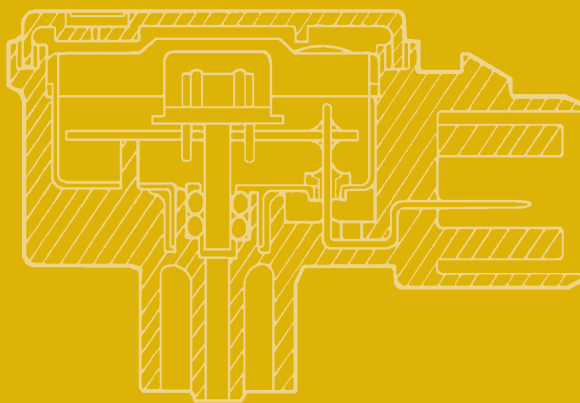


# Technologie de la moto

L E S   S Y S T È M E S   D ' I N J E C T I O N

Édité avec le concours de l'Éducation Nationale

• Électrovanne • RCO • Actuateurs • By-pass •  
Régulation • NOx • Environnement • CTN •  
Régime • Oxydation • 2 Temps • Séquentielle •  
Débit • Cliquetis • Calculateur • Multipoint •  
CTP • Potentiomètre • Insufflation • CO<sub>2</sub> • PAIR  
• Catalyseur • Euro 2 • Émissions • Pas-à-pas •



Effet hall • Injecteurs • HC • Tubulure • Pression  
• Sonde lambda • Clapets • 4 Temps • CO •  
Capteurs • Simultanée • Double papillon •  
Dépression • Soupape • Position angulaire •  
Diagnostic • Antipollution • Échappement •  $\alpha N$   
• Mesure directe • Débitmètre • Volet-sonde •  
Simple piste • Collecteur • Paramètres •  
Injecteurs • RCO • Actuateurs • By-pass •



# Technologie de la moto

L E S   S Y S T È M E S   D ' I N J E C T I O N

Édité avec le concours de l'Éducation Nationale



Créé avec la collaboration de l'INCM et du GNFA :



I.N.C.M.

(Institut National du Cycle et du Motorcycle)

Contact : Marianne LEMAIRE ☎ : 01 46 27 82 28



G.N.F.A.

(Groupement National pour la Formation Automobile)

**Contenus réalisés par :**

Pascal ILTIS et David SANGLEBOEUF pour l'INCM  
Antoine GOMEZ pour le GNFA, Centre de Blagnac (31)  
[gomez@gnfa-auto.fr](mailto:gomez@gnfa-auto.fr)



1	Historique	page 05
2	Évolution technologique	page 06
3	Les différents types d'injection	page 07
4	Les différents types de mesures de la quantité d'air aspirée	page 09
5	Le circuit d'alimentation en air	page 14
6	Le circuit d'alimentation en essence	page 21
7	Le circuit électrique	page 23
8	L'antipollution	page 32
9	L'échappement	page 40
10	L'injection deux temps	page 41
11	Le diagnostic	page 43
12	Conclusion	page 45



- 1893** Le premier brevet de moteur à combustion interne doté d'une injection est déposé par l'ingénieur Rudolph Diesel.
- 1935** Mercedes développe pour ses moteurs d'avion un système d'injection directe en collaboration avec Bosch.
- 1949** Le premier système d'injection est utilisé en automobile avec le quatre cylindres Offenhauser à Indianapolis.
- 1954** Apparition de la première voiture de (petite) série dotée d'un système d'injection : La Mercedes 300 SL.
- 1955** BMW utilise les premières applications de l'injection sur leurs motos en Grand Prix.
- 1960** MV Agusta exposa au salon de Milan un 125 monocylindre deux-temps à injection mécanique.
- 1971** Motobécane dota une 125 cm<sup>3</sup> d'un système à injection électronique, puis sur une trois cylindres.
- 1980** Apparition de la première moto de série équipée d'une injection : la Kawasaki 1 000 Z.
- 1982** Honda introduit sur le marché la CX - 500 , première moto de grande série équipée d'une injection appelée « Computerized Fuel Injection ».
- 1984** BMW équipe la série des K75 et K100.

**De nos jours**, les contraintes dues aux normes anti-pollution et la progression dans la maîtrise de la technique de l'injection, font que celle-ci s'est généralisée.

**Aujourd'hui**, l'injection équipe :

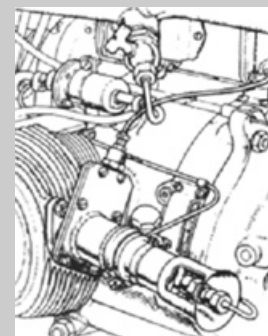
- ✓ 100 % des nouveaux modèles Ducati ;
- ✓ 80 % de la gamme Harley Davidson ;
- ✓ 100 % de la gamme Buel ;
- ✓ Les Suzuki 600, 750, 1 000 et 1 300 GSXR, TL 1000, ... ;
- ✓ Les Kawasaki ZX 12R, 1 500 Drifter, ... ;
- ✓ Les Honda 800 VFR, 600, 900 CBR, VTR 1 000 SP1 et SP2, ... ;
- ✓ Les Yamaha R1, R6, R7...



**Rudolph Diesel**



**Mercedes 300 SL**



**Moteur BMW**



**Kawasaki 1000 Z**



**Honda CX 500 Turbo**



**Honda CBR 600 FS**

Pour permettre d'alimenter des moteurs de plus en plus performants avec des régimes de rotations très élevés et des normes antipollution très sévères, de nombreux constructeurs ont fait appel à de nouvelles techniques d'alimentation des moteurs de moto : **c'est l'injection essence.**

### Principe de l'injection essence

Il s'agit d'envoyer de l'essence sous pression de différentes façons, la commande d'ouverture de l'injecteur étant électrique et gérée électroniquement grâce à un calculateur.

Les paramètres principaux de gestion du calculateur sont :

- ✓ Régime moteur et position du piston :  $N$  ;
- ✓ Position du papillon (angle d'ouverture) :  $\alpha$  ;
- ✓ Pression tubulure d'admission :  $p$ .

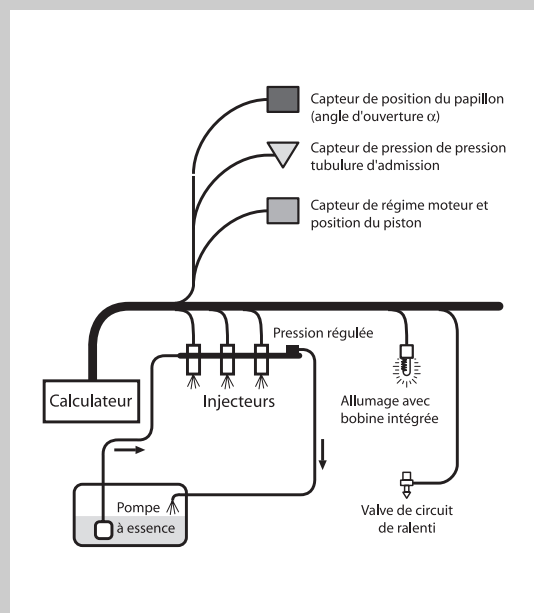
### Evolution technologique

Les deux types d'injection que l'on rencontre en moto sont :

- ✓ Type  $\alpha N$  : Le régime moteur  $N$  et l'angle d'ouverture du papillon  $\alpha$  commandent le calculateur ;
- ✓ Type  $p\alpha N$  : Le régime moteur  $N$ , l'angle d'ouverture du papillon  $\alpha$  et la pression tubulure  $p$  sont les principaux paramètres qui permettent de commander le calculateur.

**Aujourd'hui** : Pour les quatre temps, l'injection est indirecte, multipoint, électronique, discontinue, simultanée ou séquentielle, à mesure indirecte ( $p\alpha N$  ou  $\alpha N$ ) ou à système intégré. Pour les deux temps, elle est directe à mesure indirecte du débit d'air.

Type d'injection	Caractéristiques
Multipoint	Un injecteur par cylindre pulvérise le carburant
Électronique	La régulation du dosage air/essence est électronique
Simultanée	Les injecteurs pulvérisent le carburant tous ensemble
Séquentielle	Les injecteurs pulvérisent le carburant en suivant un ordre déterminé
À mesure directe	Le débit d'air aspiré est mesuré par un débitmètre
À mesure indirecte	Le débit d'air aspiré est déduit à partir de la charge et du régime
À système intégré	Le calculateur regroupe la gestion de l'allumage et de l'injection



Source INCM



Suzuki TL 1 000 S  
Injection de type  $p\alpha N$  séquentielle phasée



Ducati  
Injection de type  $\alpha N$  séquentielle phasée

En moto nous trouvons deux types d'injection :

- ✓ L'injection directe
- ✓ L'injection indirecte

## A. L'INJECTION DIRECTE

L'essence est pulvérisée directement dans la chambre de combustion.

En moto, l'injection directe est utilisée pour les deux temps afin de satisfaire les normes antipollution.

Cette injection est une injection à mesure indirecte du débit d'air, de type  $\alpha N$ .

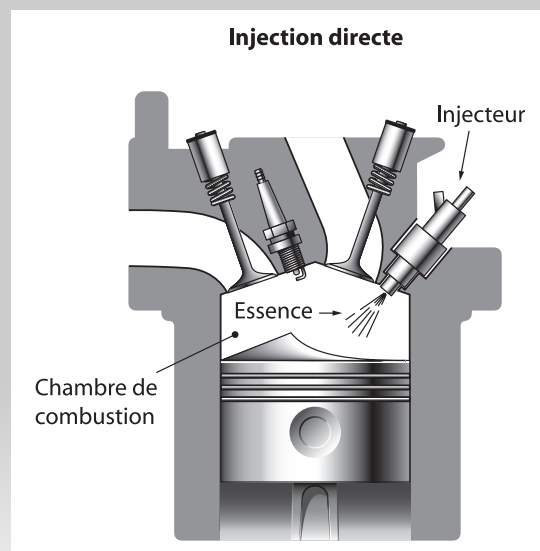
### Exemple :

Système d'injection directe pour moteurs deux temps :

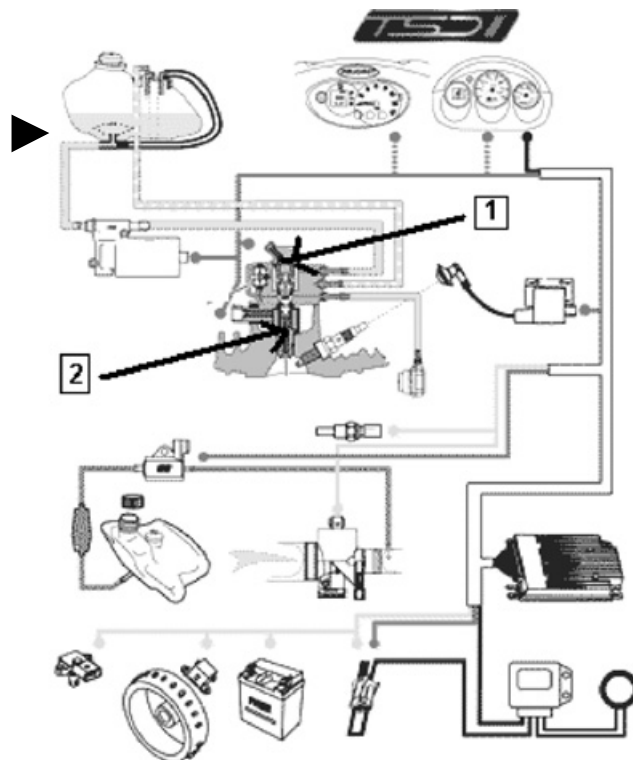
TSDI (Two Stroke Direct Injection) de la Jet Force (50 cm<sup>3</sup> Peugeot Motorcycle).

Dans le schéma ci-contre, les éléments concernant le circuit d'injection sont :

- L'injecteur d'essence (1) ;
- L'injecteur d'air (2).



Source GNFA



Source Peugeot Motorcycles



### B. L' INJECTION INDIRECTE

L'essence est pulvérisée dans la tubulure d'admission en amont de la soupape d'admission (de la même manière qu'un carburateur).

En motocycle, l'injection indirecte est essentiellement utilisée pour le quatre temps.

La première génération des injections indirectes fut équipée d'une injection à mesure directe du débit d'air.

Elles équipèrent par exemple la série des BMW K 75 et K 100.

Actuellement, la seconde génération des quatre temps est équipée d'injection indirecte à mesure indirecte du débit d'air :

- ✓ Soit de type  $p\alpha N$
- ✓ Soit de type  $\alpha N$

#### Exemple :

Système d'injection indirecte sur moteurs quatre temps : EFI.

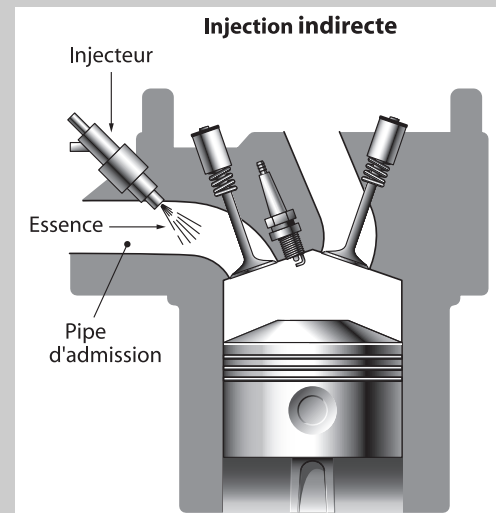
Ce système équipe : Le Jet Force 125 cm<sup>3</sup> et l'Elystar 125 cm<sup>3</sup> motorisation quatre temps chez Peugeot Motorcycle.

Le principe de base du système consiste à mesurer le régime moteur et sa charge (ouverture du papillon) pour déterminer la quantité optimale de carburant à injecter.

Ce système ne nécessite aucun réglage.

Dans le schéma ci-après, les éléments concernant le circuit d'injection sont :

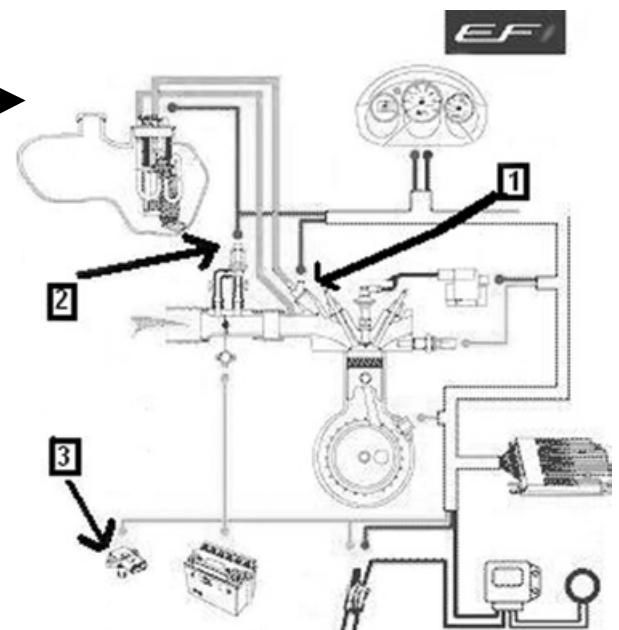
- L'injecteur essence (1) ;
- La vanne de régulation du ralenti (2) ;
- Le capteur de pression et de température de l'air (3).



Source GNFA



Source Motostation



Source Peugeot Motorcycles

## A. GÉNÉRALITÉS

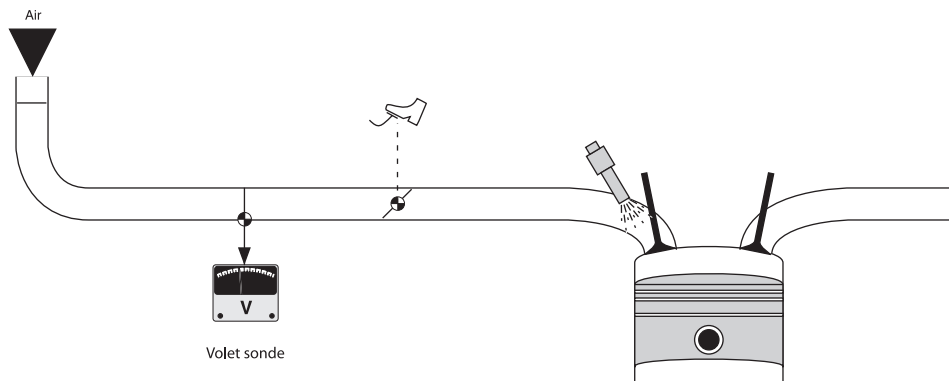
Le principe de l'injection essence est donc lié à la détermination de la quantité d'essence à injecter. Cette détermination de la quantité d'essence à injecter se fait par l'intermédiaire de la mesure de la masse d'air.

Deux types de mesure permettent d'évaluer la quantité de la masse d'air.

