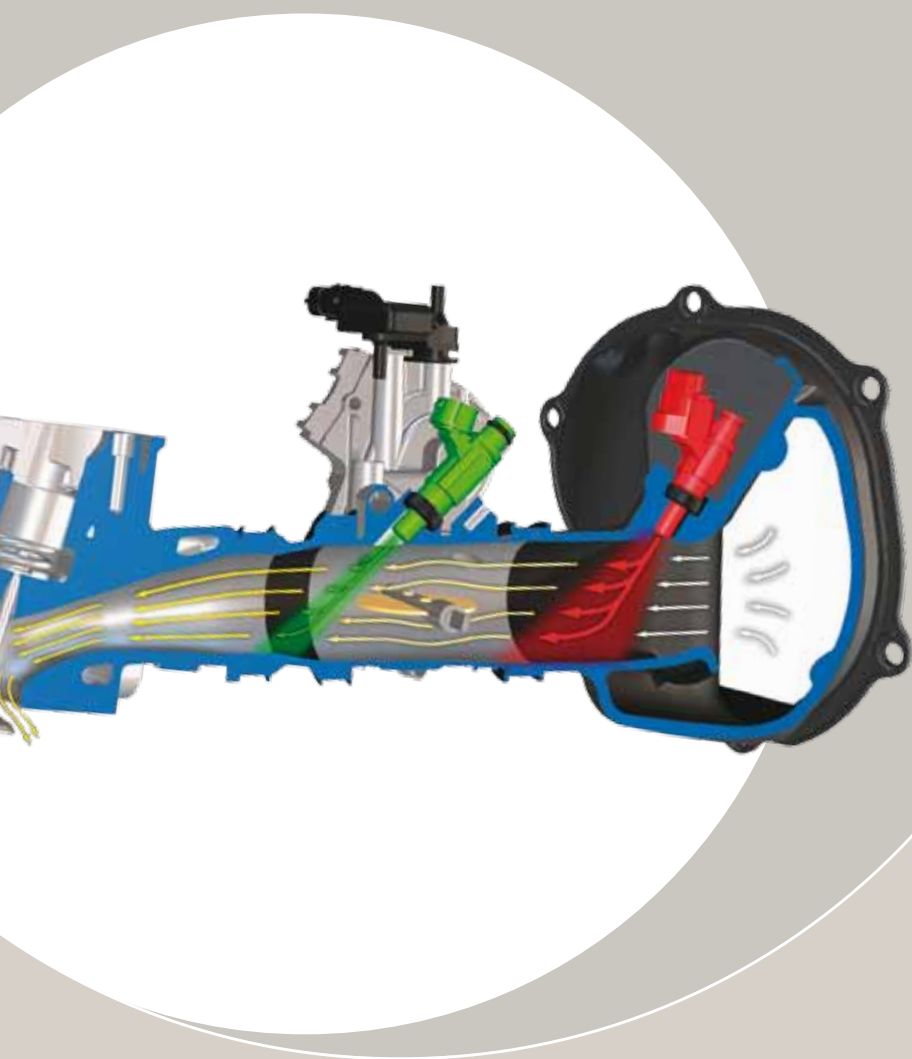


**DOSSIER  
TECHNIQUE**



# L'injection motocycle



Actuateurs - Régulation - No<sub>x</sub> - 4 Temps - Injecteurs - By-pass - Oxydation - Pression - Double papillon - Échappement - Capteurs - Diagnostic - Injecteurs



# L'injection motorcycle



Dossier créé avec la collaboration du  
Groupement National pour la Formation Automobile  
[www.gnfa-auto.fr](http://www.gnfa-auto.fr)

Antoine Gomez  
Formateur technique au GNFA



<b>1. Introduction .....</b>	<b>6</b>
A. Pourquoi l'injection .....	6
B. Historique .....	7
C. Les normes antipollution .....	8
D. Le principe de la combustion .....	9
E. Le traitement de la pollution .....	11
<b>2. Les solutions d'injection .....</b>	<b>13</b>
A. Généralités .....	13
B. L'injection directe .....	14
C. L'injection indirecte .....	15
<b>3. Le circuit d'air .....</b>	<b>16</b>
A. Généralités .....	16
B. La mesure directe .....	17
C. La mesure indirecte .....	18
D. Le circuit d'alimentation en air au ralenti et au départ à froid .....	23
E. Les papillons secondaires .....	26
F. Les papillons motorisés .....	27
G. Les pipes d'admission variables .....	28
<b>4. Le circuit d'alimentation en essence .....</b>	<b>30</b>
<b>5. Le circuit d'échappement .....</b>	<b>31</b>
<b>6. Le circuit électrique .....</b>	<b>32</b>
A. Les capteurs .....	34
B. Les actionneurs .....	40
<b>7. Le calculateur et ses périphériques .....</b>	<b>43</b>
A. Généralités .....	43
B. Les différents types d'injection .....	43
<b>8. Le diagnostic .....</b>	<b>45</b>
A. Premières vérifications .....	45
B. La détection des pannes .....	47
<b>9. Conclusion .....</b>	<b>48</b>
<b>10. Annexes .....</b>	<b>49</b>
A. Normes antipollution .....	49
B. Lexique .....	49

Le précédent dossier, intitulé « *Technologie de la moto, les systèmes d'injection* », édité en 2005 fait état de l'art de l'injection motorcycle cette année-là. Des normes antipollution rigoureuses viennent alors de paraître, les auteurs s'attachent donc en priorité à présenter les premiers traitements de la pollution par l'injection.

Ainsi, au moment de la rédaction du support, les techniques de doubles papillons existent déjà depuis quelques années, le deux-temps compte parmi les solutions de motorisation en circulation sur le parc européen et l'injection directe apparaît alors comme une des solutions au traitement de la pollution.

À l'heure actuelle, avec l'apparition de normes de plus en plus sévères ainsi que le souhait du consommateur de conduire des véhicules de plus en plus puissants (nécessitant des régimes de rotation très élevés), l'implantation de systèmes d'injection s'est généralisée sur la très grande majorité du parc de véhicules motorcycles et les technologies ont grandement évolué.

Une mise à jour des contenus de ce dossier s'avérait donc nécessaire afin de traiter de l'injection telle qu'on la rencontre sur le marché du motorcycle actuel.

Après un bref rappel historique, les premiers chapitres font état des nouvelles normes antipollution et des solutions technologiques qu'elles ont suscitées. La progression du dossier suit ensuite les flux naturels de l'air et de l'essence dans le moteur pour finir dans l'échappement. Enfin, il présente le système électrique commandant l'injection ainsi que la démarche de diagnostic correspondante.

## A. POURQUOI L'INJECTION

Inventée fin XIX<sup>e</sup> siècle et développée pour l'automobile au début de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, l'injection se développe dans les années 1990 en remplacement des carburateurs, afin d'améliorer le rendement de la combustion et d'augmenter les performances du moteur.

Dans le secteur du motorcycle, les constructeurs introduisent d'abord l'injection en compétition puis l'intègrent peu à peu à des modèles de prestige ou à forte puissance. Les contraintes d'émissions imposées par le législateur donnent ensuite un nouvel élan à son développement, facilité par les avancées en matière de traitement de la pollution dans le secteur automobile.

