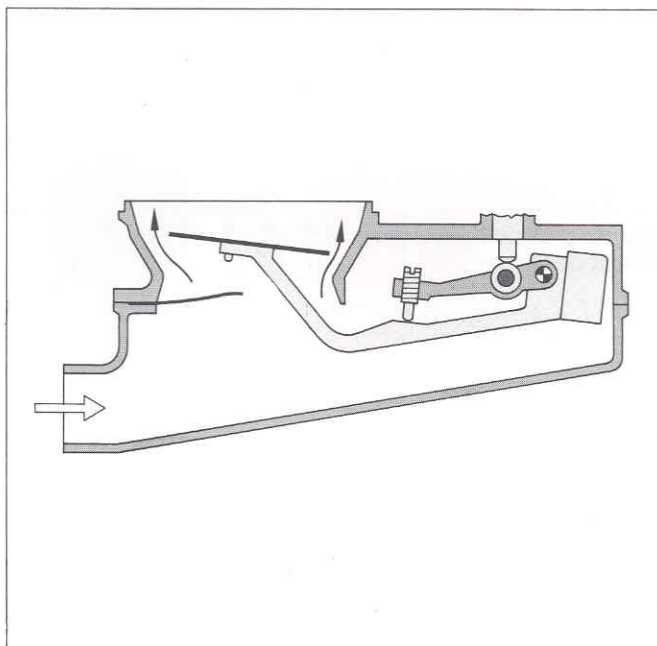


Fig. 13
Débitmètre d'air à flux ascendant en position de fonctionnement - schéma simplifié.

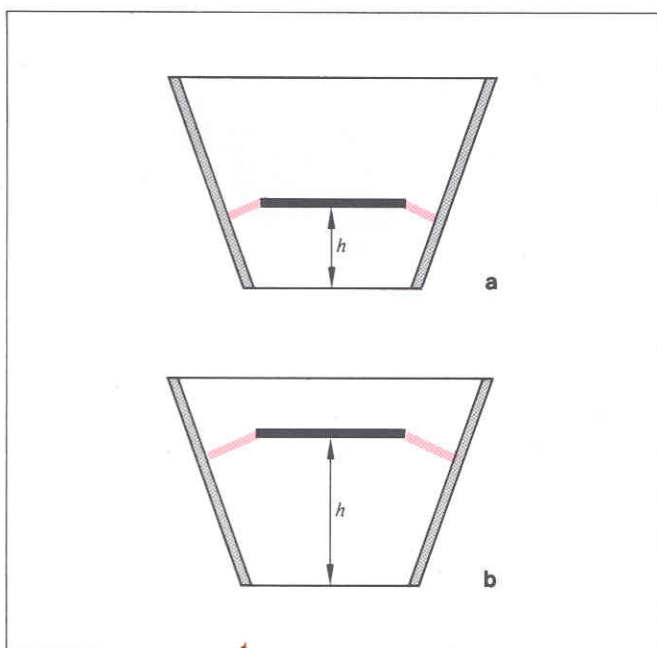


Fig. 14
Principe du débitmètre d'air.
a Flux d'air peu important, faible déplacement du plateau-sonde.
b Flux d'air important, grand déplacement du plateau-sonde.

Doseur-distributeur de carburant

Le doseur-distributeur assure la répartition régulière du carburant entre les différents cylindres du moteur, en fonction de la position du plateau-sonde du débitmètre d'air.

Comme nous l'avons déjà vu, la position du plateau-sonde définit l'importance du volume d'air aspiré par le moteur. Le mouvement du plateau-sonde est transmis au piston de commande par un levier. Le piston de commande dose la quantité de carburant à injecter.

En fonction de sa position dans le cylindre à fentes, le piston de commande démasque une section correspondante des fentes d'étranglement, par lesquelles le carburant peut s'écouler vers les régulateurs de pression différentielle et, ensuite, vers les injecteurs.

Si la course du plateau-sonde est petite, le piston de commande ne se déplace que légèrement et ne libère donc qu'une petite section de passage des fentes d'étranglement. Si le débattement du plateau-sonde augmente, le piston de commande libère alors une section de passage plus importante.

Il existe donc une relation linéaire entre la course du plateau-sonde et la section de passage démasquée des fentes d'étranglement.

Le piston de commande est soumis à une force qui s'oppose à celle engendrée par le déplacement du plateau-sonde et qui est produite par une pression de commande hydraulique. Cette pression permet de synchroniser les mouvements du plateau-sonde et du piston de commande. Celui-ci ne peut rester, par exemple, en position de fin de course supérieure lors de la descente du plateau-sonde. D'autres fonctions importantes de la pression de commande seront décrites aux chapitres «Réchauffage» et «Enrichissement de pleine charge».

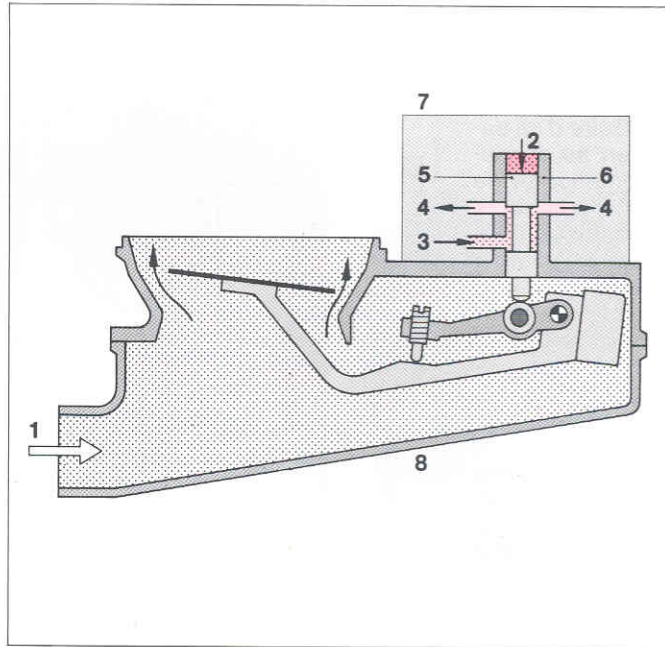


Fig. 15
Cylindre à fentes d'étranglement.
1 Admission d'air
2 Pression de commande
3 Arrivée de carburant
4 Quantité de carburant dosée
5 Piston de commande
6 Cylindre à fentes
7 Doseur-distributeur de carburant
8 Débitmètre d'air



Fig. 16
Cylindre à fentes.
A droite, agrandissement d'une fente. En grande nature, la largeur d'une fente d'étranglement est de 0,2 mm environ.

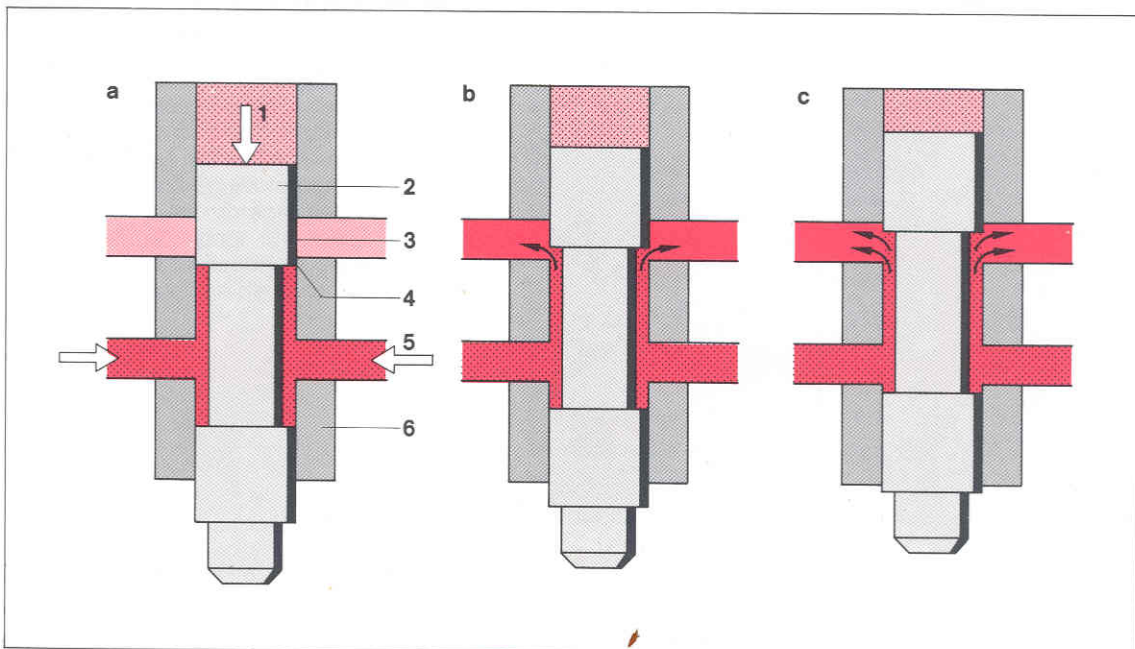


Fig. 17
Cylindre à fentes d'étranglement et piston de commande.
a Position de repos
b Charge partielle
c Pleine charge
1 Pression de commande
2 Piston de commande
3 Fente d'étranglement dans le cylindre
4 Rampe de distribution
5 Arrivée de carburant
6 Cylindre à fentes

Pression de commande

La pression de commande est dérivée de la pression d'alimentation (pression du système) par l'intermédiaire d'un orifice calibré. Ce dernier sert au découplage des circuits d'alimentation et de commande. Une conduite assure la jonction entre le doseur-distributeur et le correcteur de réchauffage (régulateur de pression de commande).

Au démarrage à froid, la pression de commande est de 0,5 bar environ. Elle est modulée à 3,7 bar environ par le correcteur de réchauffage lorsque la température de fonctionnement du moteur augmente.

