

Secteur : **Métiers de l'Automobile**

Manuel de cours

# M204: Réparer les systèmes d'allumage et d'injection électronique

**2ème Année**

Filière :

Diagnostic et  
électronique  
embarquée  
automobile



# Remerciements

---

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document :

## Équipe de conception :

Mustapha BAIJI, *Directeur Centre de Développement des Compétences REM*

ZIRARI TAOUFIK, *Formateur Animateur*

Toufik EL HASSOUNI , *Formateur Animateur*

Nour Eddin EL AOUCHATI, *Formateur Animateur*

RAHMI MOHAMED SALIM, *Formateur*

---

## Équipe de Lecture et Validation:

BENTAHER HAKIM, *Formateur*

AYOUB MOUNIR, *Formateur*

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF et au CDC : Métiers De L'automobile toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce module.

# Présentation



Lors du développement des moteurs, l'objectif primordial est de réduire la consommation de carburant et donc les émissions des gaz d'échappement.

L'évolution des systèmes d'injection électroniques des moteurs à essence a permis d'améliorer la performance du moteur, de réduire sa consommation en carburant, et d'abaisser le taux d'émissions polluantes.

Le module « Moteur Essence » entre dans ce contexte, il a pour objectif d'acquérir aux stagiaires les connaissances nécessaires sur les différents systèmes d'injection essence électronique, et d'être capable d'intervenir efficacement sur ces systèmes lors d'opérations de maintenance et de diagnostic afin de garder le moteur dans la plage de fonctionnement optimale.

Ce module traite 3 volets principaux :

- Les systèmes d'injection électroniques,
- Les systèmes d'allumage électroniques,
- Les systèmes antipollution des moteurs à essence.

<b>COMPETENCE 14: REPARER LES SYSTEMES D'ALLUMAGE ET D'INJECTION ELECTRONIQUE</b>	
<b>MODULE 14 : MOTEUR ESSENCE</b>	
<b>Code de la compétence</b> : M203	<b>Durée</b> : 80H
<b>Contexte de réalisation</b>	<b>Critères généraux de performance</b>
Individuellement  Dans un atelier de mécanique <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A partir :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- D'une plainte et d'un bon de travail, sur un véhicule ou un matériel didactique.</li> <li>- Sur des véhicules représentatifs du parc automobile existant.</li> </ul> </li> <li>▪ A l'aide :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- D'outils conventionnels et spécialisé.</li> <li>- D'appareils et d'instruments de mesure.</li> <li>- De matériel et de produits.</li> <li>- De la documentation technique.</li> <li>- D'équipement de protection individuelle.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Respect des règles de santé et de sécurité.</li> <li>▪ Application correcte des procédures et méthodes de travail</li> <li>▪ Utilisation appropriée des instruments de contrôle, de mesure et de calibrage.</li> <li>▪ Installation conforme au plan, au devis, au schéma fonctionnel et d'instrumentation ainsi qu'aux instructions du fabricant.</li> <li>▪ Respect de la séquence des étapes de la technique d'exécution</li> <li>▪ Respect des délais d'exécution, du temps alloué</li> </ul>
<b>Éléments de la compétence</b>	<b>Critères particuliers de performance</b>
A. Effectuer la description fonctionnelle des systèmes d'allumage et d'injection électronique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Description fonctionnelle détaillée des systèmes et sous-systèmes.</li> </ul>
B. Décrire le fonctionnement d'un système d'allumage	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Description détaillée du fonctionnement d'un système d'allumage</li> </ul>
C. Contrôler le fonctionnement de chacun des constituants du systèmes d'allumage	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interprétation correcte des données et des tests.</li> </ul>
D. Décrire le fonctionnement d'un système d'alimentation en carburant.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Description détaillée du fonctionnement d'un système d'alimentation en carburant</li> </ul>
E. Contrôler le fonctionnement de chacun des constituants d'un système d'alimentation en carburant.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interprétation correcte des données et des tests</li> </ul>
F. Recueillir l'information nécessaire à la vérification des systèmes d'allumage et d'injection électronique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sélection de l'information pertinente selon le système et le type du véhicule.</li> <li>▪ Interprétation réaliste :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des recommandations du fabricant ;</li> <li>- Des plans des schémas et des représentations graphiques</li> </ul> </li> </ul>
G. Effectuer des vérifications liées au rendement des systèmes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détermination appropriée des vérifications à effectués en fonction :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des systèmes à vérifier et de leurs contrôles ;</li> <li>- Des recommandations du fabricant.</li> </ul> </li> <li>▪ Inspection visuelle minutieuse des systèmes.</li> <li>▪ Utilisation judicieuse des tableaux de symptômes et de diagnostic.</li> <li>▪ Choix judicieux des instruments et de l'équipement de vérification.</li> <li>▪ Contrôle approprié des circuits électriques et des composants associés.</li> <li>▪ Relevé précis des mesures ayant trait :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- à la résistance ;</li> <li>- à l'intensité ;</li> <li>- à la tension et aux chutes de tension ;</li> <li>- au débit et à la pression d'essence ;</li> </ul> </li> <li>▪ Consignation méthodique des résultats des mesures sur le bon de travail.</li> </ul>
H. Etablir des constats.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Validation complète des résultats de mesures avec les spécifications.</li> <li>▪ Pertinence des constats :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bon fonctionnement des systèmes ;</li> <li>- Présence de problèmes nécessitant une réparation.</li> </ul> </li> </ul>

<p>I. Effectuer des opérations de réparation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Application correcte des techniques de réparation :</li> <li>▪ Remplacement des composants et de câbles ;</li> <li>▪ Réparation du faisceau électrique.</li> <li>▪ Réglages, ajustements et couples de serrage conformes aux exigences du fabricant.</li> <li>▪ Etanchéité des systèmes et de canalisations</li> <li>▪ Positionnement adéquat des composants après remontage.</li> </ul>
<p>J. Finaliser l'intervention.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rangement approprié de l'équipement, de l'outillage et des produits.</li> <li>▪ Propreté des lieux.</li> <li>▪ Manipulation et traitement approprié des produits destinés au recyclage.</li> </ul>

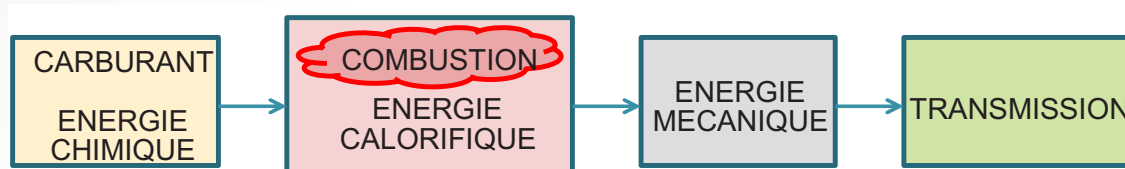
## Sommaire :

- 1- **Fonctionnement d'un moteur essence**
  - a- Principe d'un moteur thermique
  - b- Le cycle à 4 temps
- 2- **Le système d'alimentation**
  - a- La carburation
  - b- L'alimentation en air
  - c- L'alimentation en essence
- 3- **Système à carburateur**
  - a- Description du carburateur
  - b- Critique du carburateur
  - c- Formation des polluants
- 4- **Système à injection**
  - a- Caractéristiques et exigences
  - b- Types d'injections
  - c- La commande des injecteurs
- 5- **Les systèmes d'injection électronique**
  - a- L'injection Mono Point (Centralisée)
  - b- L'injection LH Jetronic
  - c- L'injection Motronic
  - d- L'injection Motronic ME
  - e- L'injection Motronic MED
- 6- **Les systèmes d'allumage**
  - a- Les principes de la combustion
  - b- L'allumage classique
  - c- L'allumage transistorisé
  - d- L'allumage électronique
  - e- Bougie d'allumage
- 7- **Les systèmes antipollution des moteurs à essence**
  - a- Composition des gaz d'échappement
  - b- Les normes antipollution
  - c- Le contrôle des gaz d'échappement
  - d- La régulation lambda
  - e- Le convertisseur catalytique
  - f- Le recyclage des gaz d'échappement EGR
  - g- Le catalyseur de stockage des NOx
  - h- Le système d'insufflation d'air
  - i- La réaspiration des vapeurs d'essence
  - j- La réaspiration des vapeurs d'huile
  - k- Le système EOBD
  - l- Les nouveaux systèmes de dépollution

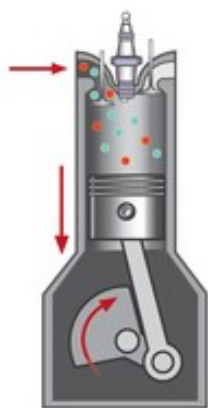
## 1- Fonctionnement d'un moteur à essence :

### a- Principe d'un moteur thermique :

Le moteur thermique est une machine qui transforme l'énergie chimique d'un carburant en énergie calorifique puis en énergie mécanique nécessaire pour assurer le déplacement d'un véhicule.



### b- Le cycle à 4 temps :



1 ADMISSION



2 COMPRESSION



3 EXPLOSION-DETENTE



4 ECHAPPEMENT

## 2- Le système d'alimentation :

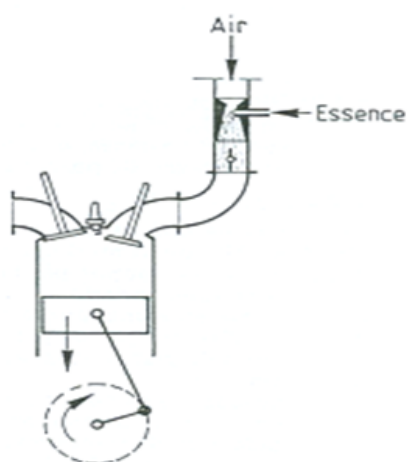
La fonction du système d'alimentation est d'alimenter le moteur en air et en essence nécessaire à une bonne combustion.

Le circuit d'alimentation comprend deux circuits différents :

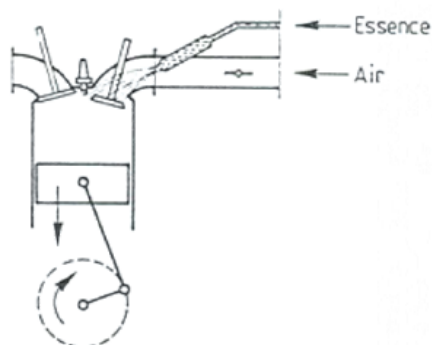
- Circuit d'alimentation en air
- Circuit d'alimentation en essence

Pour réaliser le mélange, deux solutions sont utilisées :

### Le système à carburateur

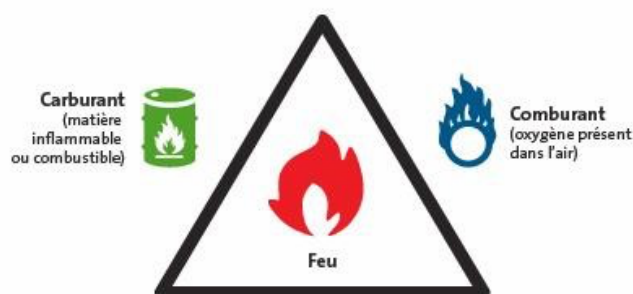


### Le système d'injection

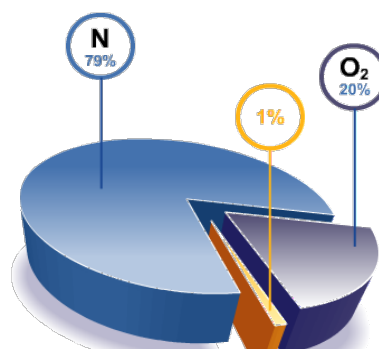


### a- La carburation :

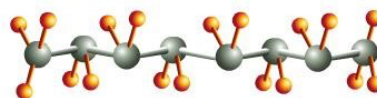
C'est l'addition d'un carburant à un comburant pour le rendre inflammable.



✓ Le comburant :



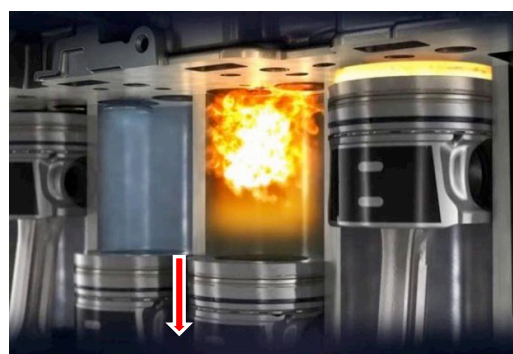
✓ **Le carburant :**



✓ **La combustion :**

Dans un moteur, la combustion est la réaction entre le comburant et le carburant permettant de récupérer de l'énergie.

La chaleur dégagée par la combustion engendre une pression à l'intérieur du cylindre et exerce une poussée sur le piston.

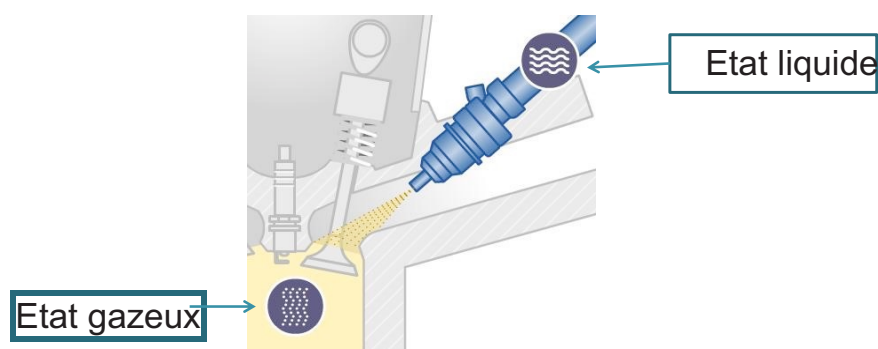


✓ **Le mélange air- essence :**

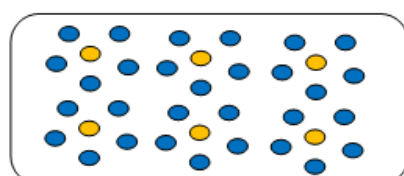
Un mélange carburé est constitué d'air et d'essence dont les proportions doivent permettre la combustion la plus complète possible.

Pour réaliser la carburation, le mélange air-essence doit être: Vaporisé, Homogène et Dosé.

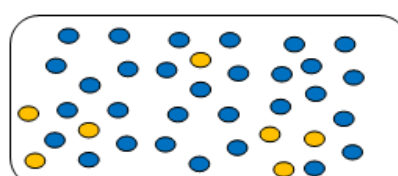
❖ **La vaporisation:**



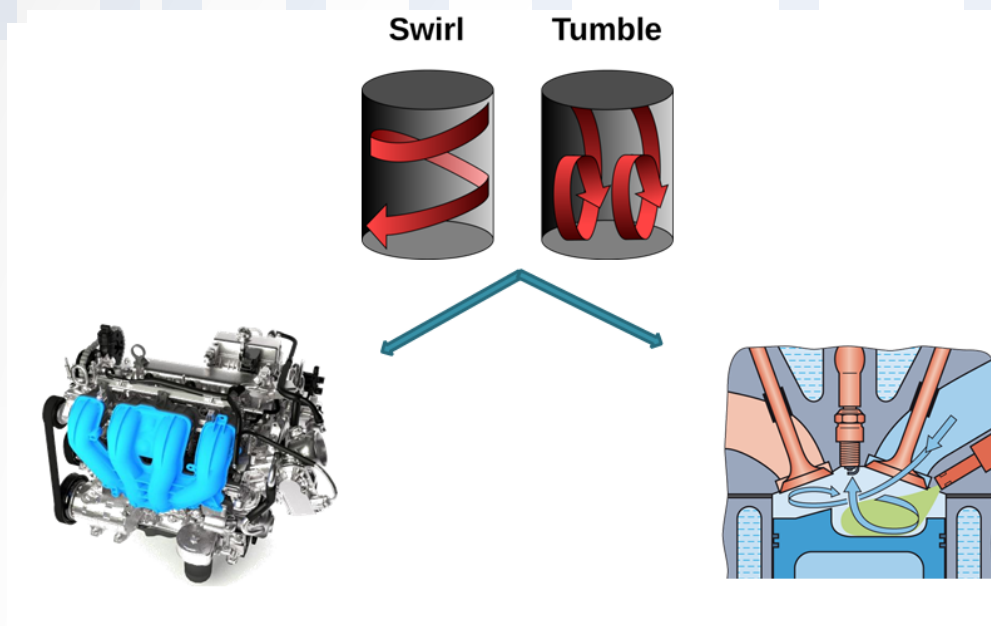
❖ **Homogénéité:**



Mélange homogène



Mélange hétérogène



❖ **Le dosage :**

Le dosage vise à adapter la quantité du carburant à la quantité d'air .



✓ **Le dosage idéal (stœchiométrique) :**

Le dosage idéal ou stœchiométrique est le résultat d'une combustion complète du carburant par l'apport du juste nécessaire d'air .

Ce dosage génère une combustion homogène, complète avec peu de polluants.

Le dosage stœchiométrique est théorique.

$$\text{Dosage idéal (stœchiométrique)} = \frac{\text{Masse carburant}}{\text{Masse d'air}} = \frac{1}{14,8}$$

**N.B:** Suivant les documents, le dosage idéal varie de 1/14,7 à 1/15,5 en fonction de la formule de combustion utilisée.

✓ **Le dosage réel :**

Le dosage réel est la quantité d'air et d'essence réelle admise dans le cylindre.

$$\text{Dosage (réel)} = \frac{\text{Masse carburant}}{\text{Masse d'air}}$$

✓ **La richesse :**

$$\text{Richesse} = \frac{\text{Dosage réel}}{\text{Dosage stœchiométrique}}$$

**(R > 1)** un mélange riche contient d'avantage de carburant.

**(R < 1)** un mélange pauvre contient moins de carburant.

**(R = 1)** la richesse est dite stœchiométrique.

**La richesse (Exemple de calcul)**

$$\text{Richesse} = \frac{\frac{1}{12}}{\frac{1}{14.8}} = \frac{14.8}{12} = 1,2 \quad \longrightarrow \quad \text{Mélange riche en essence} \\ \mathbf{R > 1}$$

$$\text{Richesse} = \frac{\frac{1}{18}}{\frac{1}{14.8}} = \frac{14.8}{18} = 0,8 \quad \longrightarrow \quad \text{Mélange pauvre en essence} \\ \mathbf{R < 1}$$

$$\text{Richesse} = \frac{\frac{1}{14.8}}{\frac{1}{14.8}} = \frac{14.8}{14.8} = 1 \quad \longrightarrow \quad \text{Richesse stœchiométrique} \\ \mathbf{R = 1}$$

✓ **Le coefficient d'air (Lambda) :**

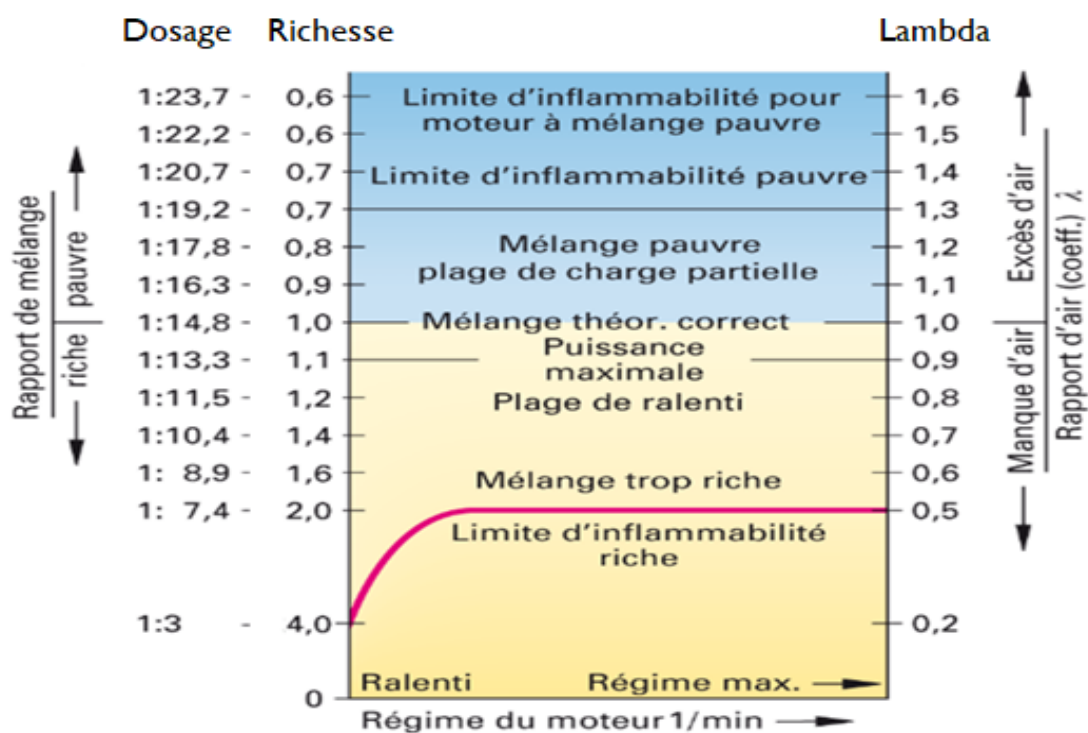
$$\text{Lambda} = \frac{\text{Dosage stœchiométrique}}{\text{Dosage réel}}$$

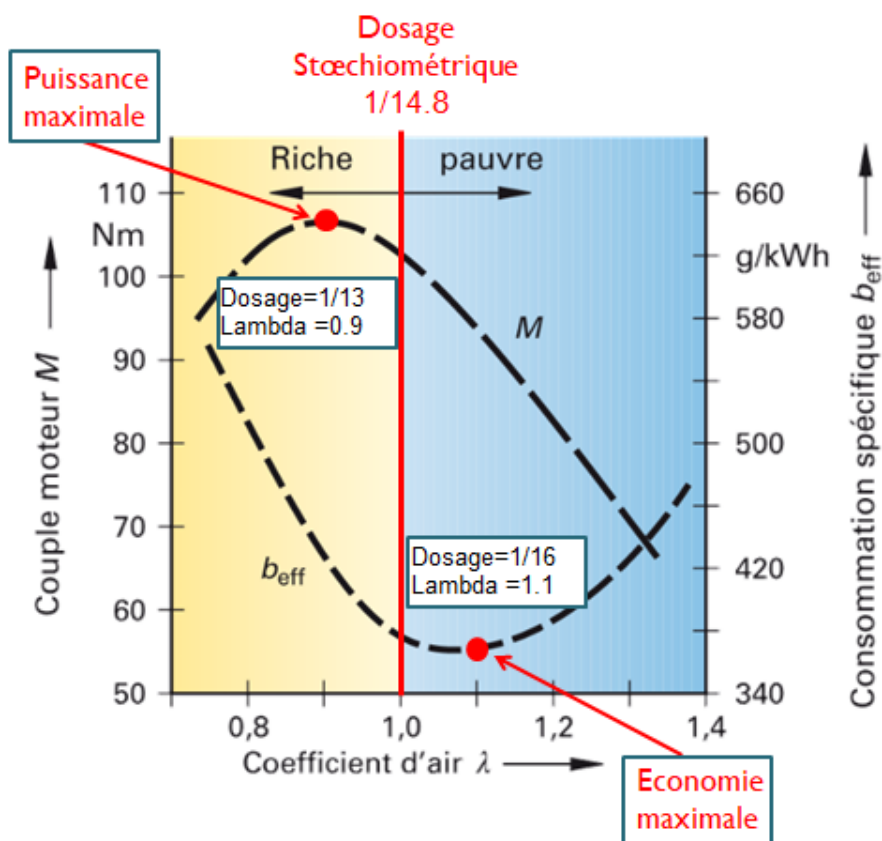
- ( $\lambda < 1$ ) un mélange riche contient moins d'air.
- ( $\lambda > 1$ ) un mélange pauvre contient d'avantage d'air.
- ( $\lambda = 1$ ) le mélange est parfait.

### Lambda (Exemple de calcul)

$\text{Lambda} = \frac{\frac{1}{14.8}}{\frac{1}{12}} = \frac{12}{14.8} = 0,8 \Rightarrow \text{Mélange riche par manque d'air}$ <p style="text-align: right;"><math>\lambda &lt; 1</math></p>
$\text{Lambda} = \frac{\frac{1}{14.8}}{\frac{1}{18}} = \frac{18}{14.8} = 1.2 \Rightarrow \text{Mélange pauvre par excès d'air}$ <p style="text-align: right;"><math>\lambda &gt; 1</math></p>
$\text{Lambda} = \frac{\frac{1}{14.8}}{\frac{1}{14.8}} = \frac{14.8}{14.8} = 1 \Rightarrow \text{Mélange parfait}$ <p style="text-align: right;"><math>\lambda = 1</math></p>

### ✓ Proportions du mélange rapport air-essence :

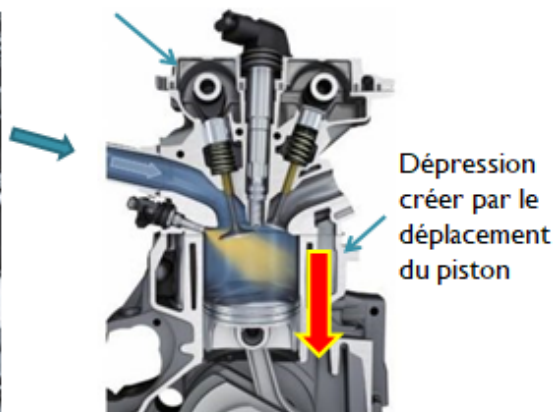




### b- L'alimentation en air :

L'air est acheminé par des conduites depuis le filtre à air passant par les tubulures d'admission

La soupape d'admission autorise la pénétration d'air



Le filtre à air joue deux rôles :

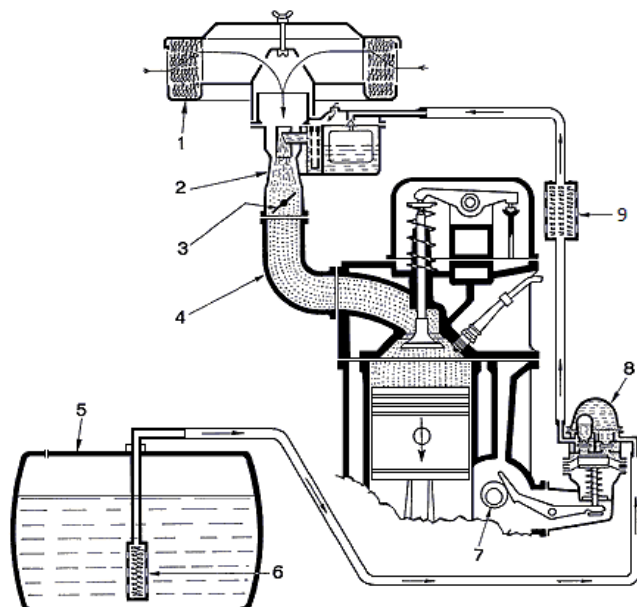
- La boîte à air sert de silencieux à l'aspiration en limitant le sifflement.
- La cartouche (filtre) sert de retenir les impuretés de l'air aspiré par le moteur.



Un filtre à air encrassé freine l'entrée d'air et gêne le remplissage du moteur

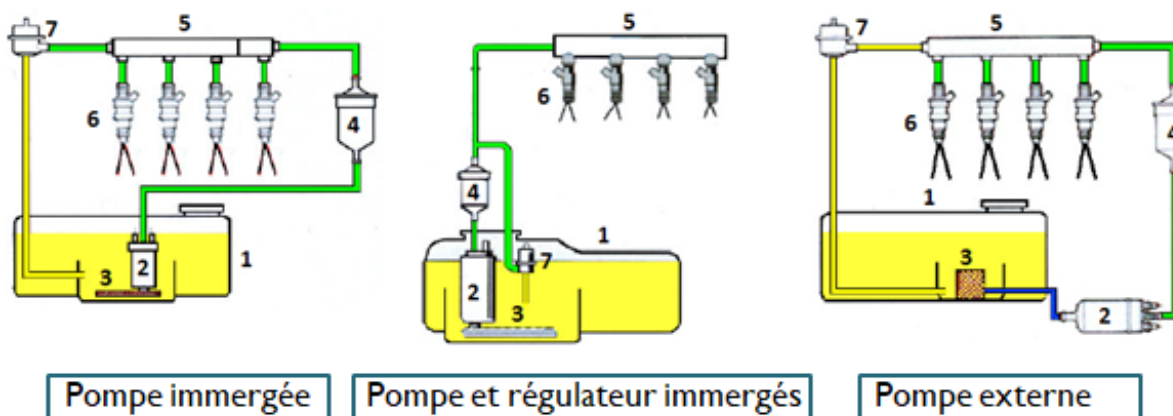
Résultat:

Augmentation de la consommation d'essence et des hydrocarbures imbrûlés.