### La Mesure directe

En ce qui concerne le motorcycle, la quantité d'air aspirée est directement comptabilisée par un débitmètre.

Schéma de principe de la mesure directe (Source GNFA)



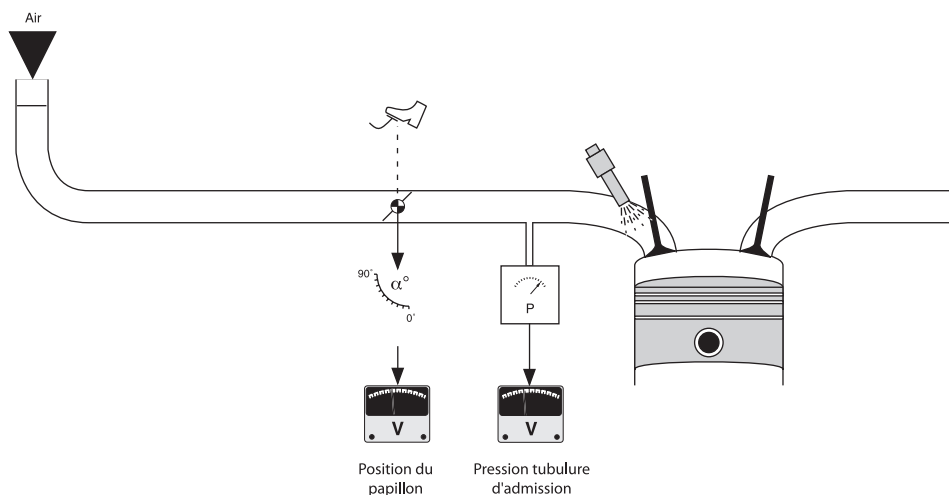
### La Mesure indirecte

Concernant les systèmes à mesure indirecte, la quantité d'air aspirée peut être déterminée par :

- ✓ La position du papillon et la vitesse du moteur ;
- ✓ La pression dans la tubulure d'admission et la vitesse du moteur (système pression régime).

De nos jours en motorcycle, la mesure indirecte a été adoptée pour les quatre temps (injection indirecte à mesure indirecte) et pour les deux temps (injection directe à mesure indirecte du débit).

Schéma de principe de la mesure indirecte (Source GNFA)



## B. LA MESURE DIRECTE

### Généralités

L'objectif est de mesurer la quantité d'air aspirée par le moteur afin de lui fournir la quantité d'essence correspondante au moyen d'injecteurs électromagnétiques, commandés par un calculateur électronique.

Dans le cas de la mesure directe, la quantité d'air aspirée est déterminée à l'aide d'un débitmètre à volet sonde.

### Principe de fonctionnement du débitmètre à volet sonde

Le principe du mesurage est fondé sur la mesure de la force provenant de l'écoulement de l'air aspiré agissant sur un volet-sonde, en s'opposant à la force d'un ressort de rappel.

Le volet est déplacé de telle façon que la section libre devienne toujours plus grande en même temps que la section de passage du canal de mesure, au fur et à mesure que le volume d'air augmente.

La variation de la section libre du débitmètre en fonction de la position du volet-sonde a été choisie de telle manière qu'il y ait corrélation logarithmique entre l'angle décrit par le volet-sonde et le volume d'air aspiré.

Ceci permet une grande précision du débitmètre lors du passage de faibles volumes d'air.

Un volet de compensation fixé au volet-sonde empêche que les vibrations provenant des diverses courses d'admission des cylindres aient une influence sur la position du volet-sonde.

La position angulaire du volet-sonde est convertie par un potentiomètre en une tension électrique.

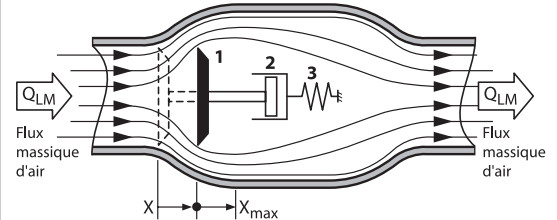
Le potentiomètre est conçu de telle façon qu'il y ait un rapport inversement proportionnel entre le volume d'air et la tension délivrée.

Un circuit « by-pass » est enfin prévu pour le réglage du mélange au ralenti. Un faible volume d'air peut emprunter ce circuit dont la section de passage est réglable par une vis.

### Schéma de principe

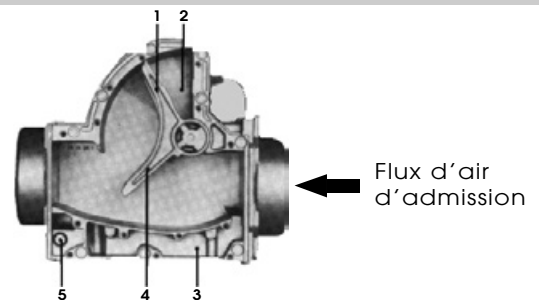
Débitmètre à pression dynamique à disque-diaphragme mobile variable (volet-sonde)

1. Diaphragme
2. Amortisseur
3. Ressort de rappel mou



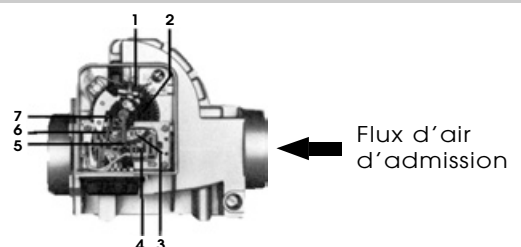
$X = X(Q_{LM})$  : Position du volet-sonde en fonction du débit

### Intérieur du débitmètre à volet sonde Débitmètre côté air



1. Volet de compensation
2. Volet d'amortissement
3. By pass
4. Volet Sonde
5. Vis de réglage du mélange au ralenti

### Débitmètre côté connexion



1. Couronne dentée pour la tension initiale du ressort
2. Ressort de rappel
3. Rampe de contact
4. Plaque en céramique avec résistances et bandes conductrices
5. Curseur de contact
6. Curseur
7. Contact de la pompe

## C. LA MESURE INDIRECTE

### Détermination de la masse d'air admise

#### Le principe pression vitesse (pN)

Quel que soit le moteur utilisé, il existe toujours un lien entre la masse d'air aspirée et la masse d'essence injectée.

Cette caractéristique, qui peut évoluer en fonction des conditions particulières (charge, agrément de conduite, dépollution...), est appelée dosage et s'exprime par la relation suivante :

$$d = \frac{\text{Masse d'essence}}{\text{Masse d'air}}$$

À chaque admission, il est donc nécessaire de connaître la masse d'air introduite afin d'y attribuer la masse d'essence souhaitable en fonction du dosage désiré, ceci dans un temps qui varie en fonction du régime.

On a donc en réalité un débit d'air volumique tel que :

$$q_{va} = \frac{N}{2} \cdot V \quad \text{Équation 1}$$

Avec :

$q_{va}$  : débit volumique d'air  
 $N$  : régime moteur  
 $V$  : cylindrée

Le dosage exprimant un rapport de masse, il convient de parler de débit d'air massique soit :

$$q_{ma} = q_{va} \cdot \rho \quad \text{Équation 2}$$

Avec :

$q_{ma}$  : débit massique d'air  
 $\rho$  : masse volumique de l'air

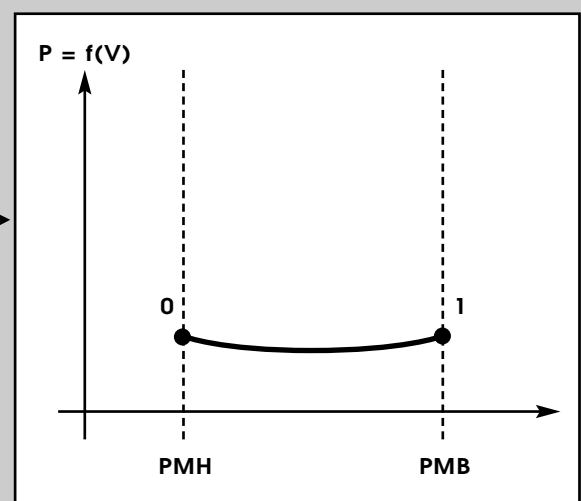
La difficulté réside dans la détermination de  $\rho$  à partir des informations de pression d'admission et de température d'air.

Afin de simplifier l'étude, nous allons considérer que l'admission peut se traduire comme un changement d'état isothermique :

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{m \cdot T_0} = \frac{p \cdot V}{m \cdot T} \quad \text{Équation 3}$$

Avec :

$p_0$  : pression en début d'admission  
 $V_0$  : volume en début d'admission  
 $p$  : pression en fin d'admission  
 $V$  : volume en fin d'admission  
 $m$  : masse d'air admise  
 $T_0$  : température en début d'admission  
 $T$  : température en fin d'admission



Admission théorique avec une transformation isotherme

## Rappel

Expression de la masse volumique :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Équation 4}$$

En combinant les équations 3 et 4 la masse volumique peut s'écrire :

$$\rho = \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} \cdot \rho_0 \quad \text{Équation 5}$$

L'expression du débit massique d'air (équation 2) et de sa masse volumique (équation 5), permettent d'en déduire une équation plus générale :

$$q_{ma} = V \cdot \frac{N}{2} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \rho_0 = \frac{1}{2} \cdot V \cdot \frac{T_0}{p_0 \cdot T} \cdot \rho_0 \cdot p \cdot N$$

Soit :

$$q_{ma} = K \cdot p \cdot N$$

Avec : K : Coefficient multiplicatif

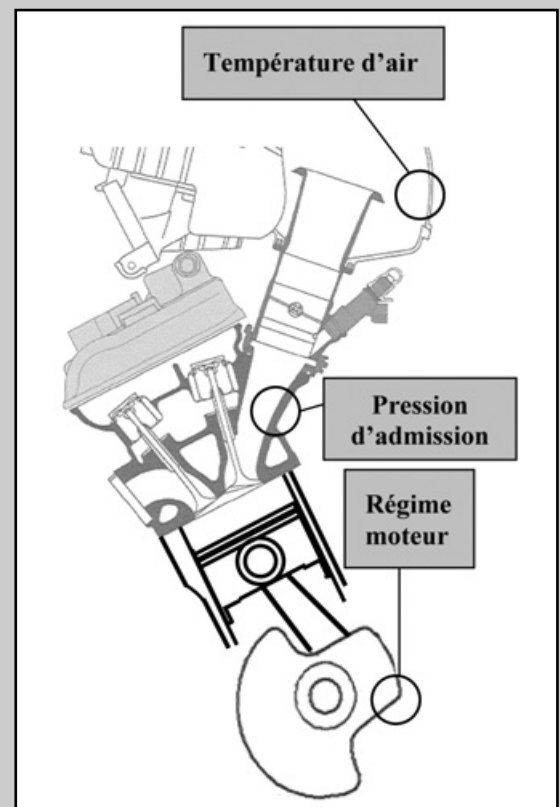
## Conclusion

Pour un régime donné, on peut considérer que la pression en début d'admission ( $p_0$ ) est constante puisqu'il s'agit sensiblement de la pression atmosphérique. De même,  $p_0$  dépend de la température de l'air ( $T_0$ ) et de sa pression en début d'admission.

Par ailleurs, la variation de température entre le début et la fin d'admission est négligeable  $T_0 = T$  ; la vitesse de transvasement de l'air de la boîte à air vers le cylindre est telle qu'elle n'a pas le temps de se réchauffer au contact de l'enceinte thermique (hypothèse d'isothermie de départ).

Ce qui signifie que  $V$ ,  $p_0$ ,  $\rho_0$ ,  $T_0$ ,  $T$  sont des termes que l'on peut regrouper sous un coefficient multiplicatif dans une cartographie qui dépend uniquement de la température de l'air ( $T_0$ ) et de la pression atmosphérique ( $p_0$ ) tel que :

$$K = \frac{1}{2} \cdot V \cdot \frac{T_0}{p_0 \cdot T} \cdot \rho_0$$



## Remarque

Dans la réalité, ce coefficient tiendra compte des variations de température entre  $T_0$  et  $T$ .

Enfin, la pression tubulure n'est pas la même que la pression en fin d'admission ( $p$ ) dans le cylindre car la perte de charge singulière, au passage de la soupape, augmente avec le régime. Toutefois, ces variations seront prises en compte dans une cartographie qui donne un coefficient de perte charge en fonction du régime et de la pression :

$$K_1(p; N)$$

Par conséquent, la masse d'air admise pour le principe pression vitesse- $(pN)$  dépend nécessairement des paramètres suivants :

- ✓ pression d'admission  $p$ ,
- ✓ régime moteur  $N$ ,
- ✓ température de l'air  $T$ .
- ✓ pression atmosphérique  $p_0$ .

## Le principe alpha vitesse ( $\alpha N$ )

L'approche théorique est identique à l'exception de la charge qui n'est plus déterminée par le régime moteur et la pression tubulure, mais par la position du papillon et le régime moteur. Le coefficient de perte de charge sera donc de la forme :  $K_2(\alpha; N)$ .

L'inconvénient de ce système réside dans la précision de mesure de la position du papillon car c'est une information beaucoup moins précise que la pression tubulure. Toutefois pour un fonctionnement en transitoire, la vitesse d'ouverture du papillon est une information intéressante qui permet de diminuer le temps de réponse du moteur en adaptant le temps d'injection.

## Les systèmes appliqués

Dans la réalité, les constructeurs emploient deux systèmes :

- ✓  $p, \alpha, N$  : Pression tubulure, position papillon et régime moteur.
- ✓  $\alpha, N$  : Position papillon et régime moteur

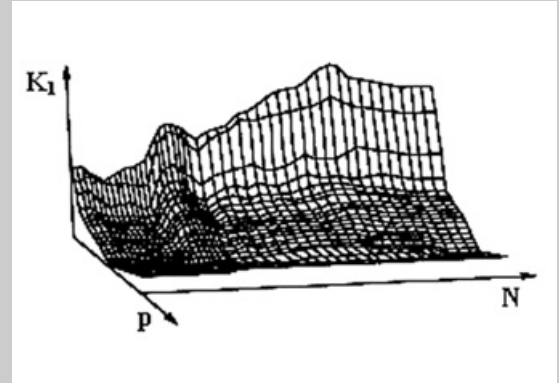
Le système  $p, \alpha, N$  fait appel à deux cartographies distinctes pour déterminer la masse d'air admise.

- ✓ La première utilise la pression tubulure et le régime moteur pour les faibles charges.
- ✓ La seconde la position du papillon et le régime moteur pour les fortes charges.

Ce système cumule ainsi l'avantage de la précision de mesure du capteur de pression sur les faibles charges et celui du faible temps de réponse du capteur de position papillon pour les changements de charges rapides.

Aujourd'hui, le système  $\alpha, N$  tend à disparaître au profit du  $p, \alpha, N$  qui offre un meilleur agrément de conduite et ne nécessite pas de réglages pointus.

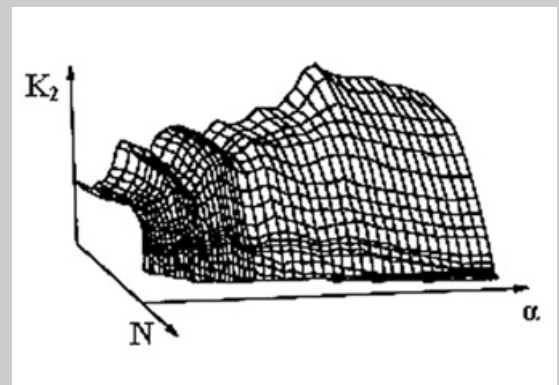
### Cartographie de correction



Coefficient de perte de charge pour un système  $(pN)$

Source INCM

### Cartographie de correction



Coefficient de perte charge pour un système  $(\alpha N)$

Source INCM

## A. LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE D'ENTRÉE D'AIR

En complément de l'admission dynamique, ces dispositifs sont des plus intéressants :

- ✓ Ils permettent d'améliorer l'agrément de conduite (souplesse, reprises, accélérations...) par une meilleure répartition du couple sur l'ensemble de la plage d'utilisation moteur ;
- ✓ ils constituent un moyen efficace de limiter les émissions sonores ;
- ✓ ils nuisent néanmoins quelque peu à la perméabilité de l'admission. Toutefois, la position des entrées est telle qu'il est parfois nécessaire de recourir à des filtres à air de type « gras » d'une efficacité de filtration supérieure aux filtres papiers plissés.

### Les systèmes « tout ou rien »

La boîte à air sert de « volume de tranquillisation » et permet ainsi au moteur de disposer en permanence d'un volume d'air répondant à toutes les conditions de fonctionnement.

Afin de palier à la demande en air qui croît avec le régime, une deuxième entrée d'air (B) en plus de l'entrée principale (A) permet d'accroître le débit d'air.