La pression de commande s'exerce sur le piston de commande par l'intermédiaire d'un étranglement amortisseur pour créer la force antagoniste qui doit équilibrer la force de poussée de l'air dans le débitmètre. L'étranglement amortisseur empêche les vibrations du plateau-sonde provoquées par les pulsations de pression.

Le niveau de la pression de commande influence le dosage du carburant. Quand la pression de commande diminue, le flux d'air aspiré peut soulever davantage le plateau-sonde. Il s'ensuit que le piston de commande démasque encore plus les fentes d'étranglement; le moteur reçoit alors davantage de carburant. Quand la pression de commande augmente, le flux d'air aspiré ne soulève plus autant le plateau-sonde, le dosage de carburant diminue donc.

Afin d'assurer l'étanchéité du circuit de pression de commande après la mise à l'arrêt du moteur et de maintenir la pression dans le circuit d'alimentation, une soupape d'isolement est montée dans la conduite de retour du correcteur de réchauffage. Elle est placée sur le régulateur de pression d'alimentation dont le piston pilote son clapet à tige par poussée. Cette soupape reste ouverte pendant le fonctionnement de l'installation.

Dès que le piston du régulateur revient en position de repos, après la mise à l'arrêt du moteur, le clapet ferme l'orifice de transfert sous l'action d'un ressort.

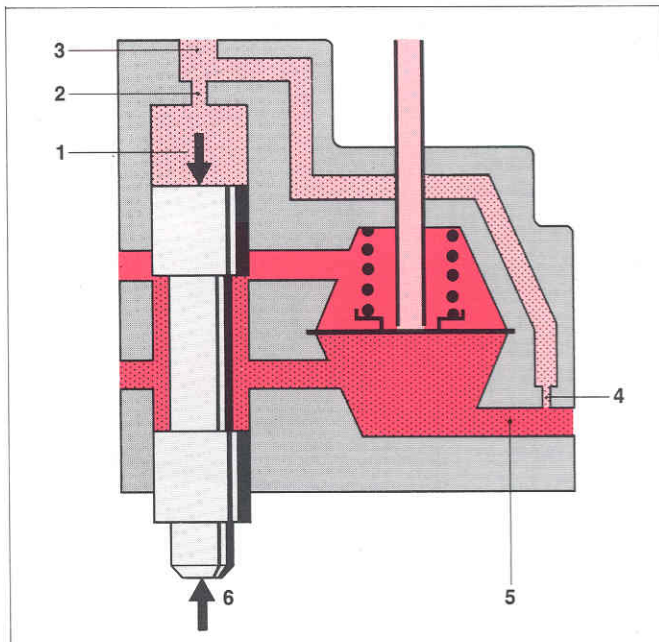


Fig. 18
Pressions d'alimentation et de commande.
1 Action de la pression de commande (force hydraulique)
2 Etranglement amortisseur
3 Conduite vers le correcteur de réchauffage
4 Orifice calibré de découplage
5 Pression d'alimentation (du système)
6 Action de la poussée de l'air

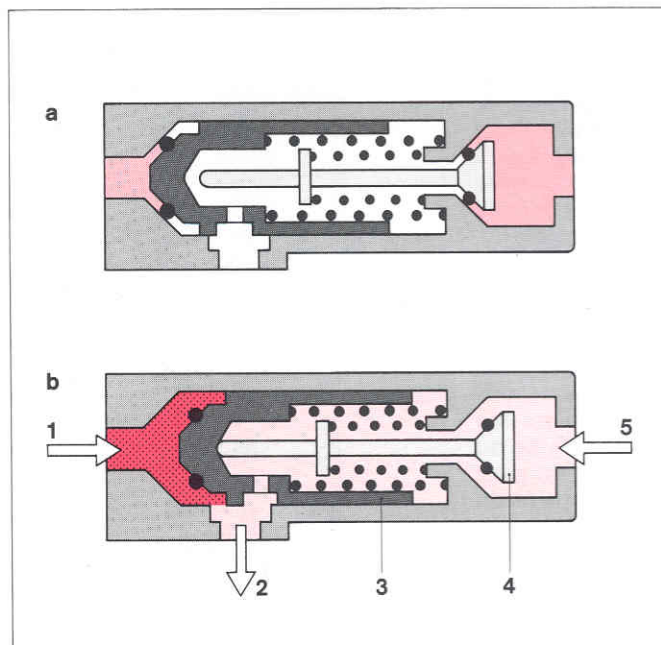


Fig. 19
Régulateur de pression d'alimentation avec soupape d'isolement asservie au circuit de pression de commande
a en position de repos
b en position de service
1 Arrivée de la pression d'alimentation
2 Retour (au réservoir à carburant)
3 Piston du régulateur de pression d'alimentation
4 Soupape d'isolement
5 Arrivée de la pression de commande (du correcteur de réchauffage)

Régulateurs de pression différentielle

Les régulateurs de pression différentielle du doseur-distributeur de carburant produisent une chute de pression constante au niveau des fentes d'étranglement.

Le débitmètre d'air a une caractéristique linéaire. Cela signifie que la course du plateau-sonde est directement proportionnelle au volume d'air admis. Si cette course (linéaire) doit entraîner une variation de la quantité de carburant dans les mêmes proportions, il faut garantir une chute de pression constante au niveau des fentes d'étranglement, indépendamment du débit de carburant.

Les régulateurs de pression différentielle maintiennent la chute de pression au niveau des fentes d'étranglement à une valeur constante, quel que soit le débit de carburant. La pression différentielle est de 0,1 bar. Ce seuil de pression permet d'obtenir une grande précision de régulation.

Les régulateurs de pression différentielle sont conçus sous forme de soupapes à siège plan. Ils se trouvent dans le doseur-distributeur et sont associés aux différentes fentes d'étranglement. Une membrane sépare les chambres inférieure et supérieure de la soupape. Les chambres inférieures de toutes les soupapes communiquent par l'intermédiaire d'un canal annulaire et sont soumises à la pression d'alimentation (pression du système). Le siège de soupape se trouve dans la chambre supérieure. Chacune des chambres supérieures est reliée à une fente d'étranglement et à un raccord d'injecteur. Elles sont isolées les unes par rapport aux autres. Chaque membrane est tarée par un ressort. La pression différentielle est déterminée par la force d'un ressort hélicoïdal.

Si une quantité importante de carburant entre dans la chambre supérieure, la membrane s'incurve alors vers le bas et libère la section de passage de la soupape jusqu'à ce que la pression différentielle, définie par le ressort, se rétablisse. Si le débit de carburant diminue, la membrane se détend et rétrécit la section de passage jusqu'à ce qu'une différence de pression de 0,1 bar soit à nouveau obtenue. Il y a donc équilibre des forces au niveau de la membrane, cet équilibre étant maintenu pour chaque débit de carburant par variation (réglage) de la section de passage de la soupape.

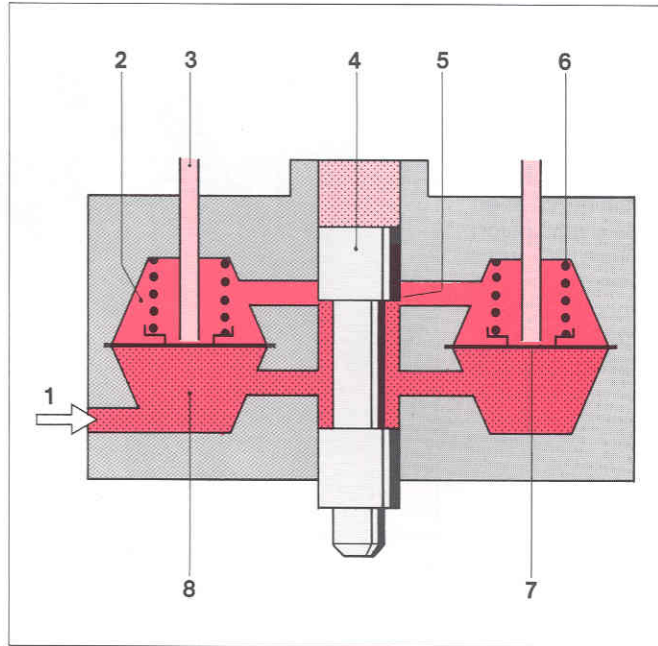


Fig. 20
Doseur-distributeur de carburant avec régulateurs de pression différentielle.

- 1 Arrivée de carburant (pression d'alimentation)
- 2 Chambre supérieure du régulateur de pression différentielle
- 3 Conduite vers l'injecteur (pression d'injection)
- 4 Piston de commande
- 5 Rampe de distribution et fente d'étranglement
- 6 Ressort de soupape
- 7 Membrane
- 8 Chambre inférieure du régulateur de pression différentielle

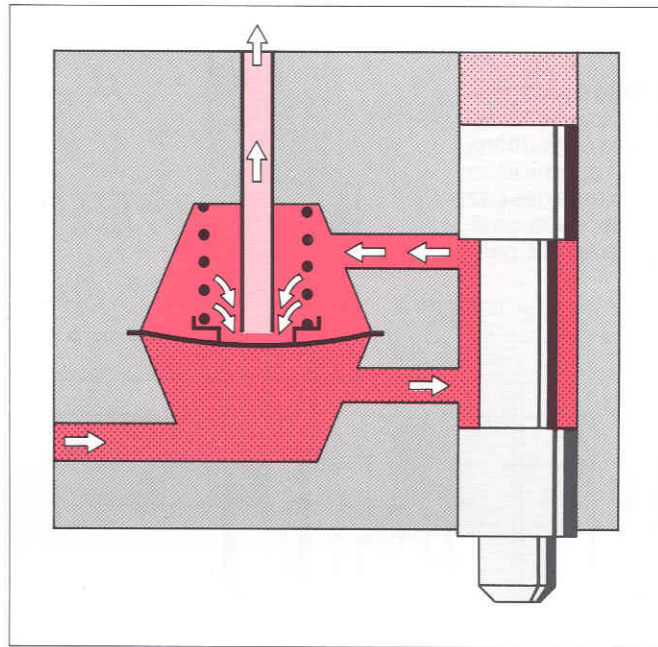


Fig. 21
Régulateur de pression différentielle, position pour un débit de carburant important.