L'injection s'impose rapidement comme solution grâce à ses capacités de diminution des émissions de gaz. En effet, grâce à sa souplesse de gestion, l'injection permet de mieux gérer le rapport air/essence de la combustion. Elle permet de réaliser un dosage plus précis avec pour conséquence la diminution de la présence de substances toxiques et polluants dans les gaz d'échappement. Assistée par l'électronique et le numérique, les performances de l'injection sont encore améliorées. Il est par exemple aujourd'hui possible de gérer la masse d'essence et d'air en fonction de la demande du conducteur et des divers paramètres de fonctionnement de la moto.

## B. HISTORIQUE



*Rudolph Diesel*

**1893** Le premier brevet de moteur à combustion interne doté d'une injection est déposé par l'ingénieur Allemand Rudolph Diesel.



*La Mercedes 300SL*

**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 (USA).



*Motobécane doté d'un système à injection électronique*

**1954** Apparition de la première voiture de (petite) série dotée d'un système d'injection : La Mercedes 300SL.

**1955** BMW utilise les premières applications de l'injection sur leurs motos en Grand Prix.



*La Kawasaki Z1300 six cylindres*

**1960** MV Agusta expose au salon de Milan un 125 monocylindre deux-temps à injection mécanique.

**1971** Motobécane dote d'un système à injection électronique d'abord une 125 cm<sup>3</sup>, puis sur une trois cylindres.



*La CX-500 Turbo*

**1980** Apparition de la première moto de série équipée d'une injection : la Kawasaki 1000Z, suivi de la Z1300 six cylindres.

**1982** Honda introduit sur le marché la CX - 500 turbo, première moto de grande série équipée d'une injection appelée «Computerized Fuel Injection».



*La BMW K100*

**1984** BMW équipe la série des K75 et K100.

Les motos produites en grandes séries équipées de l'injection, sont apparues progressivement à partir du début des années 90. Citons par exemple :

- La Ducati 851 en 1988, puis la 888, suivie de la 916 en 1995
- La Honda RC45 en 1991, suivie de la VFR800 en 1993
- La Yamaha GTS1000 en 1993, puis la R7 en 1999 et la R1 en 2002
- La Suzuki TL1000R en 1998, suivie de la GSX1300R Hayabusa en 1999
- La Kawasaki ZX12R en 2001 suivie de la ZZR1400 en 2005.



*Scoter NRG Piaggio*

Au début des années 2000, Piaggio, Aprilia, Gilera ainsi que Peugeot sortent des modèles 2 temps à injection directe sur la base d'une injection Orbital.

Depuis 2003, la sévérité des normes antipollution a imposé le recours à l'injection que ce soit pour les modèles de motos routières ou pour les modèles de motos enduro, cross et trial.

## C. LES NORMES ANTIPOLLUTION

Dans le domaine de la motorisation, la principale préoccupation des constructeurs est la parution successive de nouvelles normes antipollution (Cf. Annexes) depuis le début des années 2000.

Pour répondre à ces normes, le constructeur a deux possibilités :

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

Les normes antipollution prennent en compte quatre éléments :

- le niveau de monoxyde de carbone (CO) ; gaz incolore, inodore et insipide, il empêche le transport de l'oxygène dans le sang ; il provoque aussi 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 (NO<sub>x</sub>) ; le NO est un gaz incolore et le NO<sub>2</sub> est un gaz couleur rouille. Ils entraînent des problèmes respiratoires et participent au phénomène des pluies acides,
- le niveau de mélange de NO<sub>x</sub> et HC (depuis 1993).

Les normes antipollution sont adaptées à chaque type de véhicule et mises en oeuvre de façon échelonnée. Pour la moto, la norme Euro 3 a été introduite en 2006 et les normes Euro 4 et 5 entreront en application respectivement en janvier 2016 et janvier 2020.

Le but visé est la réduction de la masse des émissions des véhicules neufs entre 2009 et 2020 de 16% pour le CO, de 15% pour les HC, de 37% pour les fines particules et de 27% pour les NO<sub>x</sub>.

Pour bien maîtriser les gaz polluants émis par les pots d'échappement, il convient de comprendre ce qui se passe dans la chambre de combustion.



## D. LE PRINCIPE DE LA COMBUSTION

Le système d'injection doit réaliser un mélange combustible entre l'essence (le carburant) et l'oxygène (le comburant). Pour être combustible, le mélange doit être :

- gazeux au moment de l'allumage,
- homogène,
- correctement dosé,
- correctement réparti cylindre par cylindre.

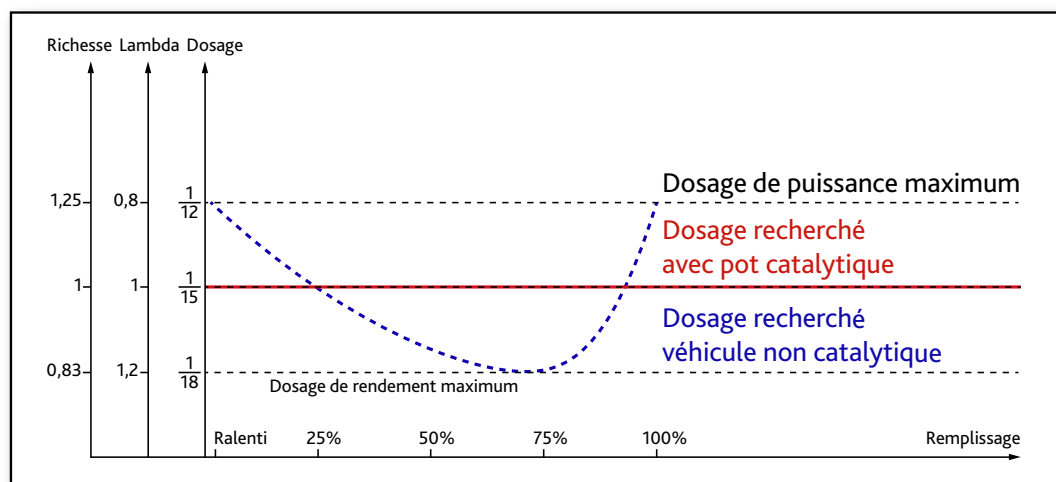
Le rapport entre la masse d'essence et la masse correspondante d'air est appelé dosage.

### → Le dosage

Le dosage parfait a reçu le nom de dosage stœchiométrique, ou encore de dosage théorique. Suivant la qualité du carburant, il varie entre 1/14,7 et 1/15,3.

La richesse est le rapport entre le dosage réel et le dosage idéal. Inférieur à 1, le mélange est pauvre ; supérieur à 1, il est riche.

Le rapport d'air lambda est le rapport entre la masse d'air aspirée et la masse d'air théorique. Inférieur à 1, le mélange est riche ; supérieur à 1, il est pauvre.



*Courbe de dosage*

### → La composition des gaz

À l'entrée du moteur, il y a :

- de l'air : Oxygène ( $O_2$ )  $\approx$  22% et Azote ( $N_2$ )  $\approx$  78%,
- et de l'essence : Hydrocarbures (HC).