- 1- Filtre à air
- 2- Carburateur
- 3- Papillon des gaz
- 4- Tubulure d'admission
- 5- Réservoir
- 6- Préfiltre
- 7- Excentrique arbre à cames
- 8- Pompe d'alimentation
- 9- Filtre à essence

✓ Circuit d'alimentation à injection :



- Aspiration
- Refoulement
- Retour

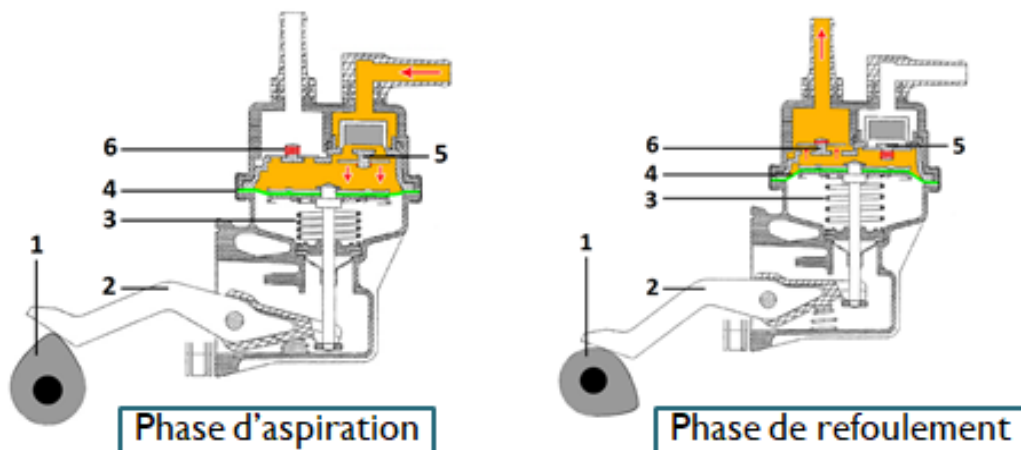
- 1- Réservoir
- 2- Pompe de gavage
- 3- Préfiltre
- 4- Filtre à carburant

- 5- Rampe d'alimentation
- 6- Injecteurs
- 7- Régulateur de pression

✓ **Pompe à essence :**

❖ **La pompe à entraînement mécanique :**

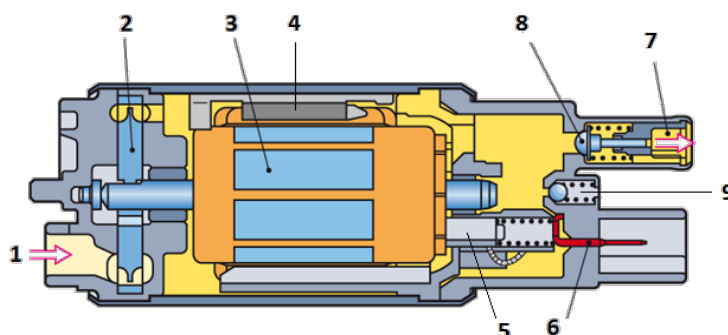
Répa



- |                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| 1- Excentrique arbre a cames | 4- Membrane              |
| 2- Levier de commande        | 5- Clapet d'aspiration   |
| 3- Ressort                   | 6- Clapet de refoulement |

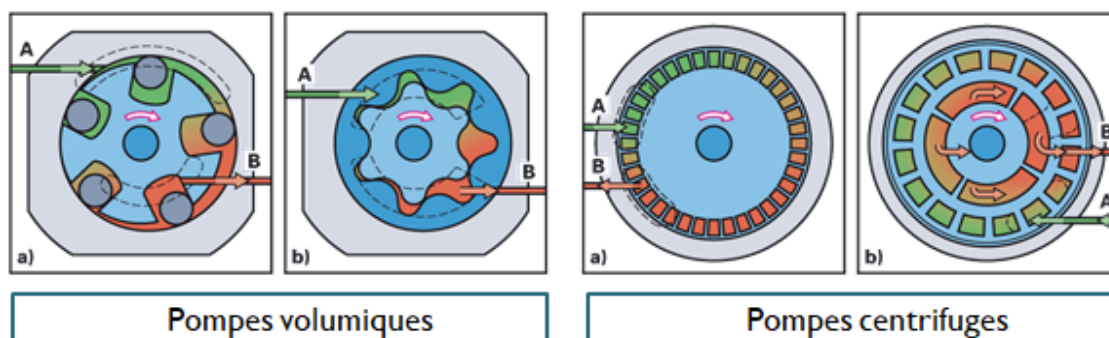
❖ **Pompe de gavage électrique :**

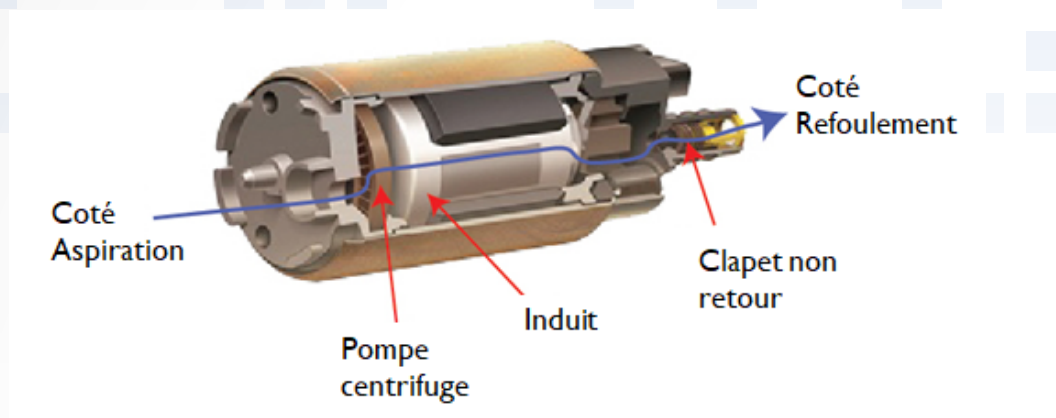
Utilisée sur les véhicules à injection, elle fournit un débit constant de carburant au circuit d'alimentation.



- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1- Coté aspiration             | 6- Raccordement électrique |
| 2- Pompe mécanique             | 7- Coté refoulement        |
| 3- Induit du moteur électrique | 8- Clapet non retour       |
| 4- Aimant permanent            | 9- Clapet de sureté        |
| 5- Balais                      |                            |

• les types de pompes de gavage.





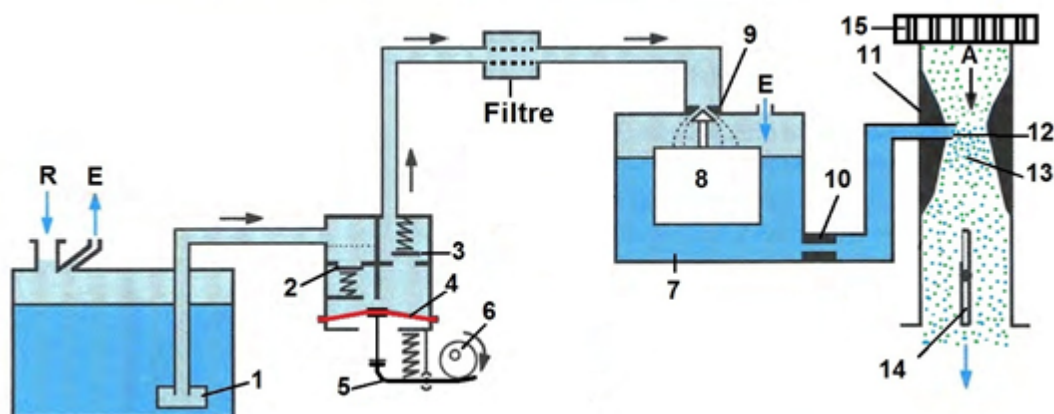
### 3- Le système à carburateur :

#### a- Description du carburateur :

Le rôle de carburateur est de réaliser le mélange air-essence dans des conditions permettant une carburation correcte à tous les régimes du moteur.

Le carburateur fonctionne par la différence de pression entre **la cuve** qui est soumise à la pression atmosphérique, et **la buse** qui crée une dépression.

Le carburant circule donc de la pression la plus élevée (cuve) vers la pression la plus basse (buse).



1- Préfiltre	5- Levier	11- <b>Buse</b>
R- Remplissage	6- Excentrique arbre à cames	12- Giclage
E- Mise à la pression atmosphérique	7- <b>Cuve</b>	13- Chambre de carburation
2- Clapet d'aspiration	8- Flotteur	14- Papillon des gaz
3- Clapet de refoulement	9- Pointeau	15- Filtre à air
4- Membrane	10- Gicleur principal	A- Arrivée d'air

### **b- Critique du carburateur :**

- Consommation élevée du carburant lors des demandes de puissance.
- Le dosage n'est pas précis pour tous les régimes du moteur (il varie selon le nombre de tours du moteur, de la température d'air et de la pression atmosphérique).
- Adaptation difficile aux bas régimes (la dépression est très faible au ralenti, alors l'aspiration d'essence est faible et sa vaporisation est difficile).
- Phénomènes perturbateurs à froid, tels que le givrage de l'essence sur le corps du carburateur.
- Phénomènes perturbateur à chaud, tels que la formation des vapeurs d'essence qui dégradent la prestation de la pompe à essence et appauvri le mélange.

### **c- Formation des polluants :**

D'après le résultat d'une combustion complète du mélange stœchiométrique air-essence, nous trouvons théoriquement la composition des gaz brûlés suivants :

- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)
- Vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O)
- Azote (N<sub>2</sub>)

La combustion en réalité ne peut pas être correctement réalisée à cause du changement continu du rapport air/essence, de la température de l'air d'admission et celle du moteur qui ne sont pas constantes, suite à cela divers gaz polluants et toxiques sont apparus suite à la combustion:

- Oxyde de carbone (CO)
- Hydrocarbures imbrulés (HC)
- Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub> = NO et NO<sub>2</sub>...)

#### Les taux de CO, HC augmentent :

- ✓ Si la richesse du mélange est trop importante.
- ✓ Si la combustion est incomplète.
- ✓ Si l'homogénéité du mélange n'est pas correctement effectuée.
- ✓ Si la vaporisation n'est pas complète.

#### Le taux des NO<sub>x</sub> augmente :

- ✓ Si le mélange est trop pauvre.
- ✓ Si la température de combustion est trop élevée

Parmi les polluants générés par le moteur à essence, on trouve aussi :

- ✓ Les vapeurs d'essence contenues dans le réservoir.
- ✓ Les vapeurs d'huile contenues dans le carter.

Pour lutter contre la pollution, les dispositifs utilisés visent à :

- ✓ Améliorer la combustion en agissant sur la préparation du mélange.
- ✓ Traiter les gaz d'échappement à la sortie du moteur.
- ✓ Améliorer la qualité du carburant (souffre, plomb...).
- ✓ Recycler les vapeurs d'essence et les vapeurs d'huile en les brûlant dans le moteur

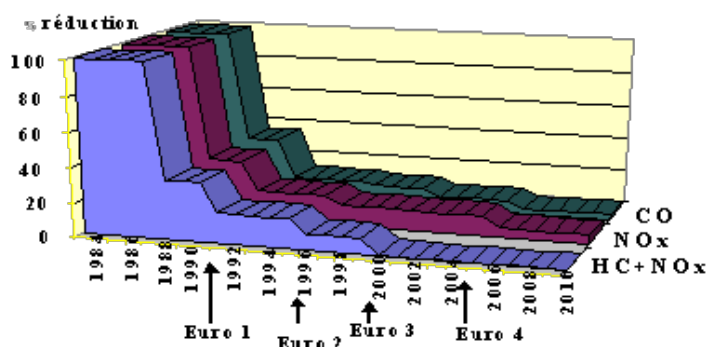
## 4- Le système à injection :

### a- Caractéristiques et exigences :

Le passage du carburateur à l'injection essence, s'est avéré indispensable pour respecter les normes de pollution de plus en plus sévères.

Au cours des années 90, des modifications mécaniques et des ajouts de gestion électroniques ont été apportés aux moteurs à combustion interne, à leur système d'alimentation, d'allumage et à leurs dispositifs antipollution afin de minimiser les émissions polluantes.

### voitures « essence »



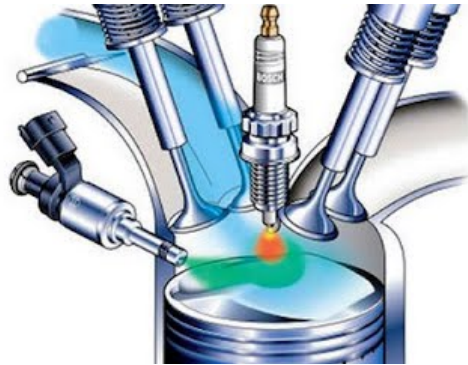
Dans un système à injection d'essence:

- ✓ La vaporisation est assurée par la pulvérisation de l'essence via des injecteurs.
- ✓ Le dosage air-essence est assuré par:
  - Pour l'essence: **le débit d'essence** est déterminé par la durée d'ouverture des injecteurs.
  - Pour l'air: **le débit d'air** est commandé par le papillon des gaz, et mesuré par une centrale de commande électronique (calculateur) via un débitmètre d'air ou un capteur de pression d'air d'admission.

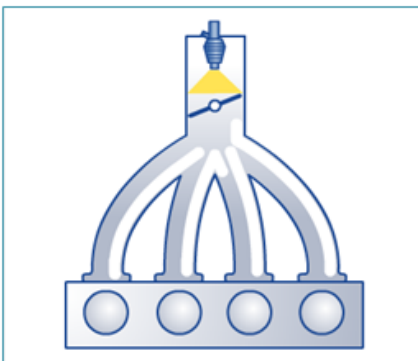
- ✓ Divers capteurs permettent au calculateur d'affiner le dosage dans toutes les plages de fonctionnement et de piloter les injecteurs.

L'injection essence a fait son apparition pour le but de:

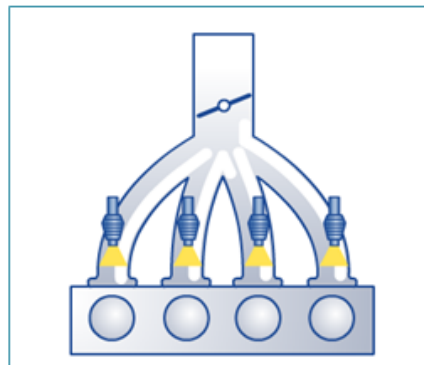
- ✓ Augmenter le rendement du moteur.
- ✓ Réduire la consommation du carburant grâce au dosage très précis.
- ✓ Améliorer la combustion pour réduire les émissions toxiques.



### b- Les types d'injections:

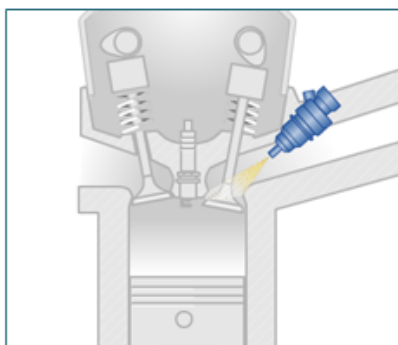


Injection monopoint

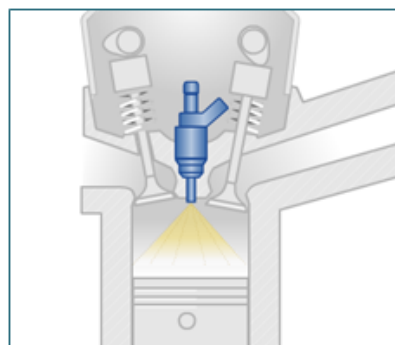


Injection multipoint

Dans une injection multipoint on distingue deux emplacements possibles pour les injecteurs :



Injection indirect



Injection direct

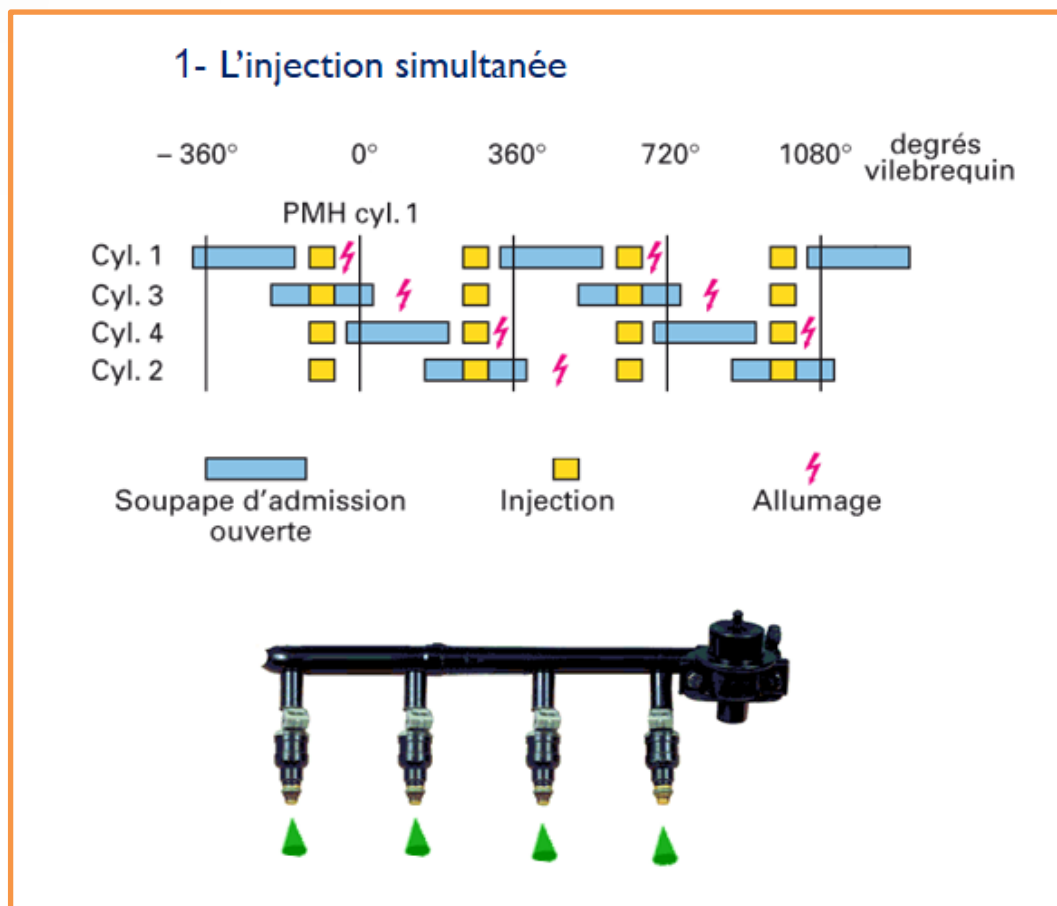
## c- La commande des injecteurs :

La commande des injecteurs se divise en deux grands types:

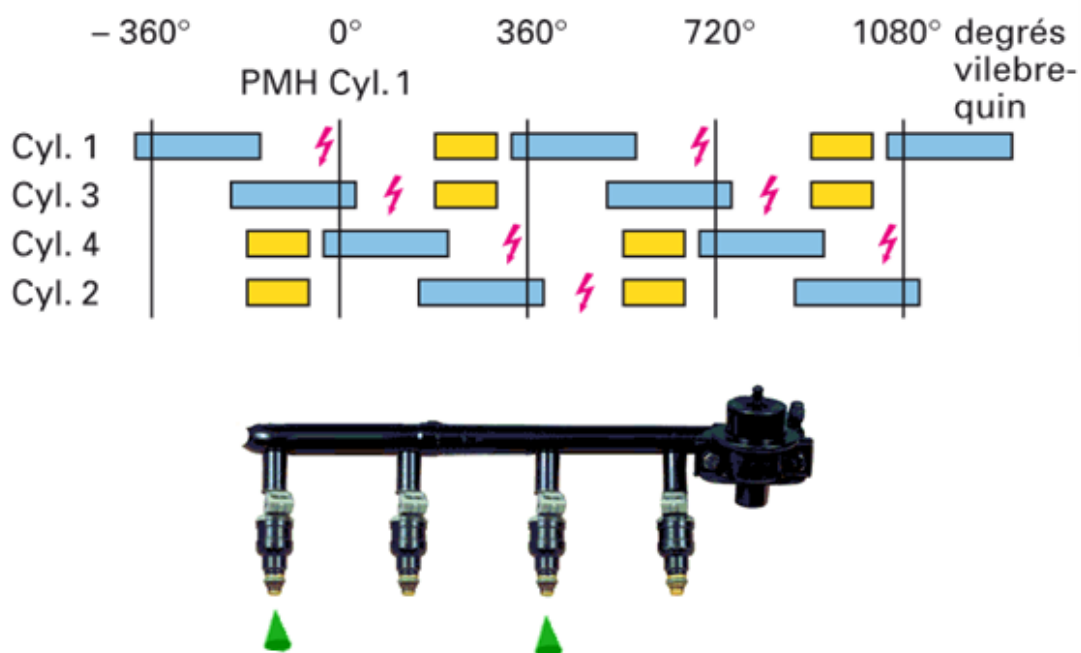
**L'injection continu:** les injecteurs sont ouverts sous l'effet de la pression du carburant et reste ouverts durant tout le temps du fonctionnement du moteur.

**L'injection intermittente:** Grâce a pilotage électromagnétique par une centrale de commande électronique (calculateur), les injecteurs sont brièvement ouverts, et ils sont refermés aussi tôt après l'injection de la quantité du carburant nécessaire.

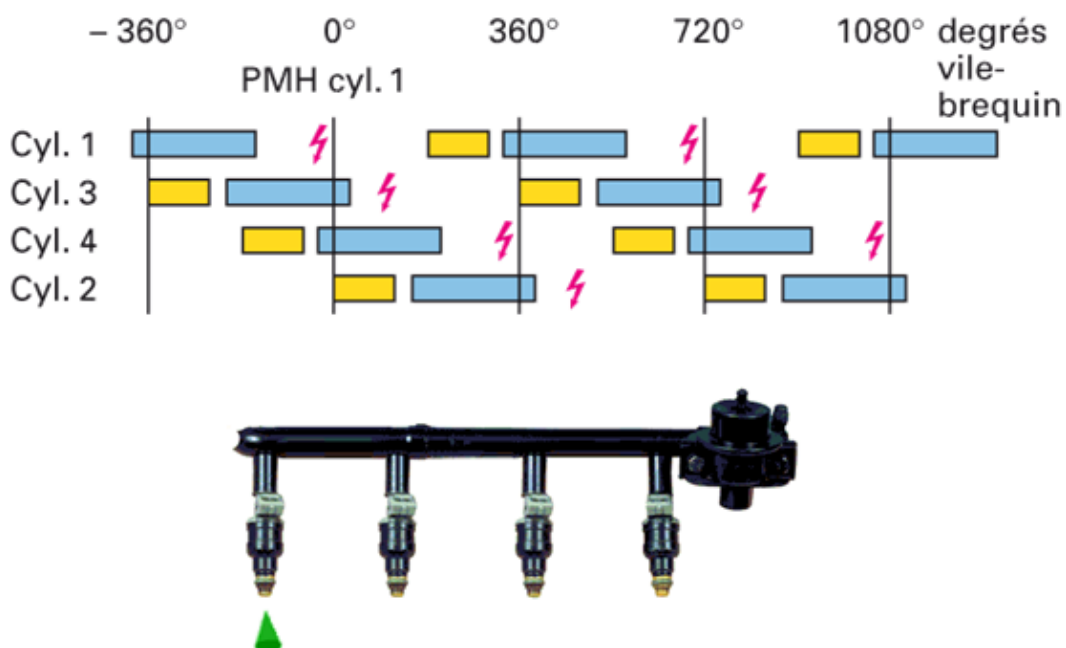
En fonction du pilotage des injecteurs par le calculateur, on distingue quatre sortes d'injections intermittentes différentes :



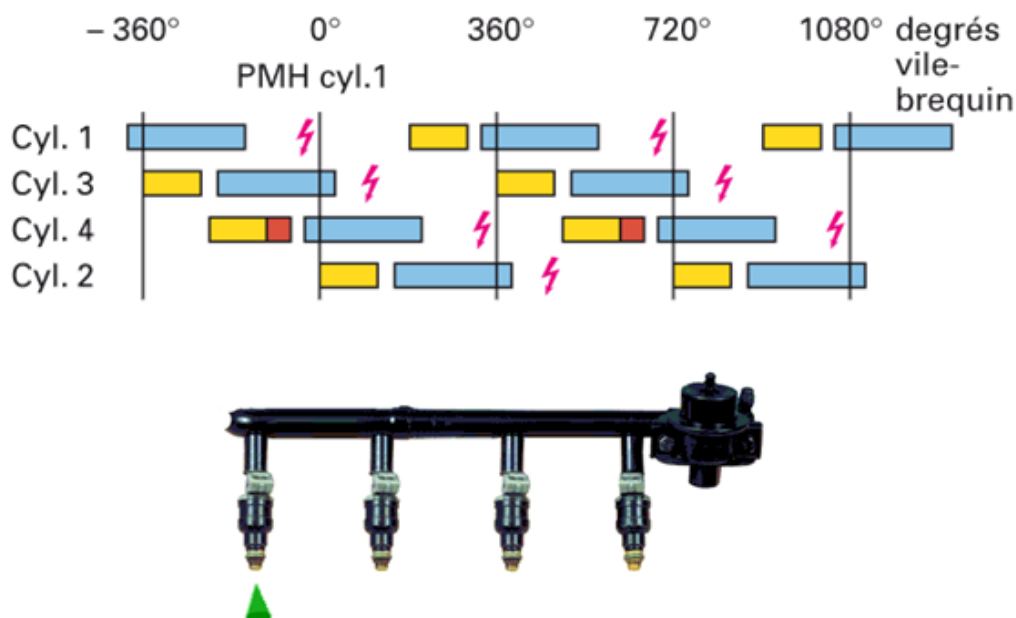
## 2- L'injection groupée (ou semi-séquentielle)



## 3- L'injection séquentielle

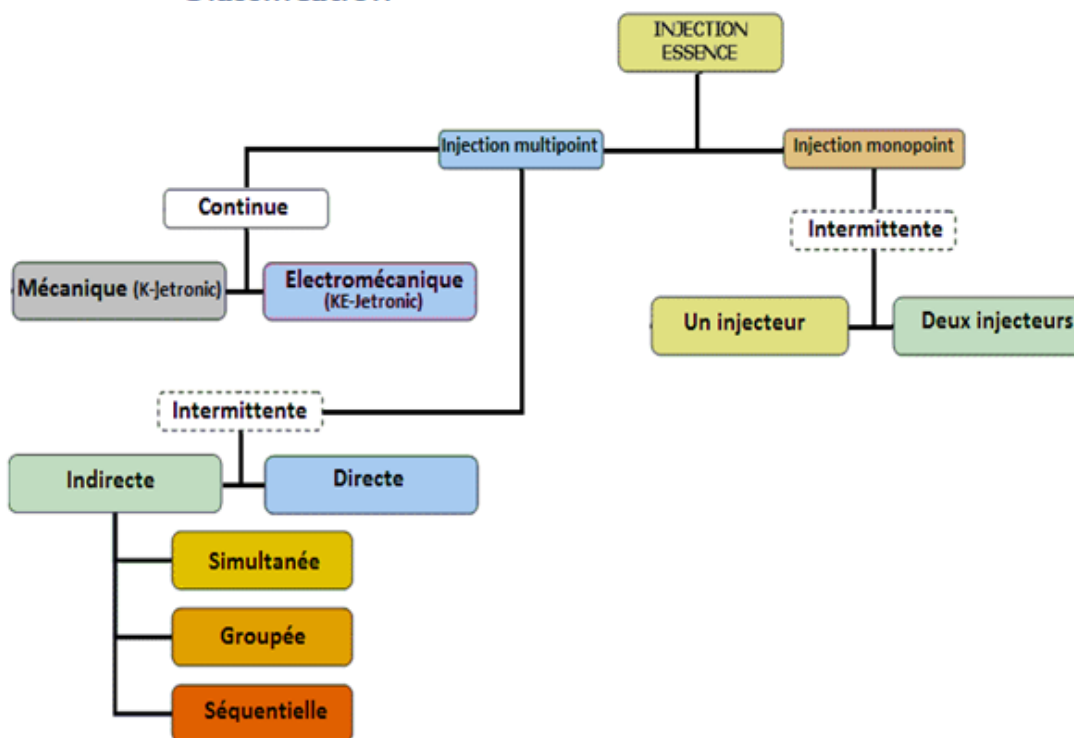


#### 4- L'injection sélective par cylindre



Il s'agit d'une injection séquentielle, grâce à un système de capteurs et à l'électronique plus performante, Le calculateur est en mesure de piloté **le temps d'ouverture** de l'injecteur, pour donner une quantité spécifique d'essence à chaque cylindre.

#### • Classification

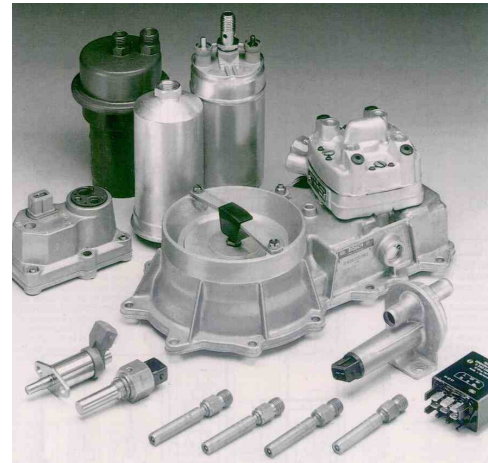


## 5- Les systèmes d'injection électronique :

### Le système d'injection K-JETRONIC

Le K-Jetronic est un système d'injection mécanique hydraulique, le carburant est dosé en fonction de la quantité d'air aspiré, et il est injecté continuellement en amont des soupapes d'admission.

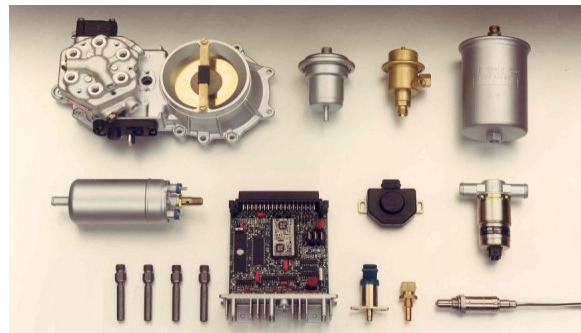
La lettre K signifie en allemand: Continu.



### Le système d'injection K-JETRONIC

Le KE-Jetronic constitue un perfectionnement de l'injection K-Jetronic, ce dernier est complété par une centrale de commande électronique permettant d'atteindre une grande flexibilité et de réaliser des fonctions intelligentes.