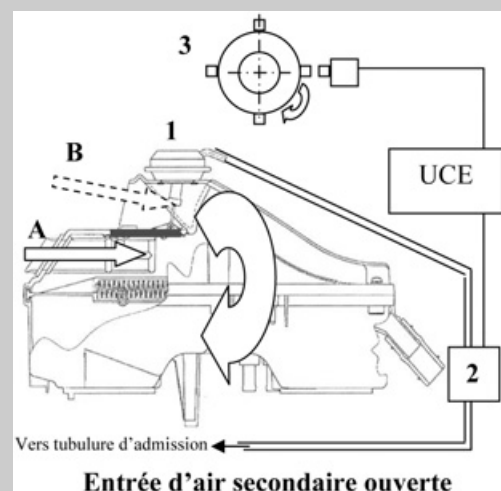
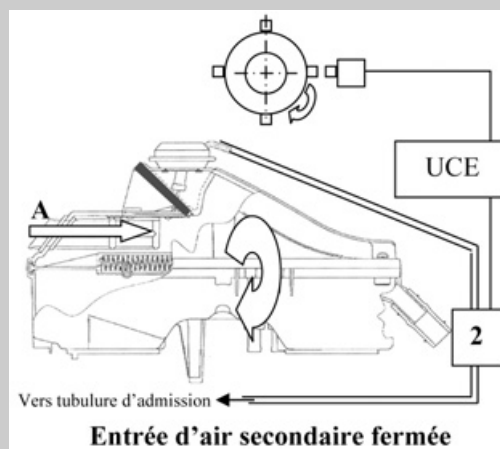
Celle-ci est activée par un dispositif à dépression (1) par le biais d'une électrovanne (2), commandée par l'unité de contrôle électronique (UCE) en fonction du régime (3) ou de la charge moteur, suivant le véhicule.

### Phases de fonctionnement de l'électrovanne

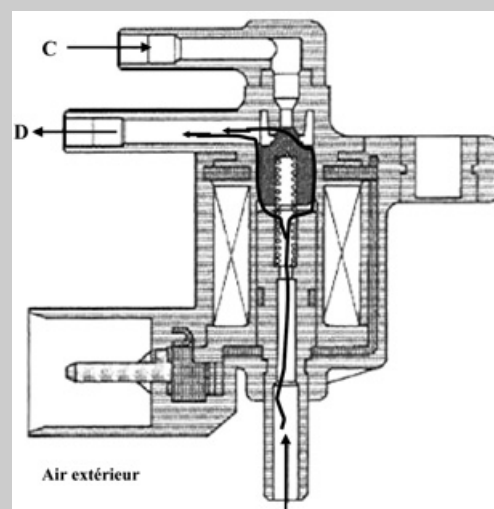
Lorsque l'électrovanne est alimentée, la pression tubulure arrive en C et ressort en D vers le dispositif à dépression. L'entrée d'air secondaire est fermée.

Lorsqu'elle n'est plus alimentée, c'est l'air extérieur qui passe en D grâce au jeu interne.

L'entrée d'air secondaire est ouverte.



Boîte à air Honda 800 VFR FI



### Les systèmes proportionnels

Installé depuis l'année 2000 sur les SUZUKI GSX-R 750, le système à double papillon tend à se démocratiser puisqu'il équipe désormais de nombreuses machines à caractère sportif avec un principe identique dicté par deux équipementiers : NIPPON DENSO et KEIHIN (pour les corps de papillon).

Par rapport aux systèmes « tout ou rien », celui-ci permet de répartir plus sensiblement le couple moteur disponible.

Ces systèmes proportionnels permettent de retrouver les bienfaits du carburateur à pression constante en termes de souplesse et de linéarité.

Ils deviennent indispensables sur les machines sportives afin de contrôler les accélérations et éviter toutes réactions brutales (agrément de conduite oblige).

Le système YAMAHA est une alternative au système à double volet développé par NIPPON DENSO. Un principe simple où il s'agit de conserver le corps d'un carburateur à pression constante et d'y incorporer un injecteur.

Actuellement le système proportionnel utilisé pour les machines sportives et développé par NIPPON DENSO est le seul à gestion électronique.

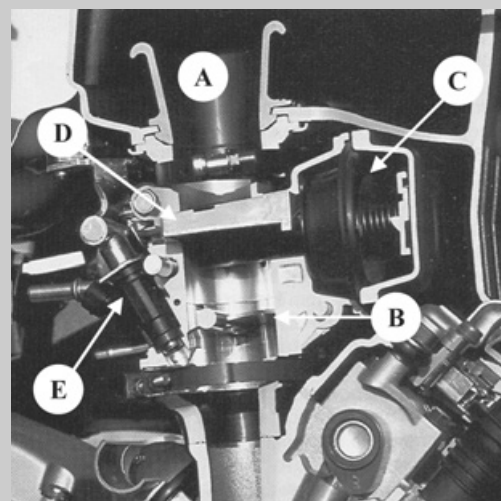
Il s'agit d'un papillon secondaire installé en amont du papillon des gaz.

Lors d'une accélération, il permet de faire varier la section d'entrée du conduit d'admission afin de tirer profit de l'inertie acquise par la veine gazeuse pendant la phase admission (effet Kadenacy).

En temps normal, le débit de l'air ne varie pas linéairement avec le régime ; il n'est jamais proportionnel à l'angle d'ouverture du papillon en raison de son élasticité et des pertes de charge qui augmentent avec le régime.

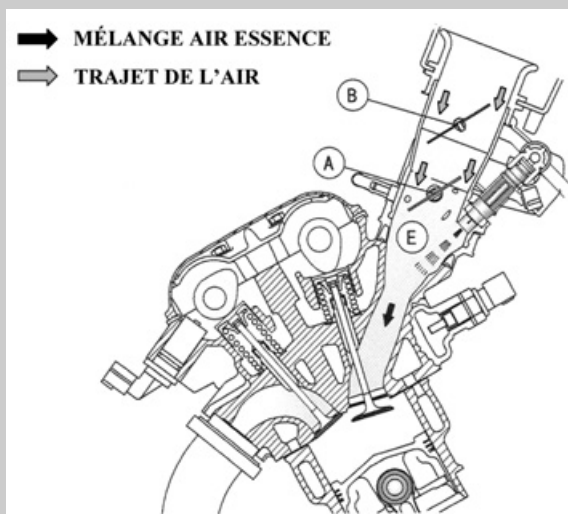
Le papillon secondaire permet ainsi de corriger ce défaut. En diminuant la section de passage sur les faibles charges, on augmente la vitesse de l'air, paramètre essentiel de l'énergie cinétique. On favorise ainsi le remplissage aux bas régimes, ce qui donne cette sensation de moteur linéaire et souple.

### Corps d'injection Yamaha R6



- A. Conduit d'admission
- B. Papillon
- C. Cloche à dépression
- D. Boisseau
- E. Injecteur

### Double papillon Kawasaki Z 1 000



- A. Volet principal
- B. Volet secondaire
- C. Conduit d'admission



### Rappel

L'énergie croît avec le carré de la vitesse et la masse :

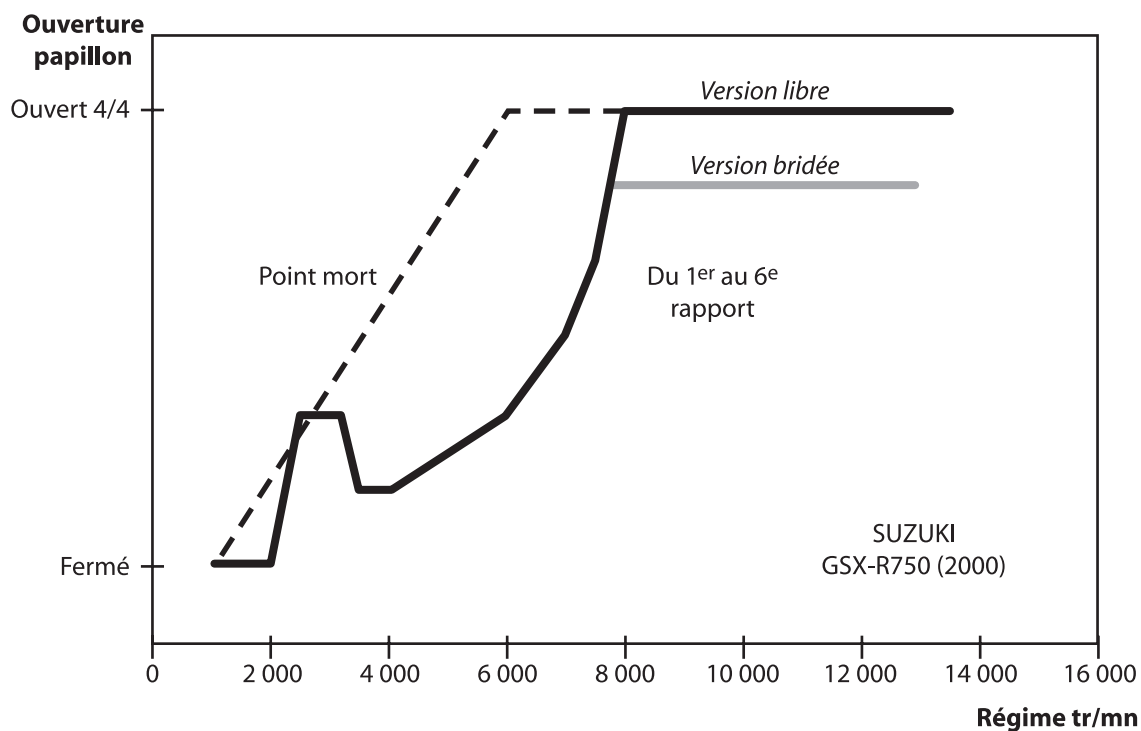
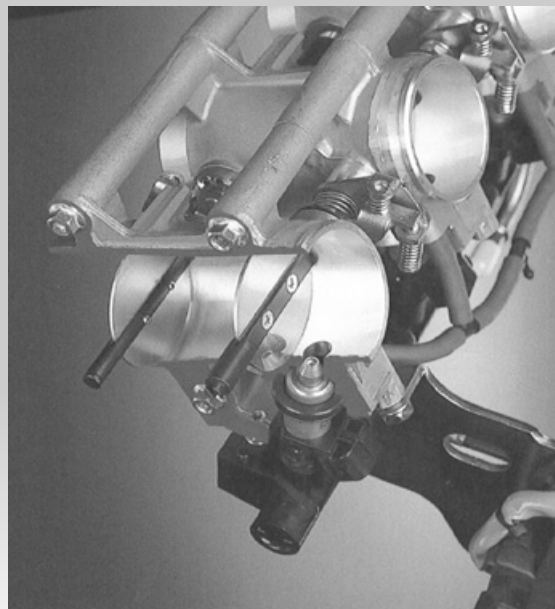
$$E = \frac{1}{2}.m.v^2$$

D'où l'intérêt d'avoir des entrées d'air frais à l'avant du véhicule pour augmenter la masse et une vitesse accrue de la veine gazeuse.

La gestion du papillon secondaire s'appuie principalement sur le régime moteur. La distinction du rapport engagé concerne uniquement le point mort.

Du premier au sixième rapport, la loi d'ouverture de ce papillon est donc identique avec une ouverture maximum aux environs des 8 000 tr/min.

*Exemple de loi d'ouverture des papillons secondaires*



### B. LE CONTRÔLE DE L'ENTRÉE D'AIR AU RALENTI ET EN DÉPART À FROID

Actuellement, deux systèmes coexistent dans la gestion de l'air additionnel pour les départs à froid ou le ralenti :

- ✓ les systèmes manuels,
- ✓ les systèmes automatiques.

Pour chacun d'entre eux, il existe deux familles différentes :

- ✓ La première regroupe les mécanismes qui agissent directement sur la position du papillon.
- ✓ La seconde regroupe ceux utilisant un canal de dérivation du papillon appelé « by-pass ».

En ce qui concerne les systèmes automatiques, les systèmes mécaniques réagissent et fonctionnent grâce aux variations de température du liquide de refroidissement. Ils doivent être distingués des systèmes à gestion électronique où la gestion du débit d'air en dérivation est contrôlée par un actuateur électrique, lui-même commandé par le calculateur de gestion moteur.

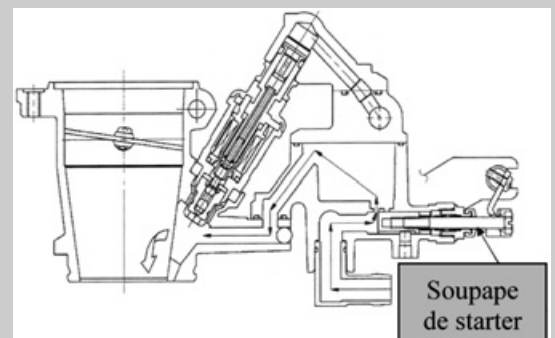
Cette dernière technologie garantit des démarrages aisés dans toutes les conditions de marche et une auto-adaptation du ralenti en toutes circonstances.

#### Les systèmes manuels

Ce sont tous les systèmes qui augmentent la section de passage de l'air en agissant directement sur la position du papillon, aussi bien pour le ralenti que lors du départ à froid.

L'autre solution, non moins triviale, consiste à utiliser un canal de dérivation du papillon dont la perte de charge est réglée par une vis pour le ralenti ou une soupape appelée « soupape de starter » pour les départs à froid ; ce mécanisme est actionné au guidon par un câble.

**Honda 800 VFR FI**  
**Soupape de départ à froid**

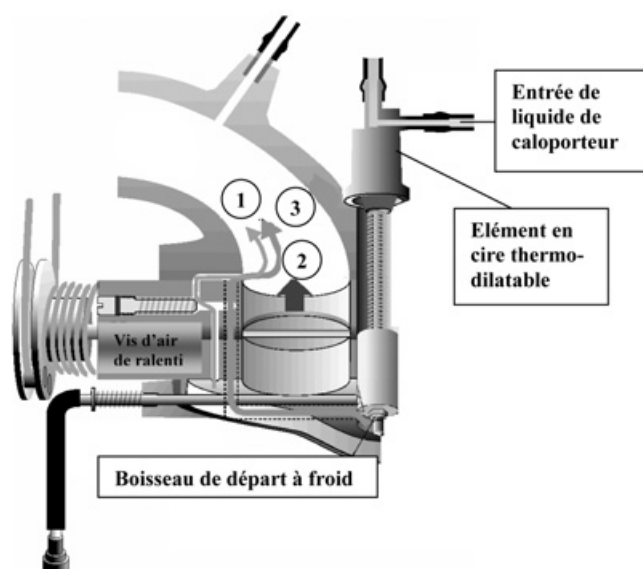


### Les systèmes automatiques

#### Les systèmes mécaniques

La solution technique retenue chez HONDA, représentée ci-contre, est un « starter automatique » (Auto by-starter) constitué d'un élément en cire thermodilatable. La quantité d'air au ralenti lors du départ à froid est ainsi augmentée (1 + 2 + 3). Le mélange étant enrichi par le calculateur électronique, il engendre un ralenti plus élevé. Lorsque le moteur monte en température, ce circuit se referme progressivement. Le ralenti équivaut alors à : 1 + 2.

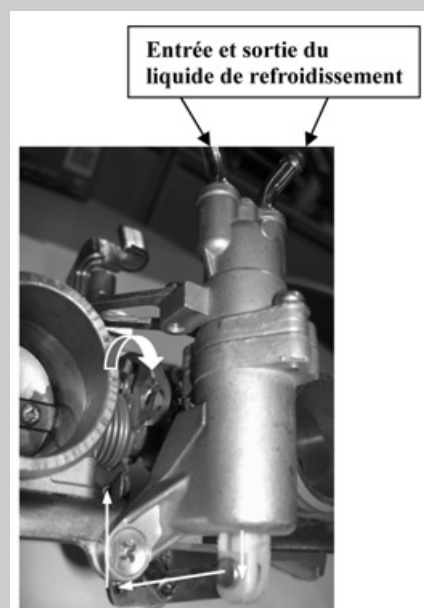
Admission d'air Honda VTX 1 795 cm<sup>3</sup>  
Source Honda



1. Débit d'air de ralenti
2. Débit d'air en fonction de la position du papillon
3. Débit d'air lors du départ à froid

Autrefois, chez YAMAHA, ce starter automatique agissait directement sur la position des papillons (YAMAHA 1 000 GTS).