À la sortie du moteur, si la réaction est complète, il y a :

- de l'eau ( $H_2O$ ),
- du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ),
- et de l'azote ( $N_2$ ) qui n'a pas en théorie participé à la combustion.

Cette réaction complète est théorique. À la sortie du moteur, elle est malheureusement imparfaite, il y a en réalité :

- de l'eau ( $H_2O$ ),
- du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ),
- de l'azote ( $N_2$ ) qui n'a en théorie pas participé à la combustion,
- du monoxyde de carbone ( $CO$ ),
- des hydrocarbures imbrûlés (HC),
- des oxydes d'azote ( $NO_x$ ).

Les polluants sont formés dans la chambre de combustion :

- Le monoxyde de carbone ( $CO$ ) : pendant la combustion, l'oxygène vient à manquer, ce qui donnera une certaine quantité de  $CO$ . Cette teneur ne sera jamais égale à zéro, la détente des gaz provoque un figement des réactions.
- Les hydrocarbures imbrûlés (HC) : les imbrûlés proviennent, soit d'un manque d'oxygène, soit du phénomène de condensation du liquide sur les parois froides (qui est la cause principale des émissions d'imbrûlés).
- Les oxydes d'azote ( $NO_x$ ) : la formation des oxydes d'azote est due à l'oxydation de l'azote ( $N_2$ ) à des températures et des pressions élevées. Seul le  $NO$  est formé directement, le  $NO_2$  est formé par oxydation du  $NO$ . Les teneurs en  $NO_x$  sont fonction de la température et de l'excès d'air.

Lors du diagnostic au contrôleur de gaz, l'analyse révèle que chaque polluant émis correspond à des problèmes de combustion ou des problèmes sur le moteur contrôlé :

- la formation du monoxyde de carbone ( $CO$ ) : manque d'oxygène,
- la formation des hydrocarbures imbrûlés (HC) : condensation du liquide sur les parois froides,
- la formation des oxydes d'azote ( $NO$ ) : températures et pressions élevées.

## E. LE TRAITEMENT DE LA POLLUTION

Pour réduire l'émission de gaz polluants, plusieurs solutions sont utilisées :

- L'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.

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 ( $\text{NO}_x$ ). La gestion de ces systèmes est soit mécanique, (Yamaha par exemple) soit gérée de manière électrique (Honda par exemple).

- La catalyse des gaz d'échappement :

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 des réactions de réduction des oxydes d'azote (réactions catalytiques).

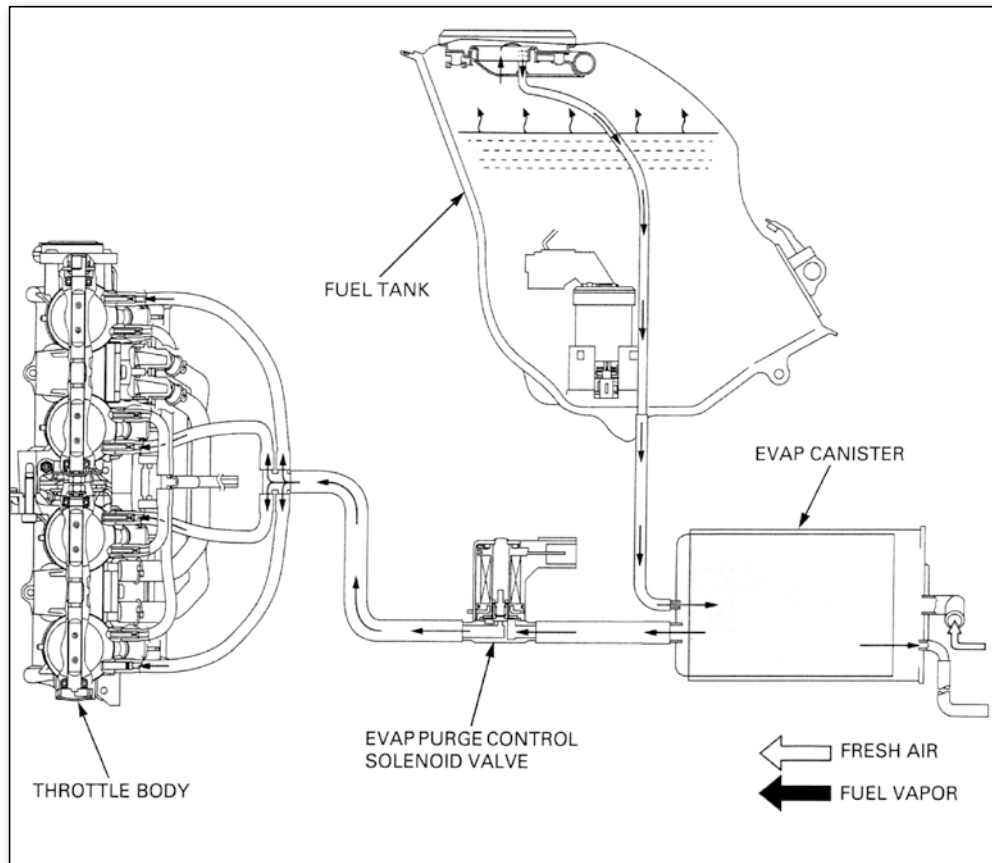


*Coupe d'un catalyseur de ZX1000 Kawasaki*

La gestion des gaz à traiter par le pot catalytique est assurée par le calculateur. Il mesure la teneur des gaz d'échappement en oxygène afin d'ajuster le dosage du mélange admis.

- Le recyclage des vapeurs d'essence :

Il évite les émissions de vapeurs d'essence dans l'atmosphère. Le réservoir de carburant est étanche, les vapeurs sont absorbées et stockées dans le « canister ». Dans certaines phases de fonctionnement, le calculateur réalise, via une électrovanne, la ré-aspiration des vapeurs vers l'admission. C'est une technique utilisée dans certains pays aux normes très draconiennes.



*Cycle de traitement des vapeurs d'essence dans une injection Honda*

- La re-circulation externe des gaz d'échappement :

Le système permet d'admettre des gaz d'échappement à l'admission afin de diminuer la production d'oxydes d'azote  $\text{NO}_x$  (par diminution de la température de combustion) et de réduire l'effet de pompage à l'admission (gain en consommation). C'est une technique utilisée en compétition où la consommation d'essence est limitée. Compte tenu des faibles émissions de  $\text{CO}_2$  des motos en comparaison avec celles de l'automobile ou du poids lourd, les normes 5 et 6 ne limiteront sa consommation pour le parc 2 roues. Par conséquent, cette technique ne devrait pas connaître de fort développement dans les prochaines années.

- La re-circulation interne des gaz d'échappement :

L'objectif est de réaliser un croisement important des soupapes, afin d'augmenter le volume des gaz recyclés. Cela contribue à une diminution des  $\text{NO}_x$ . Pour réaliser ce croisement des soupapes, on déphase l'arbre à cames d'admission uniquement, ou les deux arbres à cames. C'est une technique utilisée sur la Kawasaki GTR1400.

### A. GÉNÉRALITÉS

L'injection permet d'envoyer de l'essence sous pression grâce à un injecteur. La commande d'ouverture de l'injecteur est électrique et gérée électroniquement grâce à un calculateur.

