

Chapitre 3

Techniques d'injection d'essence

Sommaire

3.1. Gestion électronique et diagnostique moteur	50
3.1.1. Notion de richesse d'un mélange carburant	50
3.1.2. Analyse de la courbe du rapport Lambda	50
3.1.3. Mesure de la richesse	51
3.2. Système d'injection	51
3.2.1. Principe.	51
3.2.2. Avantages du système d'injection	51
3.2.3. Différents systèmes d'injection	52
3.2.4. Principe de l'injection K-Jetronic (1974-1988).	52
3.2.5. Principe de l'injection L-Jetronic (1974-1985).	54
3.2.6. Principe de l'injection D-Jetronic (1967-1976) sur les voiture DS Citroën	55
3.3. Fonctionnement du circuit d'air et du circuit d'essence	57

3.1. Gestion électronique et diagnostique moteur

3.1.1. Notion de richesse d'un mélange carburant

Les normes anti-pollution de plus en plus strictes ainsi que l'augmentation du prix du pétrole ont poussé les constructeurs à se tourner vers des technologies plus précises dans le contrôle du dosage carburant.

Le but de l'injection électronique est d'optimiser la richesse du mélange air / carburant en fonction de l'utilisation du moteur afin d'améliorer son rendement et ainsi économiser du carburant tout en disposant d'une possibilité d'augmentation de puissance.

Pour se faire, le principe est de se rapprocher de la combustion idéale lors d'une utilisation modérée du moteur puis d'augmenter la richesse lors de la demande de puissance. De plus, cette technologie permet de couper l'injection d'essence lors de la décélération permettant d'accentuer l'économie de carburant.

Tout le principe de l'injection indirecte réside donc sur le contrôle précis du carburant pulvérisé dans l'admission d'air du moteur.

Le coefficient d'air est le dosage air/essence admis dans la chambre de combustion. Ce coefficient idéal est de 14,7g pour 1g de carburant, aussi appelé mélange "stœchiométrique", Il génère une combustion homogène et complète, faiblement polluante et permet d'assurer le meilleur rendement du moteur se traduisant par une baisse de consommation mais au détriment de la puissance.

Dans l'industrie automobile, ce rapport est représenté par la lettre grecque lambda (λ). Le rapport est idéal lorsque $\lambda = 1$. On définit la richesse comme l'inverse du coefficient d'air.

3.1.2. Analyse de la courbe du rapport Lambda

On s'aperçoit que le dosage idéal ($\lambda=1$) ne représente pas la puissance maximum, ni la consommation d'essence minimum.

Lambda =1 : Meilleur rendement au détriment de la puissance et de la consommation carburant qui ne sont pas optimums : entraîne une faible émission de polluant.

Lambda <1 : La puissance maximum est obtenue lors d'un dosage riche et se situe vers Lambda=0,86 : entraîne une pollution au monoxyde de carbone (CO) et à l'hydrocarbure (HC)

Lambda >1 : La consommation carburant minimum est obtenue lors d'un mélange légèrement pauvre et se situe vers Lambda=1.05.

La plage est très étroite et il est plus judicieux de chercher Lambda=1. En effet, il est néfaste pour un moteur de fonctionner en dosage pauvre car entraîne une surchauffe et la dissipation de chaleur par l'évaporation du carburant est trop faible. De plus, la puissance est diminuée : ce qui entraîne une pollution à l'oxyde d'azote (NO_x).

Exemple : Lambda=0.86 correspond à un rapport air/Carburant de $0,86 \times 14,7 = 12,64$ g d'air pour 1g de carburant, équivalent à un mélange riche