« Starter automatique »  
Yamaha 1 000 GTS  
Source INCM

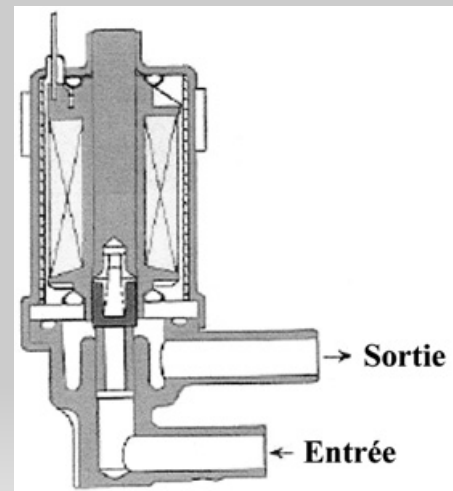


### Les systèmes à gestion électronique

Un canal en dérivation du papillon permet, grâce à un actuateur de ralenti, d'augmenter la quantité d'air entrante et de la moduler en fonction des différents besoins :

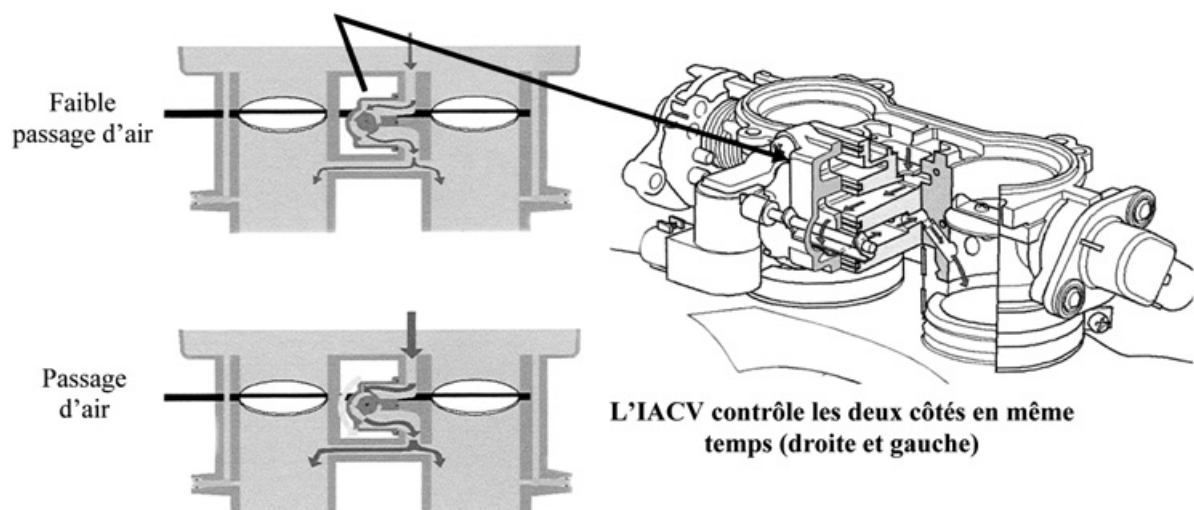
- ✓ ralenti accéléré lors des départs à froid,
- ✓ compensation du régime de ralenti lors de variations de charges électriques,
- ✓ amélioration du frein moteur.

Ces actuateurs sont de différents types. On distingue les vannes proportionnelles et les moteurs pas à pas. Tous sont commandés par le calculateur de gestion moteur qui contrôle ainsi le régime de ralenti.



Vanne proportionnelle  
VN 1 500 Drifter  
Source Kawasaki

### Vanne proportionnelle



Source HONDA GL 1 800  
Système IACV  
(vanne à boisseau de contrôle de l'air au ralenti)

Ces vannes sont à deux positions. Lorsqu'elles ne possèdent qu'un seul enroulement, celui-ci est soumis alternativement à une tension de 12 V ou - 12 V avec, pour une même période, un pourcentage du temps de conduction qui varie.

C'est ce qu'on appelle le « Rapport Cyclique d'Ouverture » (RCO).

Du fait de l'inertie du boisseau ou du tiroir, celui-ci prend une position intermédiaire entre « ouvert » et « fermé » variable, qui dépend du RCO et permet de laisser passer plus ou moins d'air en dérivation.

### Remarque

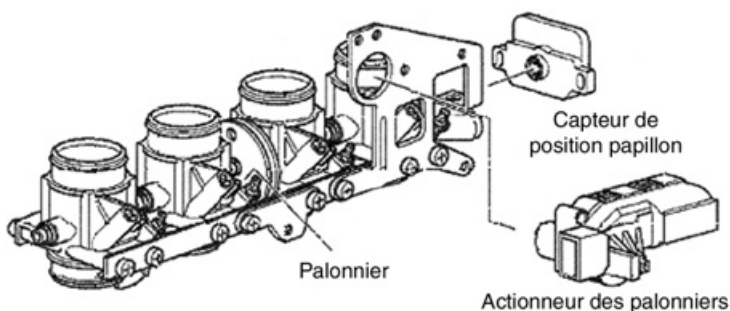
En décélération, une quantité d'air supplémentaire est parfois admise afin de renforcer le frein moteur (HONDA GL 1800).

### Moteur pas à pas

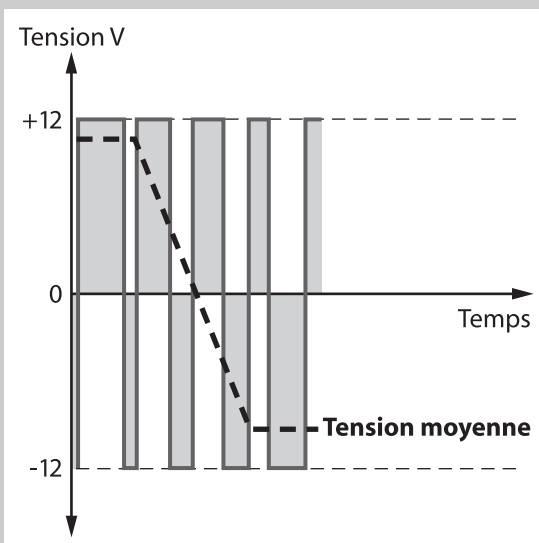
Il s'agit d'un moteur électrique équipé d'un rotor à aimants permanents (1). Lorsque le stator est alimenté, le rotor effectue une rotation d'un angle dépendant du nombre de bobines et d'aimants permanents.

Cette rotation est appelée « pas » ; elle entraîne un coulisseau fileté en translation au bout duquel est fixé soit un embout conique pour les systèmes en dérivation, soit une biellette qui agit directement sur le palonnier des papillons.

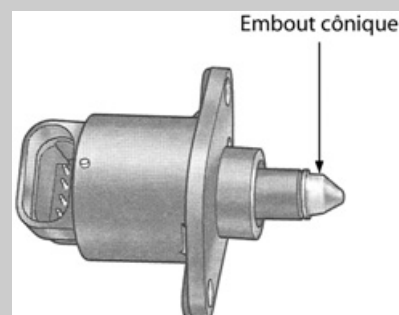
En fonction du nombre d'impulsions de commande, le moteur effectue un certain nombre de pas. Ces pas permettent à l'embout conique de laisser passer plus ou moins d'air (A), suivant le sens de commande, et de court-circuiter le papillon (B, C).



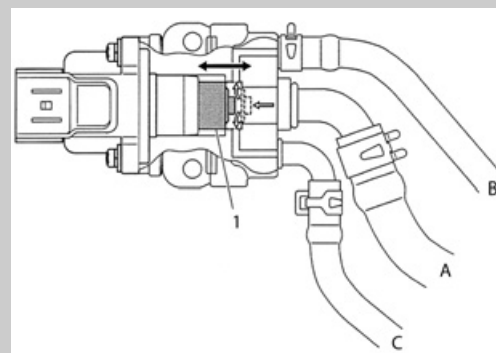
Source BMW K 1200 LT (1998)



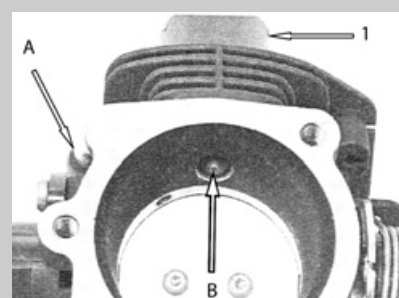
Exemple RCO



Actuateur de ralenti - Moteur pas à pas  
Source Harley Davidson



Source Yamaha XV 1700



Source Harley Davidson  
Modèles touring

Pour garantir un bon fonctionnement du système d'injection, il faut maintenir en permanence une pression et un débit de carburant suffisant.

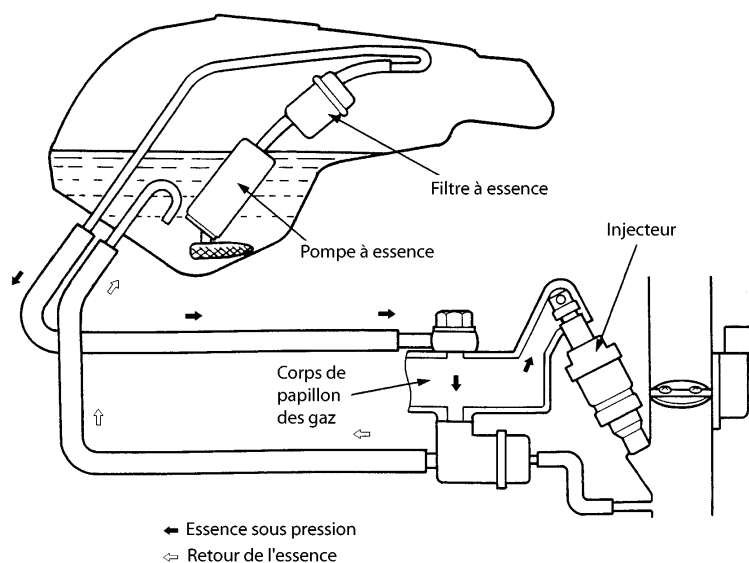
Une pompe à commande électrique aspire le carburant du réservoir et le refoule sous pression. A la sortie de la pompe, le carburant est filtré et envoyé vers les injecteurs.

Afin d'assurer une pression et un débit suffisant quelles que soient les conditions de fonctionnement du moteur (forte charge par exemple), la démarche la plus courante est d'équiper le système d'une pompe débitant plus que nécessaire. Le surplus de carburant est alors renvoyé vers le réservoir.

Le temps d'injection étant le seul paramètre de gestion du débit de carburant injecté, il faut avoir une pression d'essence la plus stable possible.

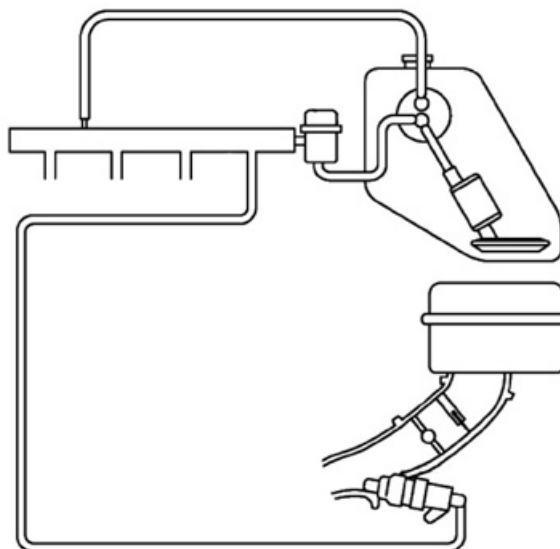
Pour stabiliser la pression, un régulateur de pression est installé en bout de rampe d'injecteur. Ce régulateur est asservi à la dépression collecteur afin de garantir une différence de pression d'essence constante entre la rampe d'injection et le collecteur d'admission.

Schéma de principe Source Honda



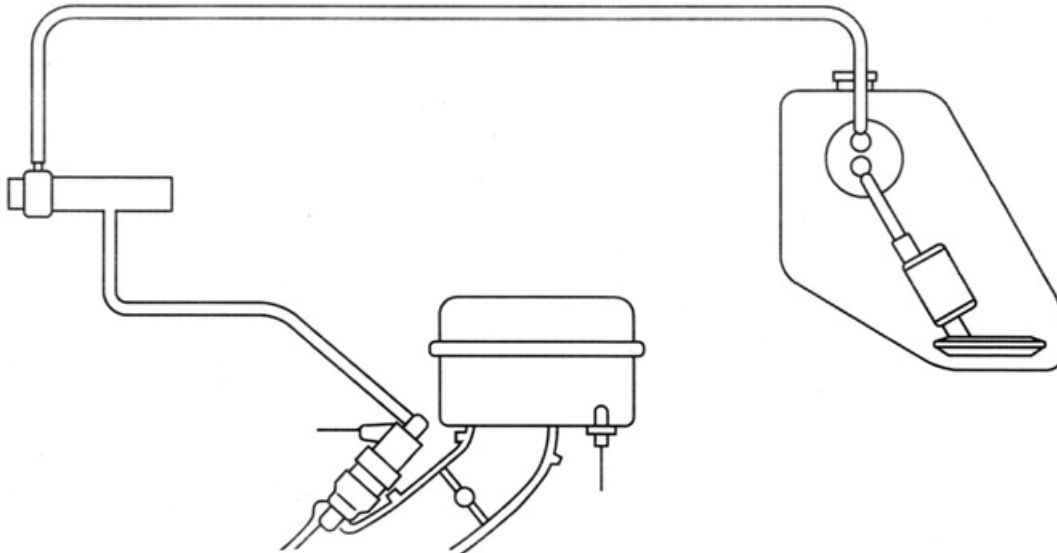
Dans certains systèmes d'injection, la régulation de pression par rapport à la dépression collecteur n'est pas effectuée. Le régulateur de pression se trouvant toujours en bout de rampe, la correction en fonction de la charge moteur est effectuée par le calculateur en jouant sur le temps de commande de l'injecteur.

Source Yamaha

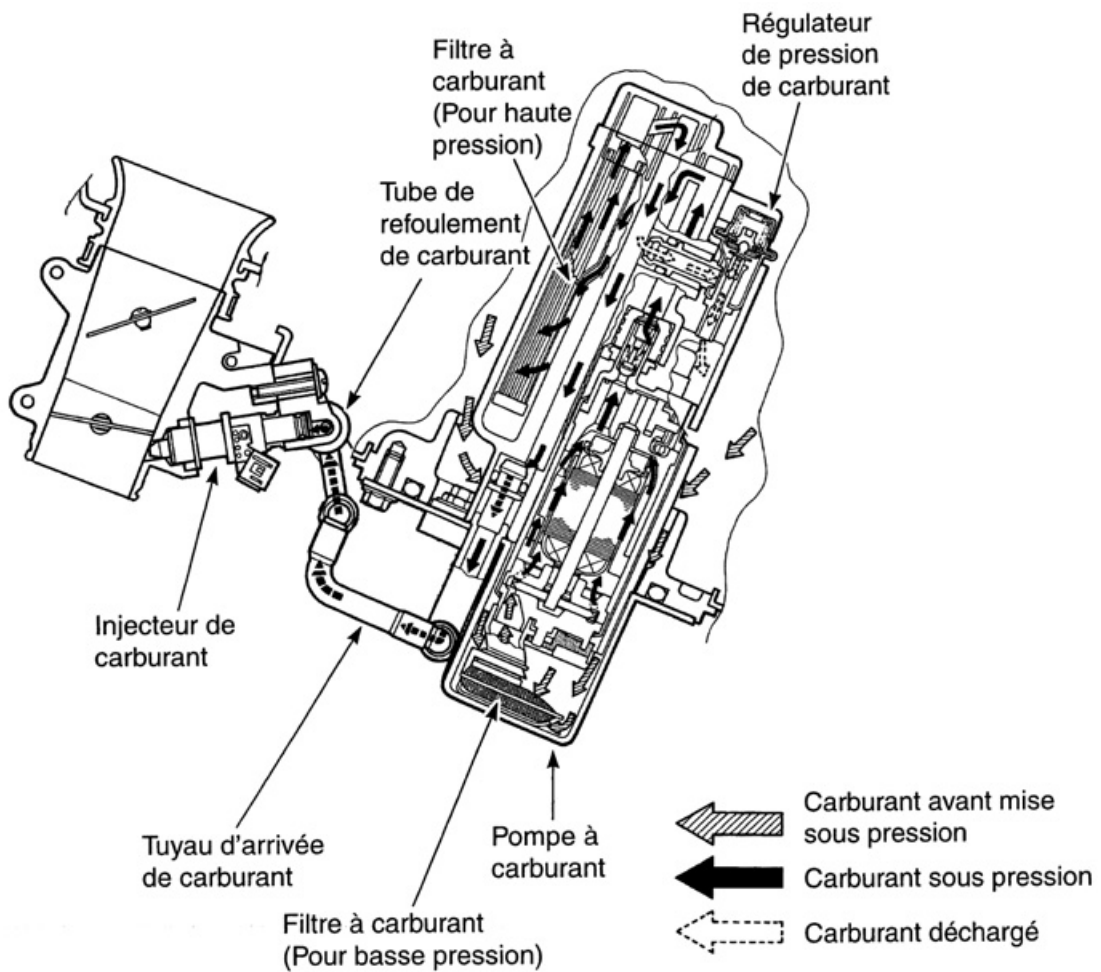


Dans les derniers systèmes à injection, le circuit de retour est supprimé pour plus de simplicité, le régulateur étant associé à la pompe, le retour étant à l'intérieur même du réservoir