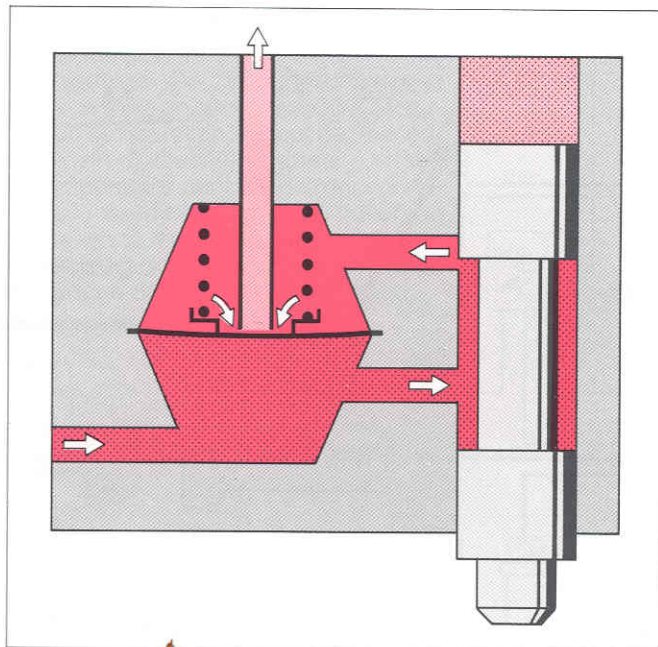


Fig. 22
Régulateur de pression différentielle, position pour un faible débit de carburant.

Formation du mélange

La formation du mélange a lieu dans le collecteur d'admission et dans le cylindre du moteur.

La quantité de carburant distribuée en continu par les injecteurs est stockée en amont de chaque soupape d'admission du moteur. Lors de l'ouverture de la soupape d'admission, le volume d'air aspiré entraîne le nuage de carburant et produit, par turbulence, la formation d'un mélange gazeux inflammable pendant le temps d'admission.

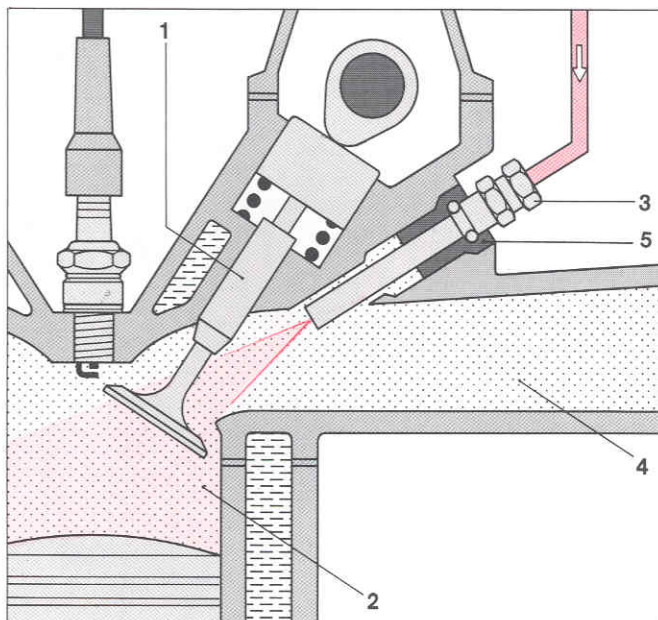


Fig. 23
Formation du mélange gazeux.

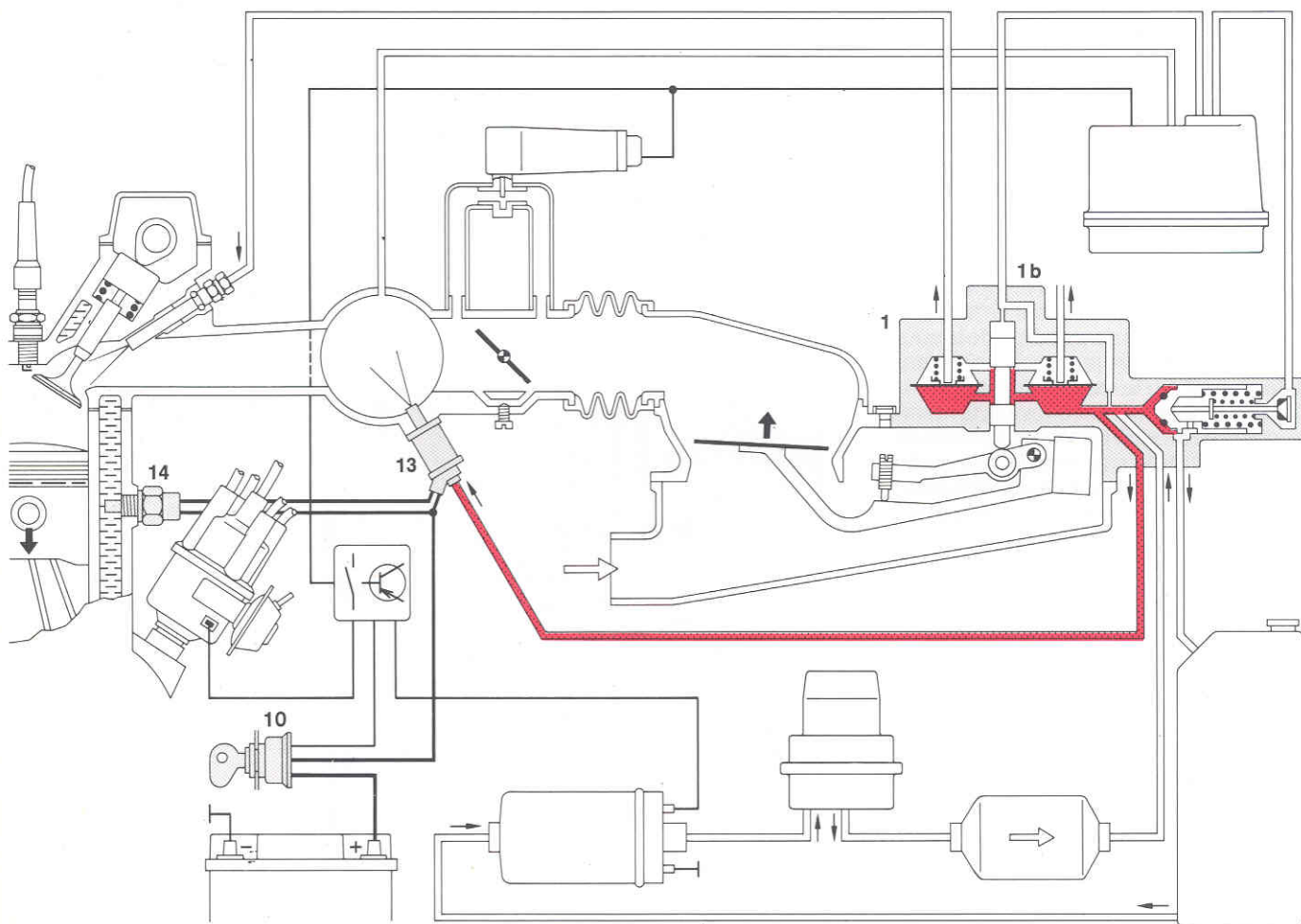
- 1 Soupape d'admission
- 2 Chambre de combustion
- 3 Injecteur
- 4 Collecteur d'admission
- 5 Porte-injecteur à isolation thermique

Adaptation du mélange

A côté de la fonction de base décrite jusqu'à présent, certaines conditions de fonctionnement exigent des corrections du mélange gazeux afin d'optimiser le rendement, de réduire le volume des gaz toxiques ou d'améliorer le comportement du moteur au démarrage et pendant la marche.

Fig. 24
Enrichissement de départ à froid.

- 1 Régulateur de mélange
- 1b Doseur-distributeur de carburant
- 10 Commutateur d'allumage/démarrage
- 13 Injecteur de départ à froid
- 14 Thermocontact temporisé



Départ à froid

Un supplément de carburant est injecté au démarrage par l'injecteur de départ à froid, pendant un temps prédéterminé en fonction de la température du moteur.

Au démarrage à froid, le mélange carburé est sujet à des pertes dues à la condensation du carburant sur les parois froides du collecteur d'admission et de la chambre de combustion.

Afin de compenser ces pertes et de faciliter le départ à froid du moteur, un supplément de carburant doit être injecté au moment du démarrage.

L'injecteur de départ à froid, monté sur le collecteur d'admission, assure l'injection de cette quantité de carburant supplémentaire. La durée de mise en circuit de l'injecteur de départ à froid est réglée par un thermocontact temporisé en fonction de la température du moteur.

L'opération décrite ici s'appelle «enrichissement de départ à froid». Le mélange devient alors «plus riche», c'est-à-dire que le coefficient d'air est temporairement inférieur à 1.

Injecteur de départ à froid

Il s'agit d'un injecteur à commande électromagnétique, qui dispose d'un enroulement et d'un noyau plongeur. En position de repos, le noyau plongeur de l'électro-aimant est plaqué par un ressort contre un joint et obture ainsi l'orifice d'injection. Lorsque l'électro-aimant est excité, le noyau plongeur est alors soulevé du siège de soupape et libère ainsi l'orifice de passage du carburant. Ce dernier arrive alors tangentiellement dans une buse où un mouvement de rotation lui est inculqué. Grâce à la forme très étudiée de la buse — appelée buse à effet giratoire — le carburant est pulvérisé très finement et enrichit l'air dans le collecteur d'admission, en aval du papillon des gaz.

Thermocontact temporisé

Le thermocontact temporisé limite le temps d'injection de l'injecteur de départ à froid en fonction de la température du moteur.