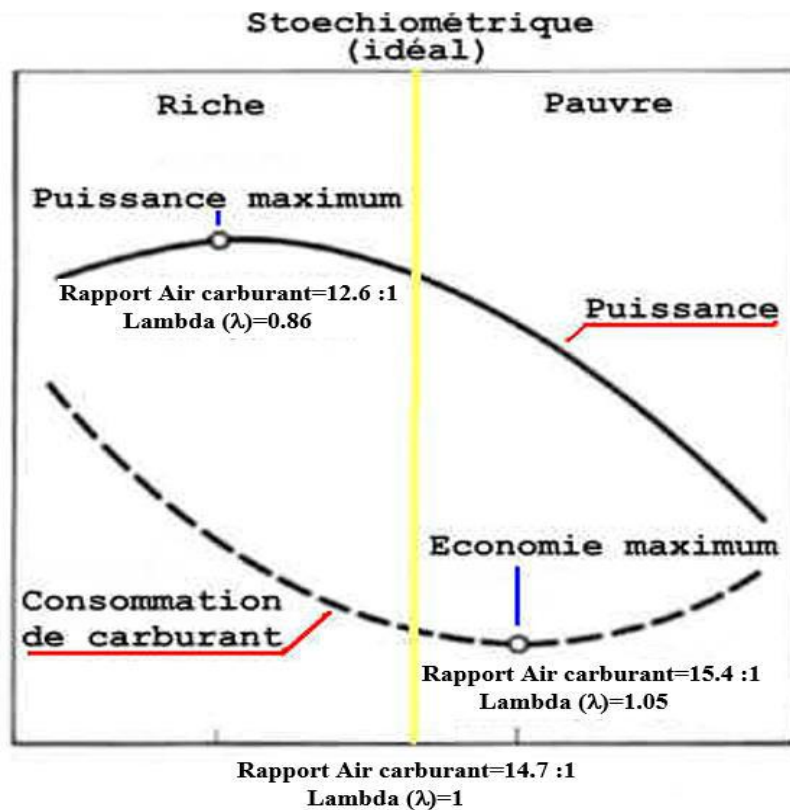


Figure 3.1. Cartographie du coefficient Lambda.

3.1.3. Mesure de la richesse

L'oxygène libre dans les gaz d'échappement apparaît lors d'un excès d'air dans le mélange. Dès que l'on dépasse $\lambda = 1$, il apparaît une nette augmentation de la teneur en Ox. Cette teneur en oxygène est donc une indication du passage de la zone riche à la zone pauvre. Pour mesurer la richesse du mélange, on peut donc recourir à la sonde à oxygène, dite Lambda.

3.2. Système d'injection

3.2.1. Principe.

L'injection d'essence consiste à introduire l'air par une tubulure d'admission de forte section et à injecter le carburant en amont plus près de la soupape d'admission (injection directe) ou directement dans le cylindre (injection directe).

L'injection peut être continue ou discontinue, mécanique ou électronique.

3.2.2. Avantages du système d'injection

- L'augmentation des performances du moteur (couple, puissance, ...).
- Economie de carburant grâce au dosage très précis.
- Diminution des émissions toxiques (meilleure combustion).
- Meilleur remplissage en air des cylindres donc souplesse accrue.

3.2.3. Différents systèmes d'injection

On peut classer les systèmes d'injection selon l'endroit où se fait l'injection du carburant dans l'air aspiré par le moteur :

- L'injection est directe si elle s'effectue dans la chambre de combustion du cylindre.
- L'injection est indirecte si elle a lieu dans la tubulure d'admission, plus ou moins près de la soupape d'admission, le jet d'essence étant dirigé vers la soupape.
- L'injection centralisée si elle se fait dans la partie du collecteur commune à tous les cylindres, à l'endroit qu'occuperait un carburateur.

On peut également différencier les systèmes d'injection par le dispositif de régulation.

- Dans l'injection mécanique, la pompe entraînée mécaniquement par le moteur, effectue la mise en pression du carburant et dose le volume injecté.
- Dans l'injection électronique, la pompe électrique, effectue l'alimentation du carburant sous pression ; les fonctions de dosage, régulation, injection sont totalement ou partiellement pilotées par une centrale électronique.

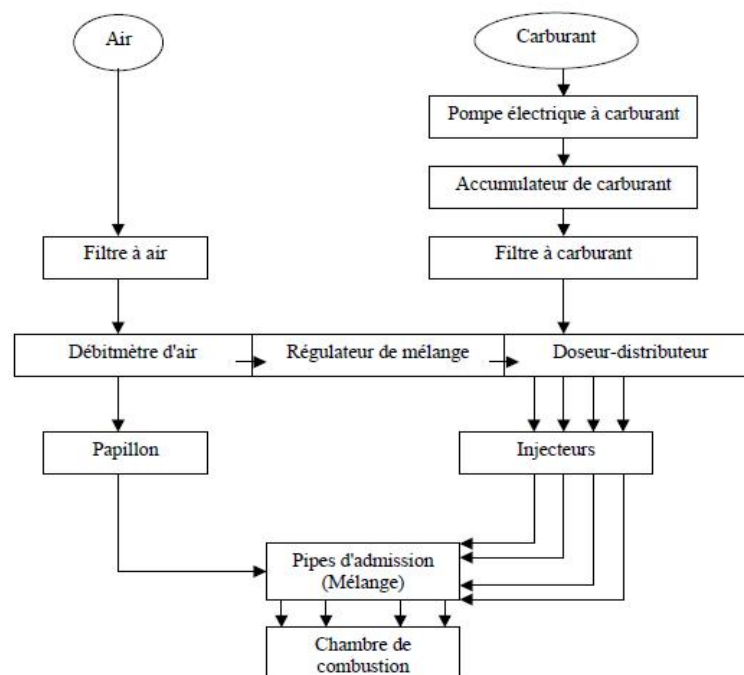
Les plus répandus actuellement sont les systèmes Bosch :

- K-Jetronic : injection mécanique continue indirecte.
- L-Jetronic et D-Jetronic : injection électronique discontinue indirecte.