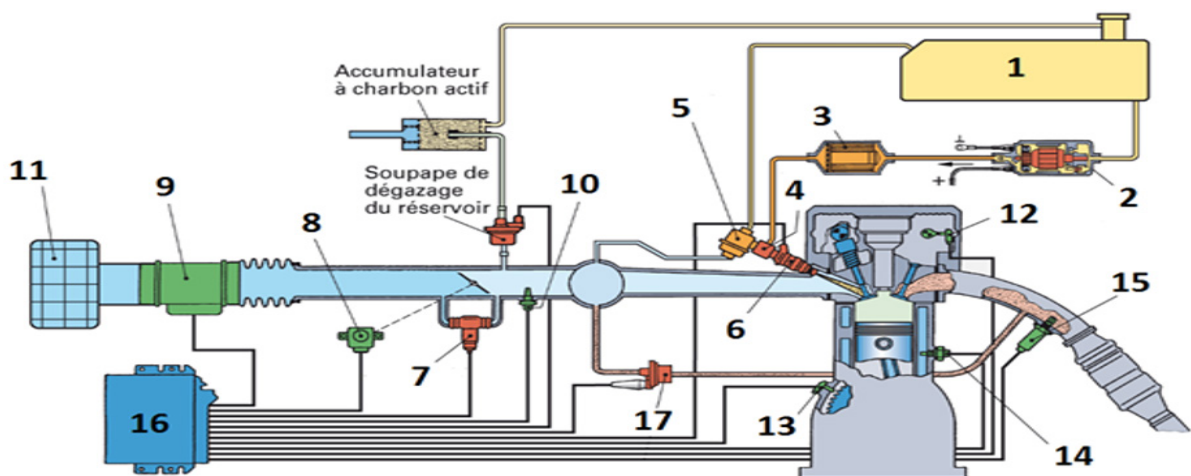
La lettre E signifie: Electronique.



### a- Le système d'injection centralisée (monopoint) :

Dans l'injection centralisée (ou monopoint) un seul injecteur est utilisé pour alimenter les différents cylindres du moteur, cet injecteur de type électromagnétique est commandé par un calculateur.

Il s'ouvre 2 fois par tour du vilebrequin d'un moteur à 4 cylindres, l'injection a lieu en amant du papillon.

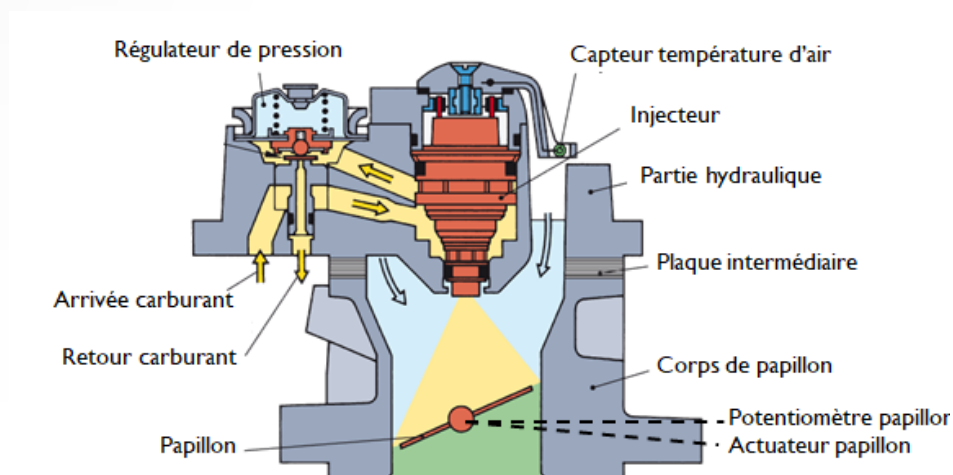


- |                           |                                 |                                   |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1- Réservoir              | 7- Actuateur de ralenti         | 13- Capteur du régime moteur      |
| 2- Pompe électrique       | 8- Potentiomètre de papillon    | 14- Capteur de température moteur |
| 3- Filtre à carburant     | 9- Débitmètre d'air à fil chaud | 15- Sonde lambda                  |
| 4- Rampe de distribution  | 10- Sonde de température d'air  | 16- Calculateur                   |
| 5- Régulateur de pression | 11- Filtre à air                | 17- Electrovanne EGR              |
| 6- Injecteur              | 12- Capteur de phase            |                                   |

### ✓ L'unité d'injection :

Elle se compose de deux parties:

- Une partie hydraulique avec arrivée et retour du carburant , l'injecteur, le régulateur de pression et le capteur de température d'air.
- Le corps de papillon avec le papillon , le potentiomètre de papillon et l'actuateur de papillon.

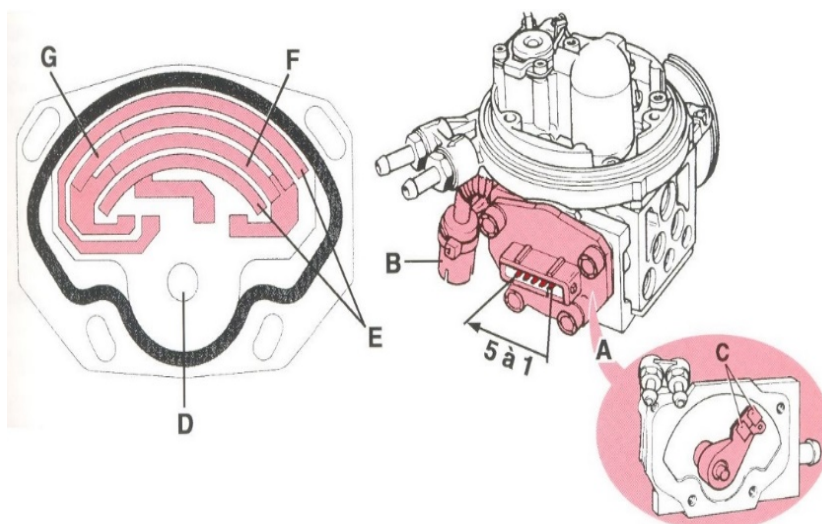


### ✓ Le potentiomètre du papillon :

Ce capteur a pour fonction d'informer le calculateur de la position angulaire du papillon des gaz.

Le calculateur l'alimente suivant une tension stabilisée de 5 Volts.

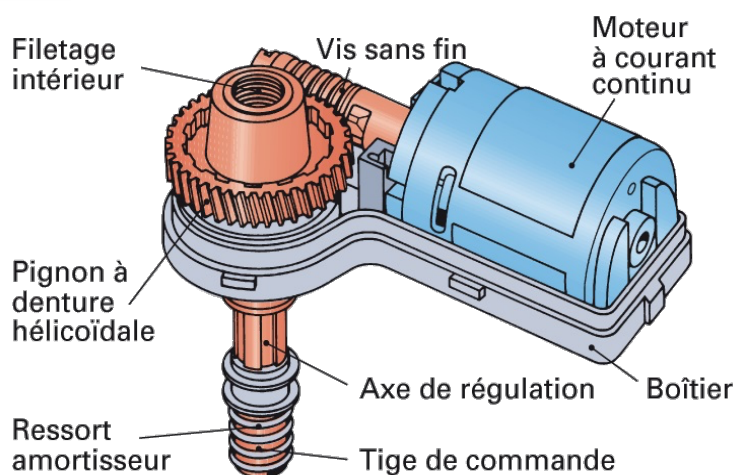
L'information de retour est transmise par une tension variable de 0,3 à 5 V selon la position du papillon.



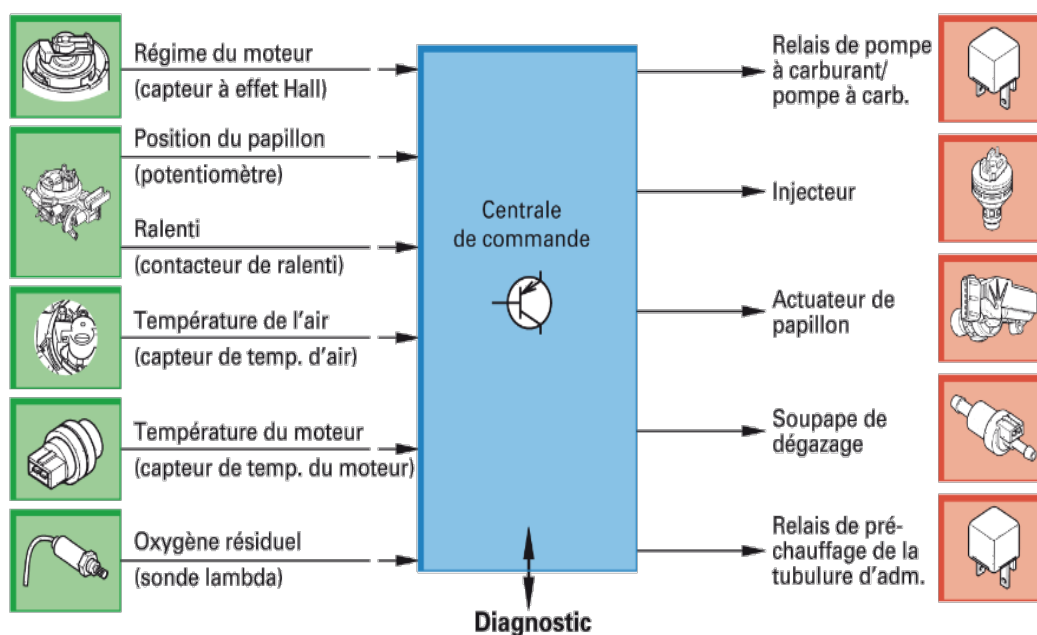
✓ **L'actuateur du papillon :**

Il agit directement sur le levier de papillon des gaz, afin de garantir un passage d'air additionnel et d'assurer un régime de ralenti stable lors du départ à froid.

Le calculateur possède en mémoire une consigne de régime de ralenti. Il compare le régime momentané du moteur avec cette valeur de consigne.



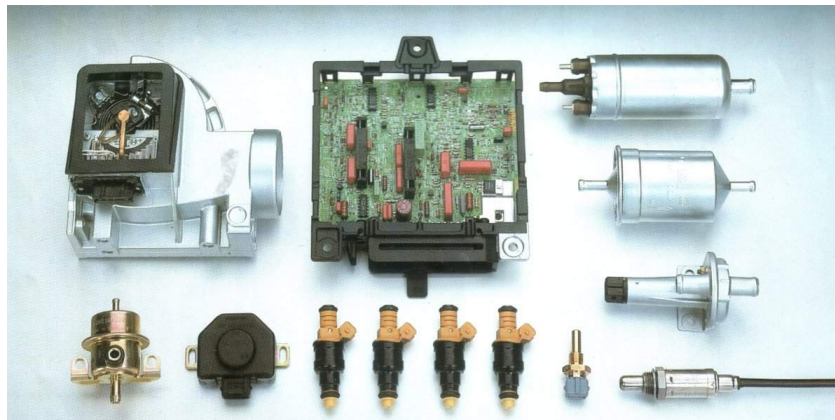
✓ **Schéma synoptique:**



**Le système d'injection L-JETRONIC**

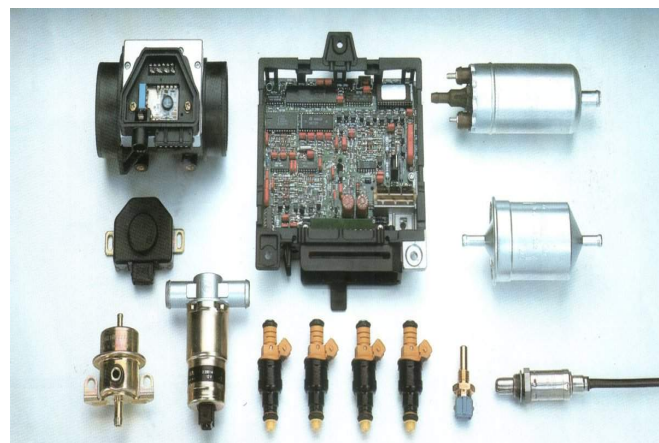
Le système d'injection L-Jetronic est un système d'injection intermittente du carburant dans la tubulure d'admission à commande électronique, le système L-Jetronic associe les avantages de la mesure directe du débit d'air aux possibilités spécifiques de l'électronique.

La lettre L (Luft) signifie en allemand: Air .

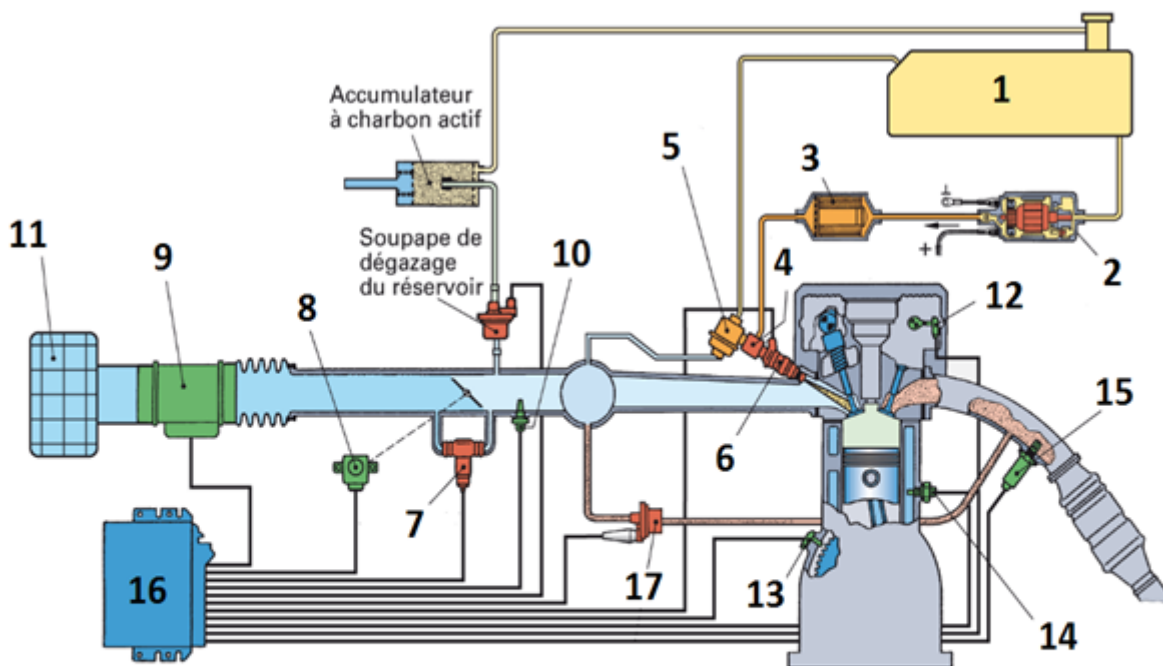


### b- Le système d'injection LH-JETRONIC :

C'est l'une des variantes du développement du L-Jetronic, la différence réside dans la détection de la quantité d'air aspirée par le moteur, confiée ici à un débitmètre massique à fil chaud ou film chaud qui mesurent la masse d'air aspirée par le moteur.



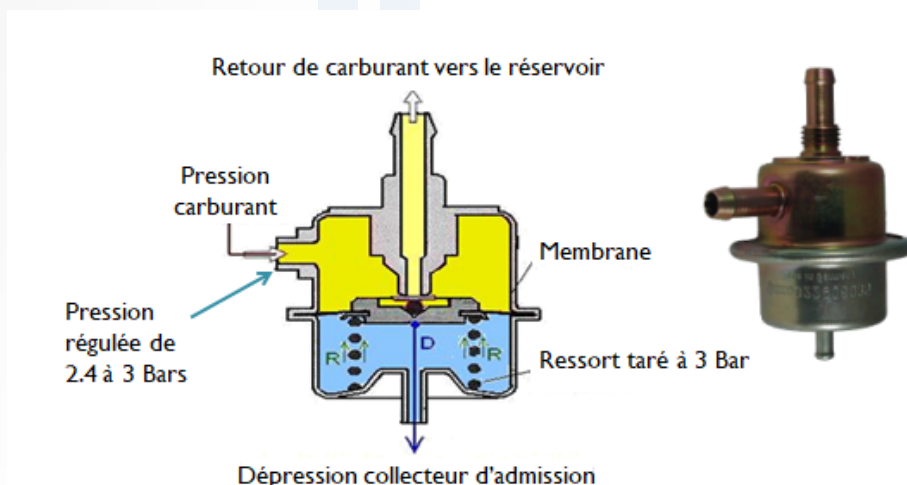
La lettre H (Heiß ) signifie en allemand: Chaud .



- |                           |                                 |                                   |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1- Réservoir              | 7- Actuateur de ralenti         | 13- Capteur du régime moteur      |
| 2- Pompe électrique       | 8- Potentiomètre de papillon    | 14- Capteur de température moteur |
| 3- Filtre à carburant     | 9- Débitmètre d'air à fil chaud | 15- Sonde lambda                  |
| 4- Rampe de distribution  | 10- Sonde de température d'air  | 16- Calculateur                   |
| 5- Régulateur de pression | 11- Filtre à air                | 17- Electrovanne EGR              |
| 6- Injecteur              | 12- Capteur de phase            |                                   |

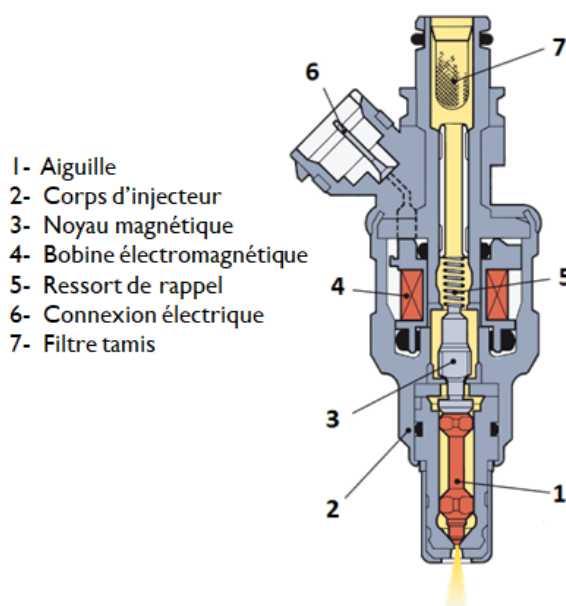
### ✓ Régulateur de pression :

C'est une vanne qui régule la pression d'essence dans la rampe d'injection et qui corrige cette pression en fonction de la dépression de la tubulure d'admission.



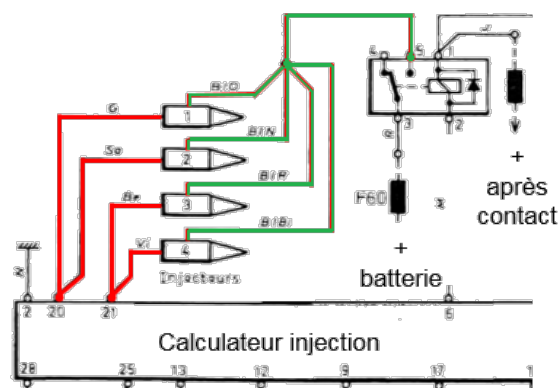
### ✓ L'injecteur :

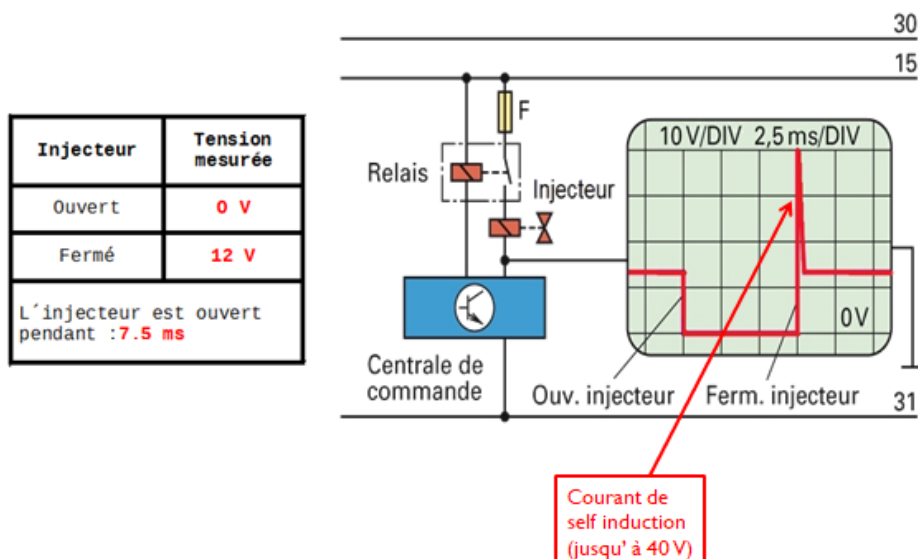
Les injecteurs servent au dosage et à la pulvérisation du carburant.



### ✓ Commande de l'injecteur :

L'injecteur reçoit un plus après contact (+ APC) via un relais et le calculateur envoie des masses séquentielles. Le temps d'ouverture des injecteurs dépend du temps de masse commandé par le calculateur.





✓ Capteur de température d'air :



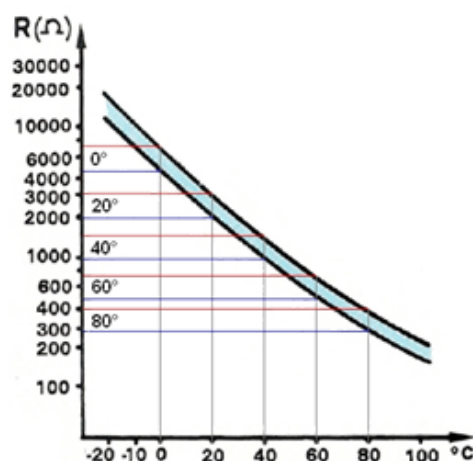
Plus la température de l'air augmente plus sa densité diminue... plus il prend moins de place dans le cylindre



✓ Capteur de température du moteur :



Au démarrage à froid, il faut enrichir le mélange...



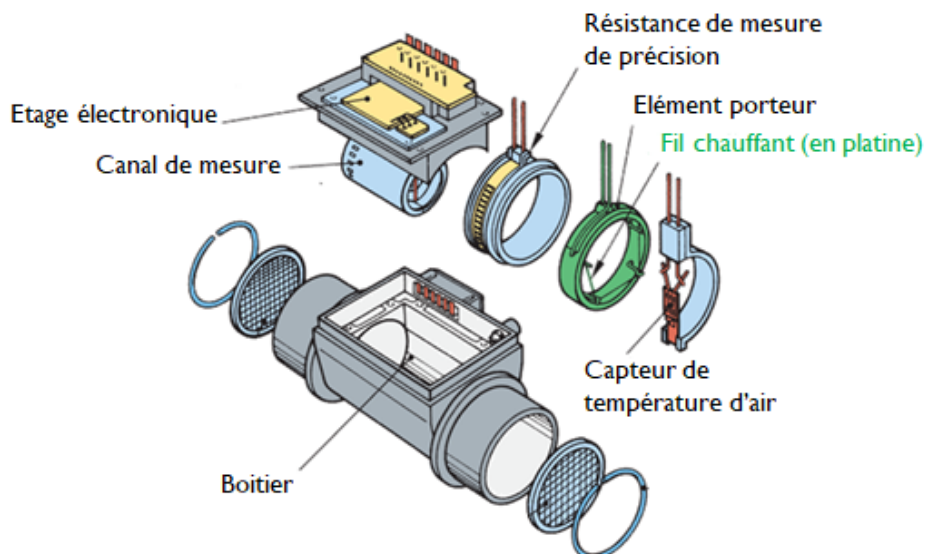
✓ La quantité d'air :

La quantité d'air aspirée est quantifiée par le calculateur à partir des informations données par :

- Un capteur de régime moteur
- Un débitmètre (débit + température)

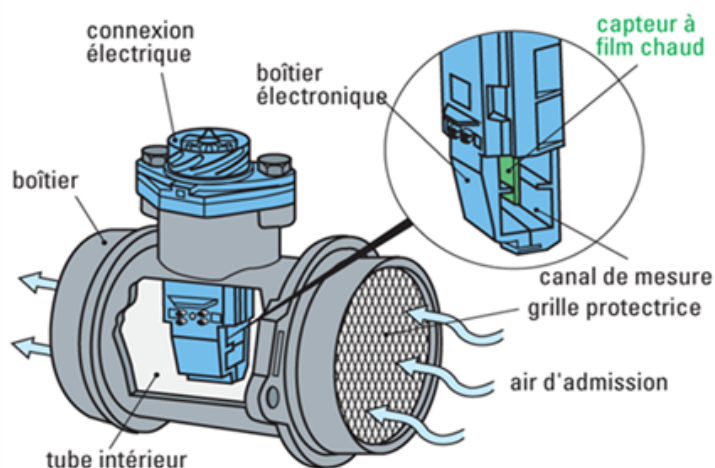
C'est l'information de base pour connaître la durée d'ouverture des injecteurs.

✓ **Débitmètre à fil chaud :**



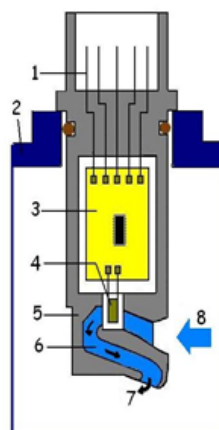
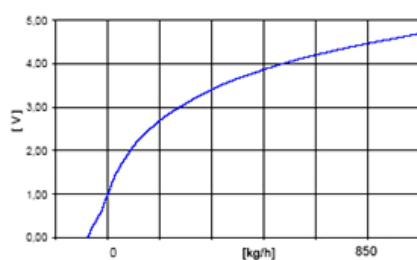
- Température du fil maintenue à 120°C constante
- Elle est portée à 1000°C l'arrêt du moteur pour éviter l'encrassement

✓ **Débitmètre à film chaud :**

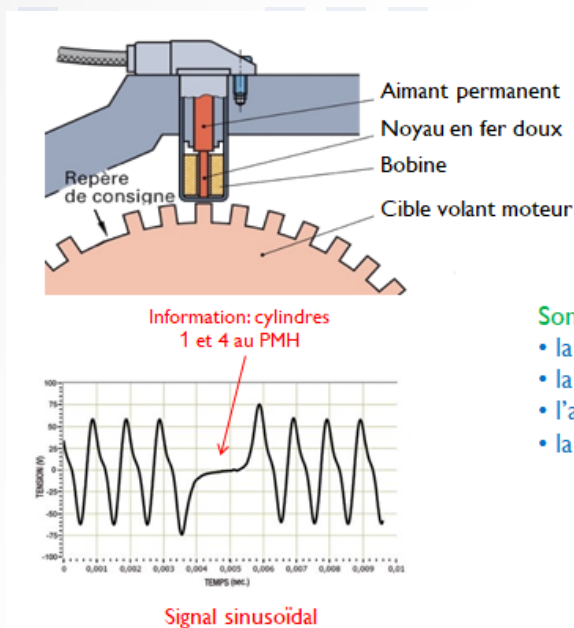


Composants d'un capteur à film chaud :

- 1- Connexions électriques
- 2- Paroi du tube calibré
- 3- Electronique d'exploitation
- 4- Cellule de détection
- 5- Boîtier du capteur
- 6- Canal de mesure du flux partiel
- 7- Sortie du flux partiel de mesure
- 8- Entrée du flux partiel de mesure



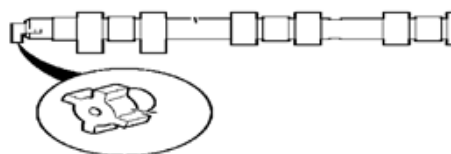
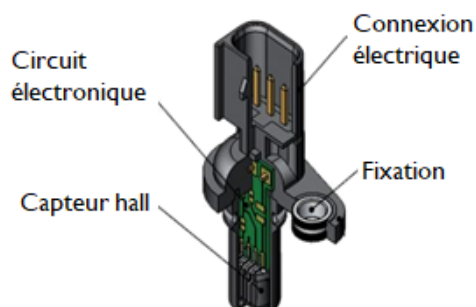
✓ **Capteur de régime et de position :**



Son signal est utilisé pour :

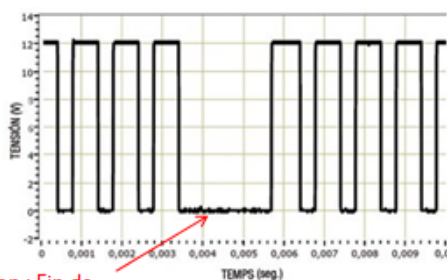
- la quantité d'essence à injecter.
- la régulation du régime de ralenti.
- l'avance à l'allumage.
- la charge de la bobine.

✓ **Capteur de phase (ou d'arbre à cames) :**



Son signal est utilisé pour :

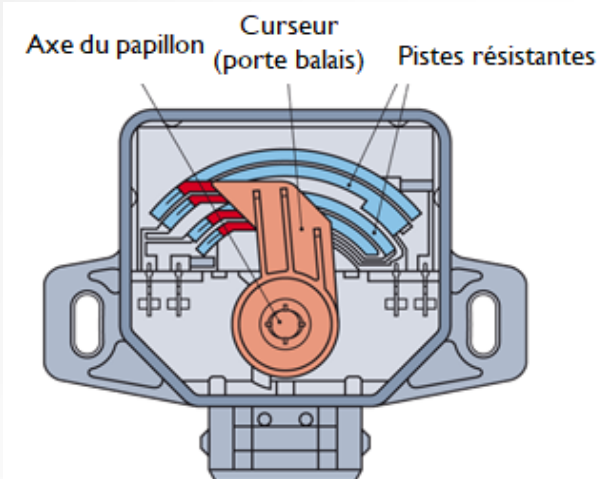
- le phasage des commandes des bobines.
- le phasage des injecteurs en mode séquentiel.