Les paramètres principaux de gestion du calculateur sont :

- Le régime moteur et la position du piston :  $N$ ,
- La position du papillon (angle d'ouverture) :  $\alpha$ ,
- La pression tubulure d'admission :  $P$ .

Les deux types de gestion 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  $PN$  : Le régime moteur  $N$  et la pression tubulure  $P$  sont les principaux paramètres qui permettent de commander le calculateur, l'angle d'ouverture du papillon  $\alpha$  ne représentant qu'un paramètre de correction.

En moto, nous pouvons définir deux types d'injection en fonction de l'emplacement de l'injecteur :

- L'injection indirecte : l'injecteur pulvérise l'essence dans le conduit d'admission.
- L'injection directe : l'injecteur pulvérise l'essence directement dans le cylindre.

Aujourd'hui sur le marché motorcycle des quatre temps, l'injection est indirecte, multi-point, simultanée, semi-séquentielle ou séquentielle.

Pour les deux temps, elle est indirecte et ne représente plus qu'un marché marginal (par exemple Ossa en trial), l'injection directe n'étant plus commercialisée.

## B. L'INJECTION DIRECTE

Après des essais d'injection chez Motobécane, où l'injection se faisait dans le cylindre piston au point mort bas, l'essence est dorénavant pulvérisée directement dans la chambre de combustion piston proche du point mort haut.

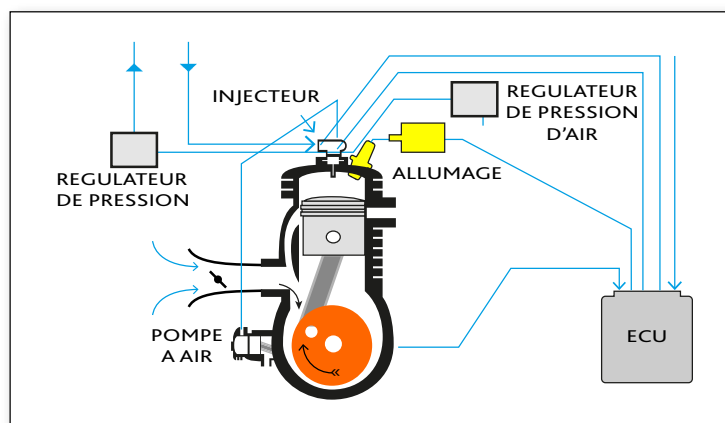
On retrouve le système d'injection directe pour moteurs deux temps sous brevet Orbital sous les termes :

- TSDI (Two Stroke Direct Injection) du Jet Force de Peugeot Motorcycle,
- PureJet (Piaggio Ultralow emission Research Engine JET) du Runner de Gilera et du NRG Power de Piaggio,
- DI Tech (Direct Injection Technology) du SR50 d'Aprilia.

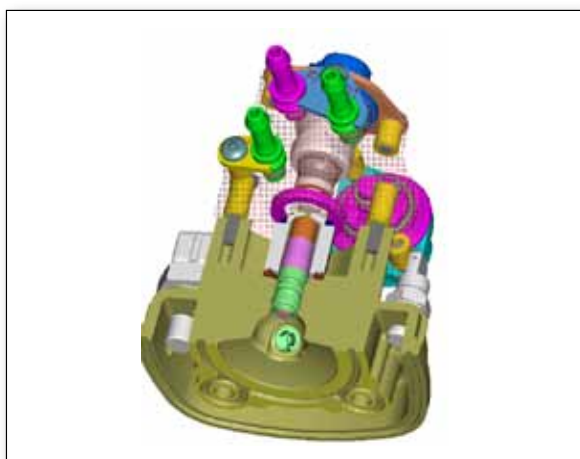
Ce système se caractérise par son injecteur qui pulvérise de l'essence et de l'air directement dans la chambre de combustion.

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

- l'injecteur d'essence et d'air,
- les régulateurs de pression d'essence et d'air,
- la pompe à air mécanique.



*Schéma de l'injection directe*



*Détail de l'injecteur dans sa culasse en coupe*

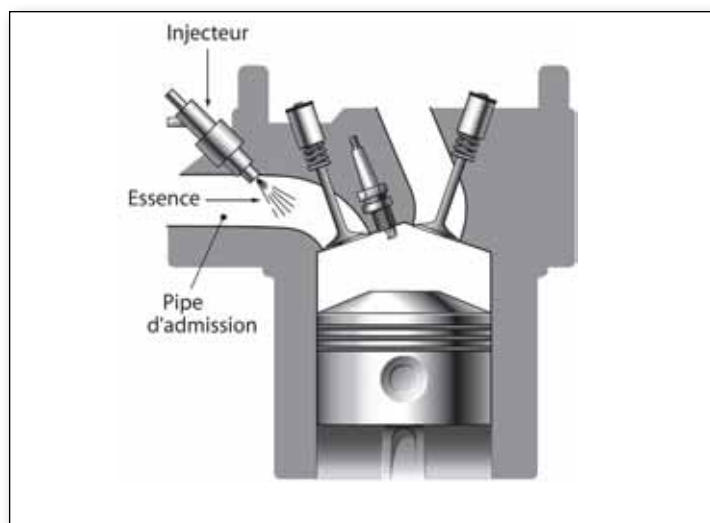
En 1996, Vespa a présenté un moteur de 50cm<sup>3</sup> FAST (Fully Atomized Stratified 3 Turbulence) muni d'une injection directe.

En 1999, Piaggio a présenté un 50cm<sup>3</sup> 4 temps à injection directe en même temps que le moteur LEADER.

Cette technique n'est plus commercialisée aujourd'hui. C'est la raison pour laquelle l'analyse ne sera pas développée davantage.

### C. 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).



*Injection directe*

Cette technologie qui équipe le parc motorcycle actuel sera développée dans la suite du dossier.

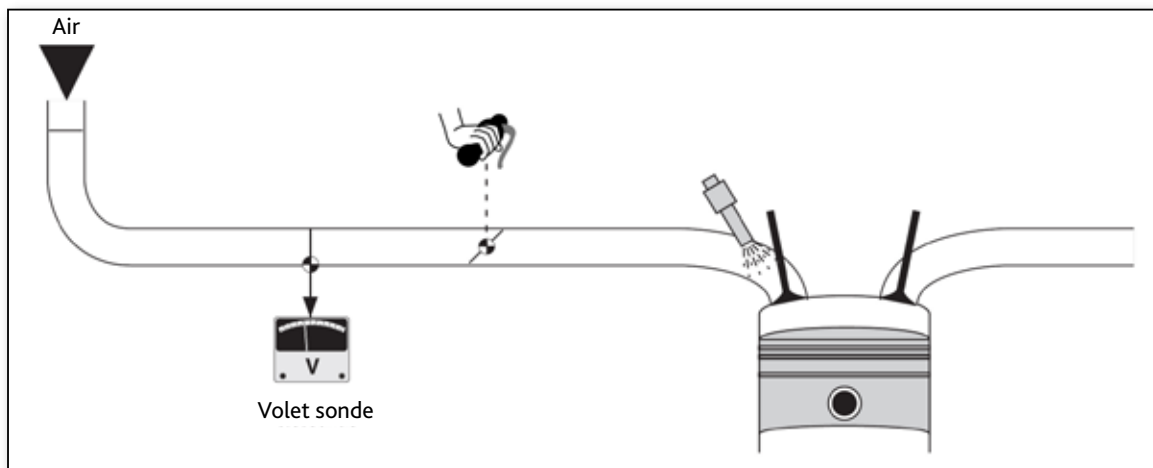
## A. GÉNÉRALITÉS

Le système d'injection essence doit déterminer la bonne quantité d'essence à injecter en fonction de la rotation de la poignée des gaz. Cette détermination se fait par mesure de la masse d'air.