3.2.4. Principe de l'injection K-Jetronic (1974-1988).

L'air est dosé par un papillon placé dans la tubulure d'admission. Le carburant est calibré par un doseur dont le tiroir est commandé par le déplacement du débitmètre d'air placé dans la tubulure d'admission. Le doseur reçoit le carburant d'une pompe électrique par l'intermédiaire d'un régulateur de pression. Les injecteurs débitent en permanence un carburant dont la pression et le débit sont déterminés par le débit de l'air et sa pression absolue (≈ 4.6 bars). Pour le départ à froid, un électro-injecteur unique injecte un supplément de carburant à l'entrée du collecteur d'admission.

Schéma de principe du système K-Jetronic



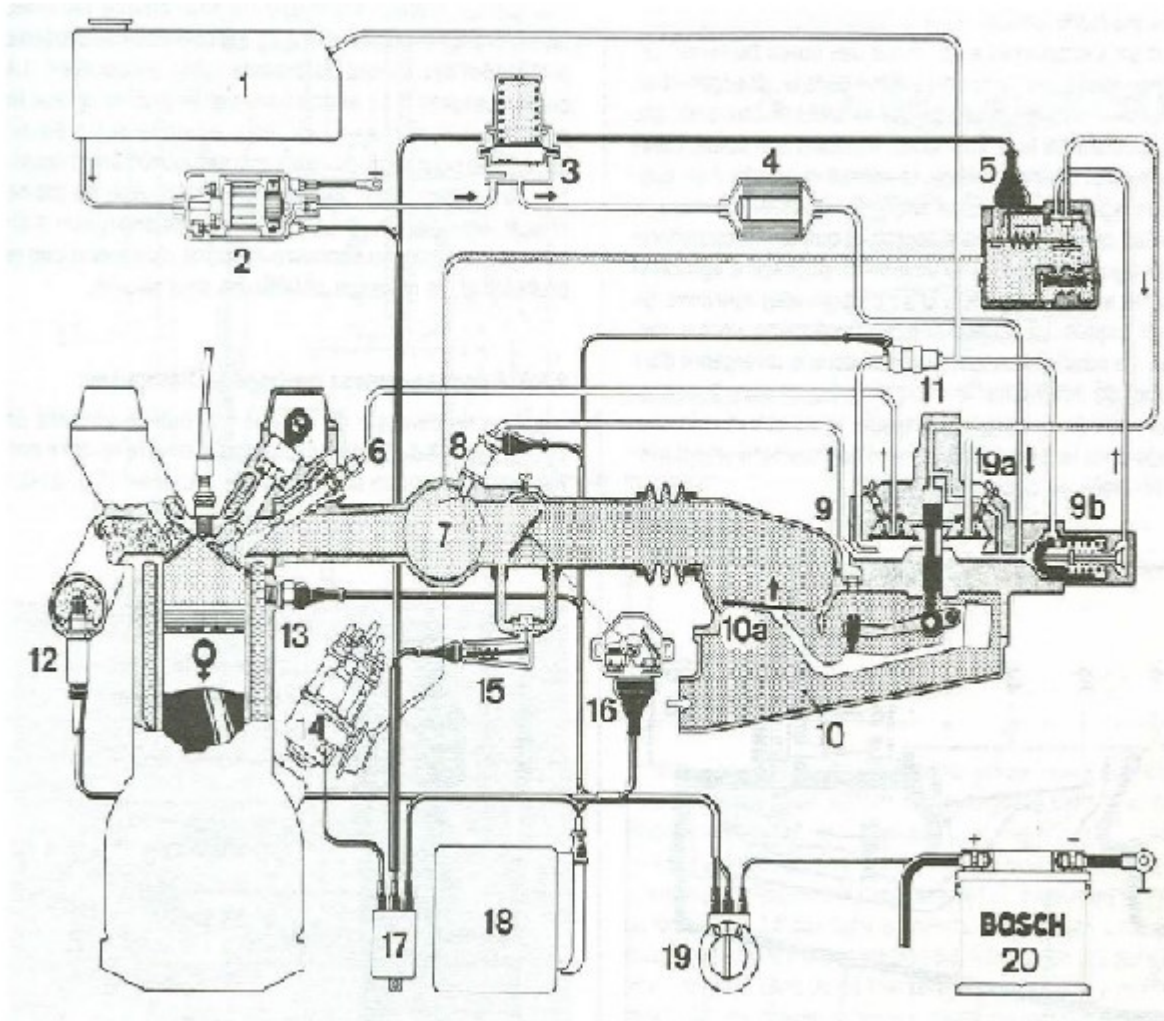


Figure 3.2. Composants du système K-Jetronic.