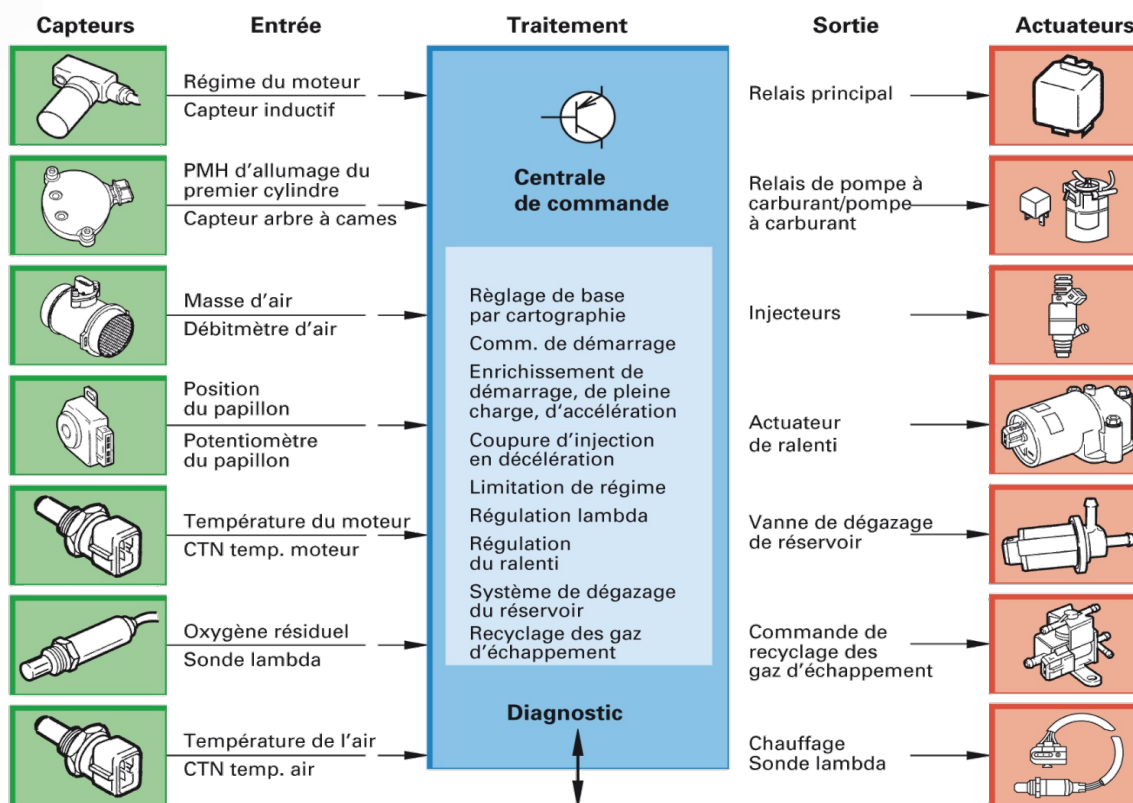
Information : Fin de compression cylindre 1  
Signal carré

✓ **Potentiomètre de papillon :**

Informe le calculateur de l'angle d'ouverture du papillon.

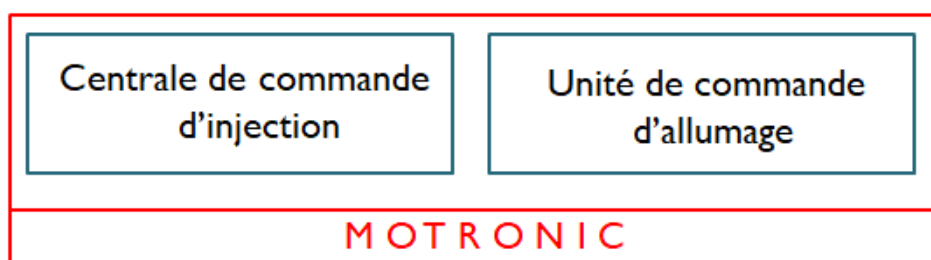


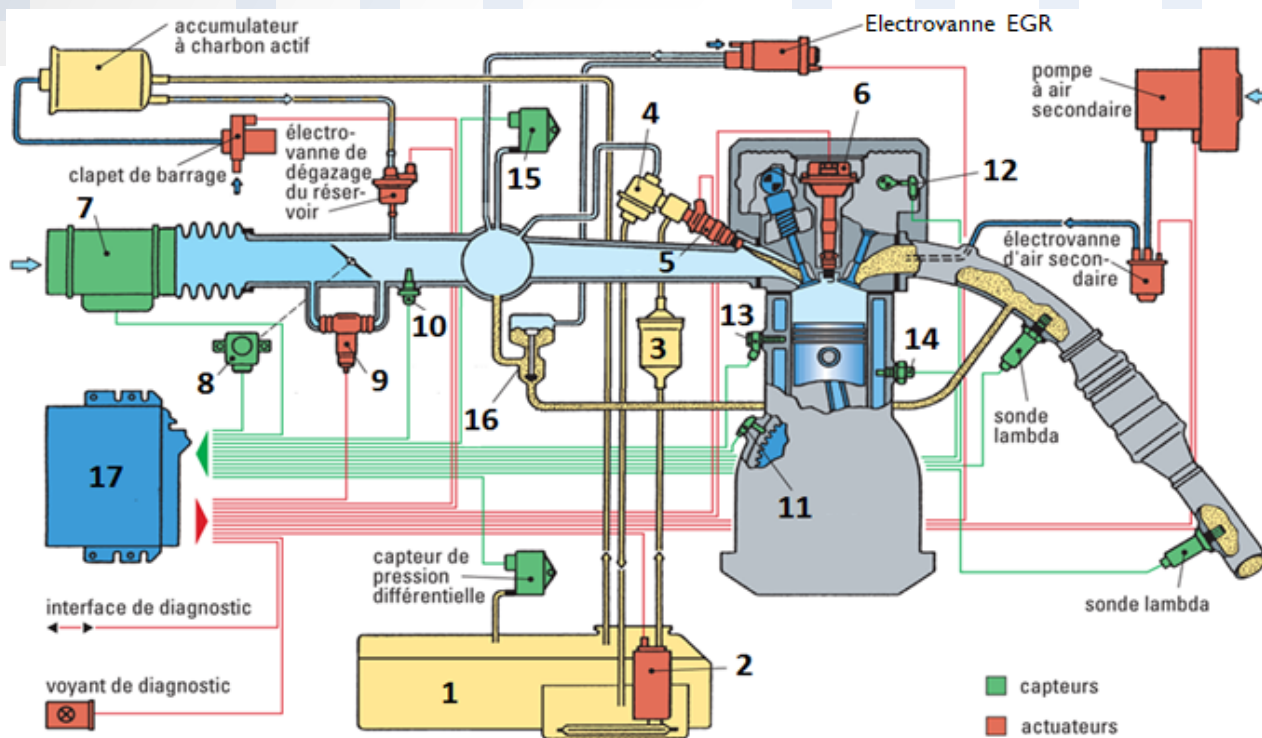
✓ Schémas synoptique:



c- Le système d'injection MOTRONIC :

Le système d'injection Motronic réunit le système d'injection et le système d'allumage, et assure électroniquement la commande de ces deux ensembles.





- |                           |                                |   |
|---------------------------|--------------------------------|---|
| 1- Réservoir              | 7- Débitmètre d'air            | 13- Capteur de cliquetis                  |
| 2- Pompe électrique       | 8- Potentiomètre de papillon   | 14- Capteur de température moteur         |
| 3- Filtre à carburant     | 9- Actuateur de ralenti        | 15- Capteur de pression d'air d'admission |
| 4- Régulateur de pression | 10- Sonde de température d'air | 16- Vanne EGR                             |
| 5- Injecteur              | 11- Capteur de régime moteur   | 17- Calculateur                           |
| 6- Bobine d'allumage      | 12- Capteur de phase           |   |

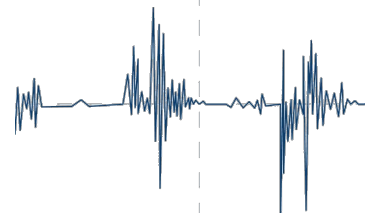
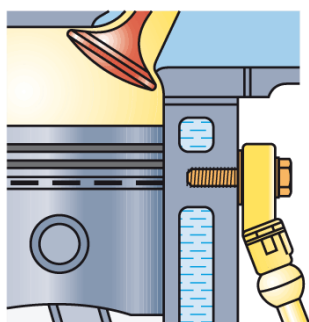
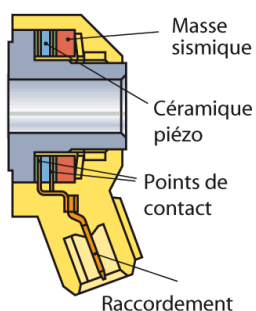
✓ **Capteur de cliquetis :**

Le capteur de cliquetis est généralement vissé sur le bloc-cylindres.

Les signaux du capteur de cliquetis permettent la détection sélective par cylindre d'une combustion détonante.

Exploitation du signal :

En cas de détection d'une combustion détonante, la calculateur procède sur le cylindre considéré à une variation du point d'allumage, jusqu'à ce que le cliquetis cesse.

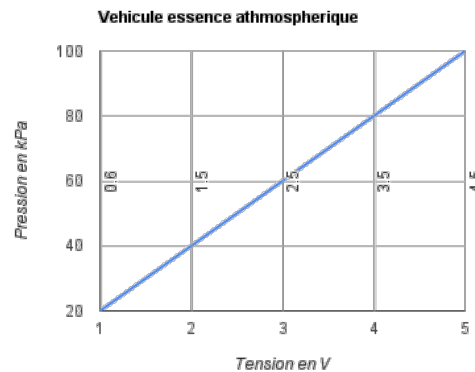


### ✓ Capteur de pression d'air d'admission :

Le capteur de pression de tubulure d'admission mesure la dépression qui règne dans la tubulure d'admission en aval du papillon, il intègre souvent un capteur de température d'air, il est de type piézorésistif.

#### Exploitation du signal

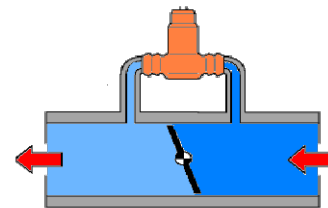
Avec les signaux de capteur de régime moteur et du capteur de température de l'air d'admission, il est possible de calculer l'air massique aspiré.



### ✓ Le régulateur de ralenti :

Dans un moteur, le besoin d'air additionnel au ralenti dépend de :

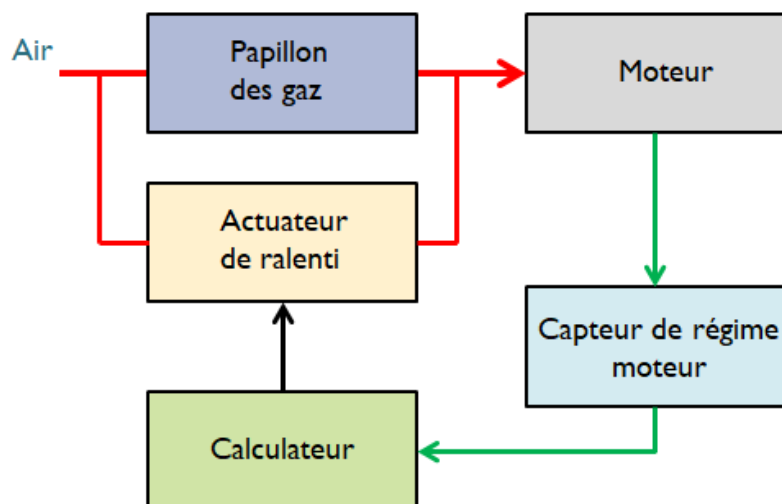
- L'état thermique du moteur
- L'enclenchement éventuel de consommateurs
- La régulation de régime moteur



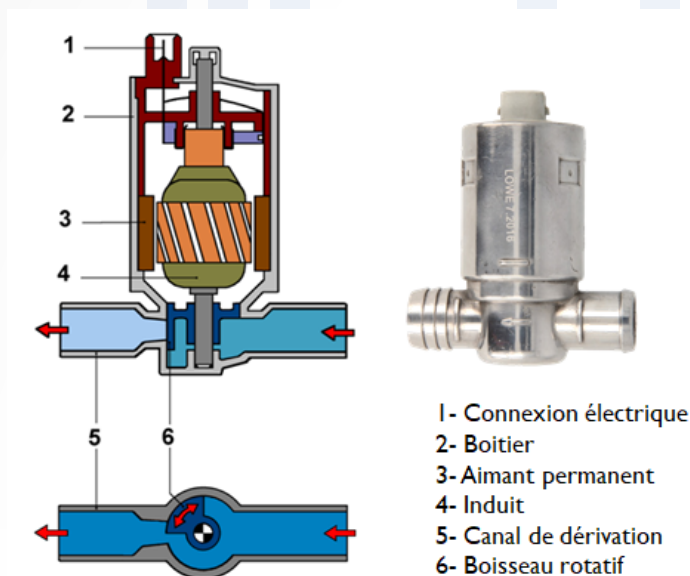
Le calculateur possède en mémoire une consigne de régime de ralenti.

Il compare le régime instantané du moteur avec la valeur de consigne, si le ralenti n'est pas correcte, le calculateur pilote l'actuateur de ralenti placé en dérivation du papillon des gaz (Actuateur rotatif ou moteur pas à pas).

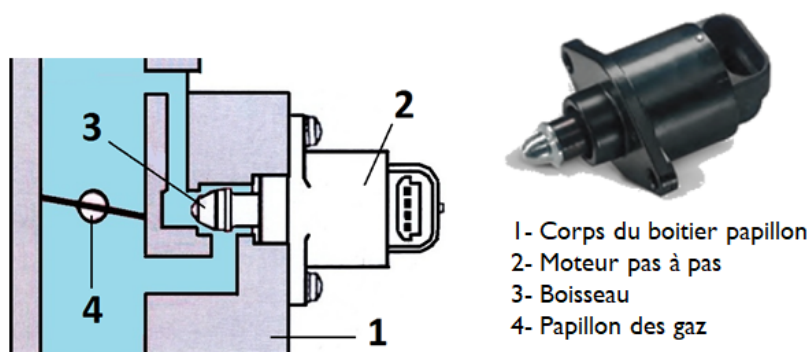
Il augmente la quantité d'air pour augmenter le régime et inversement.



✓ **L'actuateur rotatif de ralenti :**



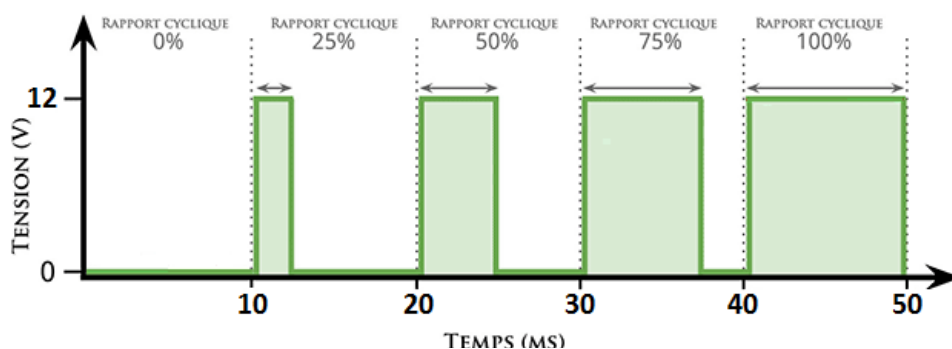
✓ **Moteur pas à pas de régulation de ralenti :**



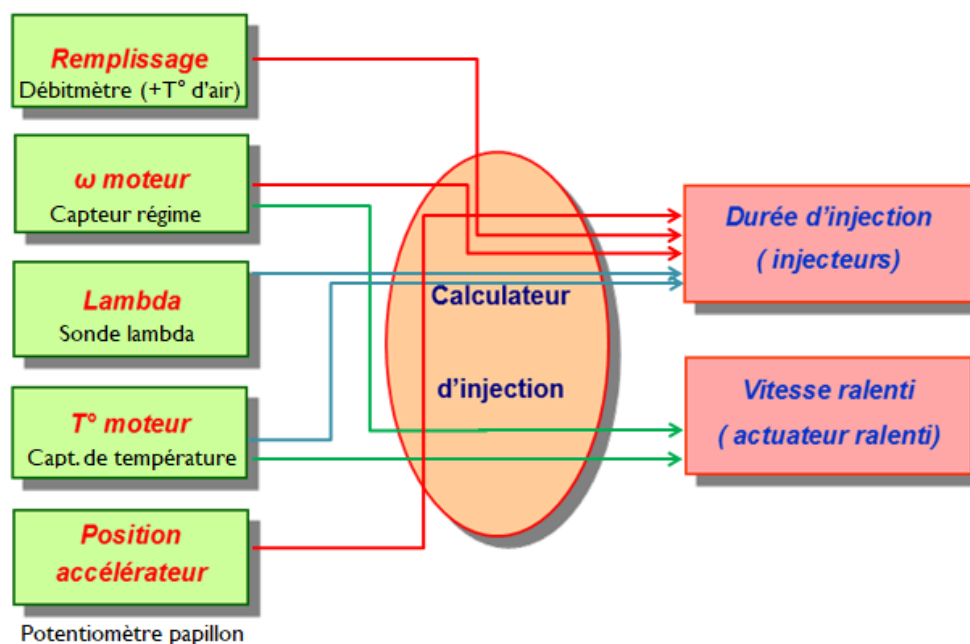
✓ **Le signal RCO (Rapport Cyclique d'Ouverture) :**

Le rapport cyclique d'ouverture est le temps d'ouverture d'un actuateur piloté par un signal carré, de fréquence et d'amplitude constante comparé à un cycle complet.

Il a pour but de commander des organes électroniques ( électro-aimant de type vanne, moteur pas à pas etc...) en leur imposant un temps d'ouverture dans une période de quelques millisecondes, selon les besoins.

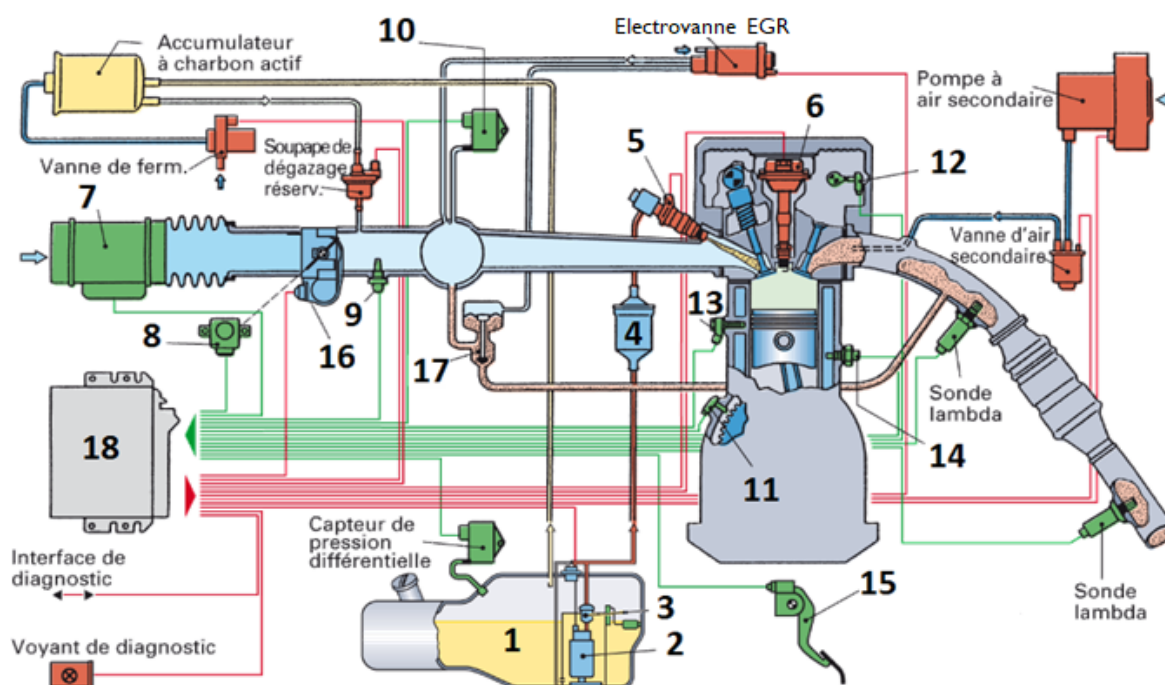


✓ Relations entrées / sorties :



d- Le système d'injection MOTRONIC ME :

Le système d'injection Motronic-ME est basé sur la Motronic, La principale différence est l'introduction de la fonction E-GAS (Commande électronique de la puissance de moteur).

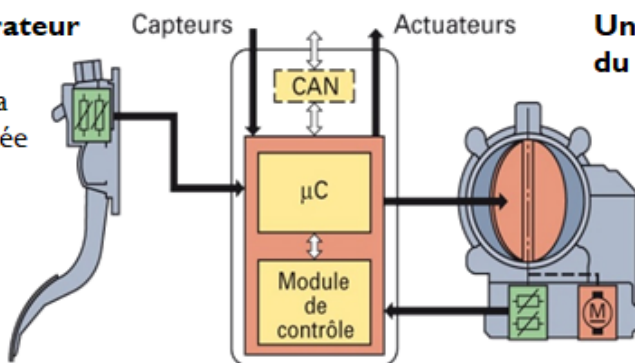


- |                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| 1- Réservoir              | 7- Débitmètre d'air                       | 13- Capteur de cliquetis                    |
| 2- Pompe électrique       | 8- Potentiomètre de papillon              | 14- Capteur de température moteur           |
| 3- Régulateur de pression | 9- Sonde de température d'air             | 15- <b>Module pédale d'accélérateur</b>     |
| 4- Filtre à carburant     | 10- Capteur de pression d'air d'admission | 16- <b>Boîtier papillon motorisé (EGAS)</b> |
| 5- Injecteur              | 11- Capteur de régime moteur              | 17- Vanne EGR                               |
| 6- Bobine d'allumage      | 12- Capteur de phase                      | 18- Calculateur                             |

✓ **Accélérateur à commande électrique :**

**Module d'accélérateur**

Un potentiomètre intégré détermine la position momentanée de l'accélérateur



**Unité de commande du papillon**

- Actionne du papillon en fonction du souhait du conducteur.
- Régulation du ralenti (Contacteur de papillon)

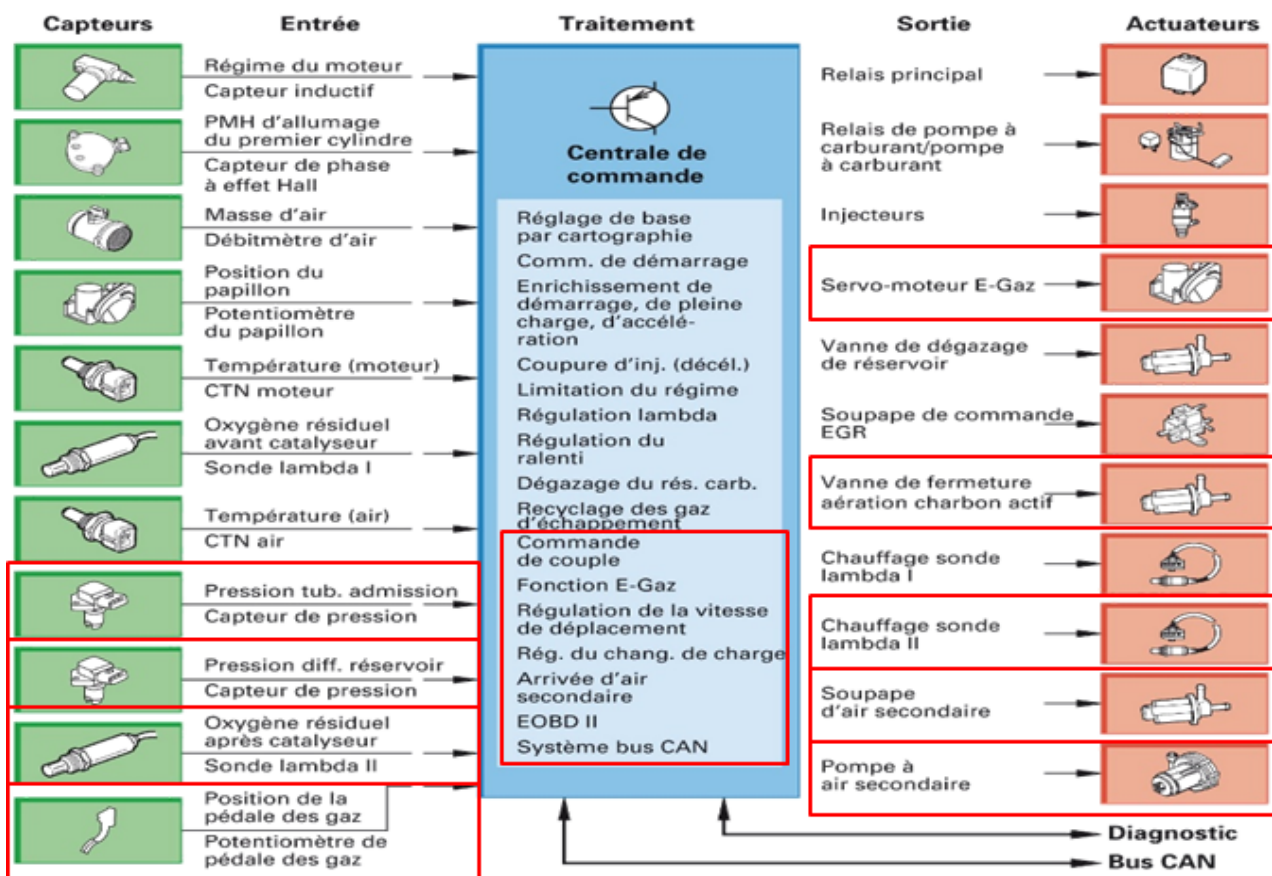
**Appareil de commande**

- A partir du signal du module d'accélérateur, elle calcule la puissance souhaitée par le conducteur.
- Prend en compte l'activation des consommateurs.

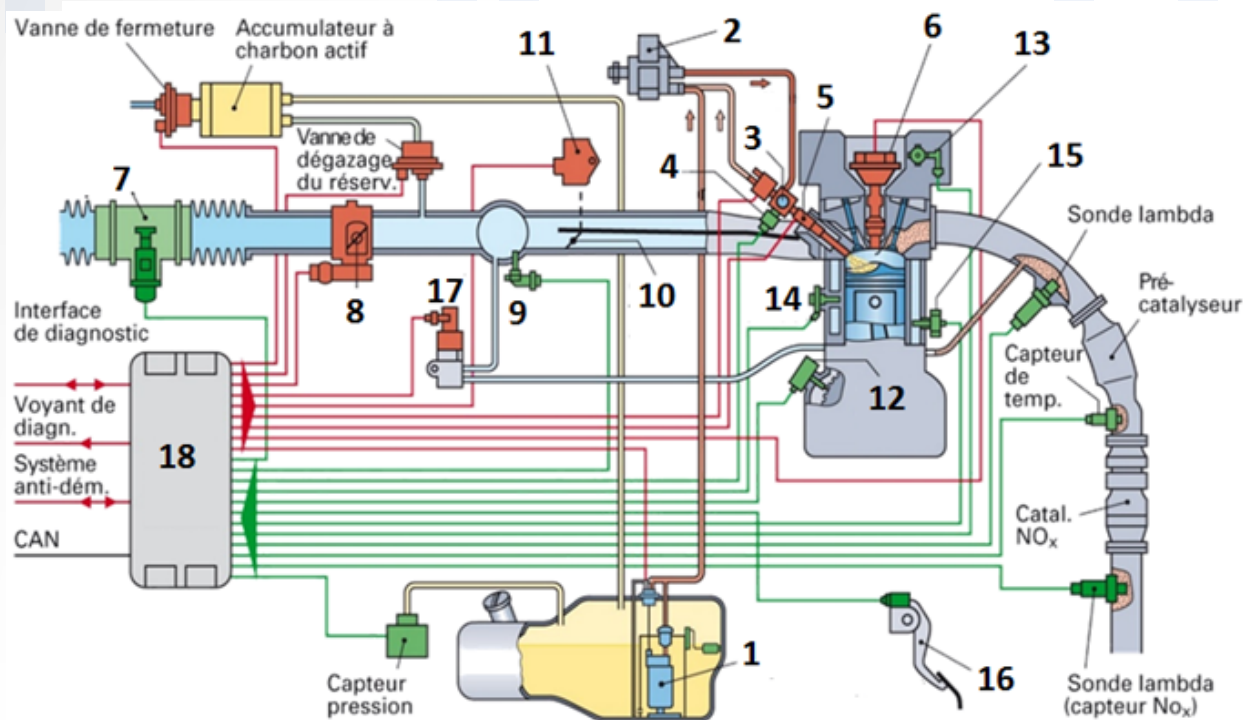
Avec ce système il est possible de gérer :

- limitation du régime maximal
- le régulateur de vitesse
- l'antipatinage (ASR)

✓ **Schéma synoptique :**

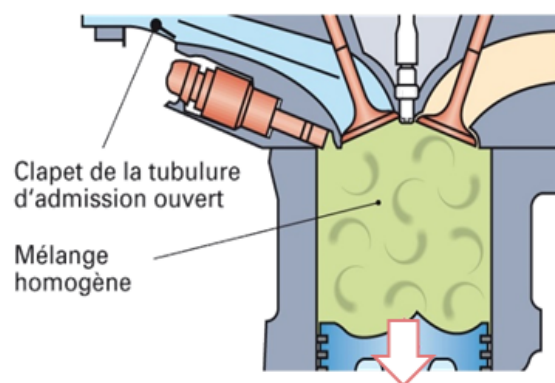


## a- Le système d'injection MOTRONIC MED :



- |   |  |                                   |
|---|--|-----------------------------------|
| 1- Module d'alimentation                  | 7- Débitmètre d'air                      | 13- Capteur de phase              |
| 2- <b>Pompe haute pression+régulateur</b> | 8- Papillon motorisé (EGAS)              | 14- Capteur de cliquetis          |
| 3- Rampe d'alimentation                   | 9- Capteur de pression d'air             | 15- Capteur de température moteur |
| 4- <b>Capteur de pression carburant</b>   | 10- <b>Clapet tubulure d'admission</b>   | 16- Module pédale d'accélérateur  |
| 5- <b>Injecteur haute pression</b>        | 11- <b>Soupape du clapet de tubulure</b> | 17- Vanne EGR                     |
| 6- Bobine d'allumage                      | 12- Capteur de régime moteur             | 18- Calculateur                   |

### ✓ Mode homogène :



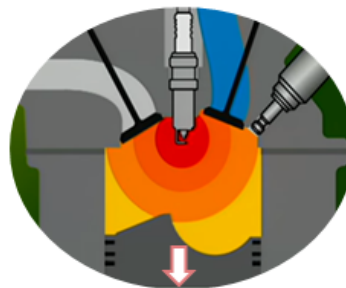
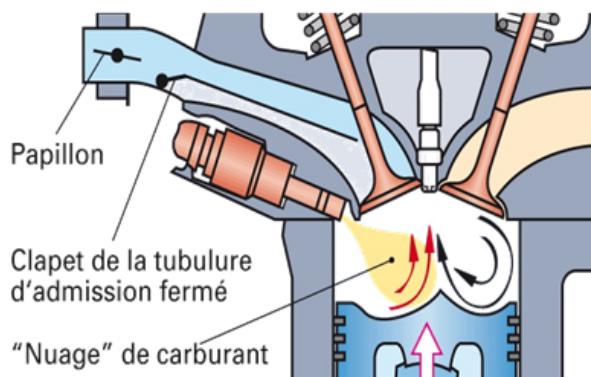
**En phase d'admission**