Deux types de mesures permettent d'évaluer la masse d'air.

### → La mesure directe

La quantité d'air aspirée est directement comptabilisée par un débitmètre.



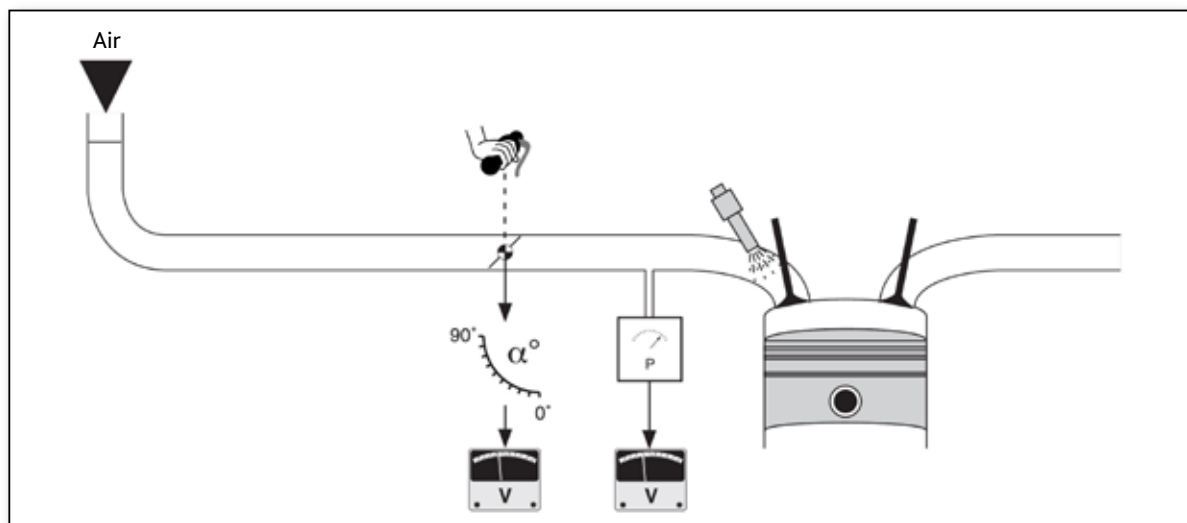
*Schéma de principe de la mesure directe*

### → La mesure indirecte

La quantité d'air aspirée peut être déterminée par :

- la position du papillon,
- la pression dans la tubulure d'admission,
- le régime du moteur.

De nos jours en motocycle, 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).

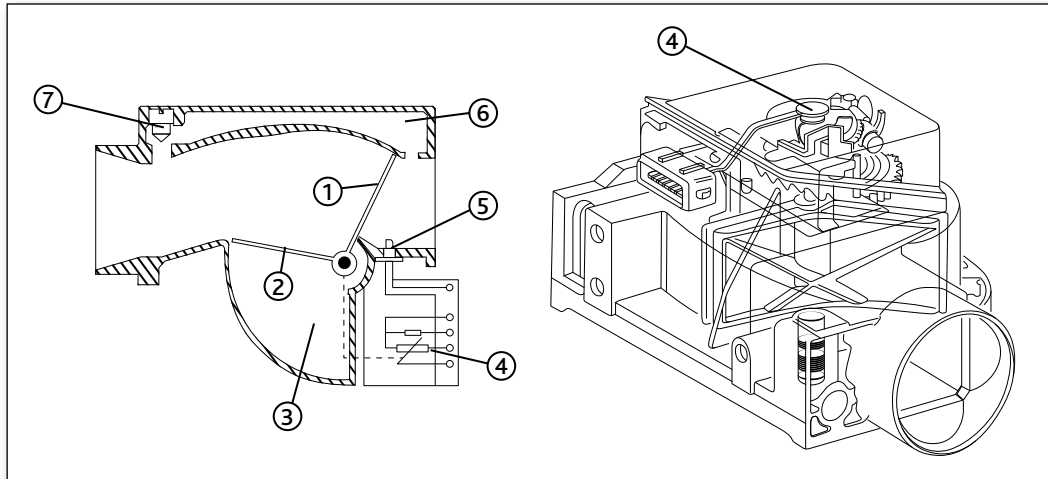


*Schéma de principe de la mesure indirecte*



## B. LA MESURE DIRECTE

L'objectif est de mesurer la quantité d'air aspirée par le moteur afin de lui fournir la quantité d'essence nécessaire. La quantité d'air aspirée est déterminée à l'aide d'un débitmètre à volet sonde. Le principe est fondé sur la mesure de la force provenant de l'écoulement de l'air aspiré agissant sur un volet-sonde, contrecarré par un ressort de rappel.



*Coupe et vue fantôme d'un débitmètre*

Le débitmètre est composé :

- d'un volet sonde (1) qui se déplace et prend une certaine position angulaire en fonction du flux d'air et de l'action antagoniste d'un ressort de rappel,
- d'un volet de compensation (2) solidaire du volet sonde qui se déplace dans une chambre,
- d'amortissement (3),
- d'un potentiomètre (4) également solidaire du volet sonde,
- d'une sonde de température d'air (5) située en amont du volet sonde,
- d'un canal (6) et une vis by-pass (7) pour régler la richesse du mélange au régime de ralenti.

La technique de la méthode directe n'a été utilisée qu'au début du développement de l'injection moto.

Le perfectionnement des calculateurs a permis le calcul de la masse d'air aspirée en méthode indirecte.

## C. LA MESURE INDIRECTE

La détermination de la masse d'air admise se fait soit par :

- 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 associer 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 :

$$q_{va} = \frac{N}{2} V$$

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 :

$$q_{ma} = q_{va} \rho$$

Avec :

$q_{ma}$  : débit massique d'air

$\rho$  : masse volumique de l'air

La difficulté réside dans la détermination de la masse 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 :

$$\frac{P_0 V_0}{m T_0} = \frac{P V}{m T}$$

Avec :

$P_0$  : pression en début d'admission

$V_0$  : volume en début d'admission

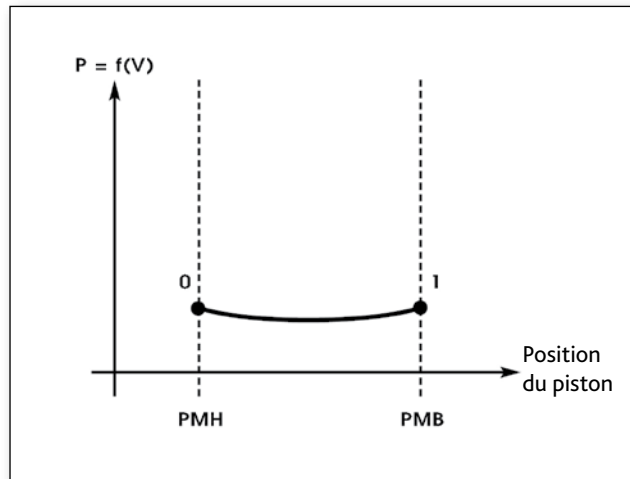
$P$  : pression en fin d'admission

$V$  : 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*

Rappel :