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

3.2.5. Principe de l'injection L-Jetronic (1974-1985).

Le débit de l'air est dosé par un papillon et mesuré par un débitmètre à potentiomètre placé dans la tubulure d'admission.

Le calculateur reçoit des informations sous forme de signaux électriques sur : le débit, la pression et la température de l'air, la température de l'eau, le déclenchement de l'allumage, la vitesse d'ouverture du papillon, la vitesse de rotation du moteur. Il transforme ces informations en une tension de commande des injecteurs électromagnétiques, dont le début, la durée et la fin d'injection sont fonction des paramètres d'entrée.

Schéma de principe du système L-Jetronic

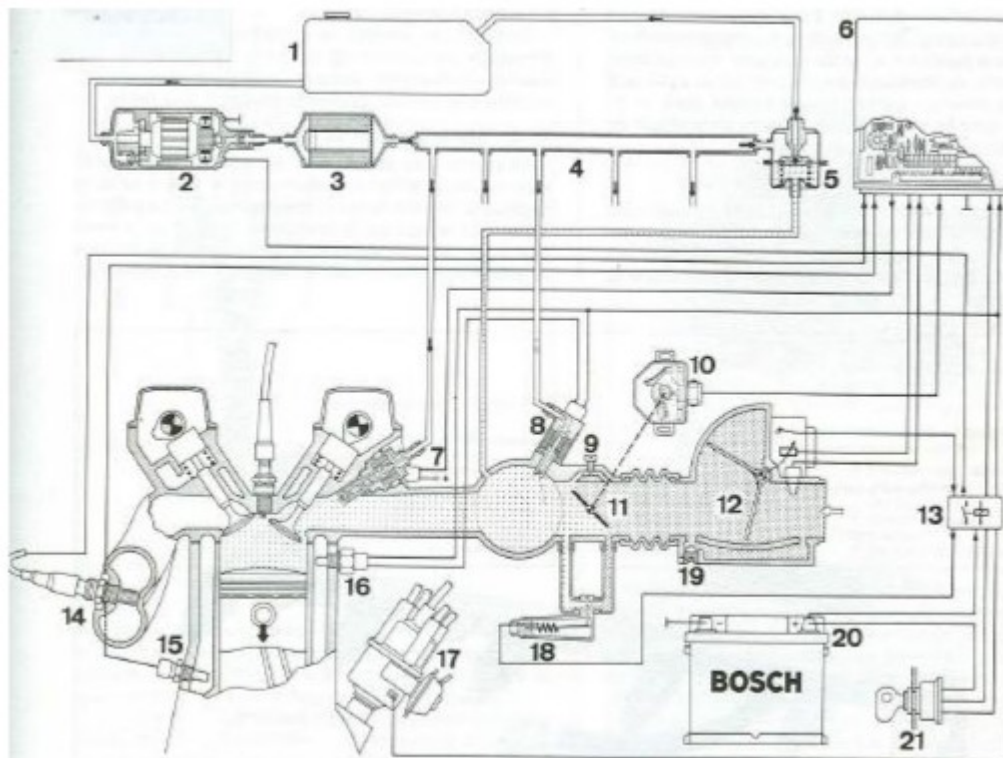
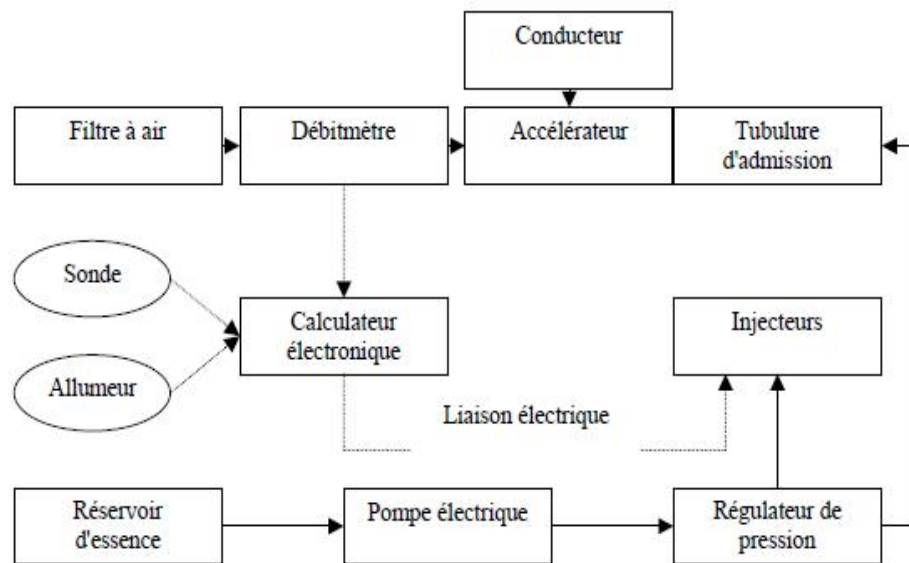