✓ **Mode stratifié :**

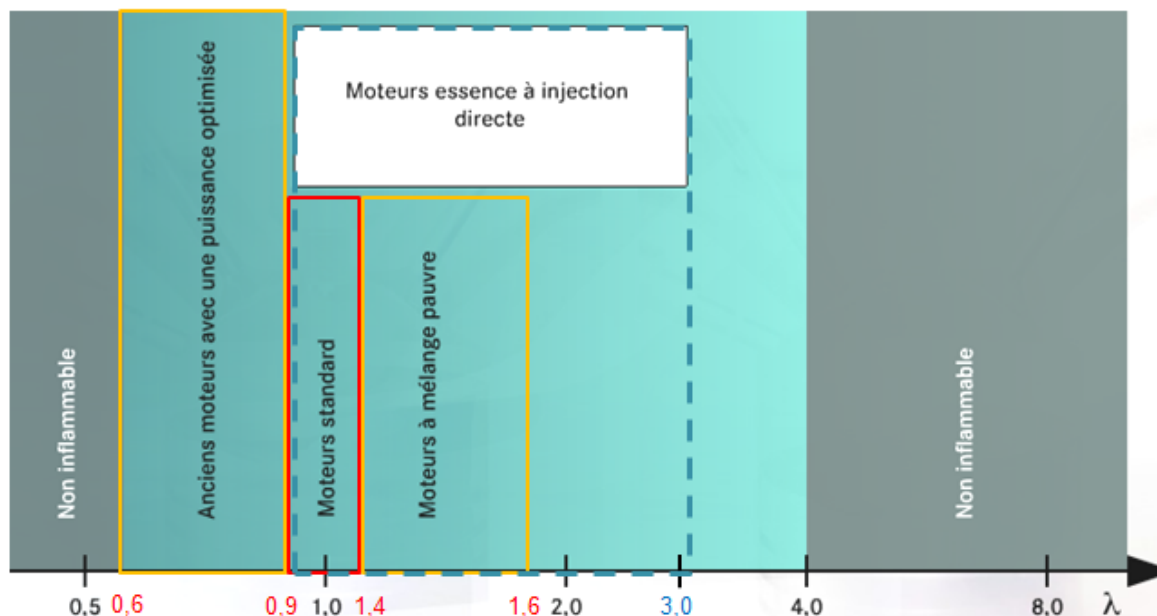
En cas de faible couple ou faible régime (limité à 3000tr/min)



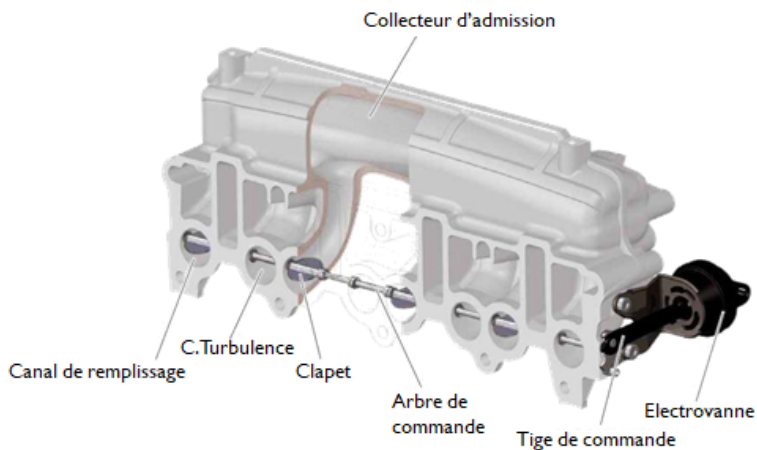
Moteur est alimenté avec un mélange stratifié très pauvre jusqu'à  $\lambda = 3$



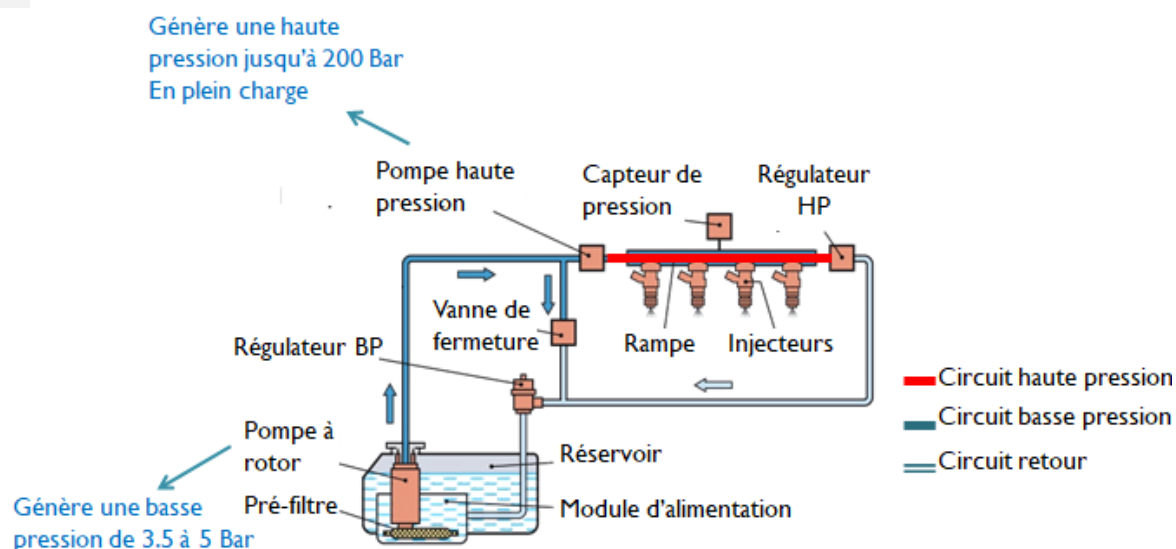
**En phase de compression**



✓ **Clapets de turbulences :**



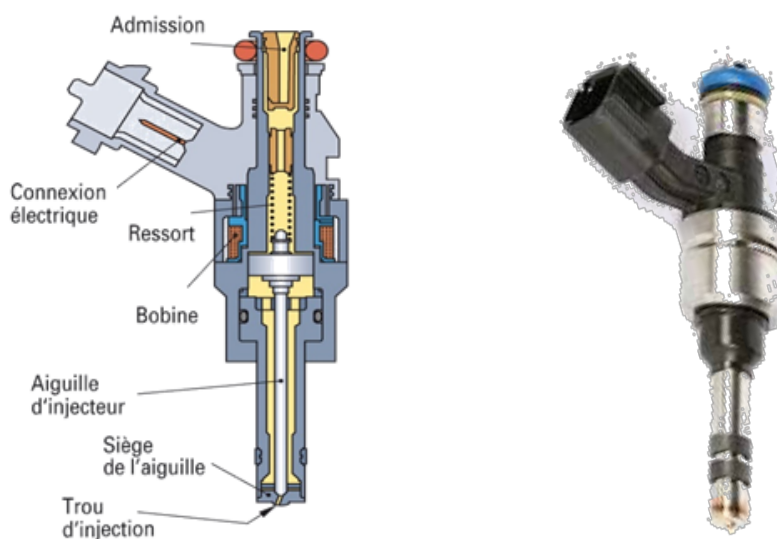
## ✓ Alimentation en carburant :



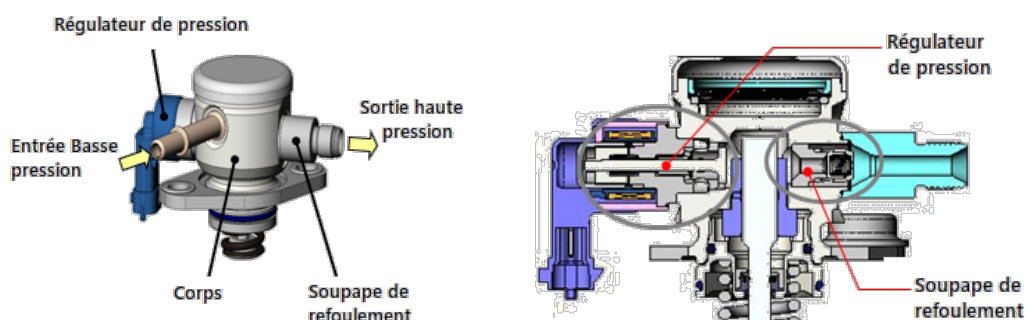
## ✓ Les injecteurs haute pression :

Ils injectent le carburant directement dans les cylindres avec une pression élevée.

Les injecteurs participent au réchauffage rapide du catalyseur.



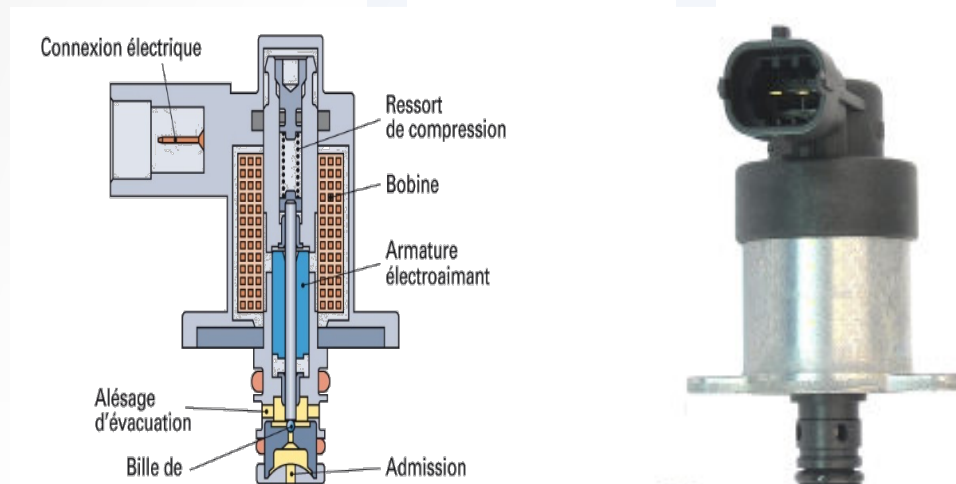
## ✓ La pompe à carburant haute pression :



Elle provoque une augmentation de la pression initiale de 3 bars du circuit basse pression à environ 100 bars.

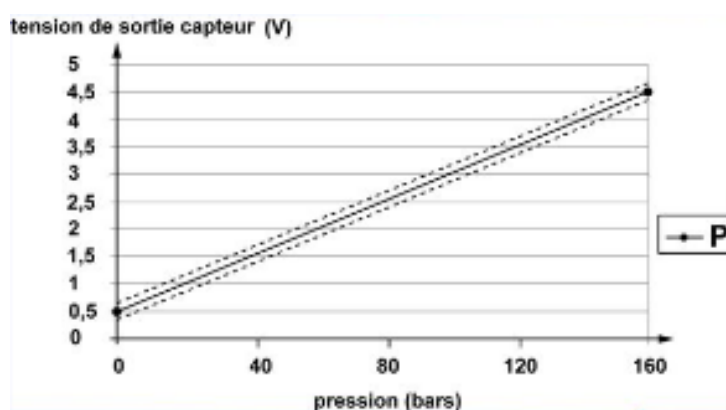
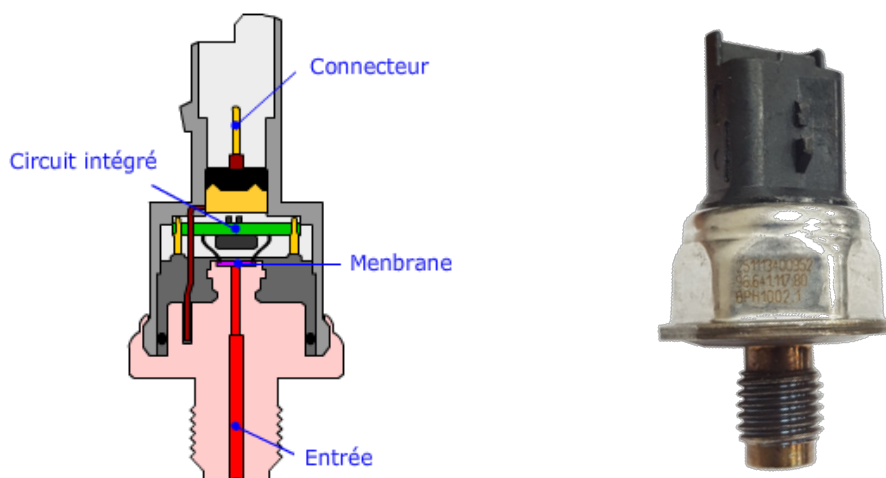
✓ **Vanne de régulation de pression de carburant :**

Elle crée une fuite vers le réservoir afin de réguler la pression dans la rampe d'alimentation entre 50 et 100 bars.



✓ **Capteur de pression du carburant :**

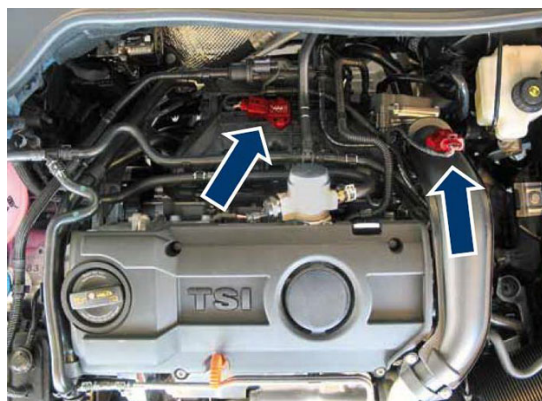
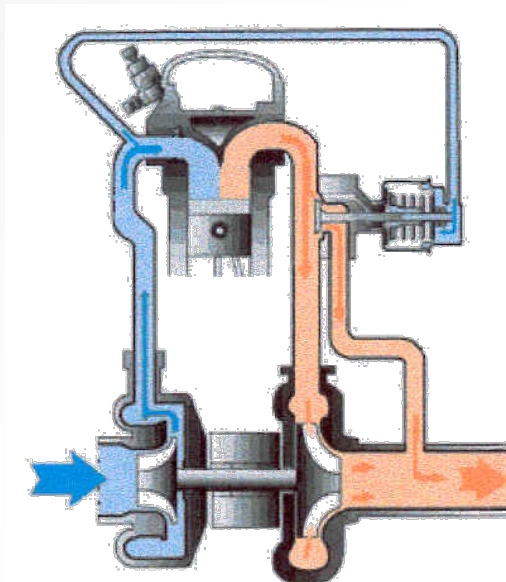
Il informe le calculateur de la pression momentanée dans la rampe d'injection.



✓ **Capteur de pression de suralimentation :**

Il informe le calculateur de la pression de suralimentation afin de la réguler via l'électrovanne de limitation de pression de suralimentation.

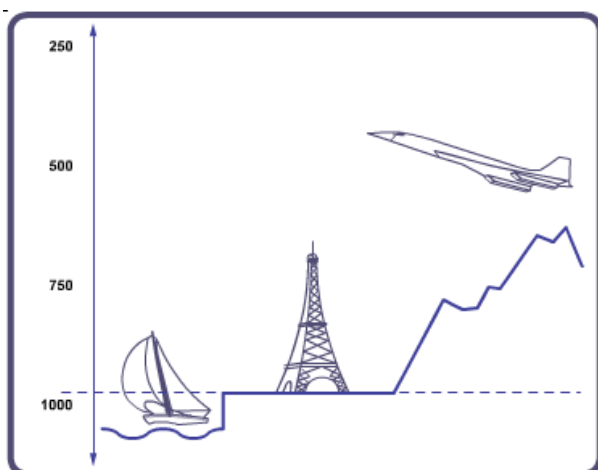
Le capteur de température intégré donne une correction par rapport à la densité de l'air.



✓ **Capteur de pression atmosphérique :**

Il informe le calculateur de l'altitude où se trouve le véhicule.

Le calculateur régule la pression de suralimentation et interdit le fonctionnement de L'EGR en altitude.



La pression atmosphérique diminue en altitude

=

La densité de l'air diminue

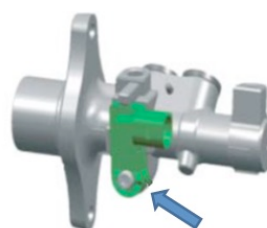
=

L'air prend moins de place dans le cylindre

✓ **Capteur de position de pédale de frein :**

Actionne l'allumage des feux de stop.

Evite que le véhicule n'accélère pied sur frein.

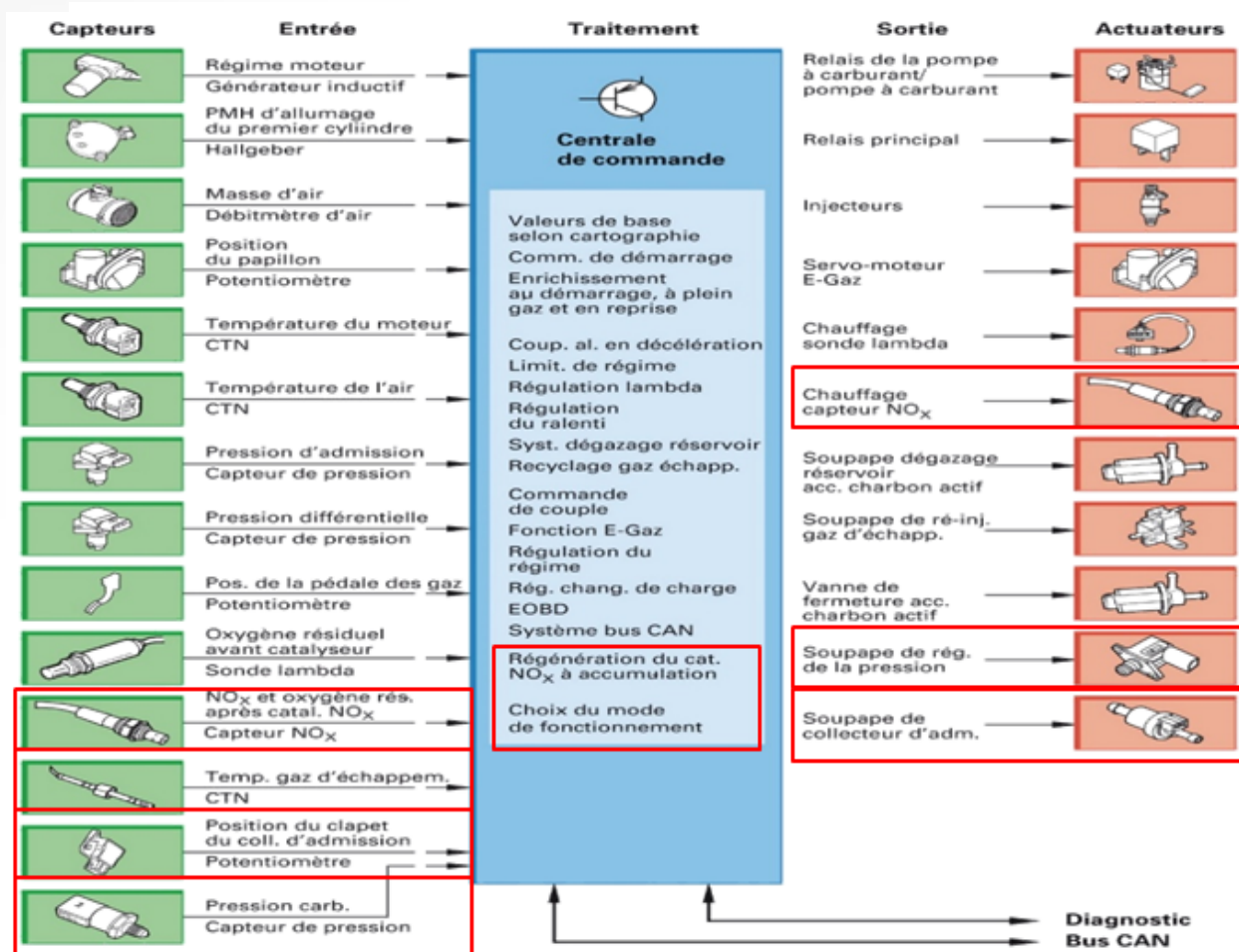


✓ **Capteur de position de pédale d'embrayage :**

l'injection est brièvement réduite en vue d'éviter un à-coup du moteur lors du passage du rapport.



✓ **Schéma synoptique :**



## 6- Les systèmes d'allumage :

### a- Les principes de la combustion :

✓ **La température de l'auto inflammation :**

C'est la température ou le mélange air essence s'enflamme de lui-même sans l'apport d'étincelle.

### ✓ Le délai de l'auto inflammation :

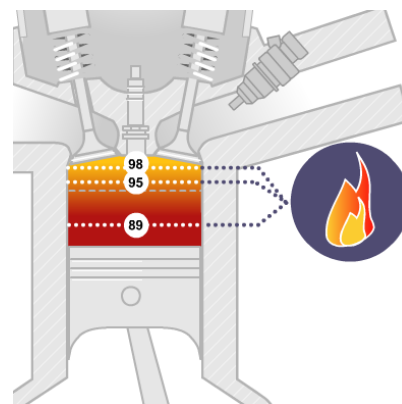
Le délai d'auto inflammation (dai) est le temps qui sépare le moment où la température d'auto inflammation est atteinte, et le début de la combustion.

### ✓ L'indice d'octane :

C'est un nombre qui caractérise le délai de d'auto inflammation du carburant.

Plus l'indice d'octane est élevé plus le délai de l'auto inflammation est élevé, donc la combustion est contrôlée.

Si l'indice d'octane est faible, il y a risque d'une combustion incontrôlée.



### ✓ Le rôle de l'allumage :

Le rôle de l'allumage est d'amorcer la combustion du mélange air-essence à l'instant le plus favorable.

La combustion transforme le mélange en énergie calorifique, cette chaleur augmente la pression dans la chambre de combustion ce qui provoque le déplacement du piston.

La combustion du mélange se produit en deux phases :

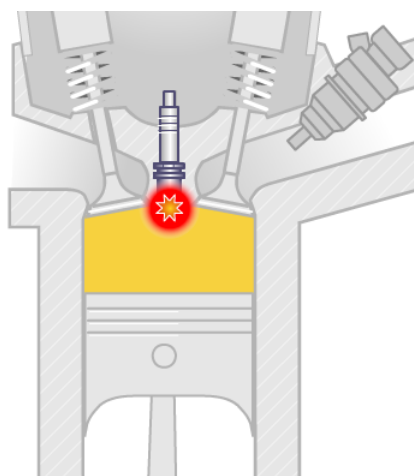
#### ❖ L'Amorçage :

Qui amener un point de mélange à une température suffisante à l'inflammation.

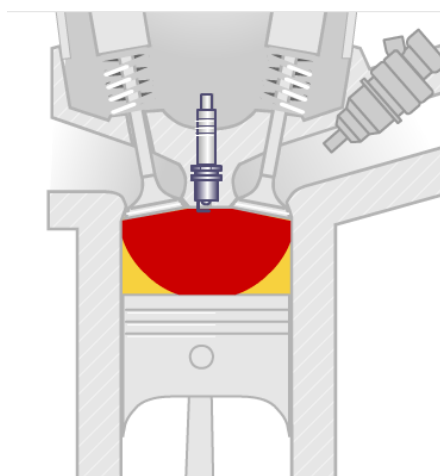
#### ❖ La propagation du front de flamme :

Permet l'inflammation du mélange par couches successives progressivement.

La combustion du mélange n'est pas instantanée, le temps entre l'amorçage et la combustion complète est d'environ **2ms**.



1 Amorçage

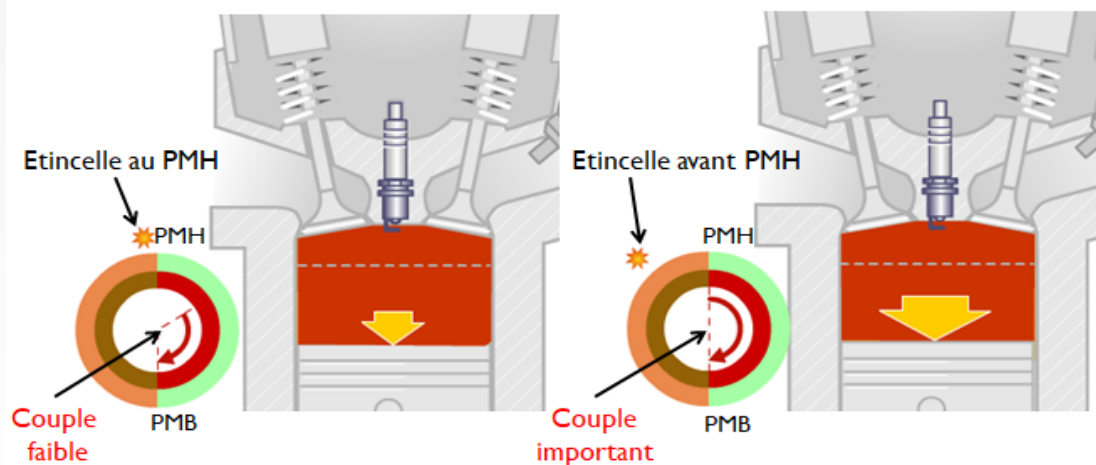


2 Propagation du front de flamme

### ✓ L'avance à l'allumage :

Pour obtenir la plus grande force exercée sur le piston, il est nécessaire d'amorcer la combustion en fin de compression avant le PMH du piston.

L'allumage avant le PMH s'appel **l'avance à l'allumage (AA)**.



### ✓ Les types de la combustion :

#### La détonation

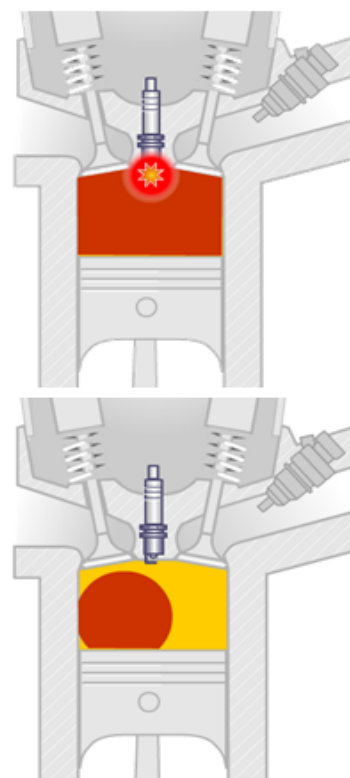
L'amorçage débute normalement mais lors de la propagation du front de flamme le mélange s'enflamme instantanément.

Causes: indice d'octane faible

#### L'auto allumage

C'est l'inflammation spontanée du mélange avant l'apparition de l'étincelle.

Causes: Compression excessive du mélange  
(Modification du rapport volumétrique)



## Le pré-allumage

C'est l'inflammation non commandée du mélange avant l'étincelle due à un point chaud.

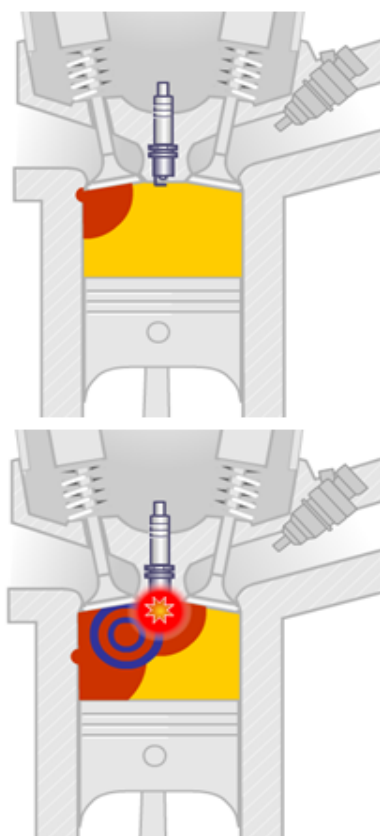
Causes: Soupape d'échappement trop chaude.  
Electrode de bougie trop chaude.

## Le cliquetis

C'est l'explosion d'une partie de la masse du mélange qui n'a pas été atteint par le front de flamme .

La rencontre de deux front de flamme produit une élévation brutale de pression et de température, ainsi qu'une onde de choc appelé cliquetis.