Source Yamaha



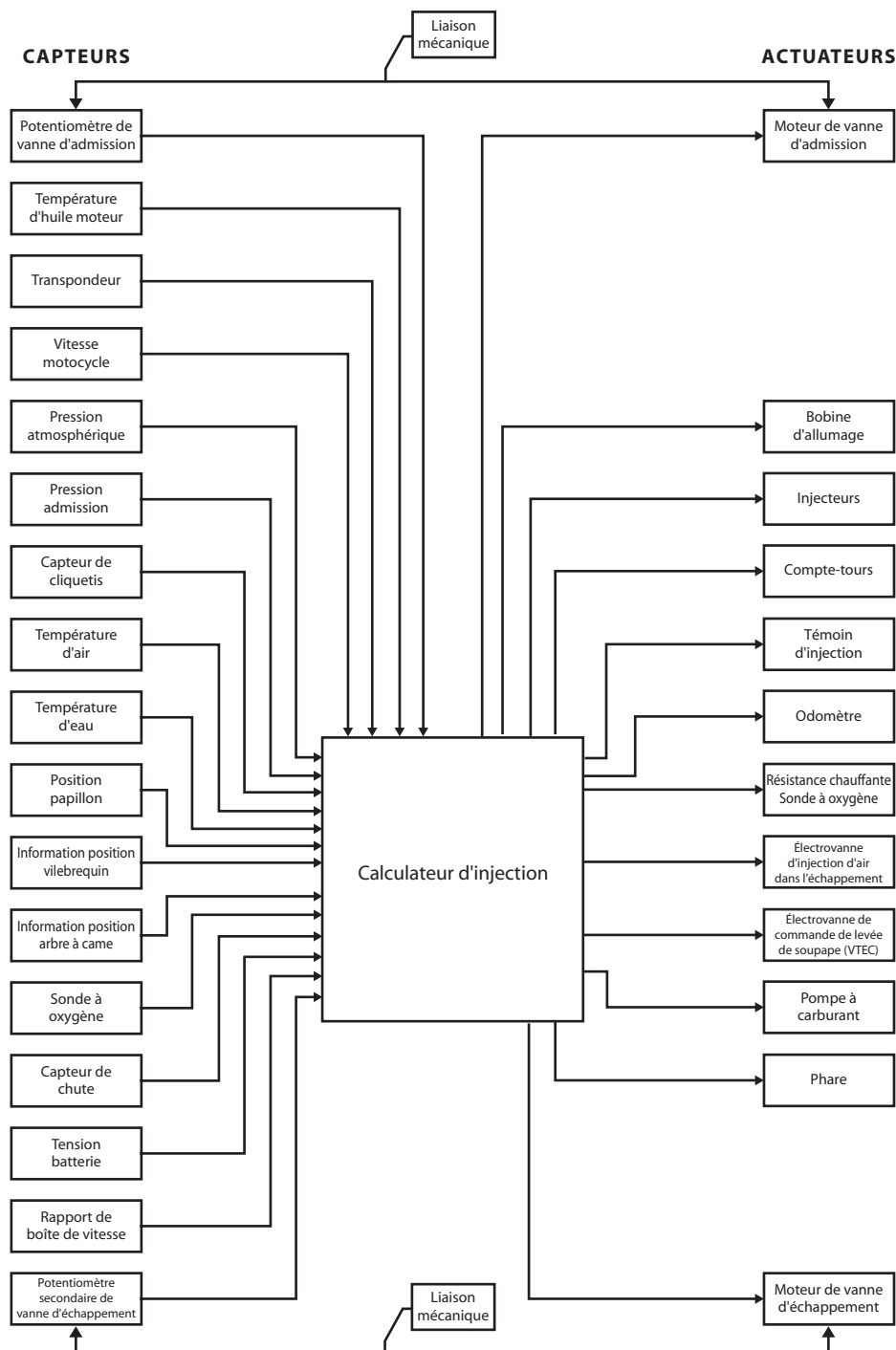
Source Suzuki



Le circuit électrique d'injection est constitué :

- ✓ de capteurs chargés de convertir des données physiques (température, position, vitesse, composition gazeuse, ...) en données électriques ;
- ✓ d'un calculateur chargé de traiter les signaux émis par les capteurs pour en déterminer des données pour faire fonctionner correctement le moteur ;
- ✓ d'actuateurs chargés de convertir les signaux venant du calculateur en actions (mécanique, thermique, magnétique, ...).

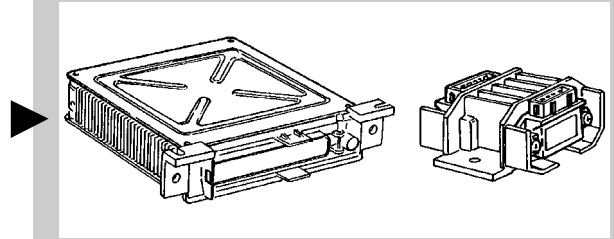
## Synoptique





### A. LE CALCULATEUR

Le calculateur est un centre de traitement des informations d'entrées pour piloter des actionneurs. Dans la plupart des cas, toute l'électronique dédiée à l'injection est centralisée dans un même boîtier, mais on trouve quelquefois les commandes de puissance des bobines d'allumage à l'extérieur.



Source Ducati

### B. LES CAPTEURS

Un capteur est un convertisseur d'une donnée physique en une donnée électrique.

Les données physiques mesurées en motocycle sont principalement :

- ✓ Une position ( vilebrequin, arbre à cames, papillon, ... ) ;
- ✓ une vitesse ( motocycle ) ;
- ✓ un taux de gaz ( sonde à oxygène ) ;
- ✓ une température ;
- ✓ une pression ( admission, ... ) .

#### Les capteurs de température d'air, d'eau et d'huile

La température a pour effet de faire varier la résistivité ( $\rho$ ) et les dimensions géométriques.

La résistance du capteur s'exprime à l'aide de la formule :

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

avec :  $l$  : La longueur de la partie résistante du capteur.

$s$  : La section de la partie résistante du capteur.

Aux températures considérées, la variation de dimension est négligeable devant la variation de résistivité.

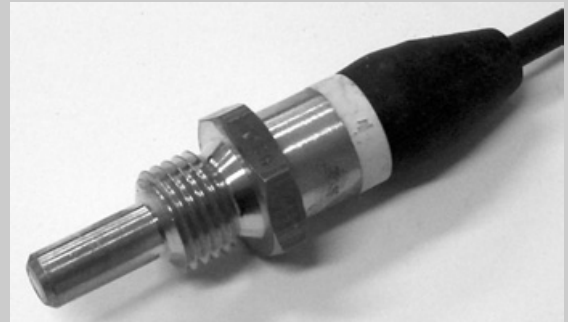
La résistance du capteur étant proportionnelle à la résistivité, on peut donc écrire la loi de variation de  $\rho$  en fonction de  $\theta$  sous la forme :

$$\rho_{\theta} = \rho_{\text{Ref}} (1 + \alpha \Delta\theta)$$

avec :  $\rho_{\theta}$  : Résistivité à une température  $\theta$  °C.

$\alpha$  : Coefficient de température du métal.

$\Delta\theta$  : Différence de température entre la température de référence et la température extérieure.



Sonde de température d'eau



Sonde de température d'air



Sonde de température d'huile

On distingue deux types de résistances suivant le signe du coefficient de température :

- ✓ Les capteurs à Coefficient de Température Négatif (CTN) où  $\alpha$  est négatif. Ces capteurs voient leurs valeurs baisser en cas d'élévation de la température. La tension mesurée baisse aussi en fonction de la température.
- ✓ Les capteurs à Coefficient de Température Positif (CTP) où  $\alpha$  est positif. Ces capteurs voient leurs valeurs augmenter en cas d'élévation de la température. La tension mesurée augmente aussi en fonction de la température.

Les capteurs de température utilisés en motocyclette sont de type CTN. Ils sont utilisés pour mesurer les températures d'eau, d'air et d'huile pour les moteurs à refroidissement à air.

La mesure de la température d'eau ou d'huile intervient essentiellement sur le fonctionnement à froid et par sécurité quand le moteur est très chaud.

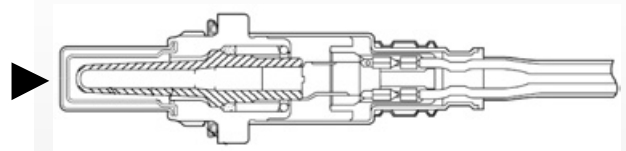
La mesure de la température de l'air intervient dans le calcul de la densité de l'air pour connaître la masse d'air admise (voir chapitre mesure indirecte de la masse d'air, page 12).

### La sonde lambda

La sonde lambda se compose d'un corps en céramique poreuse qui est placé dans un tube de protection métallique. Lorsqu'une électrode est soumise à une plus forte concentration d'oxygène que l'autre, il se produit une tension entre les deux électrodes.

Un saut de tension se produit donc lors du passage d'un mélange riche à un mélange pauvre. Dans la sonde lambda, l'électrode extérieure se trouve du côté des gaz d'échappement et l'électrode intérieure est en liaison avec l'air extérieur.

Le calculateur reçoit une tension proportionnelle au rapport de la quantité d'oxygène dans le pot sur la quantité d'oxygène extérieure.



Source Yamaha

### Les potentiomètres simples et doubles pistes

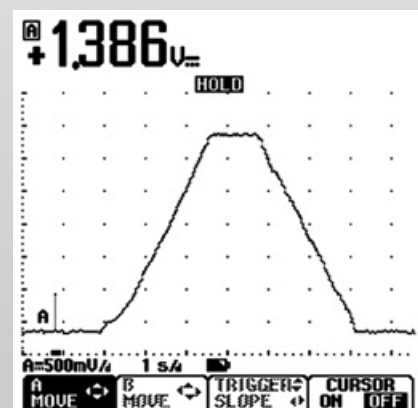
Pour informer le calculateur de la position de la poignée d'accélérateur, les systèmes d'injection utilisent des potentiomètres comme ceux utilisés pour corriger la cartographie d'avance à l'allumage.

Ces potentiomètres sont en général de deux types :

- ✓ Les simples pistes qui retransmettent au calculateur d'injection une tension proportionnelle à l'angle d'ouverture des papillons.



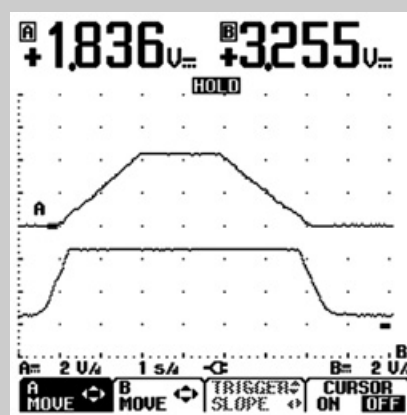
Potentiomètre simple piste



- ✓ Les doubles pistes qui retransmettent au calculateur d'injection deux tensions (sur deux fils), une proportionnelle à l'angle d'ouverture, l'autre qui ne varie que pour une faible ouverture du papillon (la valeur reste maximale après cette valeur).



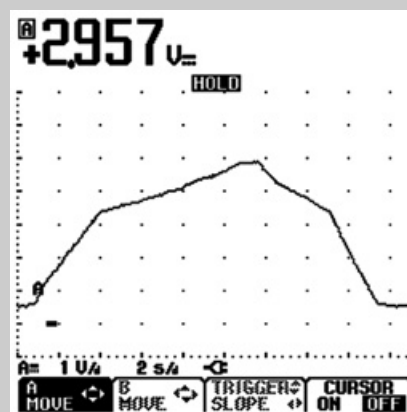
Potentiomètre double piste



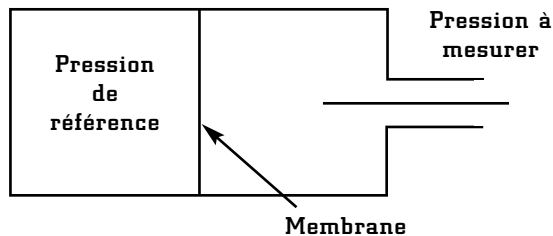
Il existe aussi des potentiomètres simple piste (par exemple Voxan), mais dont la tension n'est pas proportionnelle à l'angle. La tension varie très rapidement sur les faibles ouvertures puis plus lentement ensuite.

#### Potentiomètre secondaire

Pour les systèmes d'injection utilisant des papillons secondaires sur les circuits d'admission, l'information de l'ouverture de ce papillon est faite également par un potentiomètre de même type que pour le papillon commandé par le conducteur.



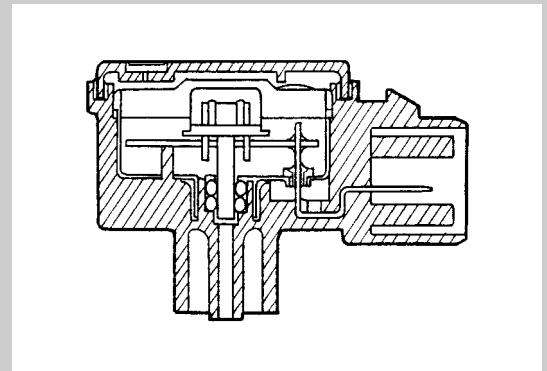
### Capteur de pression d'air atmosphérique et admission



Ce capteur fonctionne sur la mesure de la déformation d'une membrane soumise à une différence de pression.

La déformation de la membrane est mesurée grâce à des jauges de contrainte (dites piézorésistives). Des mesures de la température du capteur permettent de compenser les variations de pressions.

La tension de sortie est proportionnelle à la dépression mesurée (en relatif).



Source Yamaha

### Capteur inductif

Ce type de capteur repose sur le principe de variation de champ magnétique vis-à-vis d'une bobine, ce qui crée une tension alternative dont la fréquence est proportionnelle à la variation de champ magnétique. Ce type de capteur est incapable de mesurer des champs constants, ce qui le réduit à la mesure de position d'objet tournant (vilebrequin et arbre à cames).

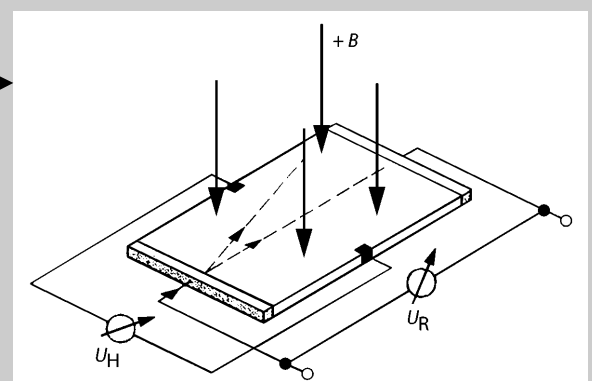


### Capteur à effet Hall

Une plaquette de semi-conducteur (Silicium) de faible épaisseur (plaquette de Hall), est parcourue par un courant venant de la tension  $U_R$ .

Lorsque cette plaquette est soumise à un champ magnétique  $B$  perpendiculaire à l'axe du courant et aux deux plus grandes faces, il se produit une déviation des électrons du silicium (force de Laplace), ce qui engendre une faible tension dite de Hall  $U_H$ .

Cette tension est fonction de l'intensité du courant et de l'intensité du champ magnétique.



Source Bosch

Ce type de capteur permet de détecter des champs magnétiques constants. Il peut donc mesurer de faibles vitesses de changement de position d'une cible, comme la mesure de vitesse d'une roue par exemple.

Il est utilisé aussi comme capteur de position angulaire du vilebrequin.



Source BMW

### Capteur de détection de rapport de boîte

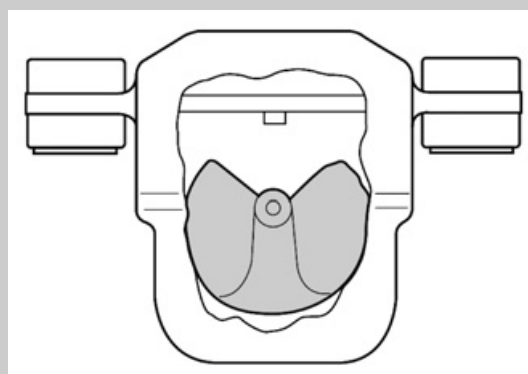
Pour parfaire la gestion de la quantité d'essence à injecter, les dernières injections prennent en compte le rapport enclenché.

Techniquement, un capteur est fixé en bout de barillet de sélection des vitesses. Il est soit du type potentiométrique soit à contact.