Figure 3.3. Composants du système L-Jetronic

1. Réservoir de carburant
2. Pompe électrique à carburant
3. Filtre à carburant
4. Rampe de distribution
5. Régulateur de pression
6. Appareil de commande électronique
7. Injecteur
8. Injecteur de départ à froid
9. Vis de réglage de la vitesse du ralenti
10. Contacteur de papillon
11. Papillon
12. Débitmètre d'air
13. Ensemble de relais
14. Sonde lambda
Sonde de la température du
15. moteur
16. Thermo contact temporisé
17. Allumeur
18. Commande d'air additionnel
19. Vis de réglage de la richesse de
ralenti
20. Batterie
21. Commutateur
d'allumage/démarrage

3.2.6. Principe de l'injection D-Jetronic (1967-1976) sur les voiture DS Citroën

C'est une Injection analogique. La dépression est mesurée par un capteur situé dans le collecteur d'admission afin de calculer le temps d'injection d'essence nécessaire. Elle est composée de différents composants dont le rôle est :

3.2.6.1. Le calculateur

C'est l'élément principal du système, sa fonction est de gérer toutes les informations reçues des diverses sondes ou capteurs et alimenter le moteur avec la plus juste quantité d'essence nécessitée selon la charge à laquelle il est sollicité.

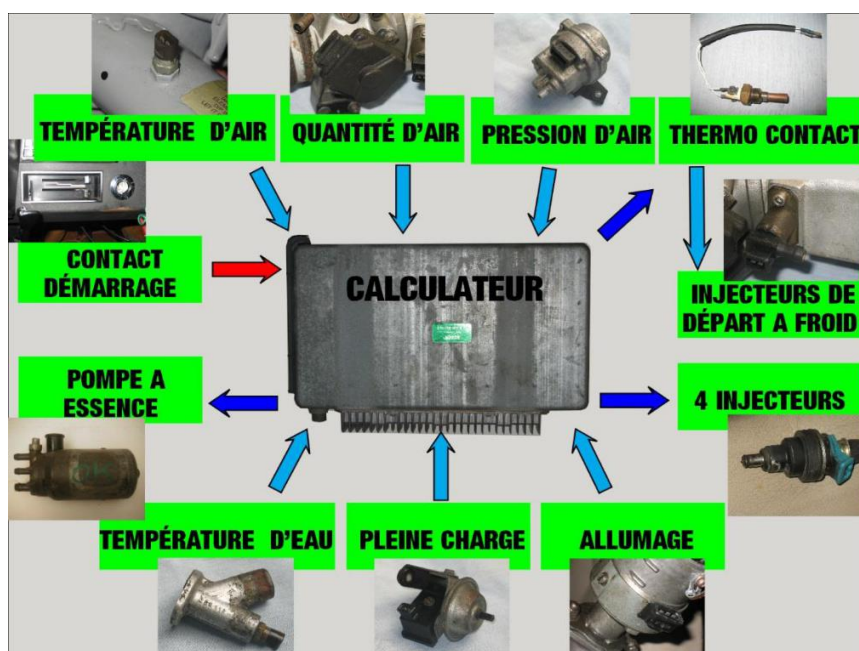


Figure 3.4. Calculateur du système d'injection électronique

3.2.6.2. La sonde de pression d'air.

Elle est avec le calculateur l'élément principal de l'injection. Son rôle est de mesurer en permanence la pression absolue régnant dans le collecteur d'admission, (en comparant la différence de pression entre le collecteur et l'atmosphère) et d'ajuster le temps d'injection en fonction de ce critère. La sonde est constituée de deux capsules barométriques réagissant par contraction ou expansion aux pressions. Deux bobinages à travers lesquels se déplace un noyau de ferrite, transforment alors les variations de pression en signaux électriques envoyés au calculateur. Elle est raccordée pneumatiquement au collecteur d'admission, et électriquement au calculateur.