Le thermocontact temporisé est constitué d'un bilame à chauffage électrique, qui ferme ou ouvre un contact en fonction de sa température. Il est logé dans un corps fileté creux, qui est fixé à un point caractéristique de la température du moteur.

Le thermocontact temporisé détermine la durée de mise en circuit de l'injecteur de départ à froid. Cette durée de mise en action dépend du réchauffage du thermocontact par la chaleur du moteur, la température ambiante et le chauffage électrique dont il dispose lui-même. Ce chauffage est nécessaire afin de limiter la durée de fonctionnement maximale de l'injecteur de départ à froid, ce qui permet d'éviter un trop fort

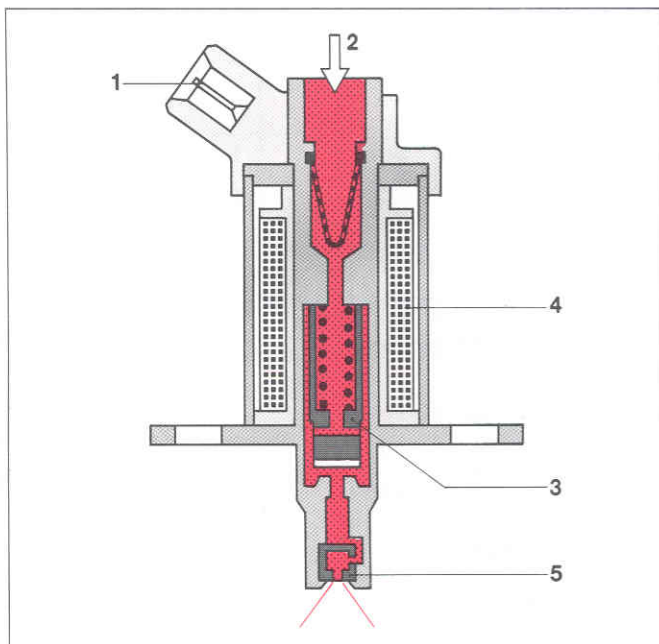


Fig. 25
Injecteur de départ à froid en fonctionnement.
1 Connexion électrique
2 Arrivée du carburant et filtre
3 Soupape (noyau plongeur)
4 Enroulement de solénoïde
5 Buse à effet giratoire

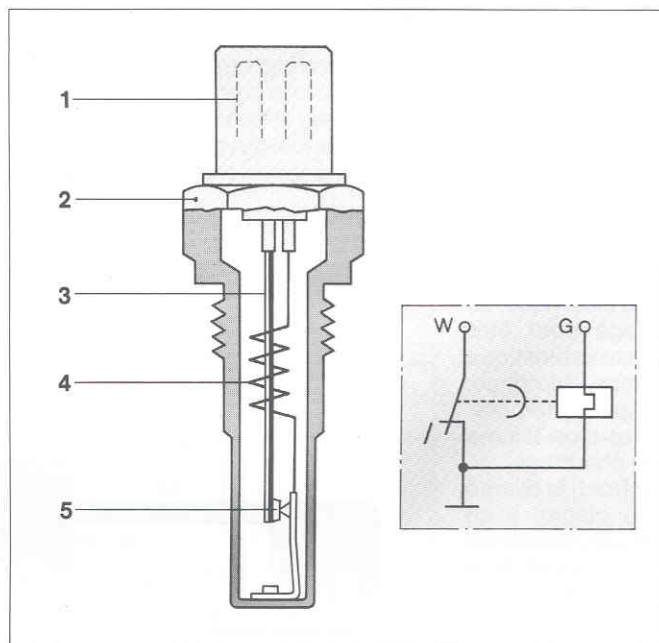


Fig. 26
Thermocontact temporisé
1 Connexion électrique
2 Corps fileté
3 Bilame
4 Spirale de chauffage
5 Contacts

enrichissement du mélange et le «noyau» du moteur. En cas de départ à froid, le chauffage électrique détermine la durée de mise en circuit (à -20°C , interruption de l'injection au bout de 8 secondes environ). Quand le moteur a atteint sa température normale de fonctionnement, le thermocontact reste ouvert en permanence. Aucun supplément de carburant n'est donc injecté au moment du démarrage du moteur à l'état chaud.

Phase de réchauffage

Le correcteur de réchauffage assure l'enrichissement de réchauffage. Il abaisse la pression de commande lorsque le moteur est froid et entraîne donc une plus grande ouverture des fentes d'étranglement, en fonction de la température du moteur.

Au début de la phase de réchauffage, qui suit le départ à froid, une partie du carburant injectée se condense encore sur les parois des pipes d'admission et des cylindres. Ce phénomène de condensation peut provoquer des ratés de combustion. Le mélange air/carburant doit donc être enrichi pendant la phase de réchauffage ($\lambda < 1,0$). L'enrichissement doit diminuer continuellement en proportion de l'accroissement de la température du moteur afin d'éviter la formation d'un mélange trop riche aux températures élevées. Cette «régulation» du mélange pendant la phase de réchauffage incombe au correcteur de réchauffage (régulateur de pression de commande) qui module la pression de commande du système d'injection.

Correcteur de réchauffage

La variation de la pression de commande est obtenue par le correcteur de réchauffage. Ce dernier est monté sur le moteur de manière à ce qu'il prenne la température du bloc-moteur. Il dispose également d'un chauffage électrique. Le correcteur de réchauffage peut être adapté exactement à la caractéristique du moteur par ce chauffage électrique.

Il est constitué d'un clapet à membrane, taré par un ressort, et d'un bilame entouré d'une spirale de chauffage.

Lorsque le moteur est froid, le bilame comprime le ressort du clapet. Il en résulte une diminution de la poussée sur la membrane, un agrandissement de la section d'écoulement et une baisse de la pression de commande.

Dès le début du démarrage, le bilame est chauffé électriquement et par le moteur. Il se cintre et libère progressivement le ressort du clapet. L'effet du ressort sur la membrane de la soupape augmente. La membrane réduit la section d'écoulement, la pression de commande augmente.

L'enrichissement de réchauffage est terminé dès que le bilame libère complètement le ressort du clapet. Sous la seule action de ce ressort, la pression de commande est réglée à sa valeur normale. Au départ à froid, la pression de commande est de 0,5 bar environ – quand le moteur est chaud, de 3,7 bar environ.

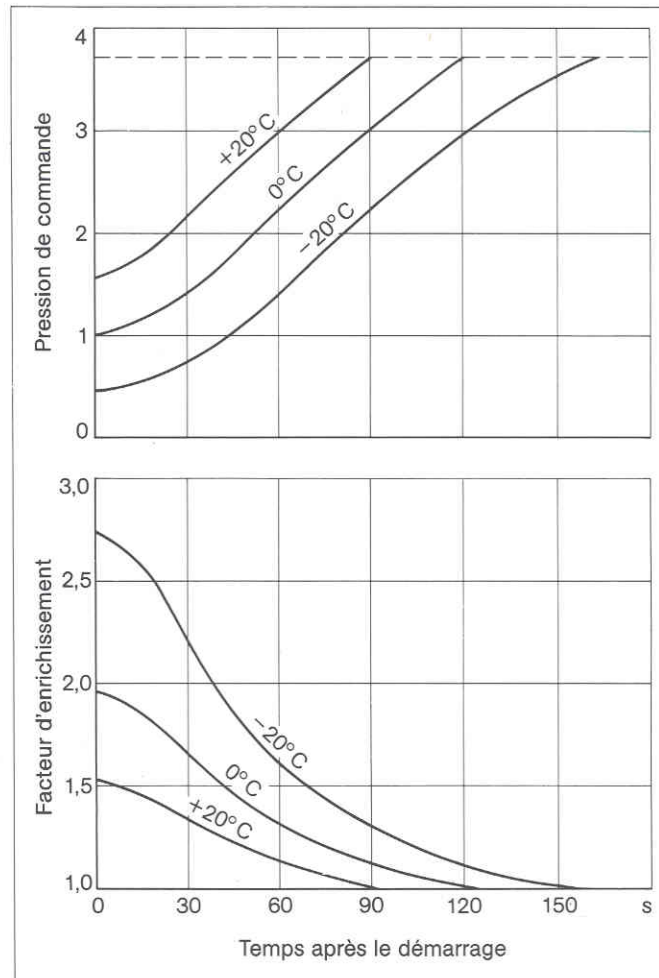


Fig. 27
Courbes caractéristiques du correcteur de réchauffage pour différentes températures du moteur. Le facteur d'enrichissement 1,0 correspond au dosage du carburant quand le moteur a atteint sa température normale de fonctionnement.