Expression de la masse volumique :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

En combinant les deux dernières équations, la masse volumique peut s'écrire :

$$\rho = \frac{P T_0}{P_0 T} \rho_0$$

L'expression du débit massique d'air (2<sup>e</sup> équation) et de cette dernière équation, et permet d'en déduire une équation plus générale :

$$q_{ma} = V \frac{N}{2} \frac{P T_0}{P_0 T} \rho_0 = \frac{1}{2} V \frac{T_0}{P_0 T} \rho_0 P N$$

Soit :

$$q_{ma} = K P N$$

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,  $\rho_0$  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'il n'a pas le temps de se réchauffer au contact de l'enceinte thermique (hypothèse d'isothermie de départ).

Ce qui signifie que  $V_0, P_0, \rho_0, T_0, T$  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 :

$$K = \frac{1}{2} V \frac{T_0}{P_0 T} \rho_0$$

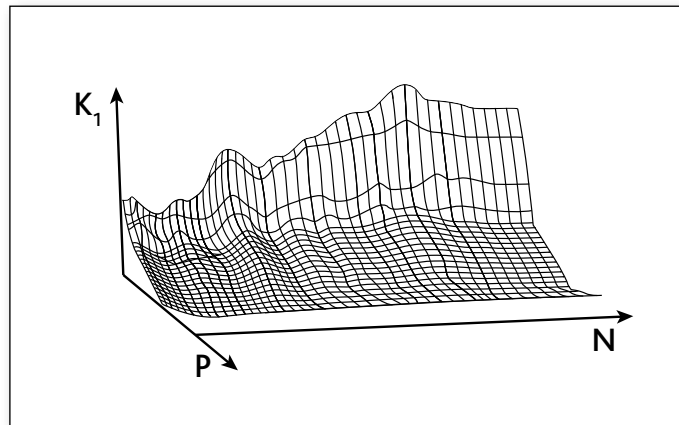
*Remarque :*

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

Enfin, la pression tubulaire 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 de charge en fonction de la pression et du régime :  $K_1 (P ; N)$

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  $P_0$ ,

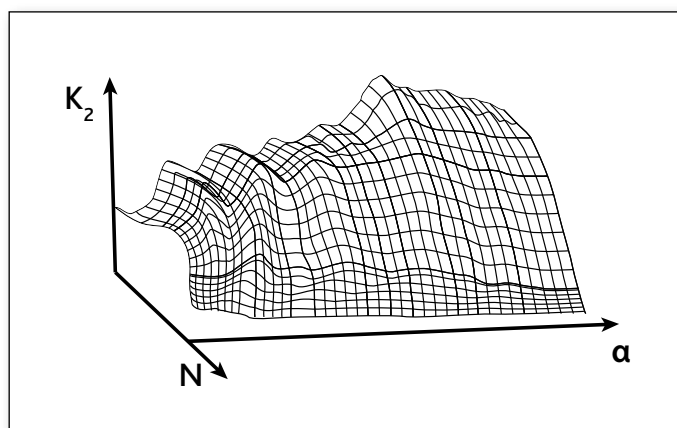


*Coefficient  $K_1$  de perte de charge pour un système (PN)*

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 :  $K_2 (\alpha ; N)$ .



*Coefficient  $K_2$  de perte de charge pour un système ( $\alpha N$ )*

L'inconvénient de ce système réside dans la précision de mesure de la position du papillon car il s'agit d'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.

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 utilise 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.

## D. LE CIRCUIT D'ALIMENTATION EN AIR AU RALENTI ET AU 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 gérés par le conducteur,
- les systèmes automatiques gérés par un élément mécanique ou par le calculateur d'injection.

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

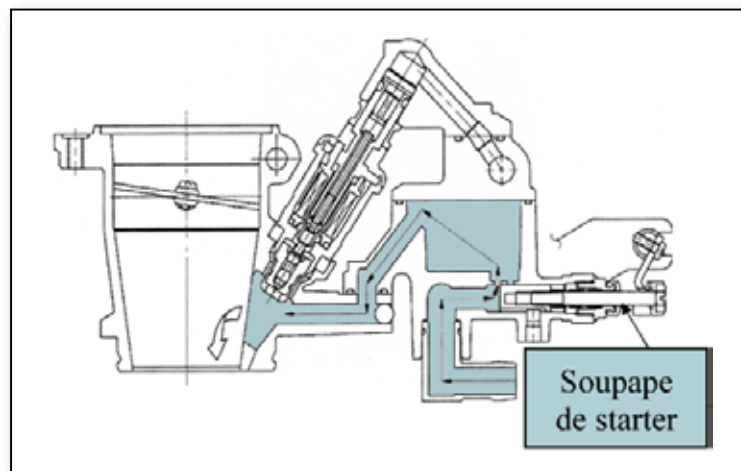
- la première regroupe les mécanismes qui agissent directement sur la position du papillon,
- la seconde regroupe ceux utilisant un canal de dérivation du papillon appelé « by-pass ».

### → Les systèmes manuels

Les systèmes manuels sont pour la plupart des 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.

Certains systèmes utilisent 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.

Ces mécanismes sont actionnés au guidon par un câble.



*Ensemble papillon injecteur et soupape de starter*

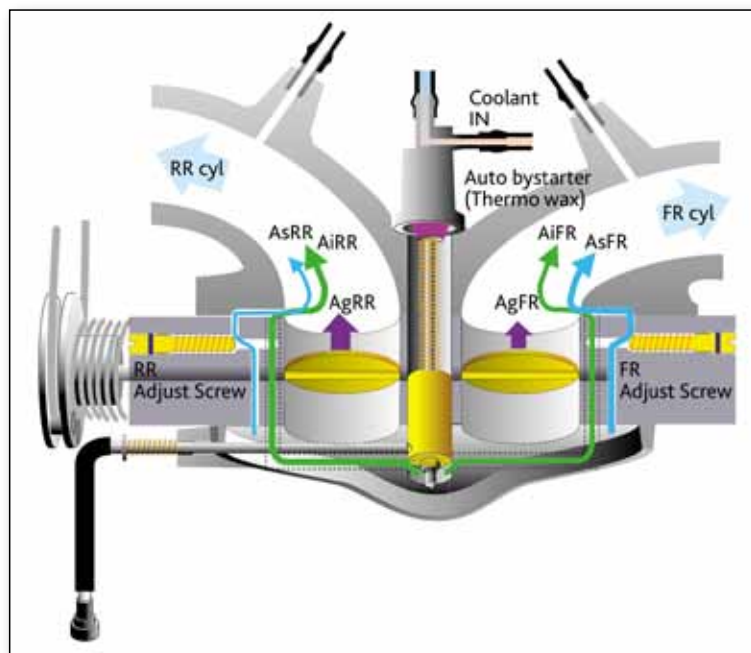
## → Les systèmes automatiques mécaniques

Chez YAMAHA, le starter automatique agit directement sur la position des papillons (YAMAHA 1000GTS).