3.2.6.3. Les contacts déclencheurs :

- Informer le calculateur de la mise en route du moteur,
- Informer le calculateur de la rotation du vilebrequin
- Les fermetures et ouvertures successives indiquent au calculateur quelle paire d'injecteurs est à alimenter, (1/3 ou 4/2).

Ces trois informations sont traitées simultanément par le calculateur. Les contacteurs sont commandés mécaniquement par 1 came sur l'axe d'allumeur. Ils sont positionnés opposés de 180° et raccordés électriquement au calculateur.

3.2.6.4. L'interrupteur de pleine charge.

Lorsque le moteur est sollicité brusquement à pleine puissance, (pour un dépassement par exemple) la sonde d'air ne réagit pas instantanément à l'ouverture du papillon d'air. Elle détecte avec un léger retard l'augmentation de pression et ne tiens pas compte de la vitesse de déplacement du papillon. C'est le rôle de l'interrupteur de pleine charge, il se ferme, commandé pneumatiquement depuis le collecteur. L'information devient prioritaire et le calculateur augmente instantanément le temps d'ouverture des injecteurs. Sa commande est pneumatique, il est relié au collecteur d'admission et il informe électriquement le calculateur.

3.2.6.5. La sonde de température d'eau.

C'est une résistance variable, sensible à la température. Elle indique en permanence la température du liquide de refroidissement de la culasse. En fonction de cette information, le calculateur augmente ou diminue le temps d'ouverture des injecteurs (enrichissement à froid, appauvrissement à chaud). C'est également une pièce très importante de l'injection. Elle est reliée électriquement au calculateur.

3.2.6.6. Les injecteurs principaux.

Au nombre de 4, ils sont commandés électriquement par le calculateur en fonction de toutes les informations envoyées par les éléments déjà cités.

Le carburant est injecté en amont des soupapes d'admission. Leur débit de carburant est fonction du temps d'ouverture des injecteurs de 2.5 millisecondes au ralenti pour 1.5L/heure à 9.7 millisecondes en pleine charge et 42L/ heure.

3.2.6.7. Le collecteur d'admission.

Il comporte les pipes d'admission, mais également un papillon d'admission d'air. L'injection étant basée sur une pression d'air, il n'y a donc pas lieu d'y trouver un débitmètre.

Le papillon est couplé à un boîtier renfermant 2 rampes de cuivre constituées de 10 plots/créneaux indiquant au calculateur le degré d'ouverture du papillon. Un autre élément y est également installé : Un contacteur de coupure d'injection (lors d'un lâcher de la pédale d'accélérateur) ayant pour but de supprimer l'injection dans toutes les circonstances de transition où le moteur est amené à ralentir sa rotation, une grande quantité de durites d'air sont reliées au collecteur.

3.2.6.8. La sonde de température d'air :

Cette sonde dont le rôle est d'ajuster la richesse moteur selon la température régnant dans le boîtier du filtre à air (pour améliorer la dépollution des gaz d'échappement).

Les DS équipées de cette sonde ont un calculateur muni d'une molette d'ajustage dans sa partie extérieure arrière. La molette sert à ajuster la résistance de la sonde. Elle est réglée d'usine mais une correction peut toutefois être effectuée en cas de pollution excessive au contrôle technique. Des circuits annexes d'air et de carburant sont intercalés dans l'injection : il s'agit de l'injecteur de départ et de la commande d'air additionnel.

3.2.6.9. L'injecteur de départ :

Il entre en action à chaque fois que le démarreur est sollicité. Son rôle est d'apporter un supplément d'essence lors du démarrage pour faciliter celui-ci. Il se coupe lorsque le démarreur est lâché. Il entre également en action lors des démarrages par températures inférieures à 0° pour atteindre sa pleine efficacité à -20°.