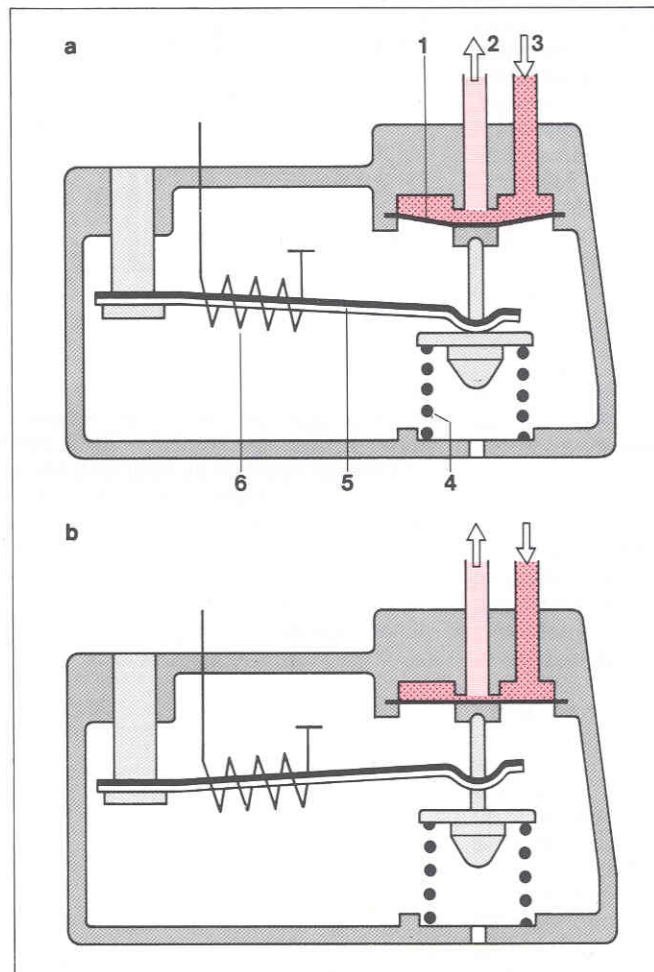


Fig. 28
Correcteur de réchauffage.
a le moteur étant froid
b le moteur étant chaud
1 Membrane
2 Retour
3 Pression de commande (du régulateur de mélange)
4 Ressort de clapet
5 Bilame
6 Spirale de chauffage

Commande d'air additionnel

Pendant la phase de réchauffage, le moteur reçoit davantage de mélange par l'intermédiaire de la commande d'air additionnel afin de vaincre la haute résistance de frottement à froid et de garantir la stabilité du ralenti.

Quand le moteur est froid, les résistances de frottement sont plus élevées. Au ralenti, le moteur doit vaincre aussi ces résistances. La commande d'air additionnel, montée en dérivation du papillon, assure donc ce dosage d'air supplémentaire. Ce surplus d'air étant mesuré par le débitmètre et pris en considération pour le dosage du carburant, le moteur reçoit donc davantage de mélange. Ce dispositif favorise la stabilisation du ralenti quand le moteur n'a pas encore atteint sa température normale de fonctionnement.

La section du canal de dérivation est commandée agissant en fonction de l'échauffement d'un bilame. Au départ à froid, la section de passage libérée par le diaphragme est donc maximale. Elle diminue au fur et à mesure que la température du moteur augmente, puis est finalement obturée. Le bilame dispose d'un chauffage électrique. La limitation du temps d'ouverture est ainsi assurée

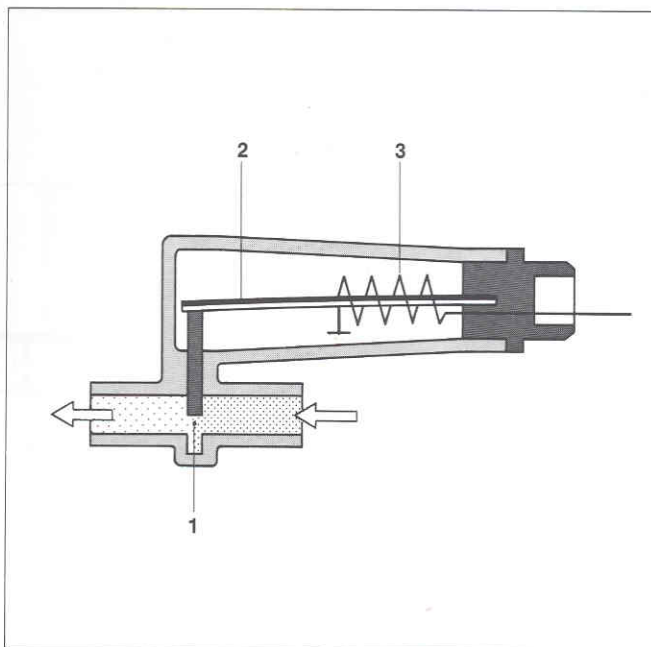
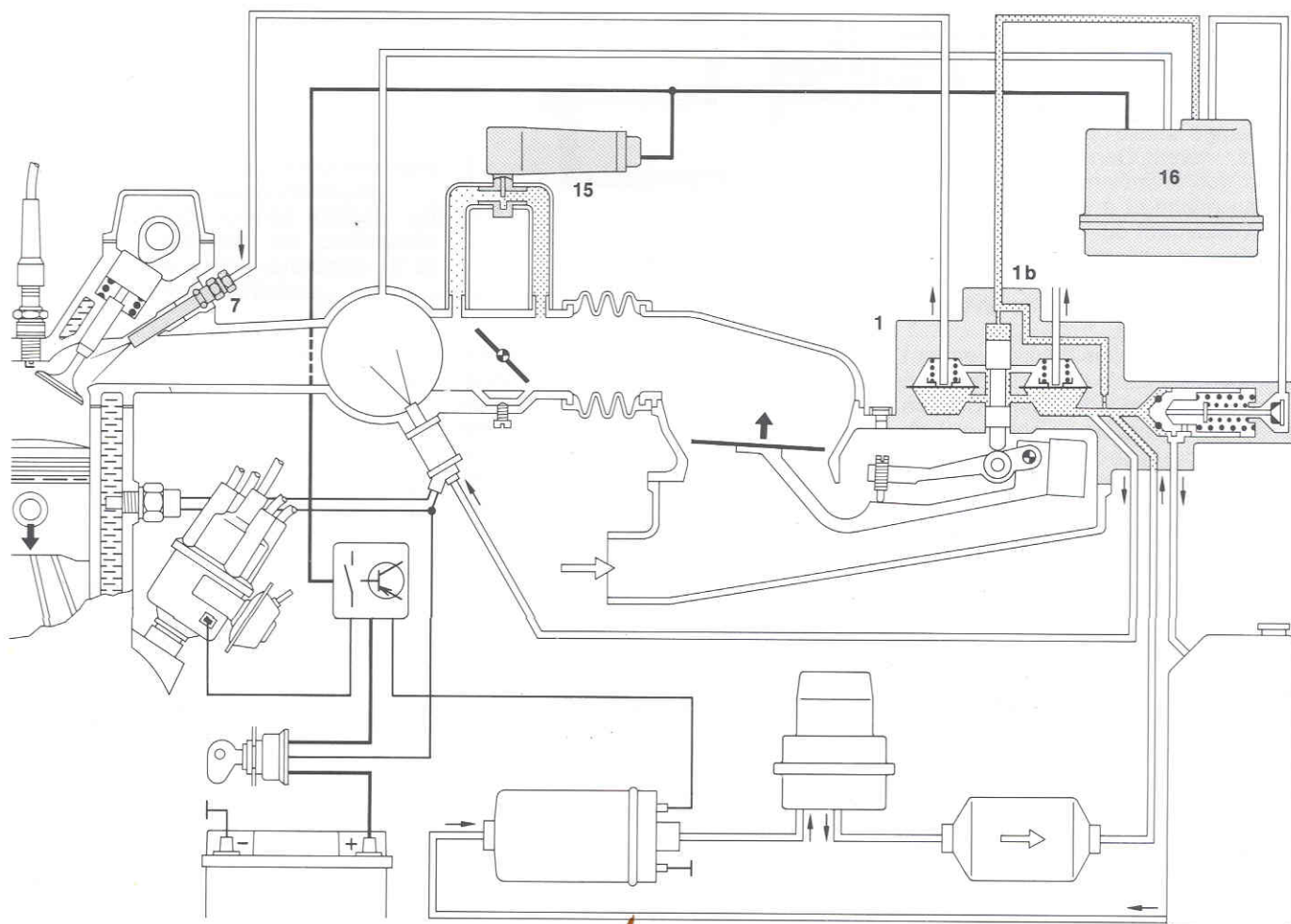


Fig. 29
Commande d'air
additionnel.
1 Canal d'air avec tiroir
à diaphragme
2 Bilame
3 Spirale de chauffage

suivant chaque type de moteur. L'emplacement de montage de la commande d'air additionnel a été choisi de telle sorte que celle-ci prenne la température du moteur. Quand le moteur est chaud, ce dispositif n'intervient donc pas.

Fig. 30
Enrichissement de
réchauffage.
1 Régulateur de
mélange
1b Doseur-distributeur
de carburant
7 Injecteur
15 Commande d'air
additionnel
16 Correcteur de
réchauffage



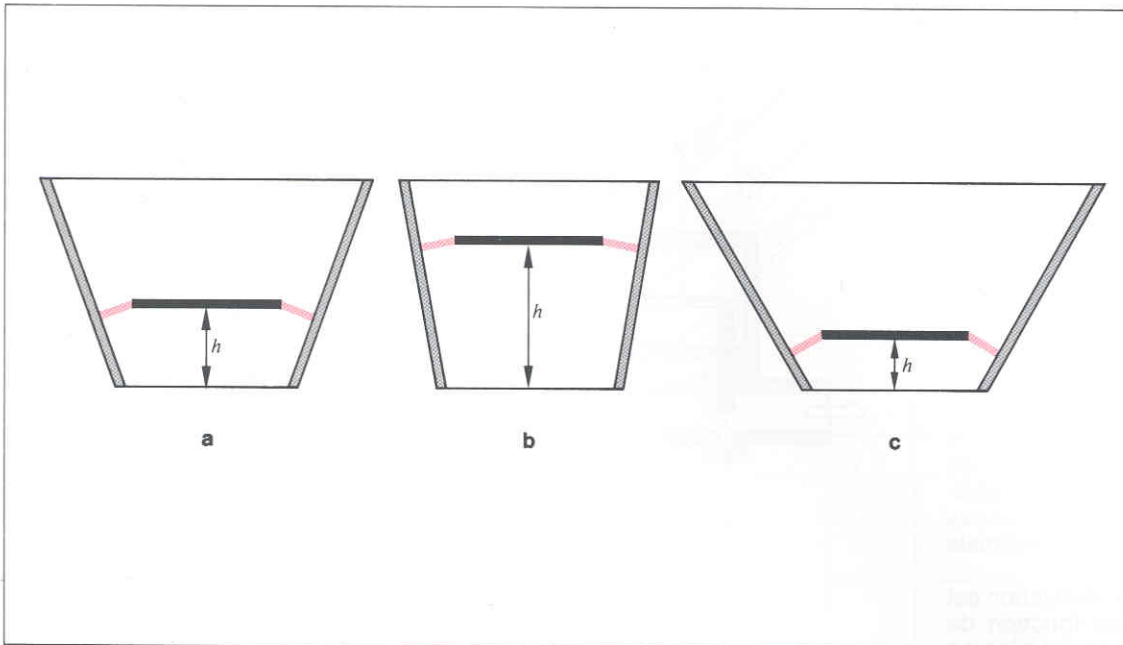


Fig. 31
Influence de l'angle du cône du divergent d'air sur le déplacement du plateau-sonde pour un même débit d'air.