Causes: Pression élevée dans la chambre  
Température élevée dans la chambre  
Avance à l'allumage trop important



## Conséquences

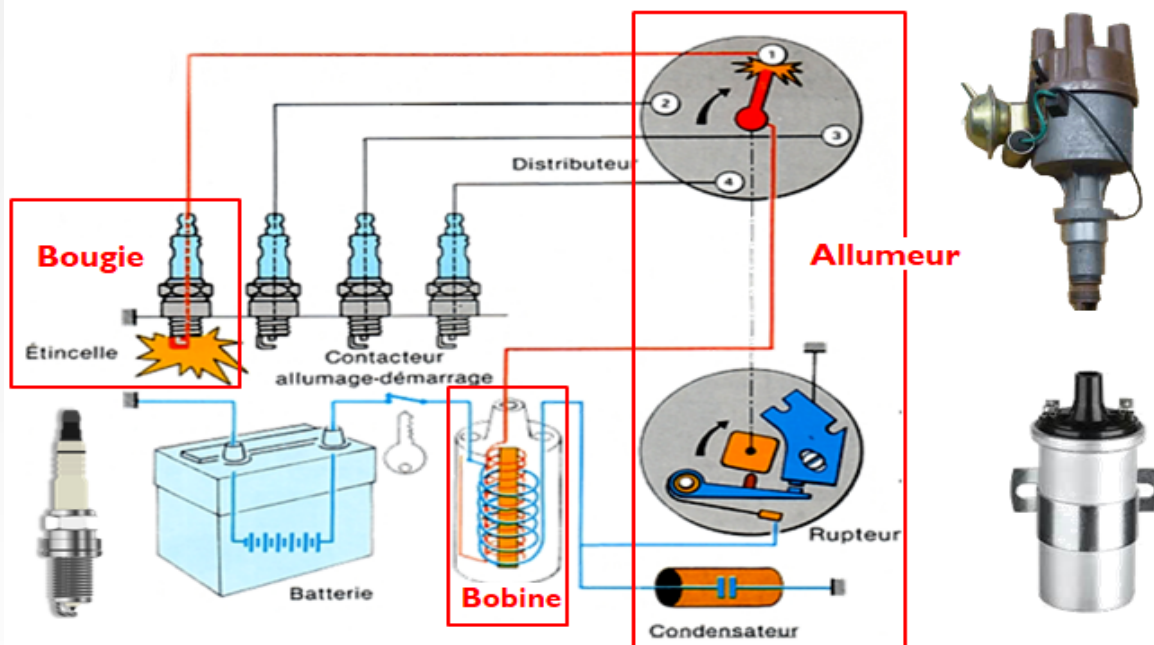
Ces défaut de combustion peuvent occasionner :

- Une perte de puissance due a une mauvaise combustion.
- Un échauffement anormal du moteur
- La fusion des éléments en contact avec la flamme
- Une fatigue des organes mécaniques

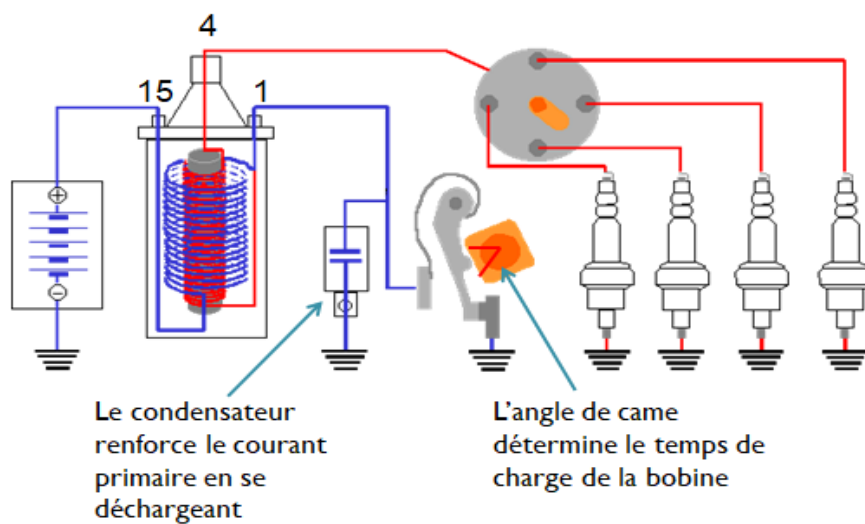


## a- L'allumage classique :

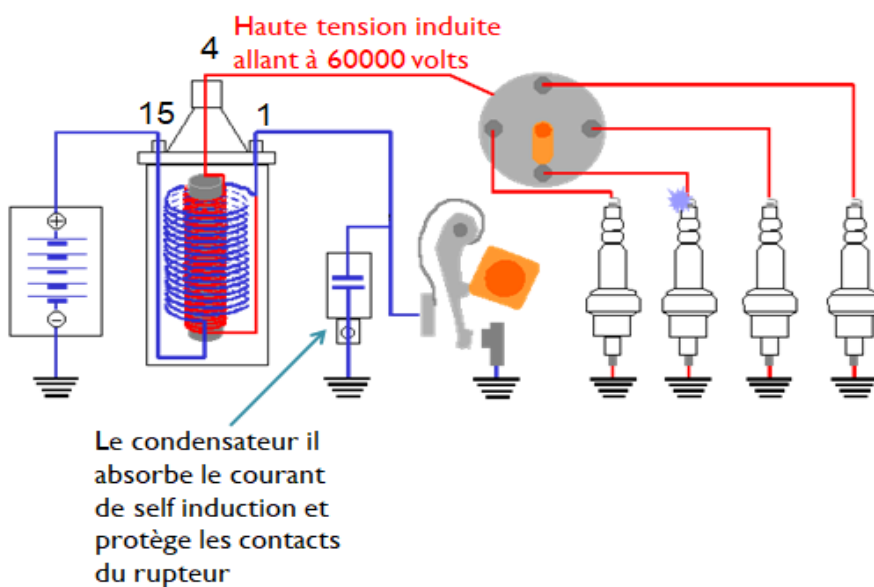
Le dispositif d'allumage classique mécanique est constitué de trois organes distincts :



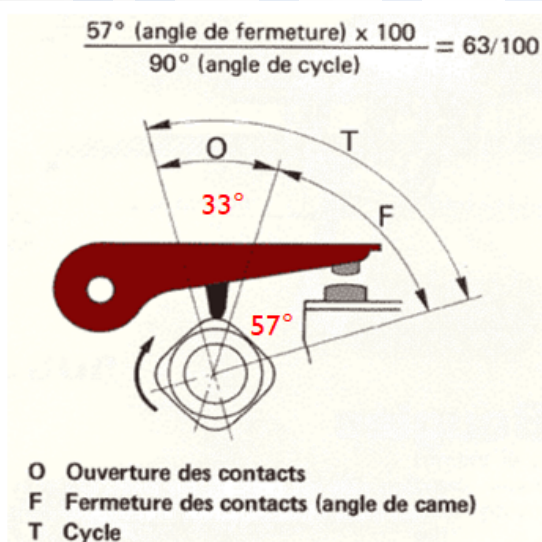
### Rupteur fermé



### Rupteur ouvert



✓ **L'angle de came :**

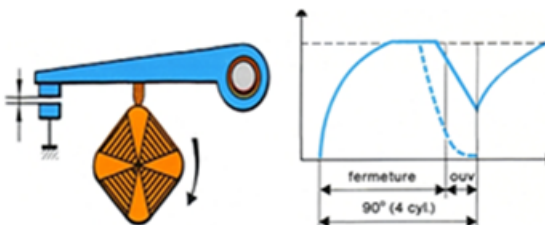


✓ **Influence de l'angle de came :**

**Angle de came trop grand**

Ecartement des contacts insuffisant :

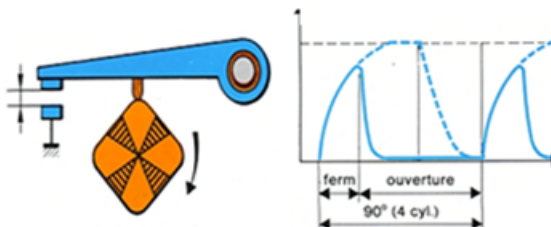
- ✓ Point d'allumage retardé
- ✓ Rupture pas assez franche
- ✓ Variation de flux pas assez rapide
- ✓ Etincille faible
- ✓ Risque d'échauffement de la bobine



**Angle de came trop petit**

Ecartement des contacts trop grands :

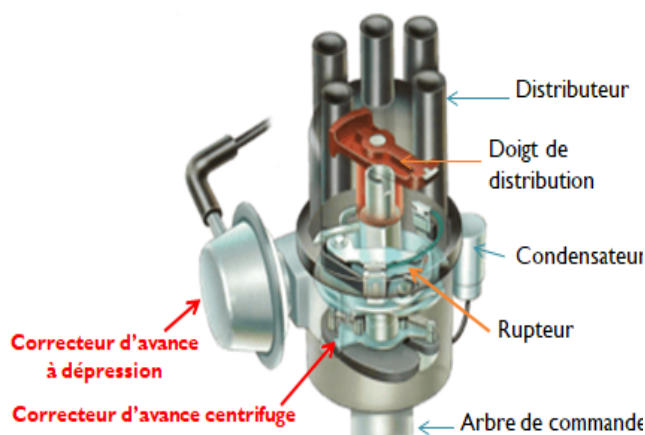
- ✓ Point d'allumage avancé
- ✓ Remplissage primaire insuffisant
- ✓ Flux magnétique réduit
- ✓ Ratés d'allumage à haut régime



✓ **La distribution :**

La distribution est assurée par le distributeur, elle tient compte de :

- La position du vilebrequin
- L'ouverture du rupteur
- L'ordre d'allumage



✓ **Le calage initial :**

Le calage est défini par le constructeur, il est valable pour le régime de ralenti.

✓ **Les correcteurs d'avance :**

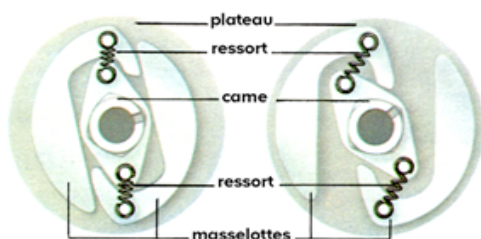
Le régime moteur peut varier pour une même position d'accélérateur.

Le remplissage du moteur varie en fonction de la position d'accélérateur.

Il faut donc modifier le point d'allumage en fonction :

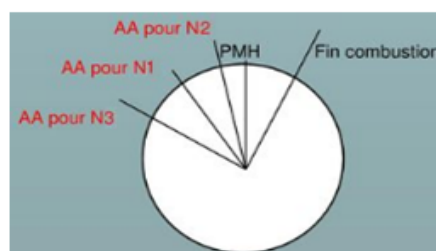
- ✓ du régime moteur → Correcteur d'avance centrifuge
- ✓ du remplissage du cylindre → Correcteur d'avance à dépression

**Correcteur d'avance centrifuge**



Décale l'arbre de commande de l'arbre porte came

Modification de l'avance à l'allumage en fonction du régime moteur



Position de l'accélérateur	Toujours la même position (ex. : 1/3 d'accélération)		
Régime moteur	Route plate N = 2000 tr/min	En montée N = 1000 tr/min	En descente N = 3500 tr/min
Temps de combustion	Pour une même position de l'accélérateur le temps de combustion reste identique (ex. : t = 2 millisecondes)		
Vilbrequin durant la combustion	<b>24°</b>	<b>12°</b>	<b>42°</b>




Avance moyenne

Avance diminuée

Avance augmentée

**Correcteur d'avance à dépression**

Modification de l'avance à l'allumage en fonction du remplissage du cylindre (charge)

Régime moteur	Route plate N = 2000 tr/mn	En montée N = 2000 tr/mn	En descente N = 2000 tr/mn
Position de l'accélérateur			
Durée de combustion	Ex. : t = 2 millisecondes	Remplissage important Vitesse de combustion élevée La durée de combustion est courte	Remplissage mauvais Vitesse de combustion faible La durée de combustion augmente

Avance moyenne

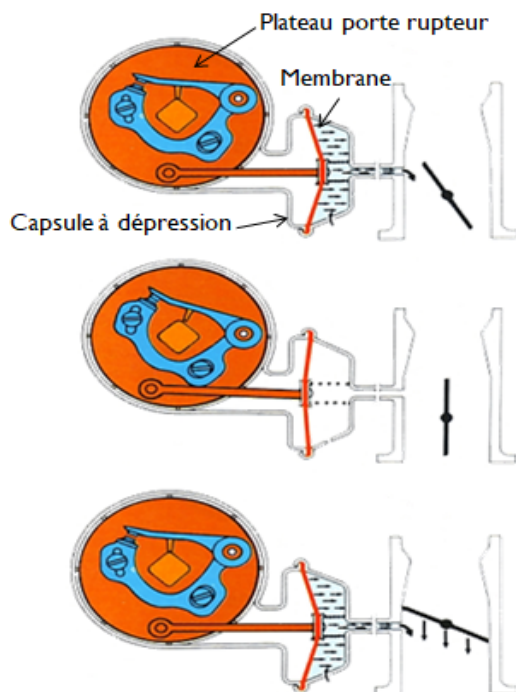
Avance diminuée

Avance augmentée

## Correcteur d'avance à dépression

- Route plate  
Avance à l'allumage moyenne
- En montée  
L'avance à l'allumage diminue
- En descente  
L'avance à l'allumage augmente

Décale le plateau porte rupteur de l'axe porte came



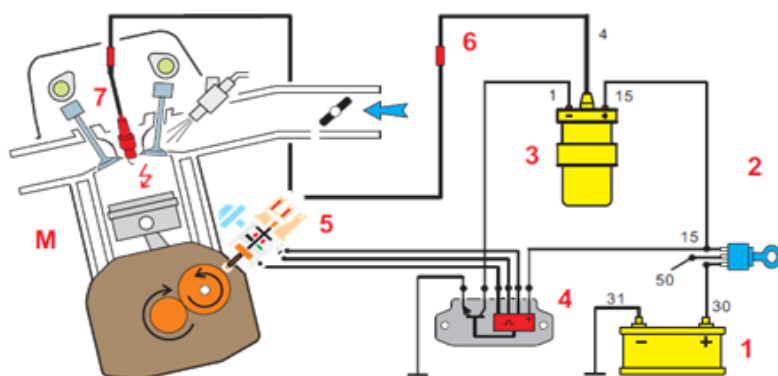
### b- L'allumage transistorisé :

On distingue plusieurs systèmes de commande d'allumage avec générateur d'impulsion :

- ✓ Générateur inductif
- ✓ Le générateur à effet-hall

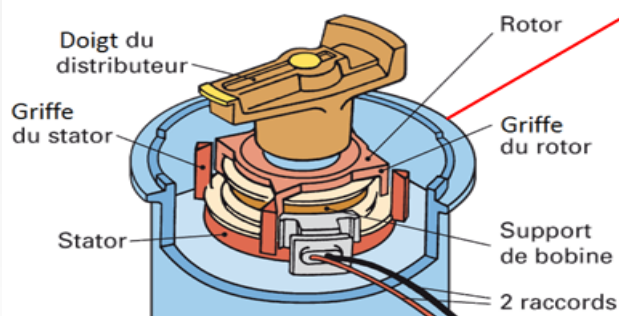
L'allumage transistorisé sans rupteur conserve des systèmes précédents :

- ✓ La distribution du courant haute tension en utilisant le doigt de distributeur et la tête de l'allumeur.
- ✓ Les dispositifs de correction d'avance centrifuge et d'avance à dépression.
- ✓ La bobine d'allumage, elle a des caractéristiques différentes de celles de l'allumage classique.

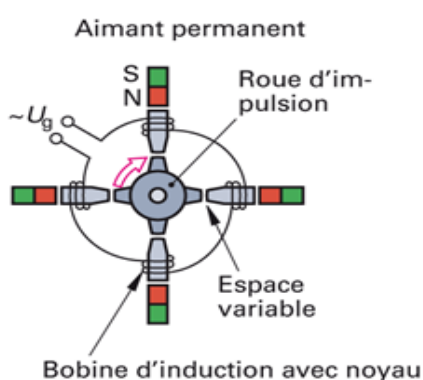
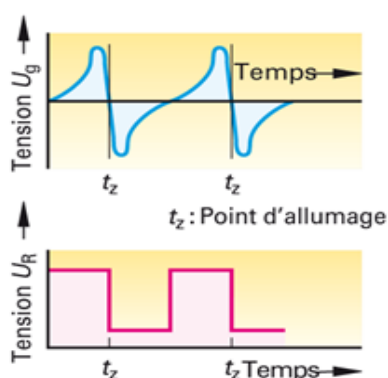


- 1- Batterie
- 2- Contact d'allumage
- 3- Bobine d'allumage
- 4- Boîtier électronique
- 5- Distributeur d'allumage
- 6- Résistante
- 7- Bougie d'allumage

✓ **Générateur d'impulsion inductif :**

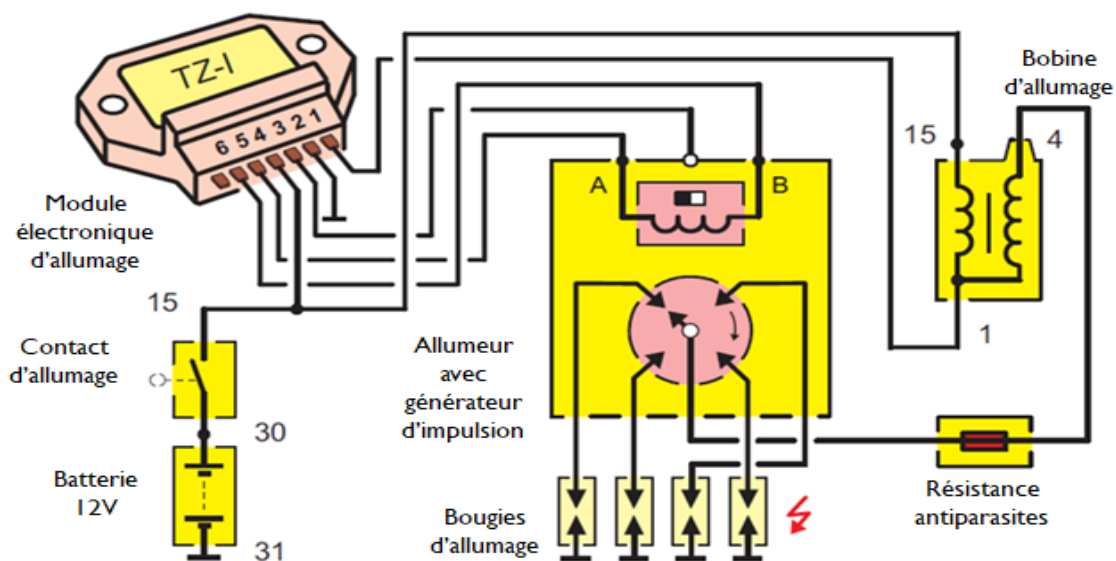


Son signal alternatif est utilisé pour commander l'allumage en passant par le module électronique

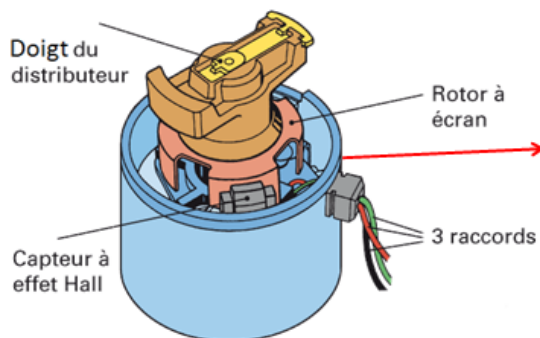


**Correction d'avance a l'allumage**

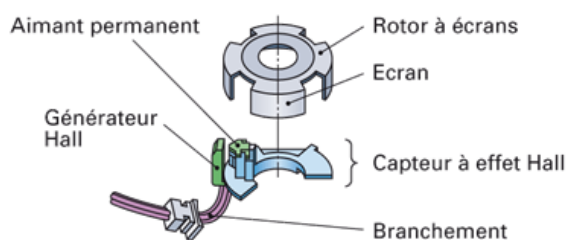
- Avance centrifuge : décale le rotor par rapport à l'arbre de commande.
- Avance à dépression : décale le stator par rapport au rotor.



✓ Générateur à effet hall :

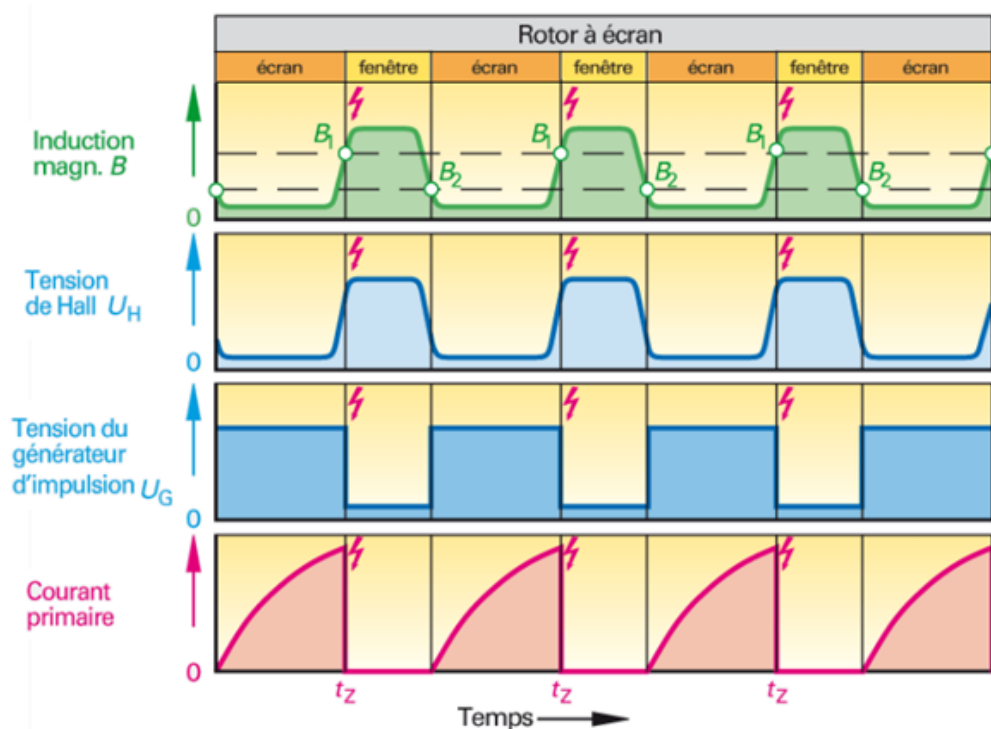


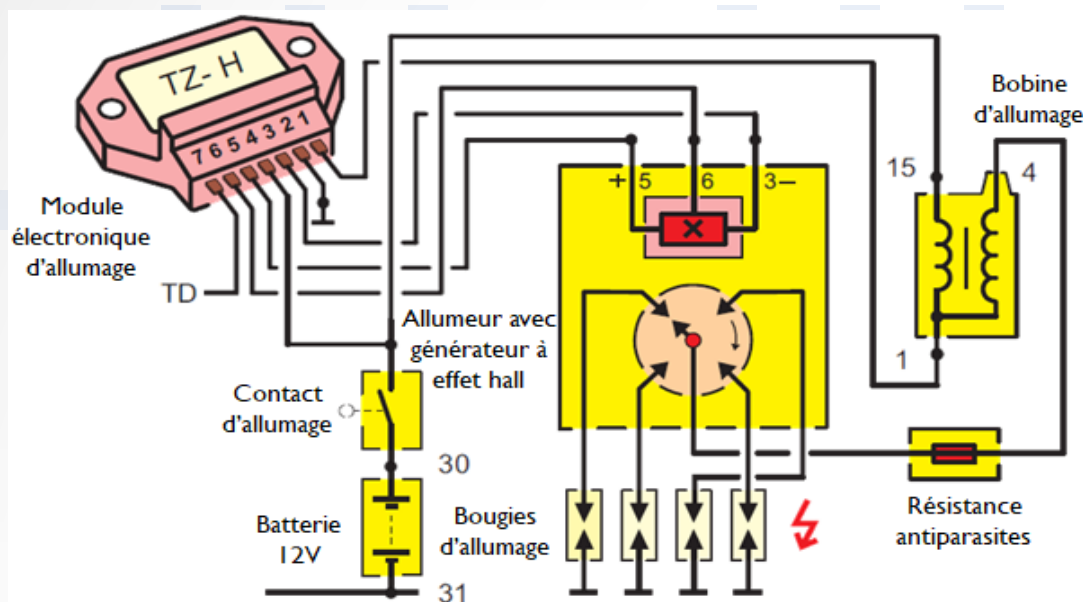
Son signal carré est utilisé pour commander l'allumage en passant par le module électronique



Si le capteur est en face d'un écran = la tension est nulle

Si le capteur est en face d'une fenêtre = une tension est produite





### Avantages :

- ✓ La haute tension secondaire est plus importante
- ✓ La coupure est plus rapide et plus franche
- ✓ Pas d'échange de rupteur
- ✓ Pas de dérèglement de l'angle de came

### Inconvénients :

Les systèmes de correction à l'allumage restent identiques et ils sont soumis à:

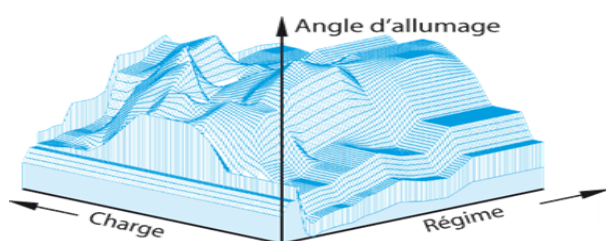
- ✓ Une usure mécanique
- ✓ Des dérèglages

La distribution de la haute tension est soumise à:

- ✓ Une usure par contraintes thermiques ( fente de la tête, corrosion du doigt et des plots du distributeur).
- ✓ Des problèmes d'humidité.

### b- L'allumage électronique :

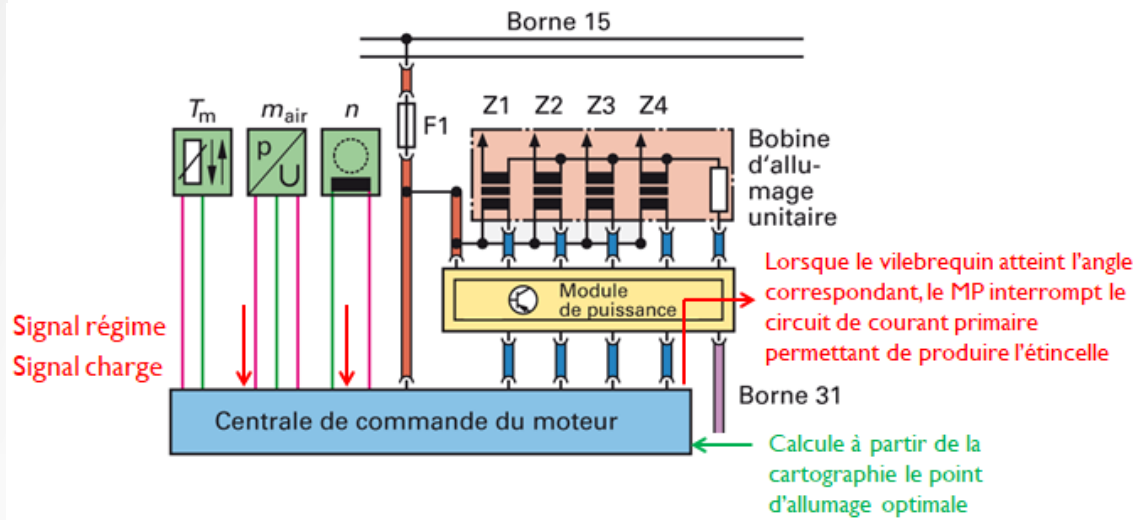
#### Cartographie



• Point d'allumage optimal est défini sur un banc d'essai et mémorisé dans le calculateur sous forme de cartographie

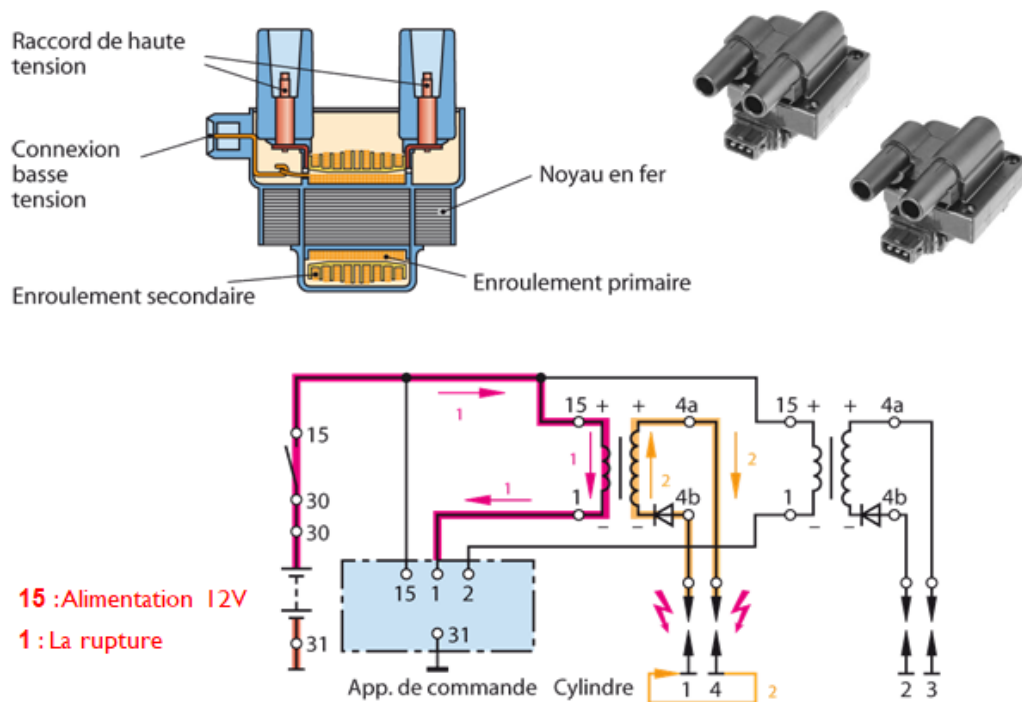
• 2 informations nécessaires :

- Charge : Débitmètre d'air ou le potentiomètre de papillon
- Régime : Capteur régime moteur