Contrairement aux injecteurs principaux qui ont des temps d'ouverture extrêmement courts (quelques millisecondes, l'injecteur de départ resterait ouvert en permanence si un dispositif particulier n'avait pas été prévu (il y aurait alors un risque d'induire un noyage du moteur lors de trop longues sollicitations du démarreur). Il a donc été installé une sonde temporisée.

3.3. Fonctionnement du circuit d'air et du circuit d'essence.

Des détecteurs fournissent des renseignements au calculateur qui les exploite et commande l'injection. L'injection d'essence dans l'air forme le mélange carburé. Il y a donc deux circuits différents.

3.3.1. Circuit d'air

Les cylindres sont alimentés au moyen des pipes 1 2 3 4 de la tubulure d'admission. L'entrée d'air principale est commandée par l'ouverture du papillon situé à l'entrée de la tubulure par le biais de l'accélérateur.

La deuxième information essentielle est donnée par la sonde de pression qui transforme l'indication de pression absolue existant dans la tubulure d'admission, en signal électrique.

Pour un régime donné du moteur, la pression d'admission diminue lorsque l'on ferme le papillon, elle augmente dans le cas contraire.

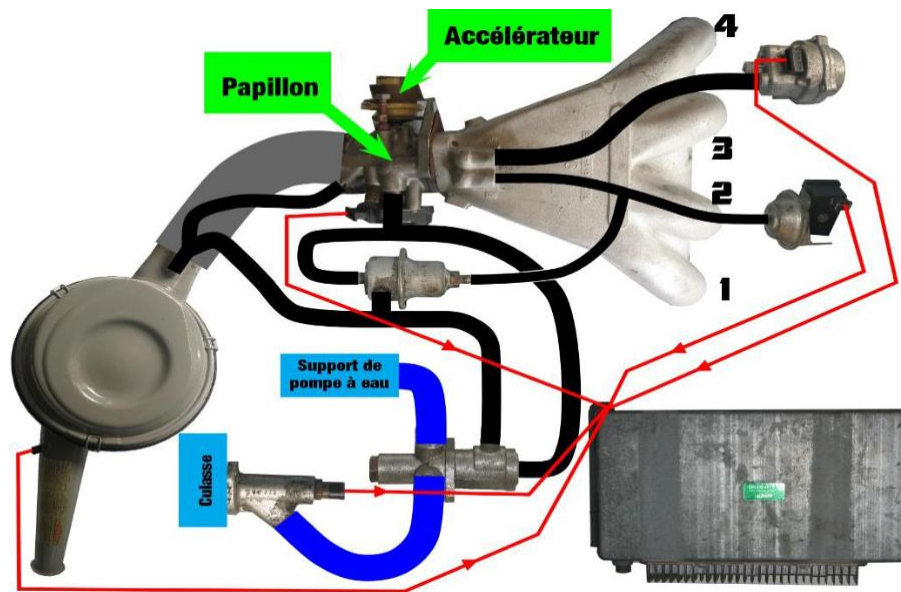


Figure 3.5. Circuit d'air du système d'injection électronique

3.3.2. Circuit d'essence

Le calculateur électronique, reçoit d'une part un courant envoyé par deux contacts, montés dans l'allumeur et commandés par l'arbre de celui-ci. Il est donc « renseigné » sur la position des organes mobiles et sur la vitesse de rotation du moteur, puisque l'allumeur est entraîné par l'arbre à cames.

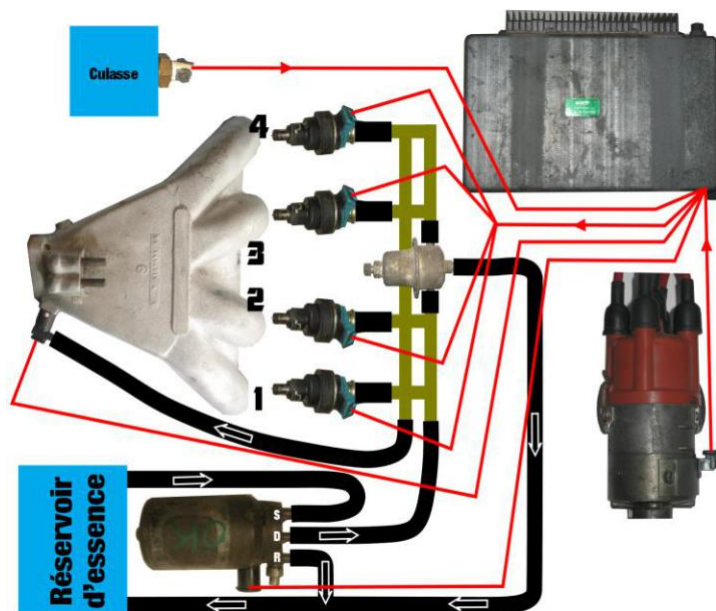


Figure 3.6. Circuit d'essence du système d'injection électronique.