### Capteur de chute

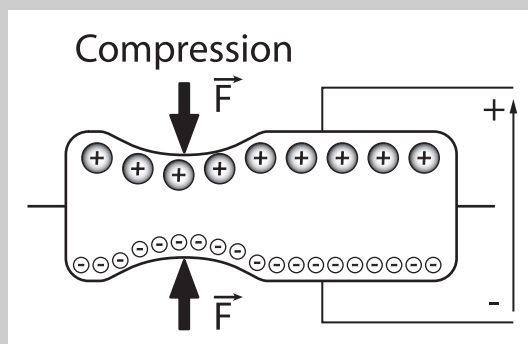
Ce capteur fonctionne sur le principe de mesure de la position d'un poids. Celui-ci doit être assez lourd pour ne pas être influencé par l'effet de la force centrifuge en virage. En cas de déclenchement, le calculateur coupe la pompe à injection et ne la remet en marche que si la moto a été relevée et le contact coupé puis remis (réinitialisation).



Source Yamaha

### Capteur de cliquetis

Le capteur de cliquetis mesure les vibrations du bloc moteur. Le signal est ensuite traité au niveau du calculateur pour y trier les cliquetis (s'il y en a) et les signaux parasites.



Source GNFA

### C. LES ACTUATEURS

Un actuateur est un convertisseur d'une tension électrique en une action mécanique. Ce sont principalement des électrovannes ou des moteurs à courant continu ou pas à pas.

#### Les électrovannes

##### Air

Ces électrovannes sont utilisées dans la gestion des circuits PAIR. Ces circuits permettent de modifier les gaz d'échappement en y injectant de l'air pour finir la combustion du carburant.

##### Huile

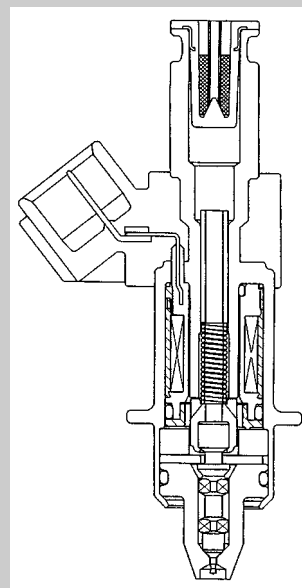
Ces électrovannes sont utilisées pour commander les soupapes des circuits VTEC chez Honda.

##### Essence

Un injecteur est une électrovanne chargée d'envoyer de l'essence dans le conduit d'admission. La quantité désirée est injectée en jouant sur le temps de commande de l'électrovanne. L'essence doit être injectée le plus finement possible pour augmenter le rendement de la combustion.



Source Honda



Source Yamaha



Source BMW

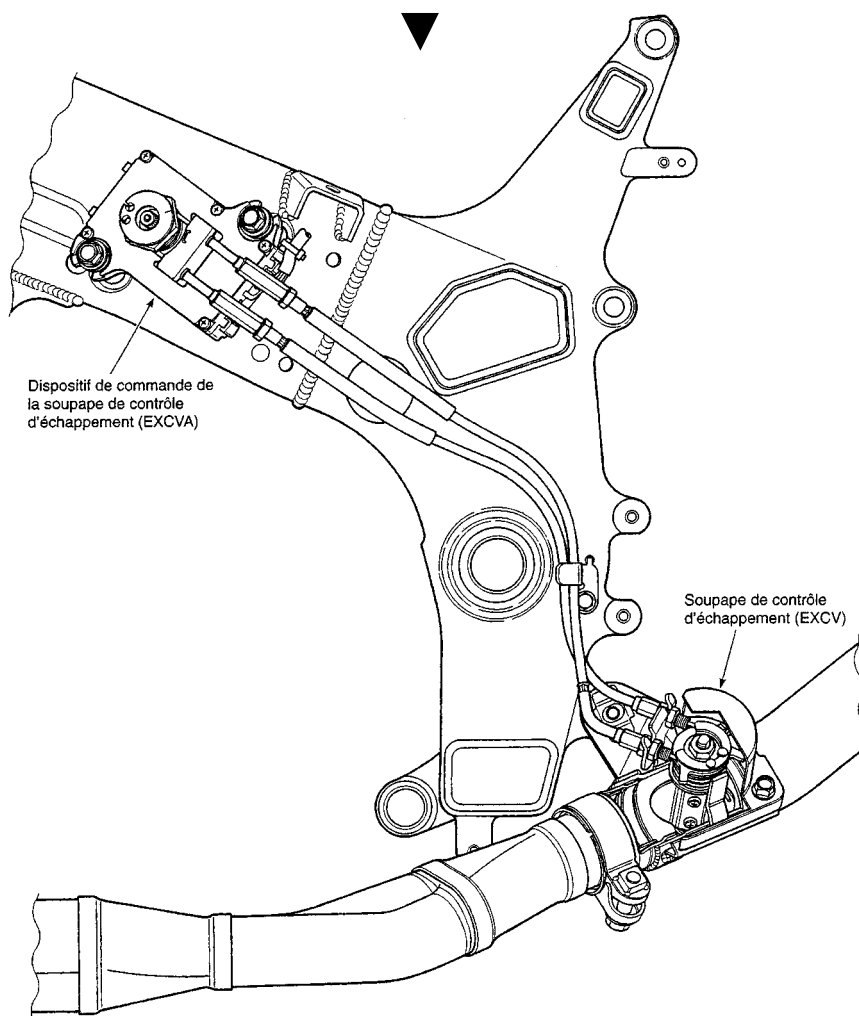
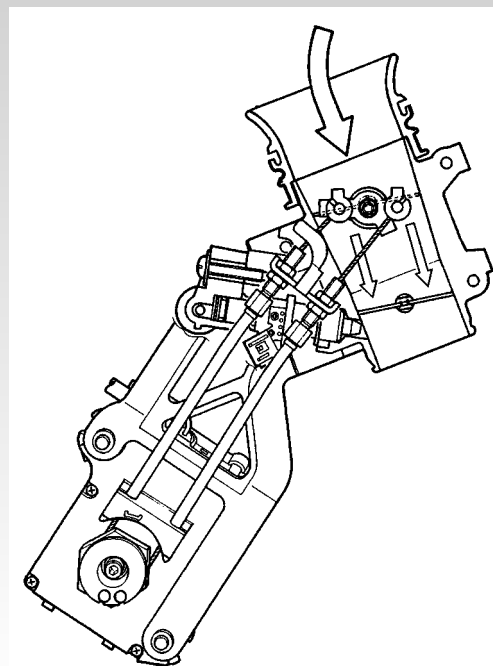
### Papillon secondaire

Les constructeurs de moto, dans le but de mieux exploiter tout le potentiel moteur, ont recours à des volets supplémentaires.

Ces volets sont placés soit sur le circuit d'admission, soit sur celui d'échappement.

Sur le circuit d'admission, on trouve soit un volet qui modifie le chemin de passage de l'air dans la boîte à air (comme sur les 800 VFR), soit un second papillon d'admission que l'on rencontre de plus en plus sur les injections actuelles comme sur les Suzuki (dessin ci-contre).

Sur le circuit d'échappement, on retrouve un volet qui retient les gaz d'échappement à bas régime.



### La pompe à essence

Pour injecter de l'essence sous pression, il faut pomper l'essence du réservoir. C'est la pompe à essence qui s'en charge. Elle est commandée par le calculateur. Celui-ci la commande lors de la mise du contact pendant quelques secondes pour mettre le circuit sous pression. Puis elle est alimentée en permanence moteur tournant.

### Le réchauffage de la sonde lambda

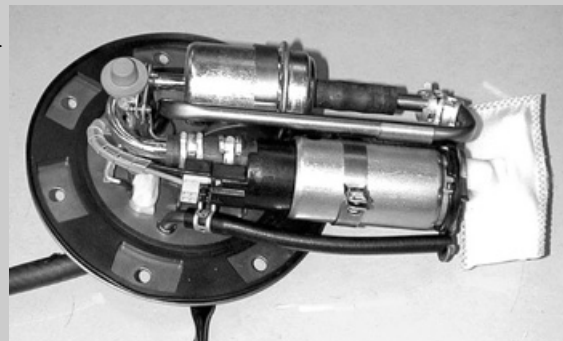
Pour accélérer le bon fonctionnement de la sonde Lambda, celle-ci doit être en permanence à la bonne température. Hors, sur les motos, elle est placée assez loin du moteur. Pour la chauffer, on utilise une résistance chauffante intégrée à la sonde. Cette résistance est commandée en même temps que la pompe à essence.

### Compte-tours

Depuis que les injections existent, c'est le boîtier électroimpresnique qui gère le mouvement des aiguilles du compte-tours et du compteur kilométrique. Dans les dernières injections, cette liaison est multiplexée.

### Les autres actuateurs

La législation française imposant l'allumage des feux en permanence, c'est le calculateur d'injection qui pilote l'allumage des feux quand le moteur tourne. Ainsi, le maximum d'énergie est donnée au démarreur et non plus dissipée dans d'autres consommateurs.





## A. LES NORMES

### Généralités

Dans le domaine de la motorisation, la principale préoccupation des constructeurs est l'apparition d'une contrainte nouvelle en moto : l'application des normes antipollution Euro 2 à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2004.

Pour répondre à la norme, le constructeur a deux possibilités :

- ✓ soit limiter les émissions à la source, c'est-à-dire modifier les moteurs pour qu'ils aient une combustion plus propre ;
- ✓ soit traiter les polluants dans l'échappement au moyen d'un catalyseur.

### Les Normes antipollution

Elles prennent en compte quatre facteurs :

- ✓ **Le niveau de monoxyde de carbone (CO)**  
Gaz incolore, inodore et insipide, il remplace l'oxygène dans le sang et provoque l'effet de serre en se transformant en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>).
- ✓ **Le niveau d'hydrocarbures imbrûlés (HC)**  
Fines particules toxiques et cancérigènes.
- ✓ **Le niveau d'oxydes d'azote (NOx)**  
Gaz couleur rouille qui entraîne des problèmes respiratoires et participe au phénomène des pluies acides.
- ✓ **Le niveau de mélange de NOx et HC (depuis 1993).**

Les normes antipollution relatives au motocycle sont édictés par le Parlement Européen sous formes de directives :

- ✓ **Directive 97/24/CE** du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 1997 relative à certains éléments ou caractéristiques des véhicules à moteur à deux ou trois roues.
- ✓ **Directive 2002/51/CE** du Parlement Européen et du Conseil du 19 juillet 2002 relative à certains éléments ou caractéristiques des véhicules à moteur à deux ou trois roues et modifiant la directive 97/24/CE.
- ✓ **Directive 2002/24/CE** du Parlement Européen et du Conseil du 18 mars 2002 relative à la réception des véhicules à moteur à deux ou trois roues et abrogeant la directive 92/61/CE du Conseil.

La directive 97/24/CE inclut deux étapes de sévèrisation des rejets de CO et HC + NOx pour les cyclomoteurs :

	CO (g/km)	HC + NOx (g/km)
1999	6,0	3,0
2002	1,0	1,2

Concernant les motocycles, cette directive ne prévoyait qu'une seule étape. Néanmoins, la directive 2002/51/CE modifie la directive 97/24/CE en introduisant des limites d'émission plus strictes pour les motocycles, en deux étapes (2004 puis 2006) :

	CO (g/km)		HC (g/km)		NOx (g/km)	
	2 temps	4 temps	2 temps	4 temps	2 temps	4 temps
1999 (Euro 1)	8.0	13.0	4.0	3.0	0.1	0.3
2004 (Euro 2)	5.5		1.2 (1.0 si >150 cc)		0.3	
2006 (Euro 3)	2.0		0.8 (0.3 si >150 cc)		0.15	

### Les conséquences pour le motocycle

Afin de respecter ces nouvelles normes de rejets (Euro 2 et 3), plusieurs évolutions technologiques doivent donc être mises en œuvre :

Ainsi :

- ✓ pour les moteurs à deux temps, la catalyse d'oxydation et l'injection directe (avec ou sans catalyseur d'oxydation) ;
- ✓ pour les quatre temps de faible cylindrée (inférieur à 250 cm<sup>3</sup>), le réglage fin de la carburation ;
- ✓ pour les quatre temps de cylindrée plus élevée, le catalyseur d'oxydation et/ou l'injection de carburant.

## B. LES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

### L'injection deux temps

Pour les moteurs à deux temps, les technologies qu'il serait possible de mettre en œuvre sont le catalyseur d'oxydation et l'injection directe (avec ou sans catalyseur d'oxydation).

L'injection directe est considérée comme étant la technologie la plus avancée, car elle se distingue par des caractéristiques supérieures du point de vue de la réduction des émissions d'HC et de CO, de la consommation de carburant, de la durabilité des performances de faible émission et des dispositifs anti-manipulation.

La technologie de l'injection directe pour les moteurs à deux temps est potentiellement capable d'amener les émissions au même niveau que celles des moteurs à quatre temps et, par conséquent, de rendre inutile la distinction établie par la directive en vigueur entre les limitations applicables aux deux temps et aux quatre temps.

Le potentiel de réduction des émissions d'HC est estimé à -70 % par rapport aux résultats obtenus avec les technologies actuelles.

Par contre, l'utilisation de cette technologie entraînerait inévitablement un léger accroissement des émissions de NOx, jusqu'à un niveau proche de celui des moteurs à quatre temps.

Divers constructeurs de moteurs à deux temps travaillent au développement de cette technologie et certains ont déjà lancé un modèle sur le marché.

Ainsi, la marque Peugeot Motocycles s'est penchée sur la mise au point de solutions techniques adaptées aux moteurs thermiques à deux temps.

Looxor est le premier véhicule à utiliser ce procédé, dès le début 2002, sur sa version 50 cm<sup>3</sup>.

Aujourd'hui c'est sur l'Elystar 50 cm<sup>3</sup> et le Jet Force 50 cm<sup>3</sup> que ce système est adapté.

**Peugeot : Looxor 50 cm<sup>3</sup> TDSI**  
(monocylindre deux temps à injection directe)



Source Peugeot

**Peugeot : JET FORCE 50 cm<sup>3</sup> TDSI**  
(monocylindre deux temps à injection directe)



Source Peugeot

### L'injection quatre temps

Pour les moteurs à quatre temps, les technologies qui peuvent être mises en œuvre pour limiter notablement les émissions sont :

- ✓ l'injection d'air secondaire (IAS) ;
- ✓ le catalyseur d'oxydation (CO) avec ou sans injection d'air secondaire ;
- ✓ le catalyseur à trois voies en boucle fermée (CTV).

Les potentiels de réduction des émissions d'hydrocarbures sont estimés respectivement à - 25 %, de - 50 à - 65 % et de - 60 à - 80 % pour chacune de ces trois options par rapport aux potentiels des technologies actuelles (évaluées sur le cycle d'essai actuel).

Seule la technologie du catalyseur à trois voies permet une réduction importante des émissions de NOx.

Les constructeurs se sont déjà adaptés pour la plupart en mettant sur le marché des modèles utilisant l'injection.

Par exemple :

- ✓ Suzuki avec la GSX-R 750 ;
- ✓ Kawasaki avec la ZX6R/RR ;
- ✓ Yamaha avec la YZF R6 ;
- ✓ Honda CBR 600 RR ;

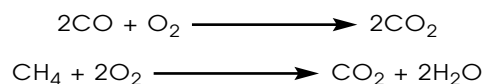
## C. LES APPLICATIONS

### L'insufflation d'air

Conformément, aux directives de la norme antipollution Euro 2, les constructeurs utilisent massivement les systèmes d'insufflation d'air dans l'échappement.

Dans le but de parfaire les réactions d'oxydation de la combustion, le système d'admission d'air introduit de l'air frais au voisinage des soupapes d'échappement :

Rappel : Équations de réaction d'oxydation caractéristiques



Cet apport d'oxygène permet, grâce à la température élevée qui y règne (environ 1 700 °C), d'oxyder les hydrocarbures imbrûlés (HC) et le monoxyde de carbone (CO) issus des combustions incomplètes. Cette réaction est appelée post-combustion. En plus d'une température supérieure à 500 °C et d'un apport d'air, elle nécessite un dosage relativement riche afin d'entretenir cette post-combustion et de limiter par là-même l'émission d'oxydes d'azotes (NOx).



Suzuki GSX-R 750



Kawasaki ZX6R RR



Yamaha YZF R6



Honda CBR 600 RR

### Le système PAIR (Pulsed Air Intake Regulation)

Il s'agit d'un système mécanique de gestion de l'air pulsé, dont presque toutes les machines actuelles sont équipées. Sans effets notoires sur les performances, il permet de réduire d'environ 50 % les émissions de CO et de HC.

Il est composé de flexibles qui acheminent l'air frais de la boîte à air vers les sorties d'échappement d'un ou plusieurs clapets (évitant tout retour des gaz imbrûlés vers l'admission) et d'une soupape de régulation asservie à la pression tubulaire.

Ce dernier élément est indispensable puisqu'il permet de couper en phase de décélération l'insufflation d'air, évitant ainsi toute détonation dans l'échappement.