- a Forme de base du divergent, déplacement h .
- b Forme plus étroite du divergent, déplacement h plus important pour le même débit d'air.
- c Forme plus évasée du divergent, déplacement h plus petit pour le même débit d'air.

Surface annulaire libérée par le plateau-sonde (la même pour a, b et c).

Etats de charge

L'adaptation du mélange aux différentes conditions de fonctionnement, telles que ralenti, charge partielle et pleine charge, est assurée par la forme bien étudiée du divergent d'air.

Si le divergent d'air présente un dessin uniforme, le mélange reste constant sur toute l'étendue de la course, c'est-à-dire sur toute la plage de mesure du divergent d'air.

Comme nous l'avons cependant déjà vu, certaines conditions d'exploitation, telles que ralenti, charge partielle et pleine charge, exigent un dosage précis du mélange afin d'optimiser le rendement du moteur. Dans la pratique, cela signifie que le mélange doit être plus riche au ralenti et à pleine charge. Un appauvrissement du mélange s'impose au régime de charge partielle. Cette adaptation est réalisée en donnant des angles différents au cône du divergent d'air du débitmètre.

Si les côtés du cône du divergent ont une pente plus faible que celle du cône de base (forme qui a été définie pour un mélange bien précis, p. ex. pour $\lambda = 1$), on obtient alors un mélange pauvre. Par contre, pour un angle de cône plus aigu que celui de la forme de base, le déplacement du plateau-sonde est plus prononcé.

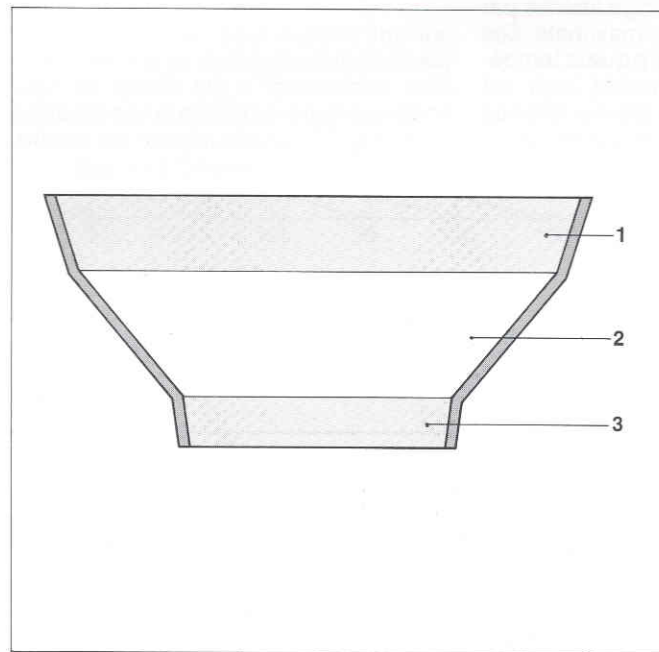


Fig. 32
Niveaux de correction du divergent du débitmètre d'air.
1 pour la pleine charge
2 pour la charge partielle
3 pour le ralenti

Il en résulte un plus fort dosage de carburant — le mélange devient plus riche.

La forme donnée au divergent d'air doit pouvoir garantir un mélange riche au ralenti et à pleine charge, mais un mélange pauvre en charge partielle (enrichissement de ralenti et de pleine charge).

Enrichissement par baisse de la pression de commande

L'alimentation du moteur avec un mélange très pauvre au régime de charge partielle implique un enrichissement de pleine charge complémentaire à la correction du mélange apportée par la forme du divergent d'air.

Ce rôle est attribué à un correcteur de réchauffage spécialement prévu à cet effet. Il assure la régulation de la pression de commande en fonction de la pression qui règne dans le collecteur d'admission.

Cette variante de correcteur de réchauffage dispose de deux ressorts de clapet au lieu d'un seul. Comme sur le correcteur de type standard, le ressort extérieur prend appui sur le carter; le ressort intérieur, par contre, repose sur une membrane. Cette membrane divise le correcteur de réchauffage en deux parties: une chambre supérieure et une chambre inférieure. La pression, qui règne dans le collecteur d'admission, agit sur la chambre supérieure par l'intermédiaire d'un flexible relié au collecteur, en aval du papillon des gaz. Suivant le type de correcteur, la chambre inférieure communique directement avec l'atmosphère ou est reliée au filtre à air par un second flexible.

La faible pression dans le collecteur d'admission au ralenti et en charge partielle provoque la montée de la membrane jusqu'à sa butée supérieure. Le ressort intérieur atteint donc sa tension initiale maximale. La tension initiale des deux ressorts de clapet détermine donc la valeur de la pression de commande adaptée à ces deux régimes de fonctionnement. A pleine charge, le papillon s'ouvre davantage, la pression croît dans le collecteur d'admission, la membrane quitte la butée supérieure et vient s'appliquer sur la butée inférieure.

Le ressort de clapet intérieur se détend, la pression de commande s'abaisse à la valeur pré réglée et le mélange devient plus riche.

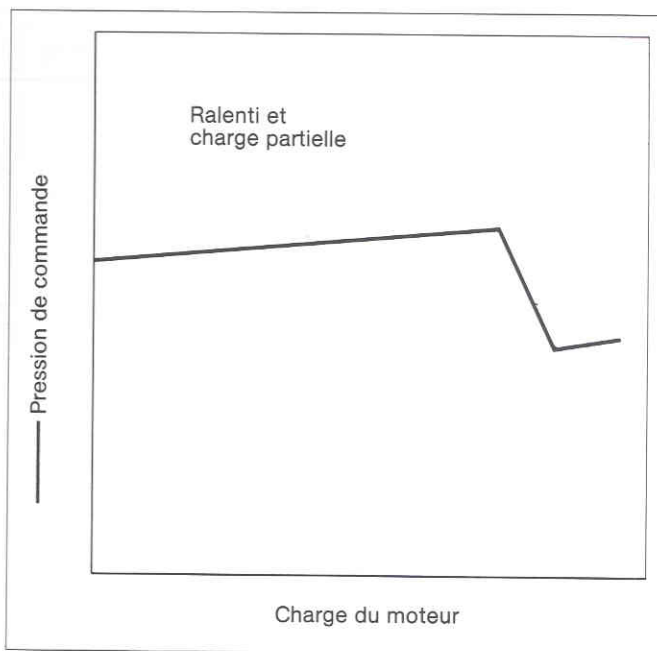


Fig. 33 Interdépendance de la pression de commande et de la charge (régime) du moteur.

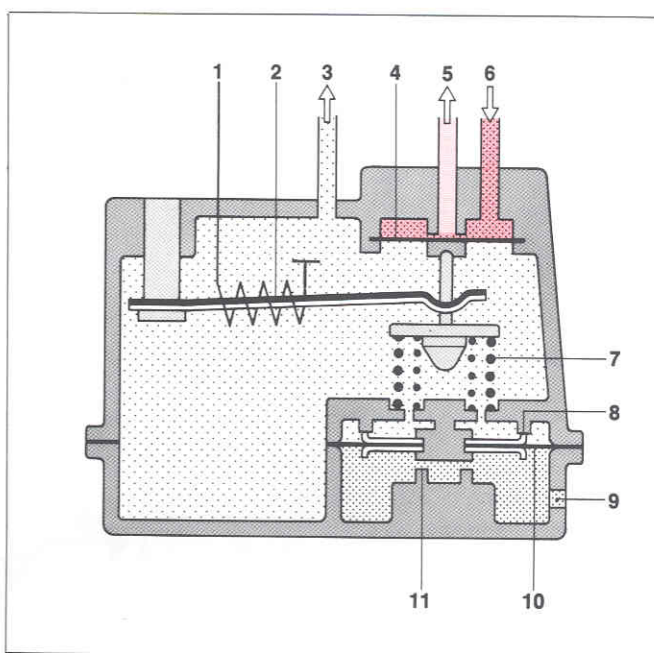


Fig. 34 Correcteur de réchauffage (régulateur de pression de commande) à membrane de pleine charge — phases de ralenti et de charge partielle.

- 1 Spirale de chauffage
- 2 Bilame
- 3 Raccord de dépression (du collecteur d'admission)
- 4 Membrane de soupape
- 5 Retour au réservoir à carburant
- 6 Pression de commande (du doseur-distributeur)
- 7 Ressorts de clapet
- 8 Butée supérieure
- 9 Mise à l'atmosphère
- 10 Membrane
- 11 Butée inférieure

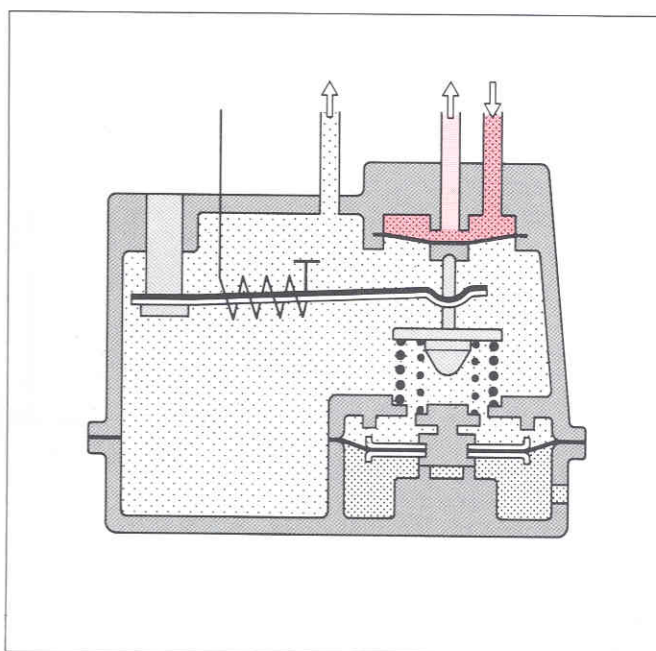


Fig. 35 Correcteur de réchauffage (régulateur de pression de commande) à membrane de pleine charge — phase de pleine charge.