La solution technique retenue chez HONDA, représentée ci-dessous est un « starter automatique » (Auto bystarter) constitué d'un élément en cire thermodilatante. L'injection n'a pas fait disparaître la contrainte du démarrage à froid (mauvaise évaporation et risque de condensation de l'essence). Il faut toujours injecter un peu plus d'essence et ouvrir un peu plus le passage d'air au ralenti. Avec le starter automatique, la quantité d'air au ralenti lors du départ à froid est augmentée. 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.



Starter automatique YAMAHA



Fonctionnement du starter automatique Honda

- RR : cylindre arrière
- FR : cylindre avant
- As : débit d'air de ralenti
- Ag : débit d'air en fonction de la position du papillon
- Ai : débit d'air lors du départ à froid
- Coolant In : entrée du liquide de refroidissement
- Auto Bystarter (thermowax) : réglage automatique du ralenti par cire
- Adjust screw : vis de réglage



## → Les systèmes automatiques 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.

Les vannes proportionnelles sont utilisées sur la Kawasaki 1500 Drifter ou sur la Honda Goldwing 1800.

Elles sont plus simples à commander mais la position du volet n'est pas stable en cas de panne de commande. En effet, il y a un risque d'instabilité du ralenti car le contrôle du passage d'air ne correspond plus aux paramètres de fonctionnement du moteur.

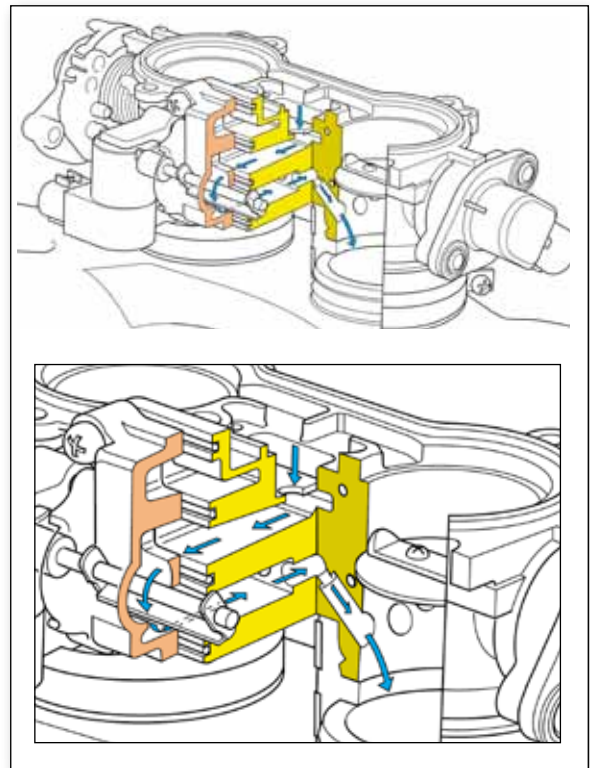
*Remarque :*

*En décélération, une quantité d'air supplémentaire est parfois admise afin de réguler le frein moteur (HONDA GL1800) de manière à le rendre constant quelles que soient les conditions de roulage.*

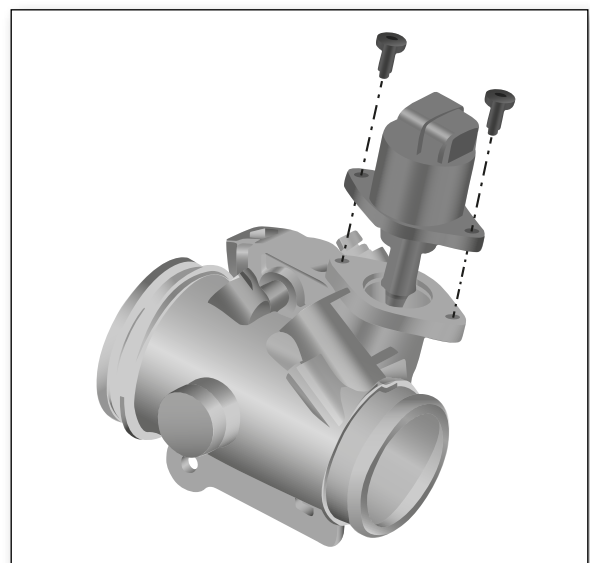
La régulation de ralenti se fait en laissant passer plus ou moins d'air à l'aide d'un embout conique.

Les moteurs pas-à-pas sont utilisés par exemple sur la Ducati Multistrada 1100 ou sur la BMW 1200GS.

En cas de rupture de commande, le moteur pas-à-pas garde sa dernière position.



Vannes proportionnelles de la Honda Goldwing 1800



Moteur pas-à-pas de la BMW 1200GS

## E. LES PAPILLONS SECONDAIRES

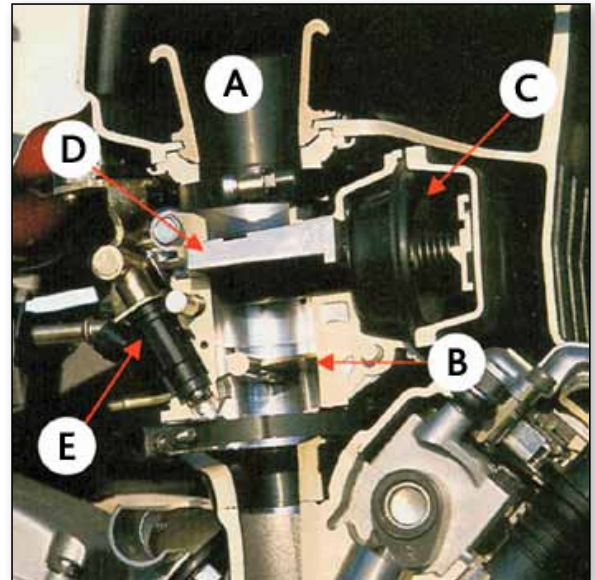
Installé depuis l'année 2000 sur les SUZUKI GSX-R750, la gestion du flux d'air à l'admission avec les systèmes à double papillon (le conducteur gardant un contrôle mécanique de l'ouverture des papillons) a constitué une étape intermédiaire pour les constructeurs avant de passer à un système entièrement géré par l'électronique avec l'utilisation des systèmes à papillon motorisé.

Par rapport aux systèmes « tout ou rien » comme sur la VFR800, le système de papillon secondaire 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 (agrement de conduite oblige).

Le système YAMAHA est une alternative au système à double volet développé par NIPPON DENSO : Il fonctionne sur un principe simple qui consiste à conserver le corps d'un carburateur à pression constante (dont le boisseau est toujours commandé par dépression) et d'y incorporer un injecteur

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.



*Coupe du système Yamaha*

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



*Système de double papillon Yamaha*

## F. LES PAILLONS MOTORISÉS

Les systèmes de papillons à commande électronique sont utilisés sur les voitures depuis la fin des années 1990, mais ils sont arrivés en motocycle à la fin des années 2000 avec Yamaha et Ducati, entre autres.