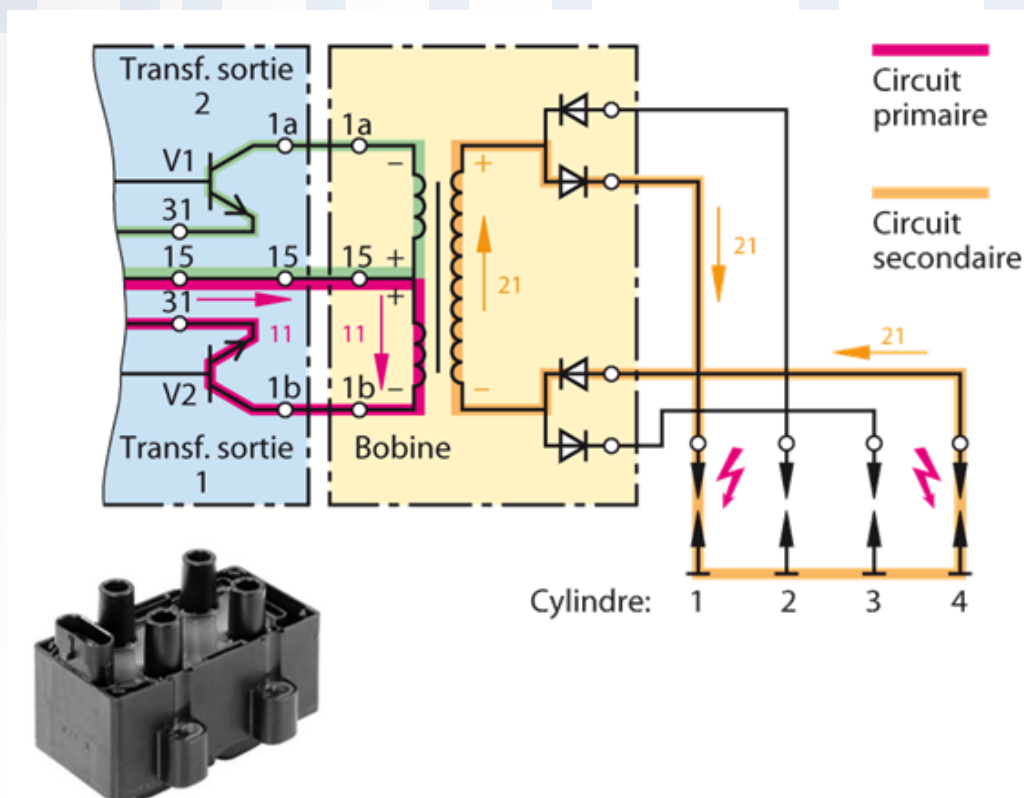


**Remarque**  
Les correcteurs d'avance mécaniques on disparues

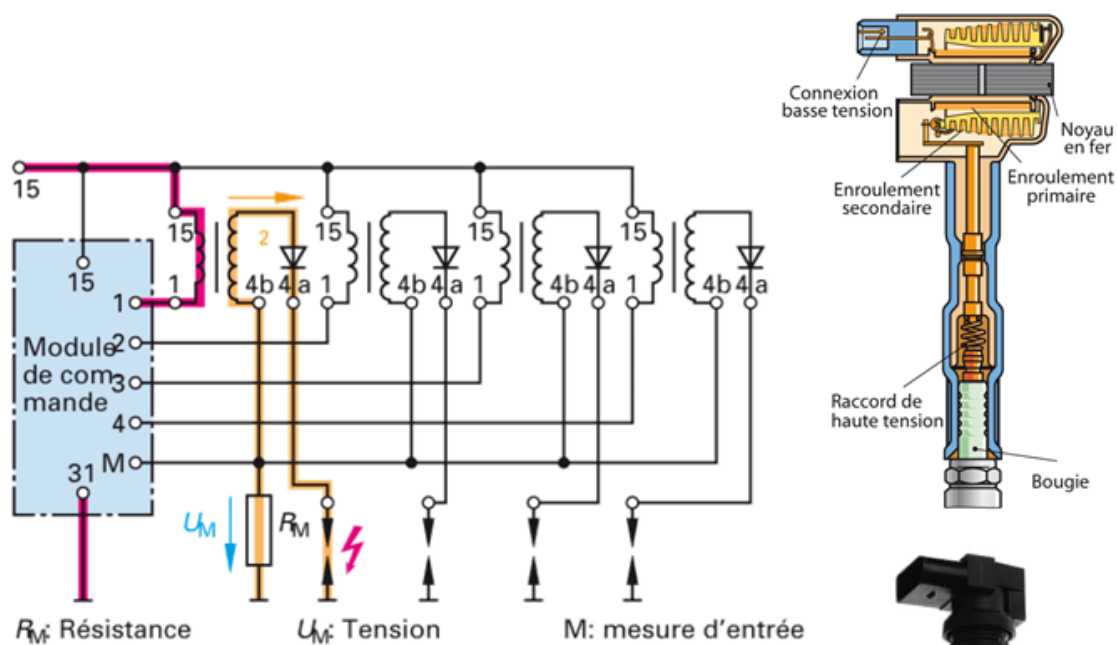
### L'allumage jumo-statique (Bobine à deux sorties) :



## L'allumage jumo-statique (Bobine à quatre sorties) :



## L'allumage statique :



15 : Alimentation 12V

1 : La rupture

4a : Bougie

4b : Surveillance de l'étincelle

Le calculateur interrompt le circuit de courant primaire grâce aux signaux:

- Capteur régime moteur
- Capteur de phase
- Charge moteur

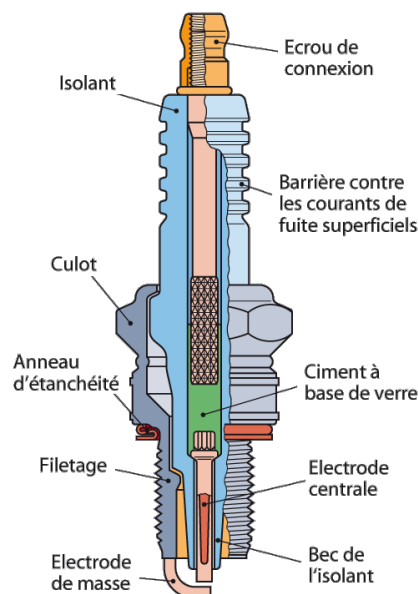


## d- Bougies d'allumage :

La bougie a pour fonction d'amorcer la combustion du mélange air-carburant au moyen d'une étincelle de haute tension, dès que la tension d'allumage est atteinte, une étincelle éclate entre les électrodes de la bougie.

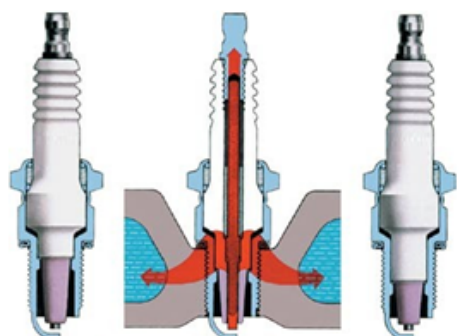
### Caractéristiques principales des bougies:

- ✓ L'indice thermique
- ✓ Le type de culot
- ✓ Le nombre d'électrodes
- ✓ Les dimensions



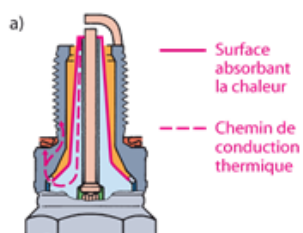
### L'indice thermique

C'est la capacité d'une bougie à absorber et évacuer la chaleur .

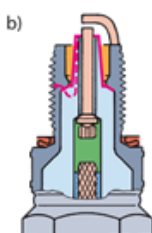


Plage d'utilisation optimale :  
entre 450 et 850°C

#### Type chaud



#### Type froid



#### Absorption de la chaleur:

On joue sur surface de contact entre l'isolant et la zone d'inflammation.

#### Evacuation de la chaleur:

On joue sur la surface de contact entre l'isolant et le culot.

## Les types d'électrodes



Mono électrode



Double électrode



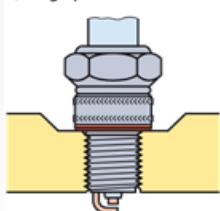
Triple électrode



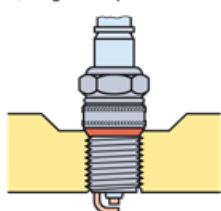
Quadruple électrode

## Type de culot

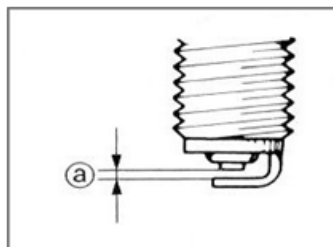
a) Siège plat



b) Siège conique



## Ecartement des électrodes



a) : distance que doit franchir l'étincelle

## 7- Les systèmes antipollution des moteurs à essence :

La pollution atmosphérique par les automobiles est due principalement au moteur qui émet :

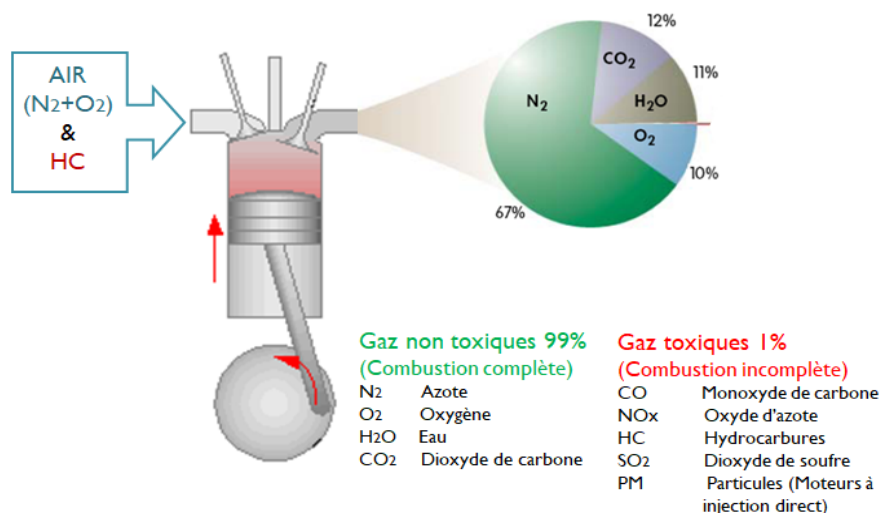
- Des gaz d'échappement renfermant 65% environ de tous les polluants engendrés par une voiture.
- Des gaz de vapeur d'huile ou gaz de carter ( $\approx 20\%$ )
- Des vapeurs d'essence issus du canister ( $\approx 10\%$ )

La pollution est due également au réservoir de carburant qui peut présenter des fuites de vapeurs de carburant d'environ (5%).

Aussi on note l'usure par frottement des pneus et de certains organes comme les freins, les embrayages... qui provoquent des émissions de particules solides ou de poussières nocifs pour la santé.



### a- Composition des gaz d'échappement :



## Gaz non toxiques

N <sub>2</sub>	L'azote	<i>C'est le composant principal de l'air, ce gaz ne participe pas à la combustion</i>
CO <sub>2</sub>	Le dioxyde de carbone	<i>C'est un gaz incolore et inodore, qui fait partie de l'air respirable, il est produit lors de chaque combustion (il n'a aucune répercutions sur la santé, mais c'est un gaz à l'effet de serre)</i>
H <sub>2</sub> O	L'eau	<i>Il se produit lors de l'oxydation de l'hydrogène</i>
O <sub>2</sub>	L'oxygène	<i>C'est le composant vital de l'air, absolument nécessaire à la combustion</i>

## Gaz toxiques

CO	Le monoxyde de carbone	<i>Gaz incolore et inodore, empêche le transport de l'oxygène dans le sang, et diminue l'oxygénation du cerveau, provoque des maux de tête et des vomissements</i>
HC	Les hydrocarbures imbrûlés	<i>Origine de l'odeur de gaz, ils sont responsable du brouillard de pollution appelé smog et des pluies acides, et cause des irritations des voies respiratoires et des yeux.</i>
NO <sub>x</sub>	Les oxydes d'azote (NO, NO <sub>2</sub> , ...)	<i>Ils entraînent l'irritation des voies respiratoires son inhalation prolongée peut mener jusqu'à la destruction du tissu pulmonaire</i>
PM (Particulate Matter)	Les particules	<i>Ce sont les particules riches en carbone, un taux élevé de particules fines dans l'air provoque des pathologies respiratoires et cardiovasculaires</i>

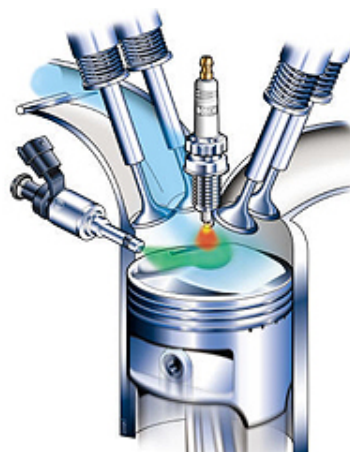
### ✓ Développement des gaz toxiques dans l'échappement :

#### Monoxyde de carbone (CO)

Suite à un mélange riche et par manque d'oxygène, le carbone C ne trouve pas assez d'oxygène O<sub>2</sub> pour former le CO<sub>2</sub>.

#### Les hydrocarbures (HC)

Il s'agit d'une part d'hydrocarbures imbrûlés dus à un mélange



riche et peu homogène, d'autre part à des vapeurs d'huile et d'essence qui n'ont pas brûlées à l'intérieur du cylindre.

### Oxydes d'azote (NOx)

Suite à des températures élevées dues au fonctionnement en excès d'air, et aux pressions élevées dans la chambre de combustion, L'Oxygène O<sub>2</sub> qui se trouve en abondance dans la chambre de combustion entre en réaction avec l'Azote N<sub>2</sub> pour former des NOx.

### Particules

Les particules et la fumée noire sont produites pendant une combustion avec manque d'oxygène, par les petites gouttes de carburant qui ne s'évaporent pas complètement et se carbonisent dans leur partie centrale sous l'effet de la température élevée.

### b- Les norms antipollution :

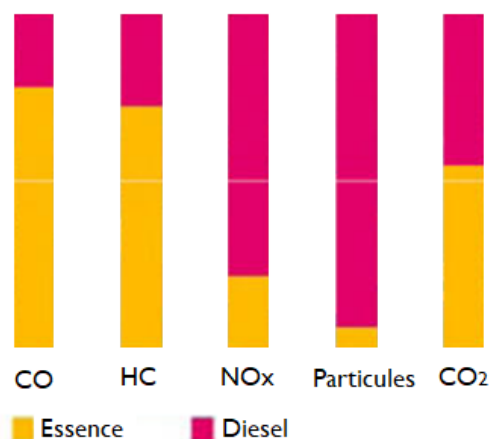
Les normes européennes d'émission, dites normes Euro sont des règlements de l'Union européenne qui fixent les limites maximales de rejets polluants pour les véhicules roulants.

Il s'agit d'un ensemble de normes de plus en plus strictes s'appliquant aux véhicules neufs.

Leur objectif est de réduire la pollution atmosphérique due au transport routier.

ESSENCE	TT	CO (mg/km)	HC (mg/km)	NOx (mg/km)	PARTICULES en masse (mg/km)
Euro1	01/1994	2720	-	-	-
Euro2	01/1997	2200	-	-	-
Euro3	01/2001	2300	200	150	-
Euro4	01/2006	1000	100	80	-
Euro5	01/2011	1000	100	60	5.0
Euro6	09/2015	1000	100	60	4.5

Comparaison des émissions (Essence et Diesel)



### c- Contrôle des gaz d'échappement :

L'analyse des gaz d'échappement est une façon efficace pour diagnostiquer un problème de combustion, de dosage air-essence, de défauts au niveau des dispositifs antipollution ou bien, d'un dérèglement du moteur.

Cette analyse est effectuée pour les moteurs à essence avec un analyseur des gaz d'échappement.

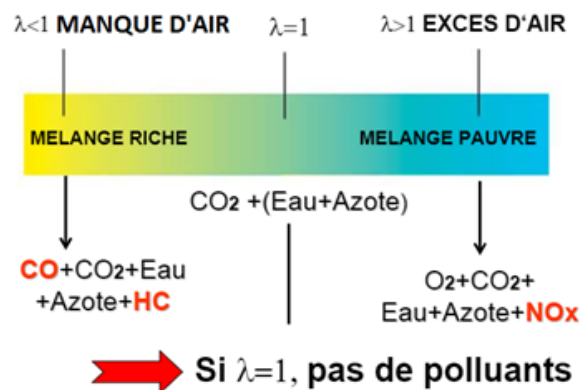
Les émissions des gaz d'échappement prélevées à la sortie du système d'échappement sont mesurées et affichées comme suit :

- en PPM (parties par million) pour les HC, les NOx
- en % (pourcentage par volume) pour le CO et le CO2



### d- La régulation lambda :

• Le dosage du mélange air / essence a une grande influence sur la formation des trois composants nocifs principaux.



• La régulation Lambda permet de maintenir le rapport air /essence à la valeur  $\lambda= 1$

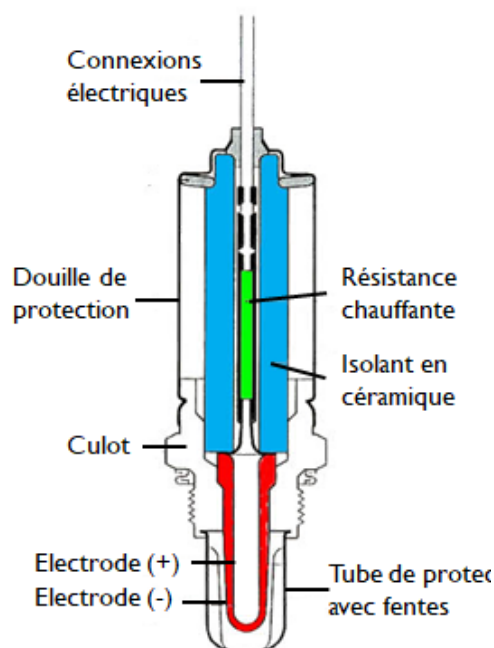
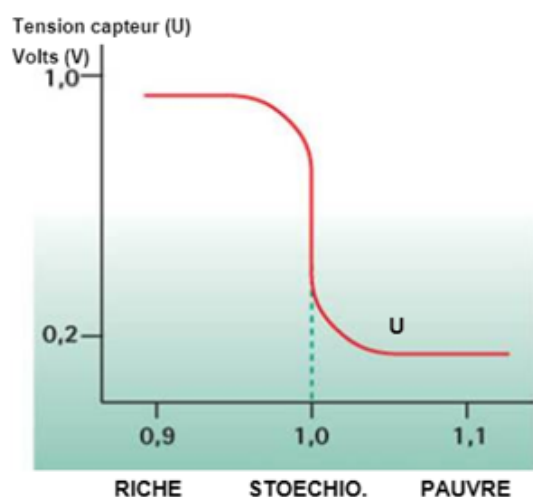
• Dans un dosage de 1/14.8 la combustion est complète, le coefficient d'air lambda égale à 1

• Le principe de la régulation repose sur la mesure de la teneur d'oxygène résiduel dans les gaz d'échappement au moyen de la sonde Lambda .

## • La sonde lambda à dioxyde de zirconium

➤ La différence de teneur en oxygène entre gaz d'échappement et l'air extérieur génère dans la sonde une variation de la tension électrique (de 0.1 à 0.9V) cette variation permet d'identifier  $\lambda = 1$ .

- Tension de 100mV (0.1V) le mélange est pauvre
- Tension de 900mV (0.9V) le mélange est riche
- $\lambda = 1$  la tension oscille entre 450mV et 500mV ( $\approx 0.5V$ )

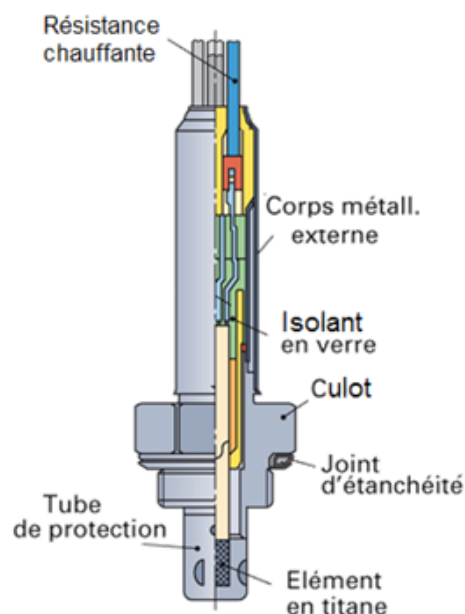
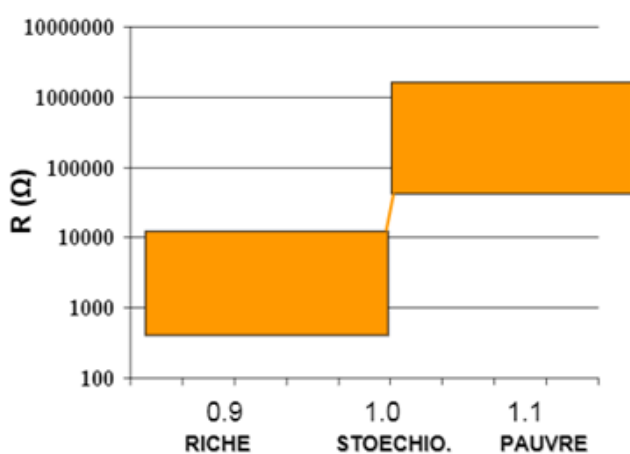


Sonde opérationnelle entre 350 et 900°

## • La sonde lambda à dioxyde de titane

➤ La résistance électrique de l'élément de dioxyde de titane évolue en fonction de la concentration d'oxygène dans les gaz d'échappement.

- Présence d'O<sub>2</sub> = l'élément devient moins conducteur  
Résistance élevé
- Baisse d'O<sub>2</sub> = l'élément devient plus conducteur  
Résistance faible

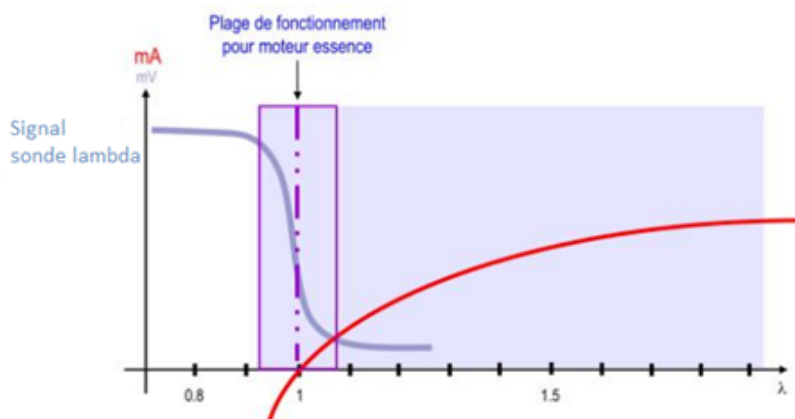
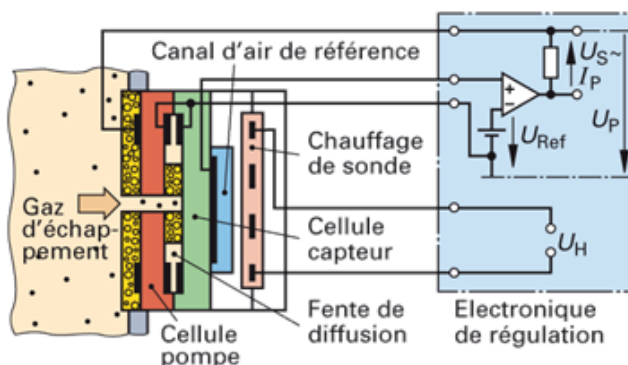


Sonde opérationnelle entre 200 et 700°C

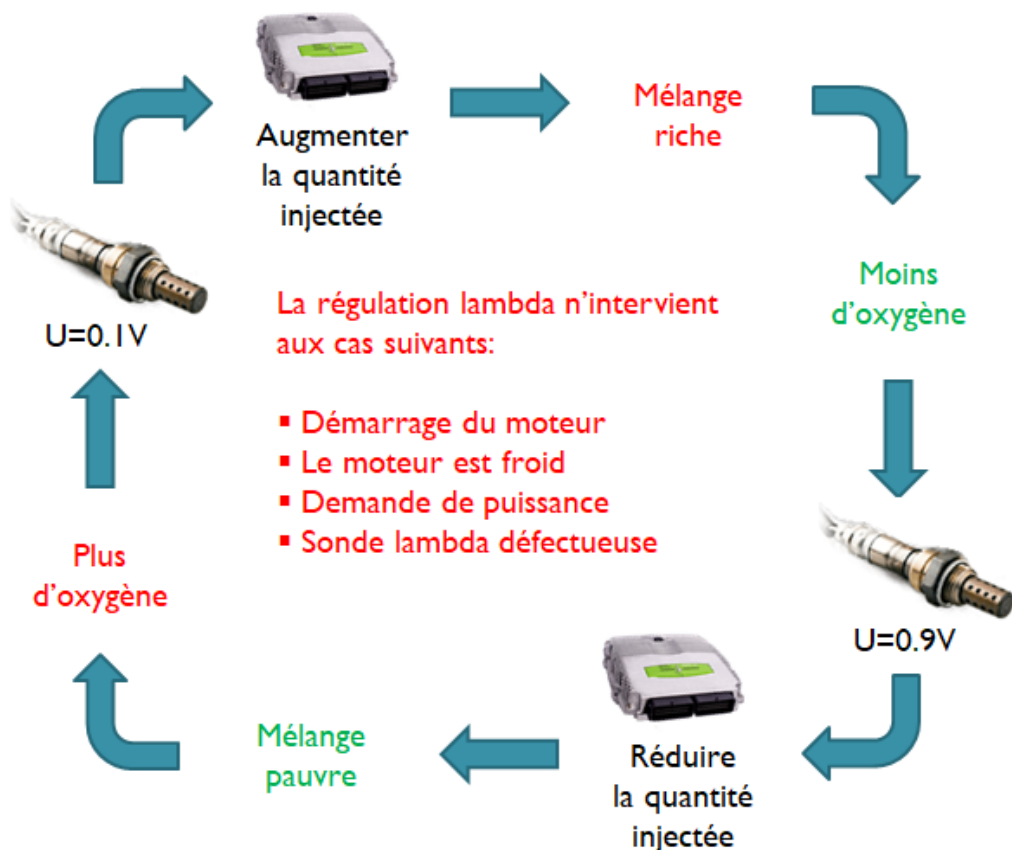
## • La sonde lambda à bande large (proportionnelle)

➤ Elle permet de déterminer la proportion d'oxygène dans les gaz d'échappement sur une plage large de mesure

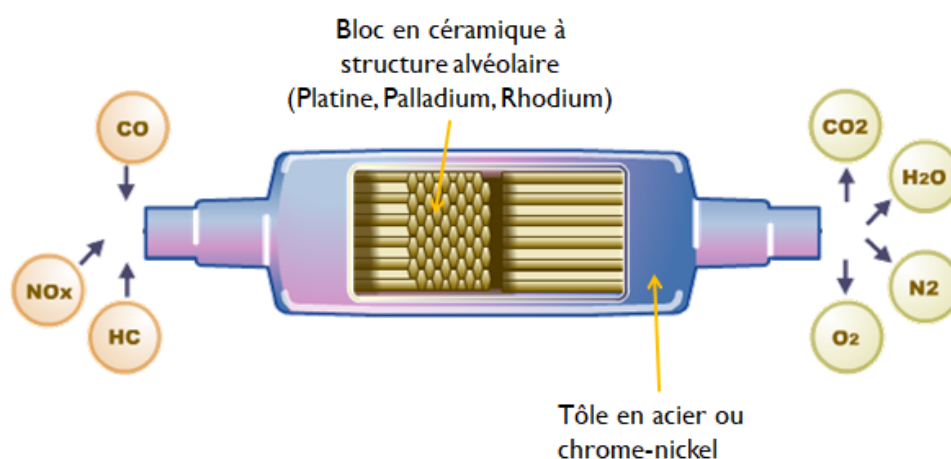
➤ Son fonctionnement est plus rapide et plus précis, sa sensibilité est maximale autour de lambda égale 1 et s'aggrave avec un mélange de plus en plus pauvre.



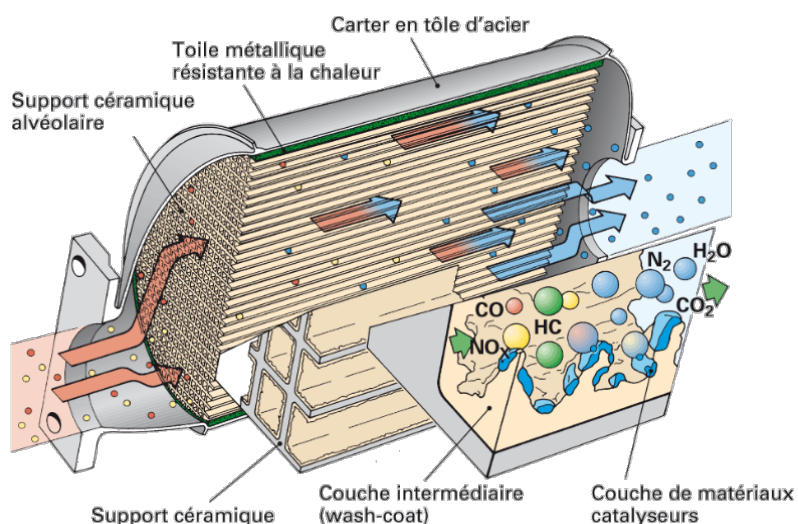
## • Boucle de régulation lambda



## e- Le convertisseur catalytique (Le catalyseur à 3 voies) :



- Effet du Platine (Oxydation CO) :  $2 \text{CO} + \text{O}_2 \Rightarrow 2 \text{CO}_2$
- Effet du Palladium (Oxydation HC) :  $2 \text{C}_2\text{H}_6 + 7 \text{O}_2 \Rightarrow 4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
- Effet du Rhodium (Réduction NOx) :  $2 \text{NO} + 2 \text{CO} \Rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{CO}_2$



Il est opérationnel à partir d'une température d'amorçage de 250°C.

Il est pleinement efficace au-delà de 450°C.

Au-delà de 1000°C la céramique est détruite.