Reprises

Les bonnes reprises à l'accélération sont garanties par un débattement plus important du plateau-sonde.

Accélération

Des variations de la composition du mélange gazeux se manifestent lors du passage d'un régime de fonctionnement à un autre. Ces fluctuations sont exploitées afin d'obtenir une amélioration du comportement du moteur.

Dès l'ouverture soudaine du papillon à vitesse constante, les volumes d'air nécessaires au remplissage des cylindres et à la compensation de la pression dans le collecteur d'admission traversent le débitmètre. Le débattement du plateau-sonde est alors brièvement plus important que celui qui correspond à l'ouverture totale du papillon. Cette surcourse fait croître le dosage de carburant (enrichissement à l'accélération) favorisant ainsi le comportement du moteur au cours des reprises.

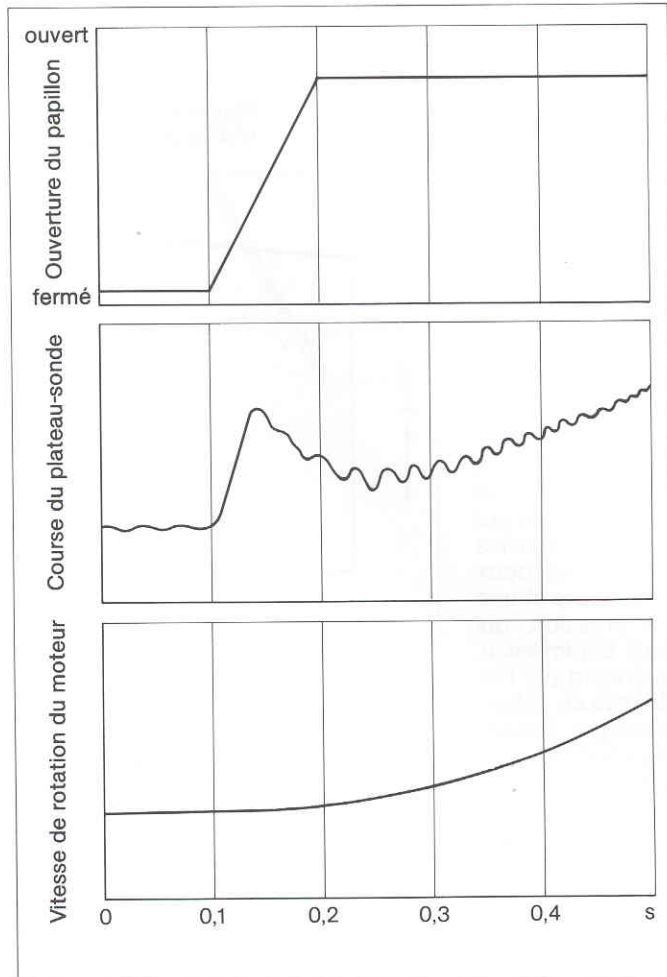


Fig. 36
Enrichissement à l'accélération. Réponse du système K-Jetronic lors de l'ouverture rapide du papillon des gaz.

Modulation du mélange air-carburant

Afin d'adapter le débit d'injection au rapport air-carburant voulu de $\lambda = 1$, il convient de faire varier la pression qui règne dans les chambres inférieures du doseur-distributeur. Par exemple, si la pression diminue dans les chambres inférieures, la pression différentielle augmente au niveau des fentes d'étranglement, ce qui se traduit par un accroissement du débit d'injection. Afin de pouvoir faire varier la pression dans les chambres inférieures, ces dernières sont découplées du circuit de pression d'alimentation par un étranglement fixe qui n'existe pas sur le doseur-distributeur standard du K-Jetronic. Un autre étranglement établit une communication entre les chambres inférieures et le canal de retour du carburant.

Cet étranglement est variable. Quand il est ouvert, la pression peut baisser dans les chambres inférieures. Quand il est fermé, la pression d'alimentation règne dans les chambres inférieures. L'ouverture et la fermeture de cet étranglement à un rythme accéléré permettent de faire varier la pression dans les chambres inférieures en fonction du rapport entre les temps de fermeture et d'ouverture. L'étranglement variable est constitué par une électrovanne, la vanne de cadence. Elle est commandée par les impulsions électriques du régulateur Lambda.

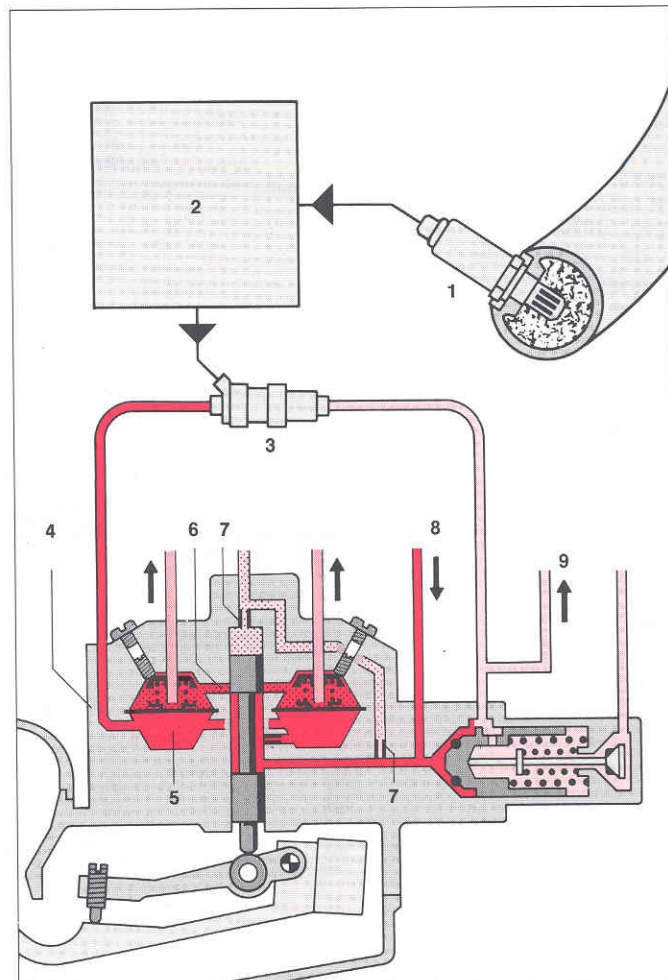


Fig. 37
Composants intervenant dans la régulation Lambda.
1 Sonde Lambda
2 Régulateur Lambda
3 Electrovanne de cadence (étranglement variable)
4 Doseur-distributeur de carburant
5 Chambres inférieures des régulateurs de pression différentielle
6 Fentes d'étranglement
7 Etranglement de découplage (étranglement fixe)
8 Arrivée de carburant
9 Retour de carburant

Circuit électrique

La mise à l'arrêt du moteur lorsque l'allumage est encore en circuit entraîne l'interruption automatique du fonctionnement de la pompe électrique à carburant.

Le système K-Jetronic dispose de composants électriques, tels que la pompe à carburant, le correcteur de réchauffage, la commande d'air additionnel, l'injecteur de départ à froid et le thermocontact temporisé. L'actionnement de ces composants s'effectue par l'intermédiaire d'un relais de commande qui est mis en circuit par le commutateur d'allumage-démarrage.

Outre ses fonctions de commutation, le relais de commande joue aussi le rôle de module de sécurité. Une variante de circuit utilisée très souvent est décrite ci-après.

Fonctionnement

Au départ à froid du moteur, le commutateur d'allumage-démarrage met l'injecteur de départ à froid et le thermocontact temporisé sous tension par l'intermédiaire de la borne 50. Si la durée de la phase de démarrage dépasse 8 à 15 secondes environ, le thermocontact joue donc, dans ce cas, le rôle d'un relais temporisateur.

Quand la température du moteur au démarrage dépasse $+35^{\circ}\text{C}$ environ, le thermocontact temporisé a déjà interrompu la liaison vers l'injecteur de départ à froid et ce dernier n'injecte plus de carburant. Dans ce cas, le thermocontact temporisé fait fonction de relais thermique.

Par ailleurs, le commutateur d'allumage-démarrage met le relais de commande sous tension au démarrage. Ce relais est mis en circuit dès que le moteur commence à tourner. La vitesse de rotation donnée au moteur par le démarreur dès son lancement suffit à enclencher le relais. Les impulsions de la bobine d'allumage (borne 1) servent de caractéristique pour la marche du moteur.

Les impulsions sont exploitées par un circuit électronique du relais de commande. Ce dernier est mis en circuit dès la première impulsion et met la pompe à carburant, la commande d'air additionnel et le correcteur de réchauffage sous tension. Le relais de commande reste en circuit aussi longtemps que le contact d'allumage est mis et que le moteur tourne. Si les impulsions venant de la bobine (borne 1) disparaissent parce que le moteur s'arrête de tourner (en cas d'accident p. ex.), la mise hors circuit du relais de commande suit alors la dernière impulsion dans un délai d'une seconde environ. Ce circuit de sécurité évite le débit de carburant par la pompe quand le moteur ne tourne plus, mais quand l'allumage est encore en circuit.