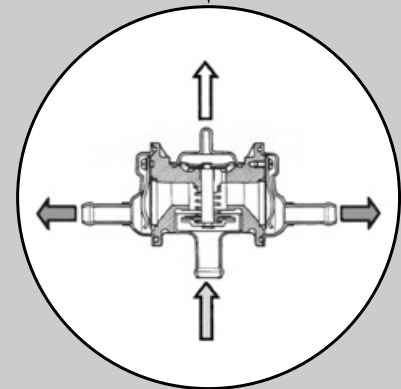
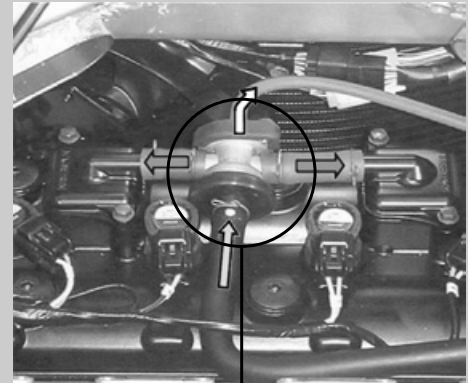
### Fonctionnement du système

Lorsqu'un cylindre se trouve en phase d'échappement, la vitesse d'écoulement des gaz brûlés engendre une chute de pression au niveau de la soupape d'échappement.

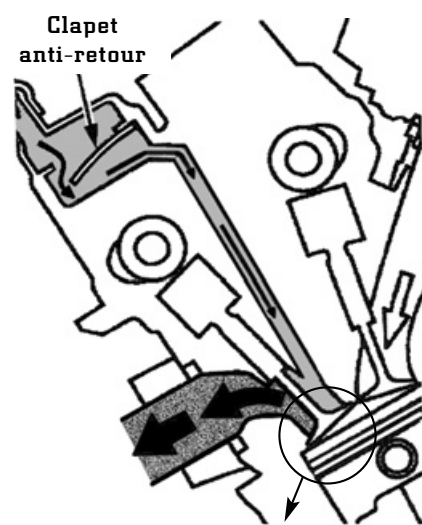
L'air traverse alors la soupape de régulation et le clapet anti-retour avant de se diluer à la veine gazeuse et de permettre une réaction de post-réduction.

En décélération, la soupape de régulation exploite la forte dépression qui règne à l'admission pour obturer le passage de l'air.

Soupape de régulation



- ➔ Entrée d'air venant de la boîte à air
- ➔ Air vers les soupapes d'échappement
- ➔ Vers corps d'injection



Chapelle d'échappement

- Gaz d'échappement dilués

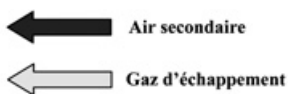
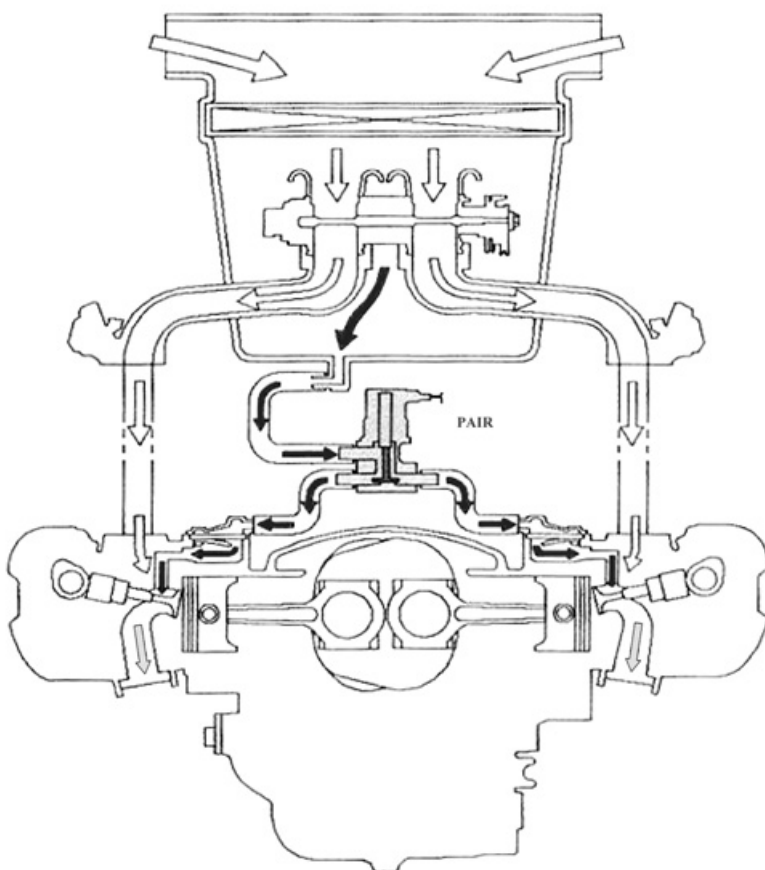
Suzuki GSX-R 750 (2000)

### Électrovanne de coupure d'air

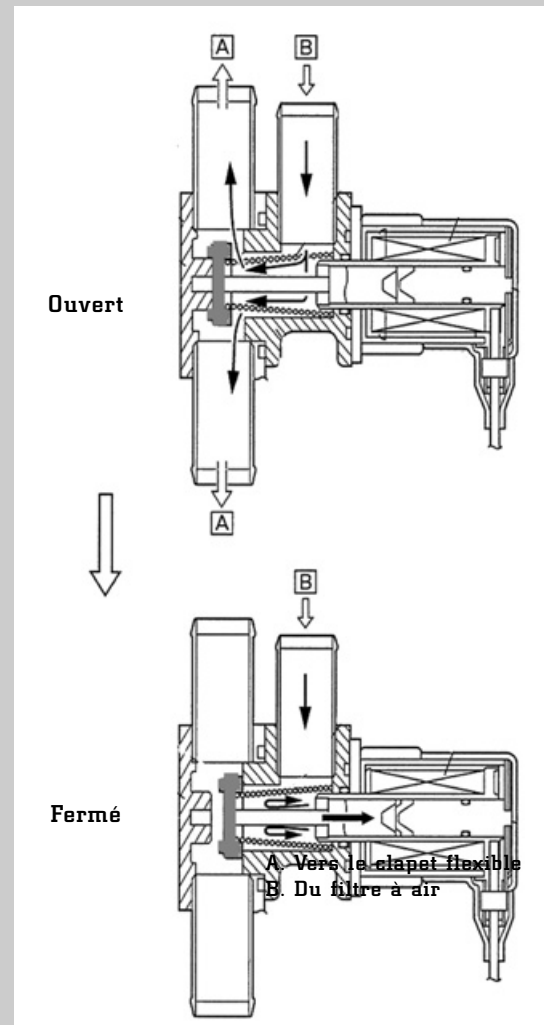
Désormais, les véhicules équipés d'une gestion moteur électronique voient leur soupape de régulation remplacée par une électrovanne commandée par le calculateur et souvent appelée électrovanne PAIR.

Ce système permet d'optimiser la gestion de l'injection d'air secondaire notamment dans les phases de départ à froid.

**Injection d'air secondaire**  
Source Honda GL 1800



**Électrovanne de coupure d'air**  
Source Yamaha FJR 1300



## La catalyse

### Le catalyseur

Placé sur la ligne d'échappement entre le moteur et le silencieux, le catalyseur accroît la vitesse d'une réaction chimique sans y prendre part. Il s'agit donc d'un réacteur chimique permettant de réaliser des réactions d'oxydation, mais aussi de réduction des oxydes d'azote (réactions catalytiques) :

Rappel : Réaction d'oxydation caractéristique



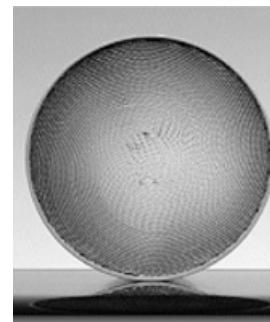
### Sa constitution

#### Le support

Le support (substrate) est dit monolithique (un seul morceau). Il peut y en avoir plusieurs à la suite selon le volume du catalyseur (proportionnel à la cylindrée du moteur).

Les matériaux employés sont généralement la céramique (cordiérite) et de plus en plus l'alliage d'acier (Fe-20Cr-5Al).

Le monolithe s'apparente à un nid d'abeilles et contient une structure alvéolaire.



Support métal



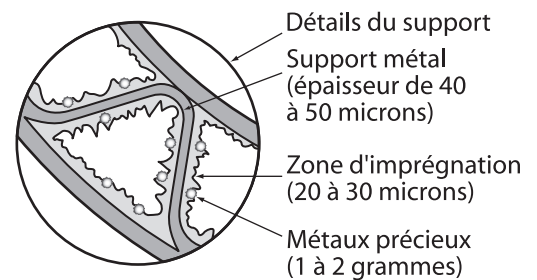
Support céramique

#### L'imprégnation

La zone d'imprégnation ou revêtement (wash-coat) des alvéoles permet d'augmenter la surface effective du catalyseur de plusieurs milliers de fois. Elle contient les métaux précieux qui permettent d'obtenir une « activité catalytique » nécessaire à la conversion des polluants.

Les microcristaux de métaux précieux sont divisés comme suit :

- ✓ PLATINE : activateur des réactions d'oxydation ;
- ✓ PALLADIUM : activateur des réactions d'oxydation ;
- ✓ RHODIUM : utilisé pour la réduction.



Source INCM

#### L'enveloppe

En acier inoxydable ferritique, elle permet de minimiser les dilations à haute température entre le monolithe lorsqu'il est en céramique et l'enveloppe. Afin d'assurer un parfait maintien du support dans l'enveloppe, les fabricants y intercalent une nappe en tricot métallique, ou à base de fibres en céramique composées d'alumine dopée au mica. Cette technologie permet d'absorber les écarts de dilatation entre l'enveloppe et le support.

Dans le cas du monolithe en acier, les nappes sont inutiles car les matériaux utilisés ont des coefficients de dilatation similaires.

### Les différents pots catalytiques

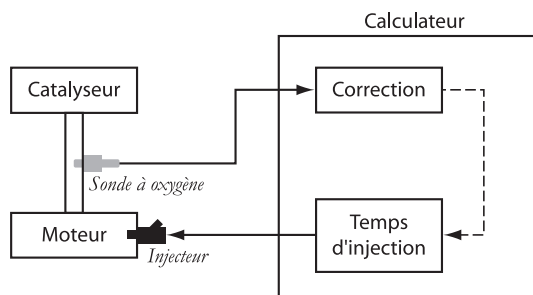
#### Les pots avec catalyseur à oxydation

Ils sont très prisés actuellement par les constructeurs puisqu'ils sont, dans l'immédiat, suffisants pour respecter la norme Euro 2. De plus, ils ne nécessitent aucune adaptation particulière du véhicule et sont un complément aux systèmes d'insufflation d'air.

#### Les pots avec catalyseur trifonctionnel

Ce sont les catalyseurs trois voies qui permettent de traiter simultanément trois polluants (CO, HC, NOx). Par rapport aux catalyseurs à oxydation, ils sont constitués de la même manière avec du rhodium en plus, qui facilite les réactions de réduction.

### Particularités d'un système trifonctionnel



### Synoptique d'un système trifonctionnel « bouclé »

#### La sonde lambda

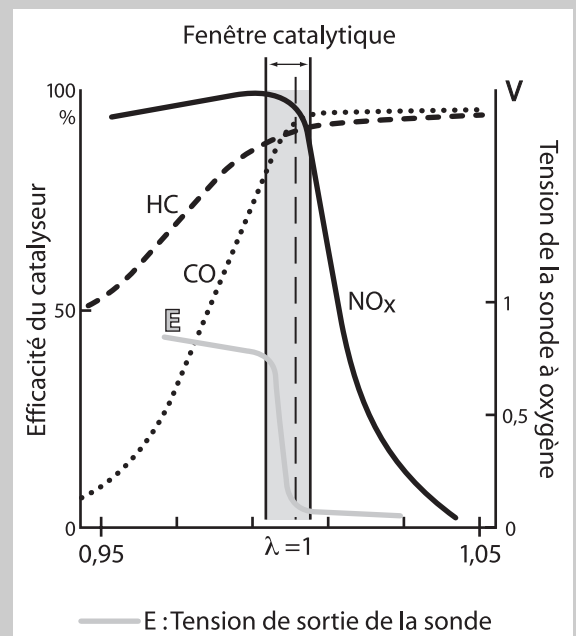
Seul un parfait équilibre des trois polluants à l'entrée du catalyseur, permet de faire fonctionner le système trifonctionnel. Cet équilibre chimique n'est atteint qu'avec un mélange stoechiométrique à l'entrée du catalyseur. Cette condition est vérifiée en permanence par une sonde lambda qui relève la concentration en oxygène des gaz d'échappement (système bouclé). Ceci permet au calculateur d'ajuster en permanence la richesse du moteur afin de maintenir cet équilibre avec des écarts qui devront rester dans la fenêtre catalytique (0,98 <  $\lambda$  < 1,02).

#### Amorçage du catalyseur

L'amorçage du catalyseur (light-off) n'est effectif que si la température des gaz d'échappement est comprise entre 250 °C et 270 °C. Le temps nécessaire au catalyseur pour entrer en fonction n'excède pas en général les 200 secondes après démarrage ; temps pendant lequel seule l'insufflation d'air est efficace.



**Catalyseur à oxydation (2 voies)  
sur XLV 650 Source Honda**



### Particularité du système trifonctionnel



Les systèmes de volet ou boisseau à l'échappement viennent compléter les dispositifs de contrôle de l'entrée d'air. De manière générale, ils permettent de limiter le bruit à l'admission et à l'échappement et offrent un meilleur agrément de conduite.

### ACOUSTIQUE DE L'ÉCHAPPEMENT

Dans le cas d'un multicylindre, à l'ouverture de la soupape d'échappement, apparaît une onde de pression appelée contre-pression dans la ligne d'échappement. Elle progresse alors jusqu'au silencieux où elle se réfléchit en onde de dépression, favorisant ainsi la vidange du cylindre.

La difficulté réside dans le fait que cette onde de dépression doit arriver avant que la soupape ne se referme. Or ceci ne se produit que pour un régime donné et une configuration géométrique de la ligne d'échappement : c'est l'accord acoustique.

### PRÉSENTATION DU SYSTÈME H-VIX DE HONDA

Le système de commande H-VIX d'HONDA permet d'exploiter au mieux l'acoustique de la ligne d'échappement en modifiant sa configuration géométrique afin de bénéficier d'un bon accord pour différents régimes moteur.

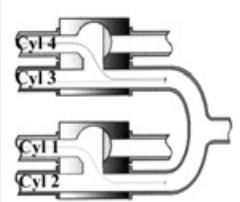
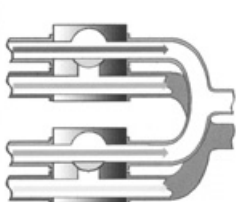

Un servo-moteur commandé par le calculateur permet d'actionner un boisseau dans l'échappement en titane et modifie ainsi le couplage des échappements.

#### Intérêt du H-VIX

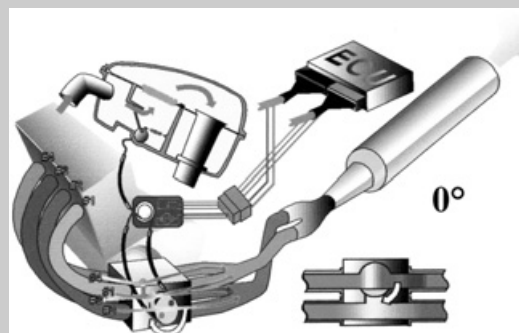
En modifiant le couplage des échappements entre eux de sorte que la longueur des tuyaux d'échappement s'en trouve modifiée, il en résulte une contre-pression au niveau des soupapes d'échappement qui diminue lorsque le régime augmente.

Ceci a pour but d'améliorer le transvasement des gaz brûlés pendant la phase d'échappement tout en limitant le phénomène de court-circuitage des gaz frais vers l'échappement, pendant la phase de croisement des soupapes.

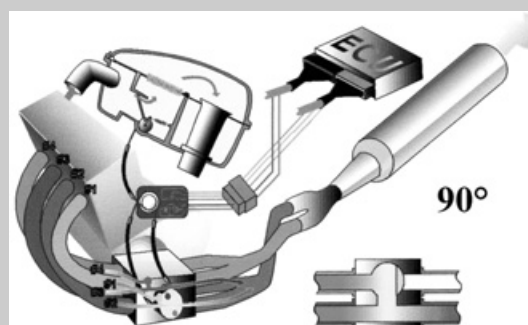
#### Phases de fonctionnement du H-VIX

Bas régime	Régime intermédiaire	Haut régime
		

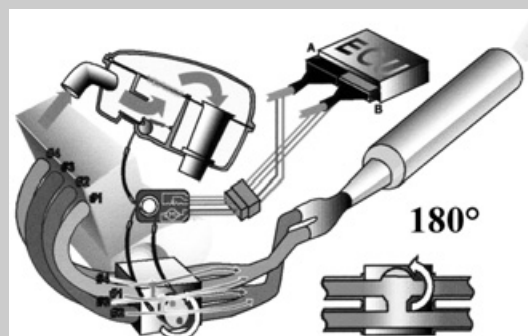
Bas régime, configuration 4 en 1  
(forte contre-pression)



Régime intermédiaire, configuration 4 en 2, en 1  
(contre-pression plus faible)



Haut régime, configuration 4 en 2 (connexion 2 à 2), en 1  
(contre-pression la plus faible)



Source Honda CBR 900RR (2000)

## HISTORIQUE

En 1974, Motobécane fit une tentative d'injection deux temps sur sa 500 trois cylindres, qui ne connut pas de suite commerciale.