Lorsque le mélange est pauvre :

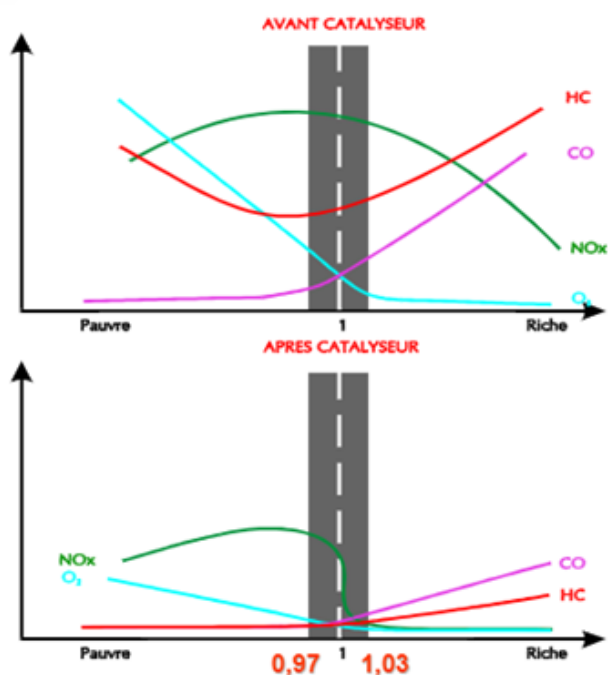


Lorsque le mélange est riche :

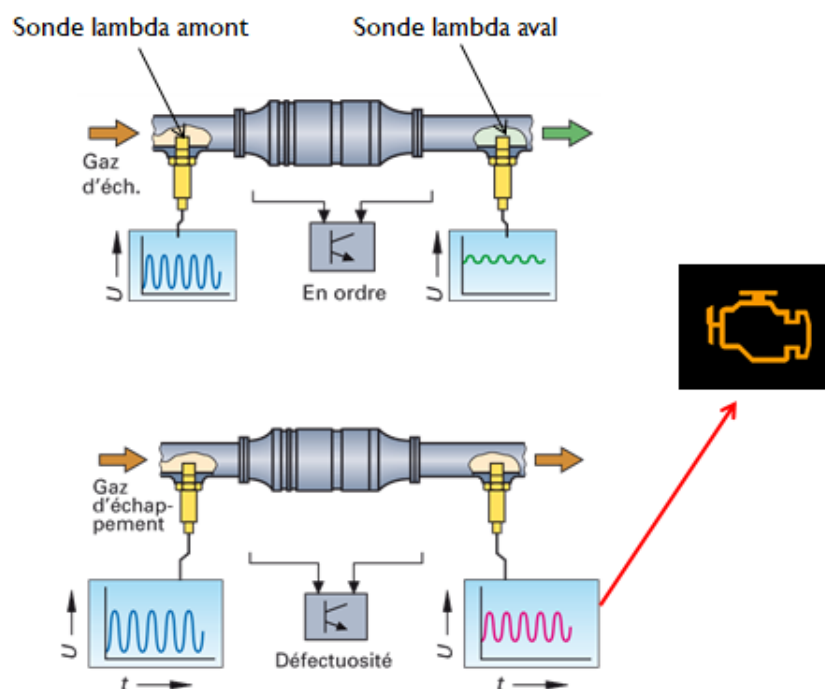


Lorsque le mélange est stœchiométrique :

La plupart des gaz sont traités



### Surveillance du catalyseur



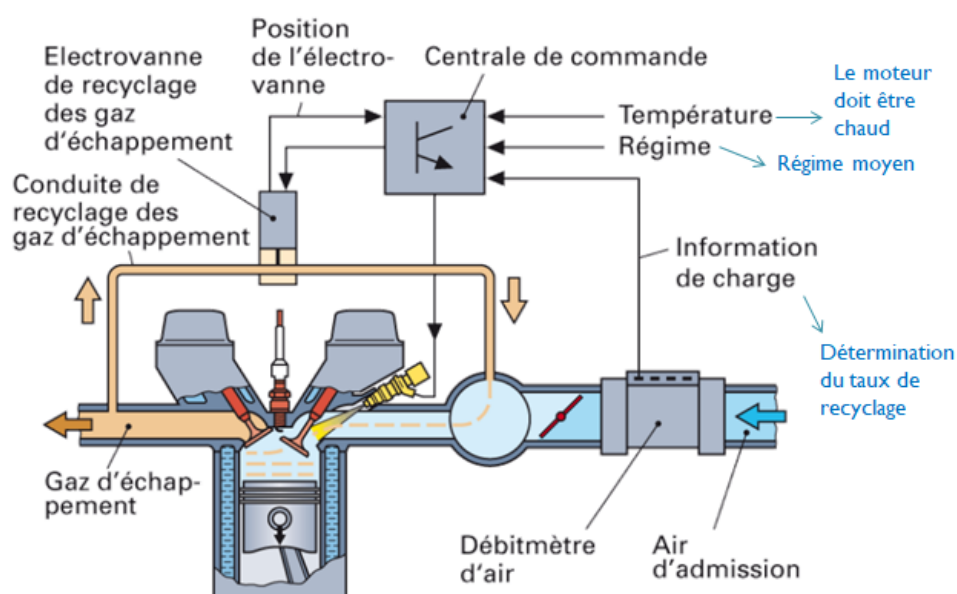
### e- Le recyclage des gaz d'échappement EGR :

Réduire la température de la chambre de combustion en diminuant l'oxygène  
= Réduction des NOx

✓ **Le recyclage interne :**



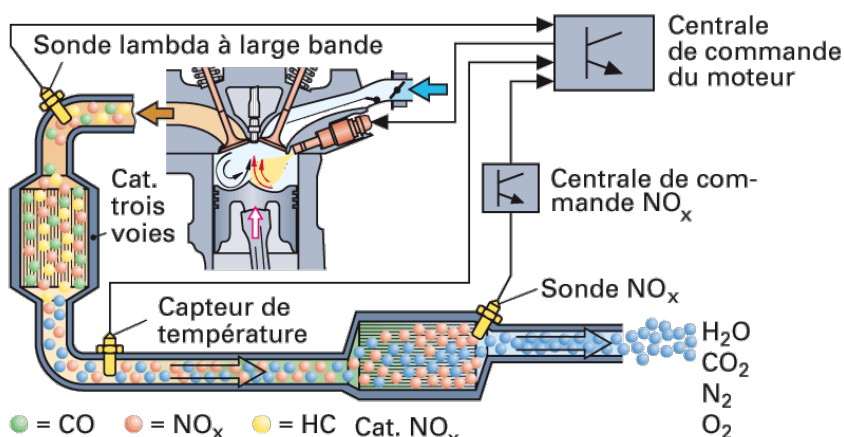
✓ **Le recyclage externe :**



f- **Le catalyseur de stockage des NOx :**

La combustion en mélange pauvre génère une quantité importante d'oxydes d'azote que ni l'EGR, ni le catalyseur 3 voies ne sont capables de traiter en suffisance.

Connue aussi sous le nom NSR (NOx Storage Reduction) ou Piège à NOx, c'est un catalyseur qui piège les NOx pour être traités et convertis en gaz neutres.



Il fonctionne par alternance: une phase de stockage puis une phase de réduction :

- **Phase de stockage (ou chargement) :**

Le moteur fonctionne en mélange pauvre (mode stratifié), et les NOx sont stockés.

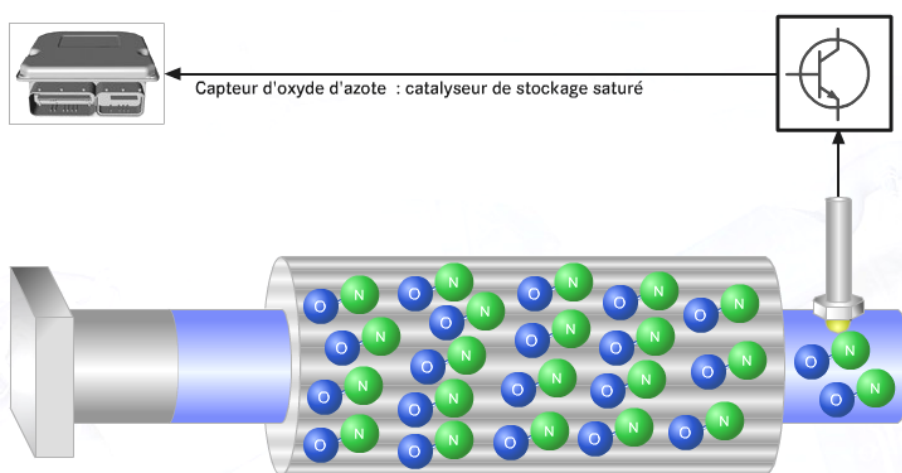
- **Phase de réduction (ou purge) :**

Périodiquement, le système passe en mélange riche (mode homogène) pendant quelques secondes, au cours duquel les NOx sont déstockés et réduits en azote, grâce aux réactions avec d'autres gaz d'échappement.

Après cette réduction, le Piège à NOx est nettoyé et prêt à poursuivre son rôle.

- ✓ **Le capteur NOx :**

Il permet de déterminer selon le principe de fonctionnement d'une sonde lambda à bande large, la proportion d'oxydes d'azote et d'oxygène contenue dans les gaz d'échappement.

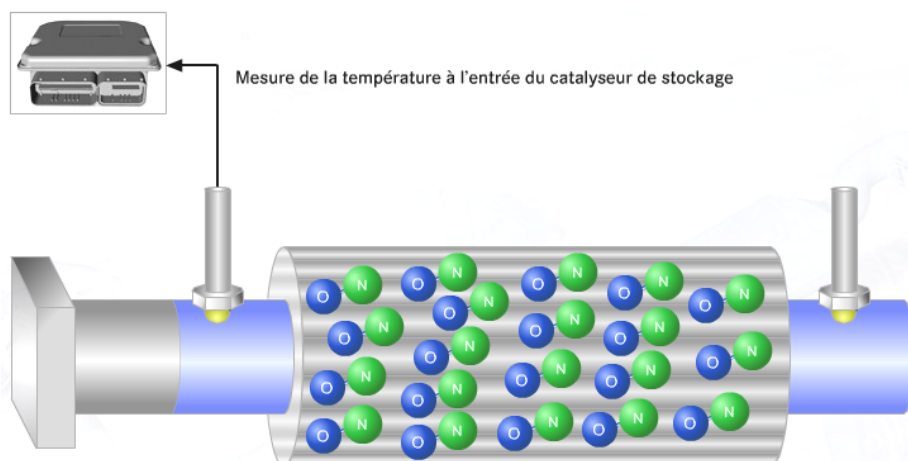


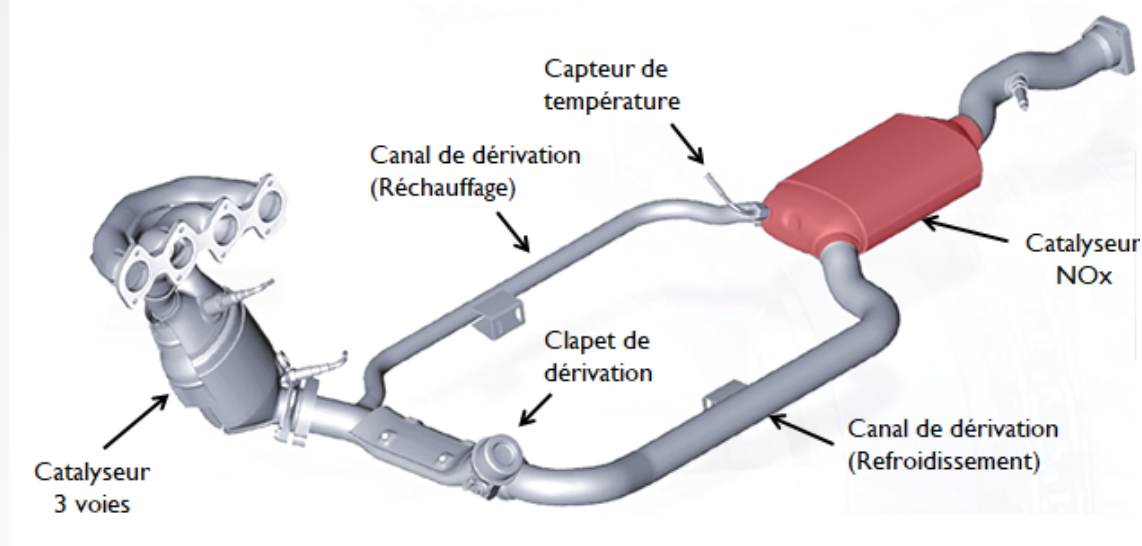
- ✓ **Le capteur de température :**

La température du fonctionnement du catalyseur NOx est entre 250 et 450°C, au delà de 750°C la céramique est détruite.

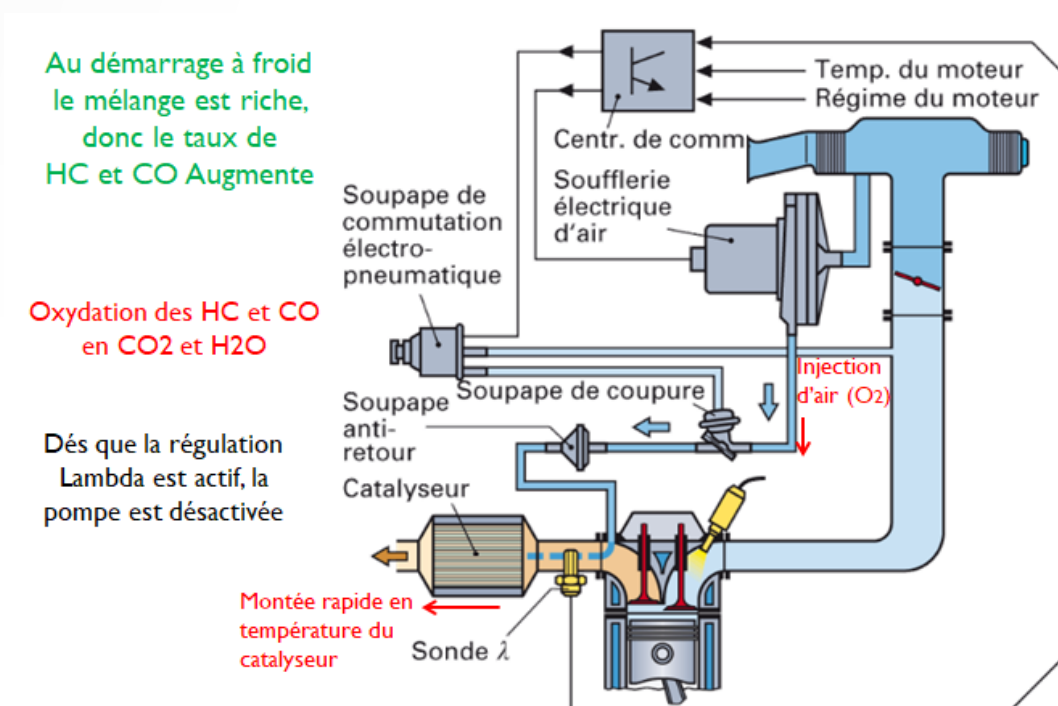
Le capteur de température permet :

- Protège le catalyseur des températures excessives.





### g- Système d'insufflation d'air ( Air additionnel ) :

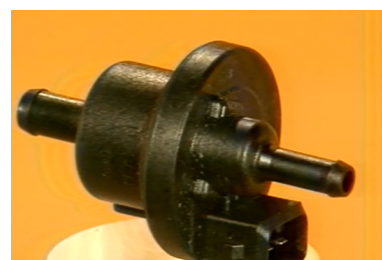


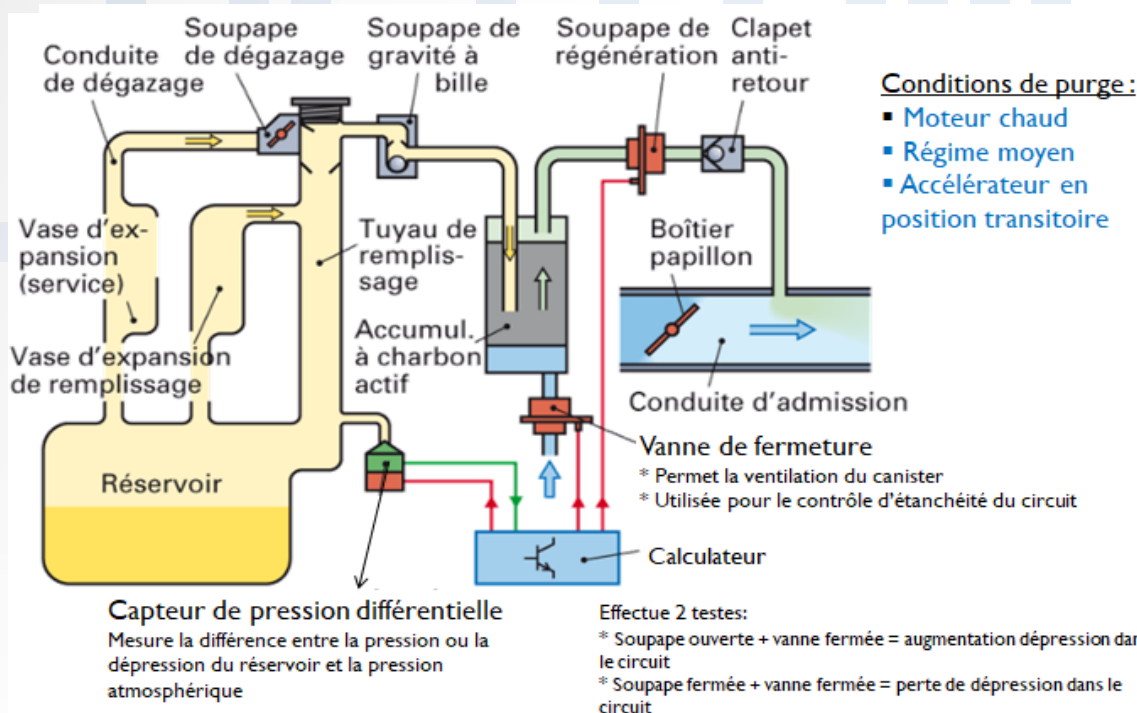
### h- La réaspiration des vapeurs d'essence :

Le système de réaspiration des vapeurs d'essence permet de recycler les vapeurs d'essence contenue dans le réservoir on les brûlant dans la chambre de combustion.

Pour cela, un accumulateur (ou réservoir) à charbon actif appelé aussi Canister joue le rôle d'une véritable éponge qui absorbe les vapeurs.

Ensuite celui-ci sera purgé via une électrovanne de purge lors du fonctionnement du moteur et les vapeurs seront brûlés.



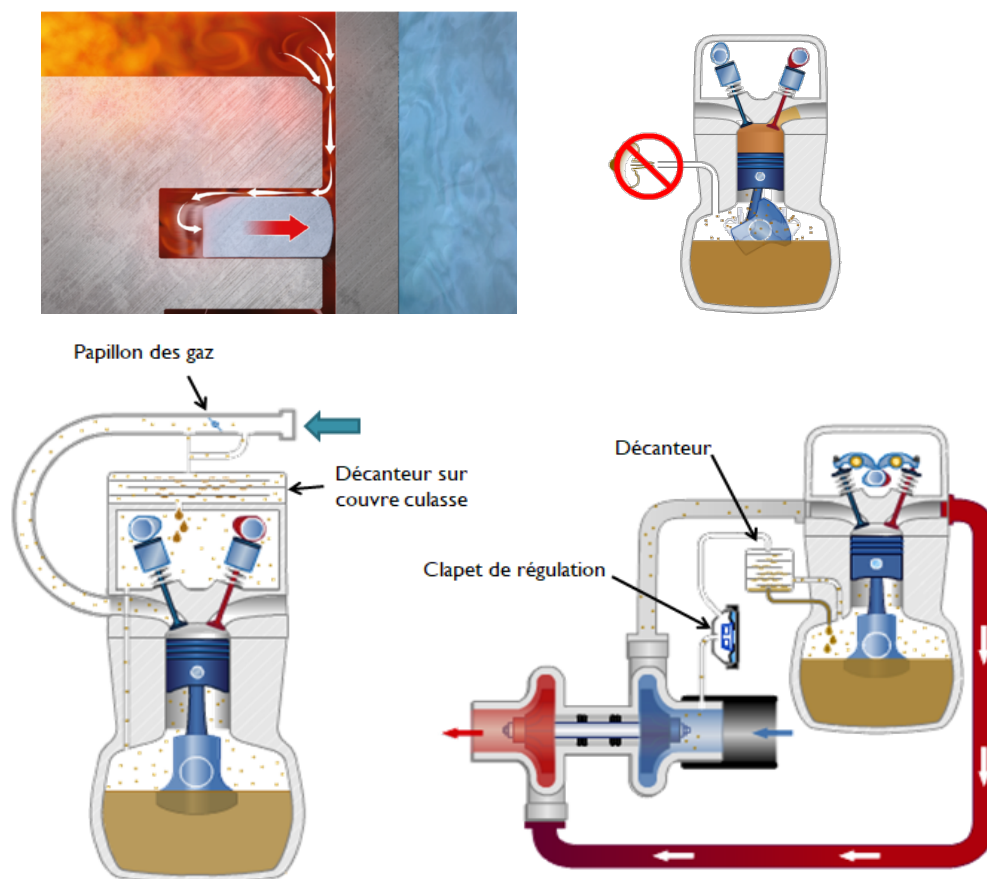


### i- La réaspiration des vapeurs d'huile :

Lors de la compression et de la combustion dans les cylindres, une partie des gaz passent dans le carter d'huile à travers les segments.

La vapeur d'huile créée augmente la pression dans le carter, et s'échappe dans l'atmosphère. Les normes anti-pollution imposent le recyclage de ces gaz riche en hydrocarbures.

C'est le rôle du système de réaspiration des vapeurs d'huile.



## k- Le système EOBD :

Les véhicules répondants aux normes antipollution à partir de l' Euro 3 sont équipés du système de diagnostic embarqué EOBD (European On Board Diagnosis) avec ce système le calculateur est capable de détecter une anomalie entraînant des émissions polluantes supérieur à la norme.

Lorsqu'une telle anomalie est détectée, le calculateur allume un voyant spécifique appelé voyant MIL (Malfunction Indicator Light).

Le voyant MIL est allumé pour informer le conducteur d'un dysfonctionnement dans le système d'antipollution du véhicule.



Le système EOBD surveille :

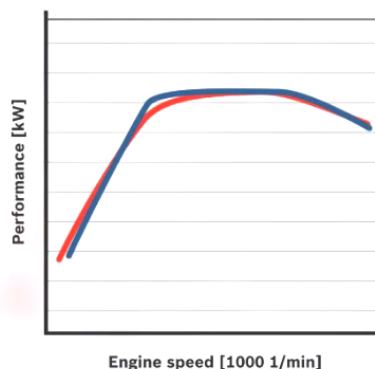
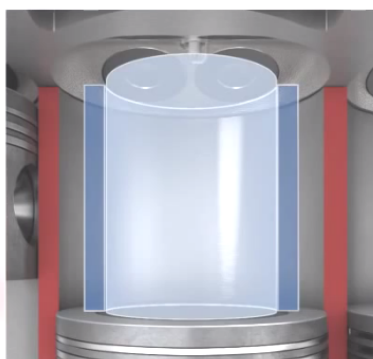
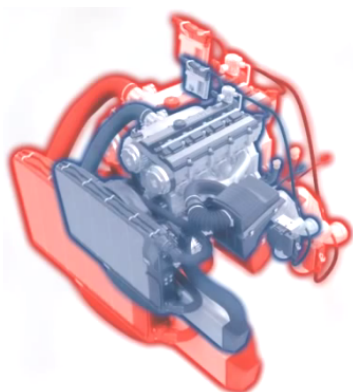
- Les ratés d'allumage (par surveillance du signal du régime moteur)
- L'efficacité du catalyseur (par comparaison des signaux amont et aval des sondes).
- L'état des sondes lambda (par vérification des caractéristiques du signal sinusoïdale).
- Le circuit de réaspiration des vapeurs d'essence.
- Le fonctionnement de l'EGR.
- Le fonctionnement de la pompe à air secondaire.

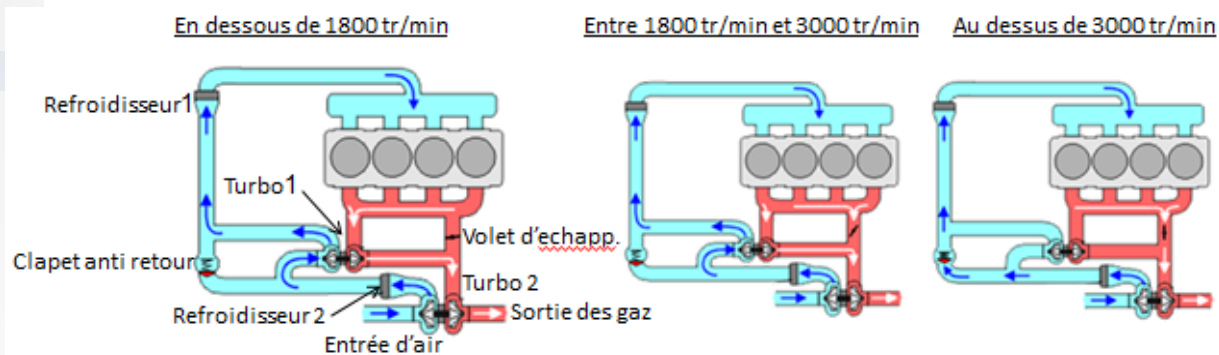
## L -Les nouveaux dispositifs de dépollution :

### Le Downsizing

Le principe du downsizing consiste à réduire la cylindrée d'un moteur pour réduire sa consommation.

Pour compenser la diminution de puissance due à une cylindrée inférieure, on ajoute une suralimentation soit par un ou plusieurs turbo compresseurs.





## Le Scavenging

Cette technologie consiste à introduire plus d'air frais dans la chambre de combustion durant le temps d'admission sur les bas régimes on jouant sur la balance des soupapes et la suralimentation pour augmenter la charge du cylindre.

Le couple à bas régime est augmenté de 50%, ce qui permet de réduire le temps de réponse du turbo compresseur, après une accélération.



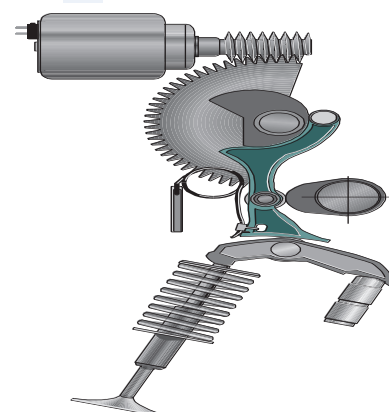
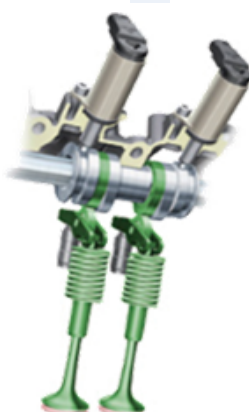
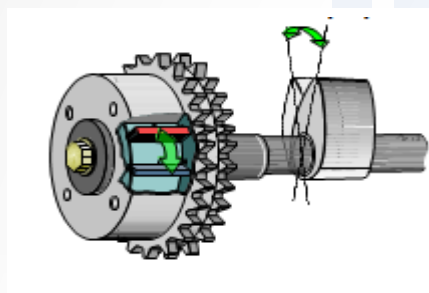
## La distribution variable

Le système de distribution variable consiste à gérer l'ouverture et la fermeture des soupapes (soit d'admission ou d'échappement ou les deux selon les systèmes) indépendamment de la distribution mécanique du moteur.

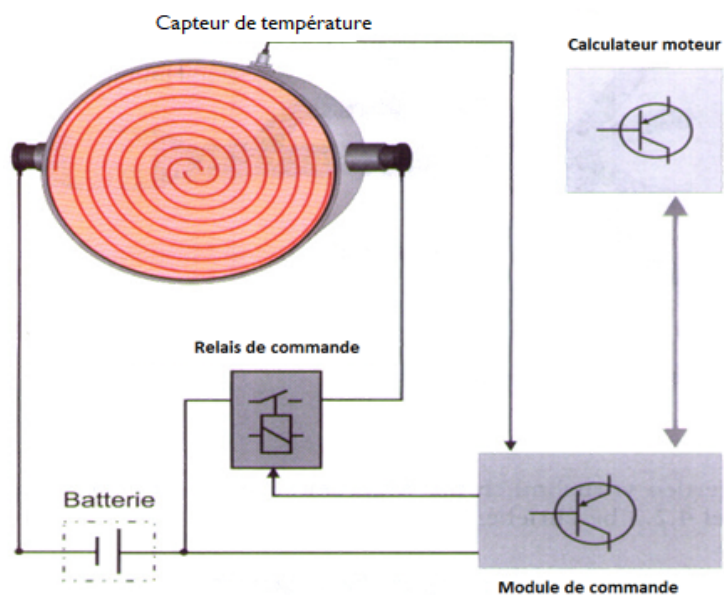
Les commandes principales possibles sont :

- ✓ Le temps de l'ouverture de la soupape
- ✓ La durée de l'ouverture de la soupape
- ✓ La distance d'ouverture de la soupape





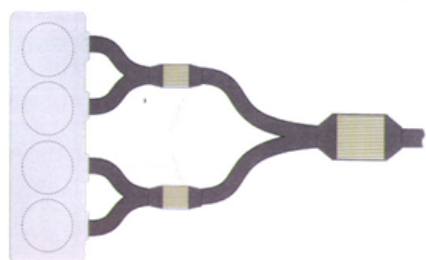
### Gestion de température des catalyseurs :



Température de service après environ 15s



Collecteur à double paroi

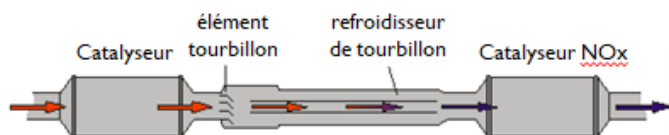


Pré-catalyseurs ou (Catalyseurs de démarrage)

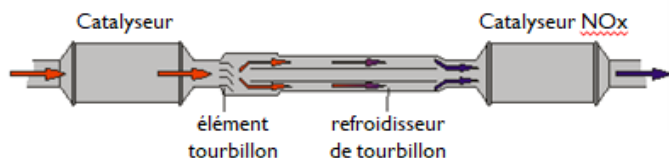


Catalyseur intégré au collecteur

• Charge moteur faible :



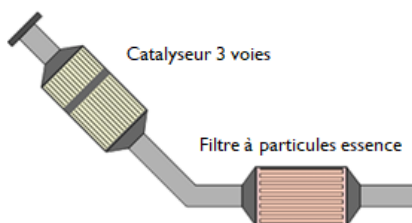
• Charge moteur élevée :



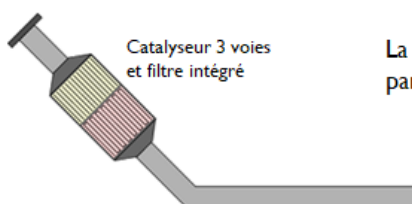
**Filtre à particules pour moteurs Essence :**

A partir de Euro 6 en 2014, le nombre de particules est requis pour les moteurs essence.

Limite les émissions de particules sur les moteurs à injection directe spécialement en mode stratifié.



La régénération du filtre à particules essence est passive



**La double injection (Dual Injection) :**

L'injection indirecte est utilisée lors des démarrages à froid et aux faibles charges.

Pour les charges partielles les deux injections fonctionnent simultanément .

L'injection directe est utilisée pour les charges plus élevées pour donner un maximum de puissance.

La combinaison des deux systèmes permet de réaliser un mélange stœchiométrique sur une large plage de travail.

Ce système permet :

- de diminuer les émissions de particules.
- réduction de la consommation.
- diminution des bruits.
- d'avoir un système secours en cas de panne.