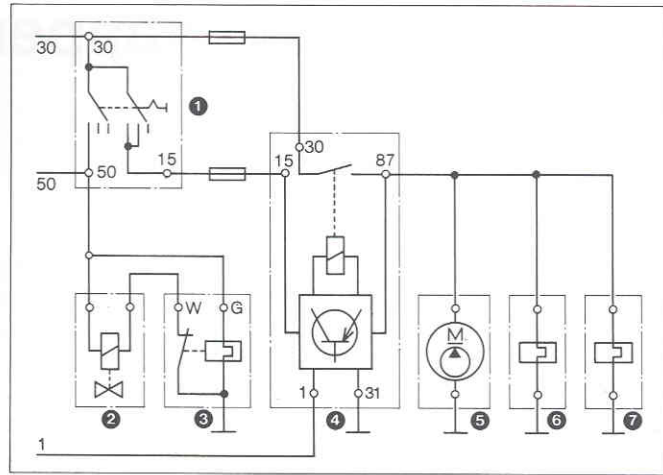


Fig. 38
Circuit en position de repos.
1 Commutateur d'allumage-démarrage
2 Injecteur de départ à froid
3 Thermocontact temporisé
4 Relais de commande
5 Pompe électrique à carburant
6 Correcteur de réchauffage
7 Commande d'air additionnel

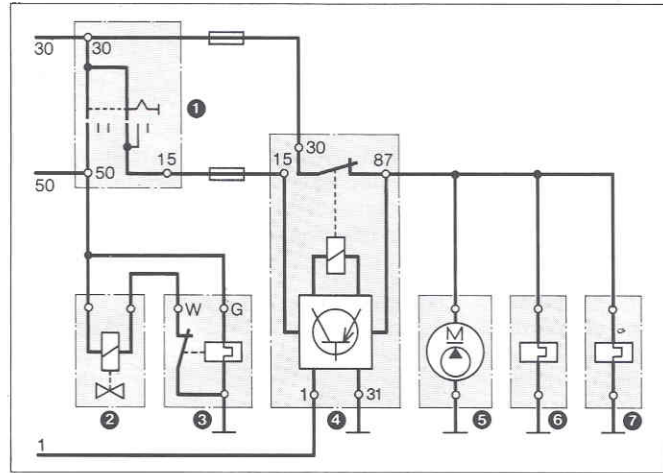


Fig. 39
Démarrage (moteur froid). L'injecteur de départ à froid et le thermocontact temporisé sont en circuit. Le moteur tourne (impulsions venant de la borne 1 de la bobine). Le relais de commande, la pompe à carburant, la commande d'air additionnel et le correcteur de réchauffage sont en circuit.

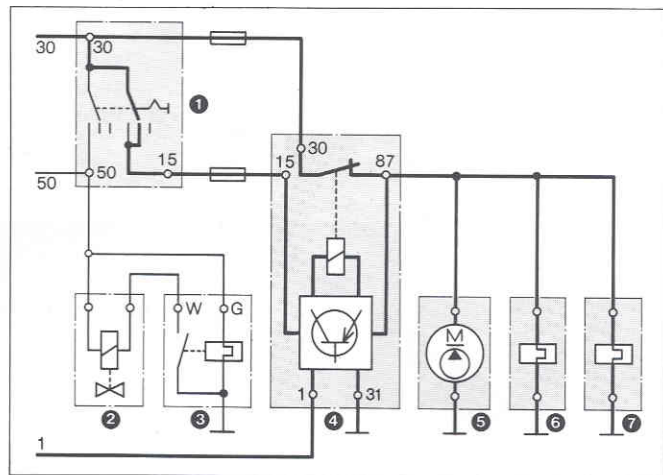


Fig. 40
Fonctionnement Allumage en circuit, le moteur tourne. Le relais de commande, la pompe à carburant, la commande d'air additionnel et le correcteur de réchauffage sont en circuit.

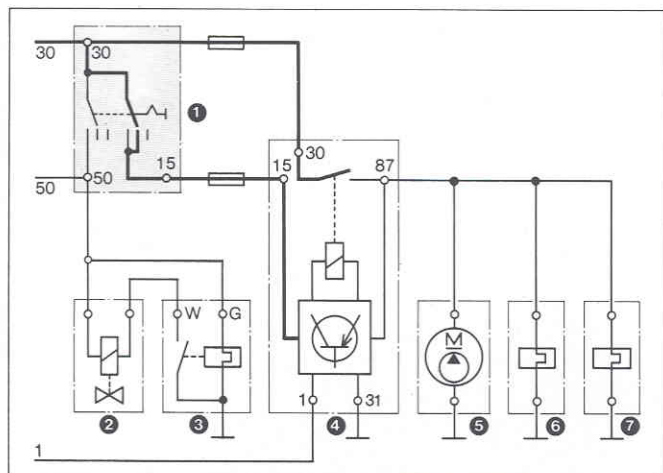
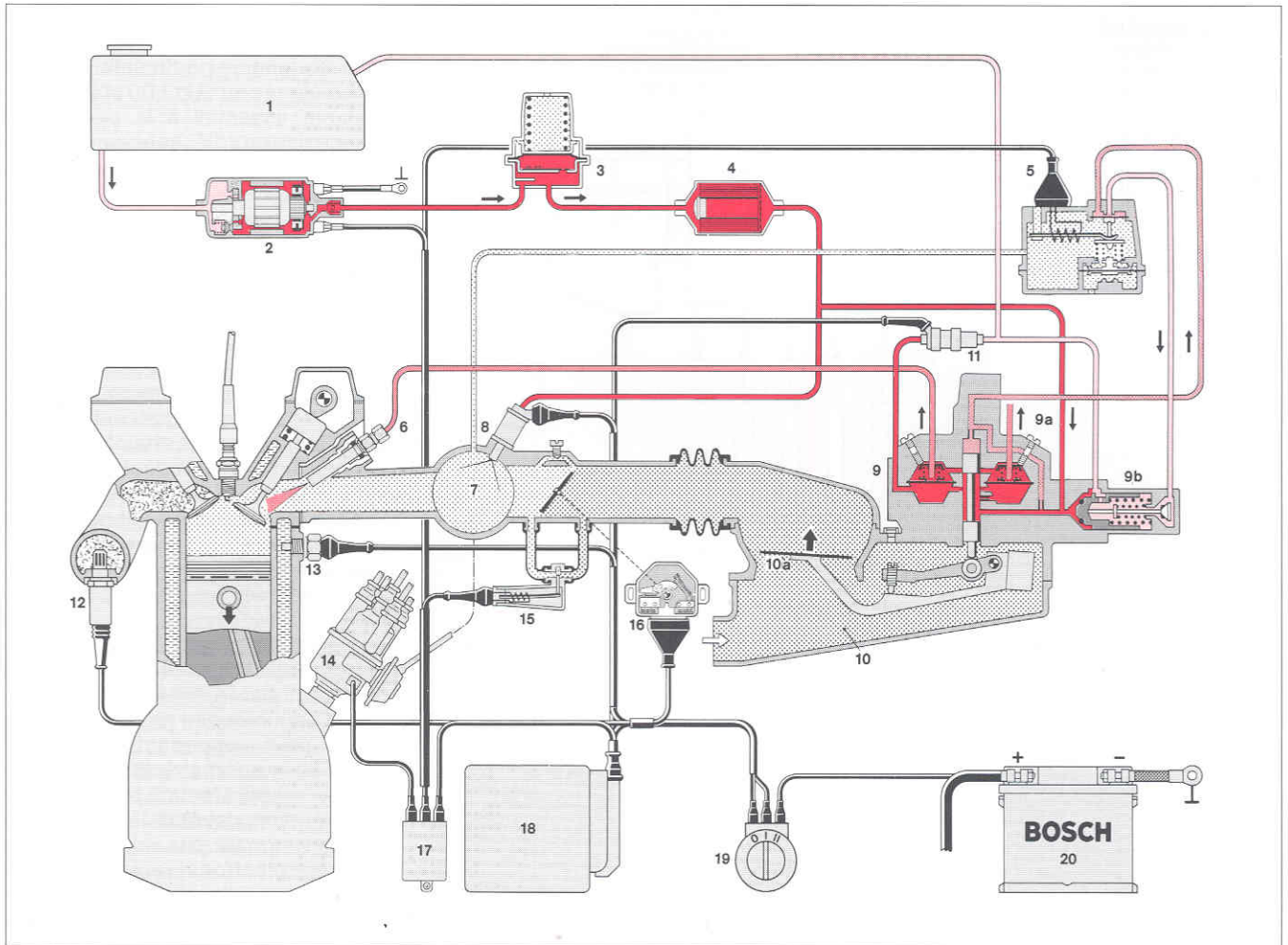


Fig. 41
Allumage en circuit, le moteur ne tourne pas. Aucune impulsion ne vient de la borne 1 de la bobine. Le relais de commande, la pompe à carburant, la commande d'air additionnel et le correcteur de réchauffage sont hors circuit.

Schéma de l'installation



- 1 Réservoir à carburant
- 2 Pompe électrique à carburant
- 3 Accumulateur de carburant
- 4 Filtre à carburant
- 5 Correcteur de réchauffage
- 6 Injecteur
- 7 Collecteur d'admission
- 8 Injecteur de départ à froid
- 9 Régulateur de mélange
- 9a Doseur-distributeur de carburant
- 9b Régulateur de pression d'alimentation
- 10 Débitmètre d'air
- 10a Plateau-sonde
- 11 Electrovanne de cadence
- 12 Sonde Lambda
- 13 Thermocontact temporisé
- 14 Allumeur
- 15 Commande d'air additionnel
- 16 Contacteur de papillon
- 17 Relais de commande
- 18 Centrale de commande électronique
- 19 Commutateur d'allumage-démarrage
- 20 Batterie