En 1995, Honda engage l'EXP 2, un monocylindre deux temps, à refroidissement par eau et à alimentation par injection au Rallye Paris Dakar. Ce prototype permet de tester une nouvelle gestion de l'allumage appelé ARC (Activated Radical Combustion) associé à une injection. Mais depuis cette apparition, seul le FES 125 Pantheon en 1998 a repris cette technologie ARC mais avec un carburateur.

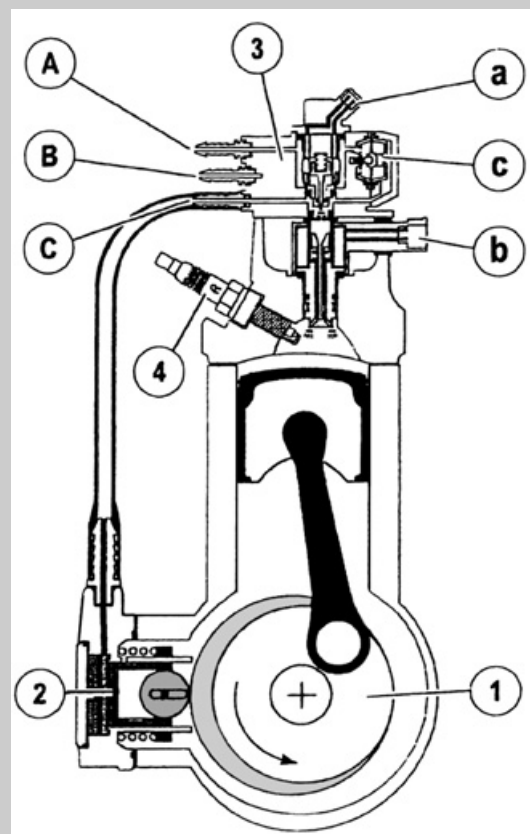
En 1997, BIMOTA commercialise une moto dotée d'un deux temps de 500 cm<sup>3</sup>, bicylindre en V refroidi par eau, extrêmement performant et répondant aux normes antipollution. Afin d'éviter toute déperdition de carburant, BIMOTA a eu l'idée de n'injecter l'essence qu'à partir du moment où la lumière d'échappement (la plus haute dans le cylindre) est totalement fermée, c'est-à-dire dans un laps de temps extrêmement court et alors que l'air a un taux de pression très important.

Depuis le début des années 1980, la société australienne ORBITAL a conçu un procédé d'injection directe. Ce procédé se retrouve actuellement sur des scooters 50 cm<sup>3</sup> deux temps des marques APRILIA, PEUGEOT, PIAGGIO et GILERA.

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Comme pour l'injection BIMOTA, l'injection ORBITAL pulvérise le carburant à la remontée du piston. Ceci évite de devoir injecter sous une forte pression pendant la phase de transfert. En contrepartie, la faible pression d'essence pose des problèmes de pollution. Pour les résoudre, ORBITAL injecte dans le cylindre un mélange air/essence.

La pression d'essence est obtenue grâce à une pompe électrique comme sur les injections pour quatre temps. La pression d'air est obtenue grâce à une pompe à piston commandée par un excentrique taillé dans un des volants d'inertie du vilebrequin. La pression entre l'essence et l'air injecté est régulée comme sur les injections quatre temps. La pression d'essence est supérieure à la pression d'air (environ 2,5 bars).



1. Embiellage
2. Compresseur
3. Rampe d'alimentation
  - a. injecteur d'essence
  - b. injecteur d'air
  - c. régulateur de pression d'essence
- A. Arrivée du carburant
- B. Retour du carburant
- C. Arrivée de l'air sous pression

Source Peugeot Motocycles

L'injection d'essence se fait en amont de l'injecteur d'air. Un délai est appliqué entre la commande de l'injecteur d'essence et l'injecteur d'air.

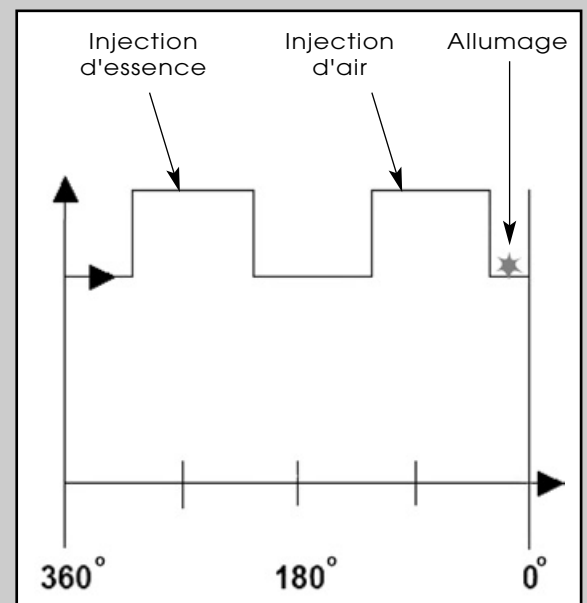
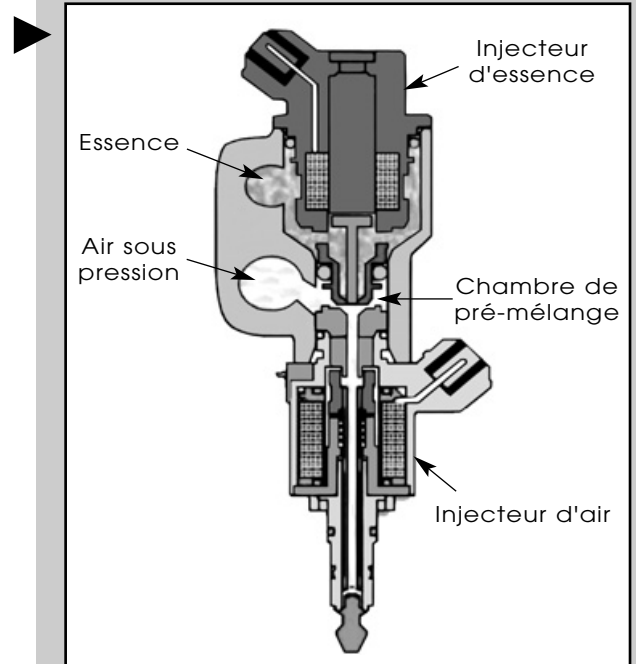
Cette méthode d'injection permet de diffuser dans le cylindre des gouttelettes de huit microns de diamètre.

Ce type d'injection permet de gérer plus facilement le rapport essence/air. La valeur passe de 1/50 au ralenti à 1/20 en pleine charge.

La pollution, grâce à ce système d'injection, est d'environ 50 % moindre par rapport à un deux temps de même cylindrée.

La gestion de la quantité d'essence injectée est du même type que pour les injections à quatre temps avec l'utilisation d'un capteur vilebrequin, d'un potentiomètre papillon et d'un capteur de température d'eau et d'air.

Pour information, le graissage séparé se fait grâce à une pompe, l'huile étant injectée directement dans le conduit d'admission juste après la boîte à clapets.



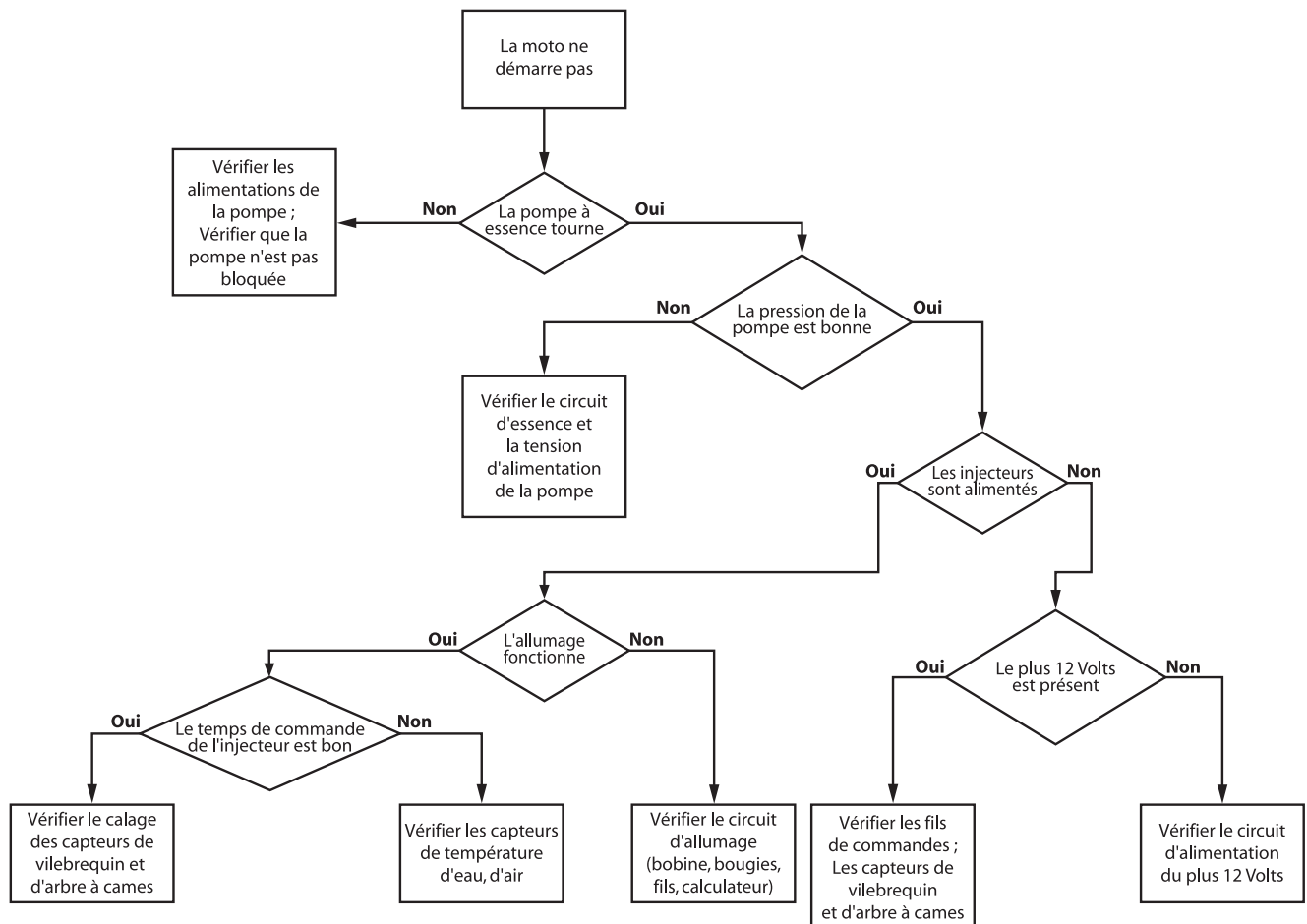
Avant tout diagnostic, il est essentiel de vérifier le bon fonctionnement ou le bon état des divers éléments constituant la moto hors circuit d'injection, mais pouvant influencer sur le fonctionnement du moteur.

Ainsi, il est nécessaire au préalable de vérifier :

- ✓ l'état de charge de la batterie ;
- ✓ le bon fonctionnement du démarreur ;
- ✓ le niveau d'essence dans le réservoir ;
- ✓ le bon état du filtre à air ;
- ✓ le bon état du circuit d'échappement ;
- ✓ le bon fonctionnement du circuit de refroidissement et de lubrification pour écarter des problèmes de chauffe moteur ;
- ✓ le bon fonctionnement du système de distribution (calage de la chaîne de distribution, jeux aux soupapes, ...) ;
- ✓ le bon taux de compression.

Après cela, plusieurs situations peuvent se présenter :

### LA MOTO NE DÉMARRE PAS



**LA MOTO DÉMARRE DIFFICILEMENT A FROID**

- ✓ Vérifier la pression, le débit et l'alimentation de la pompe.
- ✓ Vérifier les capteurs de température d'eau et d'air.

**LA MOTO « NE PREND PAS LES TOURS » EN CHARGE**

- ✓ Vérifier la pression, le débit et l'alimentation de la pompe.
- ✓ Vérifier la commande des papillons secondaires d'admission et d'échappement.

**SOIT LE MÉLANGE EST TROP PAUVRE, SOIT IL EST TROP RICHE**

- ✓ Vérifier la pression, le débit et l'alimentation de la pompe.
- ✓ Vérifier les sondes de température d'eau et d'air.
- ✓ Vérifier la tension de la sonde lambda.

**LA MOTO NE RÉPOND PAS EN REPRISE**

- ✓ Vérifier la pression, le débit et l'alimentation de la pompe.
- ✓ Vérifier le potentiomètre papillon.
- ✓ Vérifier la commande des papillons secondaires d'admission et d'échappement.

Afin de répondre aux normes Euro 2 dans l'immédiat et aux futures normes Euro 3, les systèmes d'injection vont devoir s'adapter.

En effet, les systèmes d'insufflation d'air et les catalyseurs actuels ne pourront pas se conformer aux normes Euro 3.

Pour remédier à cet état de fait, on assistera à la généralisation des systèmes bouclés avec catalyseurs trifonctionnels et sonde à oxygène.

Enfin, le calculateur d'injection va gérer de plus en plus d'actuateurs visant à piloter les valves d'échappement, les clapets dans les boîtes à air, ou encore les doubles papillons. En conséquence, ce calculateur va permettre le développement des systèmes de confort pour les modèles haut de gamme (Hifi , GPS, ...).





## SIÈGE NATIONAL

### ■ A.N.F.A.

41-49 rue de la Garenne - BP 93 - 92313 Sèvres Cedex  
Tél. : 01.41.14.16.18 ; fax : 01.41.14.16.00

## DÉLÉGATIONS RÉGIONALES

### ■ A.N.F.A. *Aquitaine, Poitou-Charentes*

22 rue Catulle-Mendès - 33800 Bordeaux  
Tél. : 05.56.85.44.66 ; fax : 05.56.49.34.02

### ■ A.N.F.A. *Auvergne, Limousin*

1 rue Képler - 63100 Clermont-Ferrand  
Tél. : 04.73.14.47.50 ; fax : 04.73.14.47.69

### ■ A.N.F.A. *Bretagne, Pays de la Loire*

2 cours des alliés - BP 20921 - 35009 Rennes Cedex  
Tél. : 02.99.31.53.33 ; fax : 02.99.31.47.11

### ■ A.N.F.A. *Centre, Basse-Normandie, Haute-Normandie*

23 Avenue des Droits de l'Homme - 45000 Orléans  
Tél. : 02.38.62.76.33 ; fax : 02.38.77.19.40

### ■ A.N.F.A. *Île-de-France*

41-49 rue de la Garenne - BP 93 - 92313 Sèvres Cedex  
Tél. : 01.41.14.61.13 ; fax : 01.41.14.16.56

### ■ A.N.F.A. *Franche-Comté, Bourgogne*

Le Forum - 5 rue Albert Thomas - 25000 Besançon  
Tél. : 03.81.60.74.80 ; fax : 03.81.60.74.85

### ■ A.N.F.A. *Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées*

570 Cours de Dion Bouton - BP 58079 - 30932 Nîmes Cedex 9  
Tél. : 04.66.70.63.80 ; fax : 04.66.70.63.81

### ■ A.N.F.A. *Lorraine, Alsace, Champagne-Ardenne*

32 rue Lothaire - 57000 Metz  
Tél. : 03.87.62.10.38 ; fax : 03.87.62.10.36

### ■ A.N.F.A. *Picardie, Nord-Pas-de-Calais*

Immeuble Sanelec - ZAC La Vallée  
rue Antoine Parmentier - 02100 Saint-Quentin  
Tél. : 03.23.64.83.55 ; fax : 03.23.64.30.36

### ■ A.N.F.A. *Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse*

Atrium 101 ; 10 place de la Joliette - 13304 Marseille Cedex 2  
Tél. : 04.91.90.62.62 ; fax : 04.91.90.97.72

### ■ A.N.F.A. *Rhône-Alpes*

Centre d'activités « Le champ du Roy »  
40 rue Hélène Boucher - C.P. 229  
69164 Rillieux-la-Pape cedex  
Tél. : 04.72.01.43.93 ; fax : 04.72.01.43.99