3.3.3. Les organes du système d'injection électronique

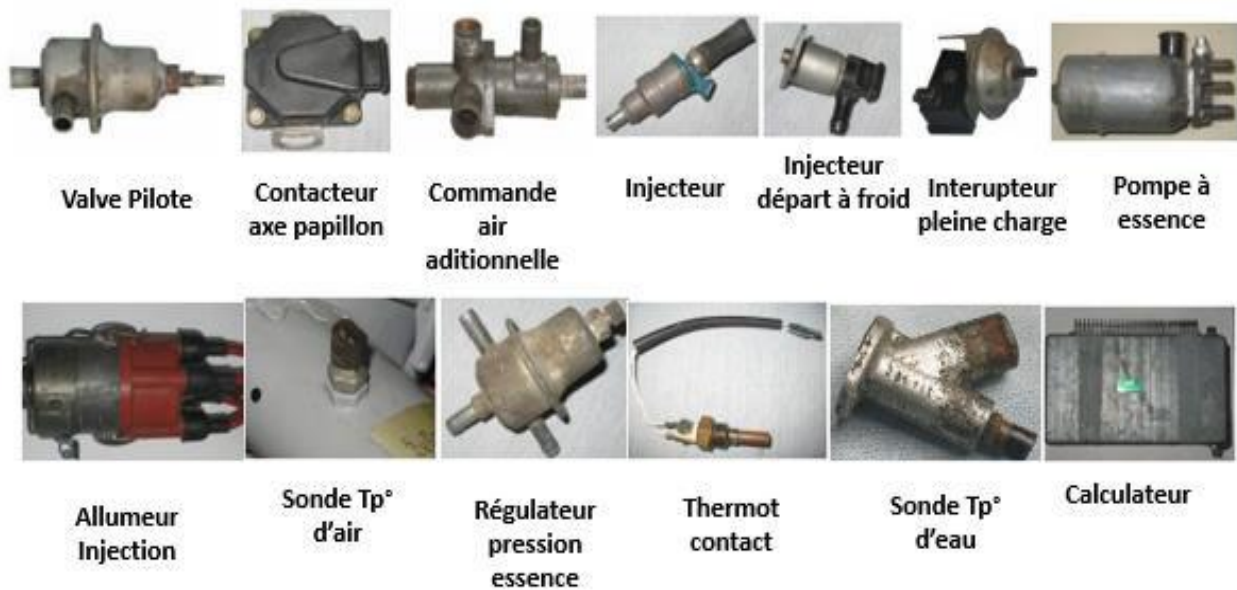


Figure 3.7. Différents organes du système d'injection électronique.

3.3.4. Cas particuliers du régime moteur.

3.3.4.1. Moteur froid.

- Il a besoin de plus d'énergie, pour l'obtenir, il faut :
- Un mélange plus riche, c'est le rôle de la sonde de température placée dans le circuit d'eau qui agit à tous les régimes lorsque la T° est inférieure à 70° .
- Une plus grande quantité de mélange, c'est le rôle de la commande d'air additionnel.

3.3.4.2. Frein moteur.

- Le papillon est fermé, la pédale d'accélérateur lâchée.
- Si le régime moteur est inférieur à 1800 tr/mn et va augmenter (forte descente par exemple), l'injecteur fonctionne et ne sera coupé qu'à 1800 tr/mn.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Technique de l'ingénieur Caractéristiques et similitude des turbomachines hydrauliques par André L. JAUMOTTE et al.
2. Modélisation du moteur à allumage par compression.MA03. Polycopié Ecole Militaire Polytechnique
3. STI2D-EE2-1- Mobilité automobile – Enjeux énergétiques.
4. Modélisation 0D/1D de la Combustion Diesel du Mode Conventionnel au Mode Homogène. THÈSE « Nicolas BORDET » UNIVERSITÉ D'ORLÉANS
5. www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-difference-entre-injection-directe-et-indirecte.php.
6. https://fr.wikipedia.org/wiki/Consommation_de_carburant_par_les_voitures.
7. www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-soupapes-et-distribution-variable-valvetronic-vtec-vvt-etc.php.
8. <https://theautomobilist.fr/technique/moteur-taux-de-compression-variable-95802>.
9. https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_MCE-5.
10. http://www.super-soupape.com/moteur_hcci.php.