Le système de papillons motorisés a été conçu pour répondre aux commandes d'accélération du pilote. Le calculateur détermine instantanément l'ouverture idéale du papillon et génère des signaux pour actionner les papillons grâce à leur moteur et ainsi commander activement le volume d'air admis.

Ce type de commande améliore la réponse du papillon en fonction des besoins du moteur (régime, vitesse, rapport engagé, vitesse de rotation de la poignée des gaz). Le frein moteur est amélioré de manière à limiter l'effet de blocage de la roue arrière. La gestion de l'antipatinage s'en trouve améliorée.

La sécurité étant le principal guide dans la conception de ce type de commande, les circuits de mesure de la position de la poignée d'accélérateur et de la position des papillons sont doublés. En cas d'incohérence, le moteur est positionné en légère ouverture de manière à pouvoir encore rouler et rejoindre une zone de sécurité.



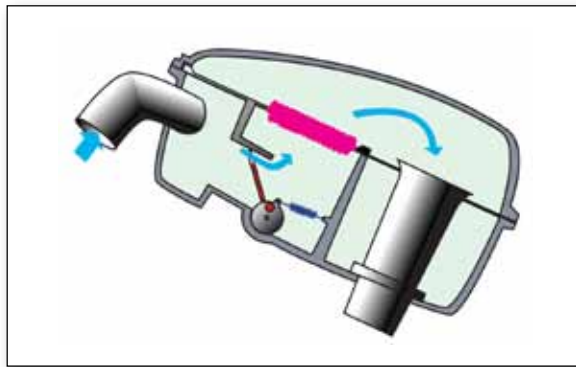
*Exemple d'un papillon motorisé du cylindre avant d'une Panigale DUCATI.*

## G. LES PIPES D'ADMISSION VARIABLES

Dans un moteur à plusieurs cylindres, à un instant donné, les ouvertures des soupapes sont différentes. Pour les moteurs à quatre cylindres, une soupape est toujours entièrement ouverte quel que soit l'instant considéré, alors que les autres le sont plus ou moins. Les alternances de variation de pression dans la pipe d'admission dues aux allers-retours des pistons, provoquent des ondes acoustiques. La longueur fixe des pipes d'admission est donc un compromis entre les performances à bas et à haut régime. La solution est de faire varier la longueur du circuit d'admission en fonction du régime.

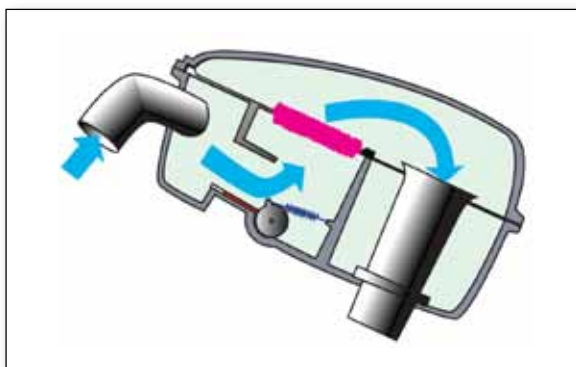
Une première solution a été de placer un volet dans la boîte à air pour changer la longueur du circuit d'admission. Honda pilote ce volet en même temps que le système de variation du circuit d'échappement.

À bas régime, une chicane dans la boîte à air est fermée et rallonge le circuit d'admission :



*Volet de passage d'air fermé*

À haut régime, le volet est ouvert et libère le circuit d'admission :



*Volet de passage d'air ouvert*

### 3 — [ LE CIRCUIT D'AIR ]

---

Les constructeurs ont adopté des solutions de pipes à longueurs variables. Des «tubes» sont posés sur les pipes d'admission à bas régimes, ce qui les rend plus longues. À partir d'un régime - généralement à mi-régime - les «tubes» sont décollés des pipes, le circuit d'air d'admission rentrant dans le moteur directement par les pipes.

À bas régime, les tubes sont posés sur les pipes et rallongent le circuit d'admission :



*Pipes d'admission longues*

À haut régime, les «tubes» se lèvent et ne sont plus pris en compte dans l'acoustique du moteur. Les pipes sont plus courtes :

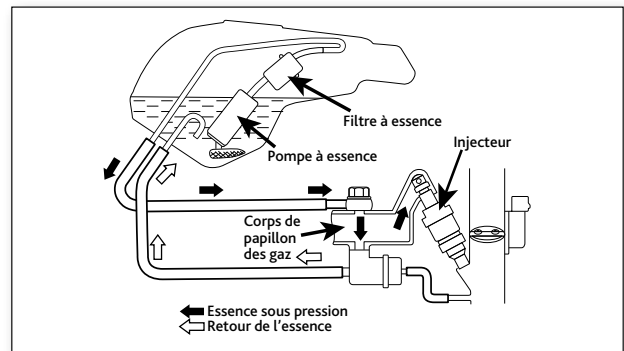


*Pipes d'admission courtes*

## 4 — [ LE CIRCUIT D'ALIMENTATION EN ESSENCE ]

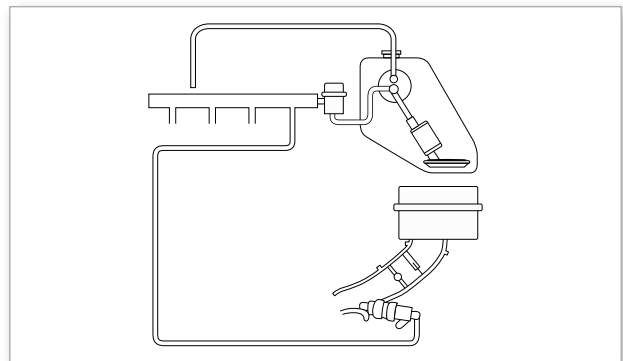
Pour garantir un bon fonctionnement du système d'injection, il faut maintenir en permanence une pression et un débit de carburant suffisants. Une pompe à commande électrique aspire le carburant du réservoir et le refoule sous pression. À la sortie de la pompe, le carburant est filtré et envoyé vers les injecteurs. Afin d'assurer une pression et un débit suffisants 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 une quantité d'essence plus importante 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 est nécessaire de maintenir 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 du collecteur d'admission afin de garantir une différence de pression d'essence constante entre la rampe d'injection et le collecteur d'admission.



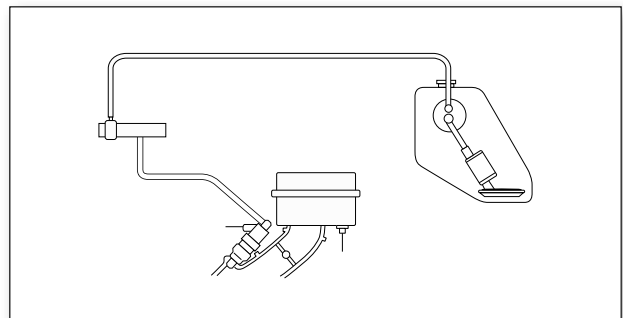
*Circuit de pression d'essence avec une régulation asservie par la dépression collecteur*

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.



*Circuit de pression d'essence avec une régulation fixe*

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



*Circuit de pression d'essence avec une régulation de pression intégrée dans le réservoir*

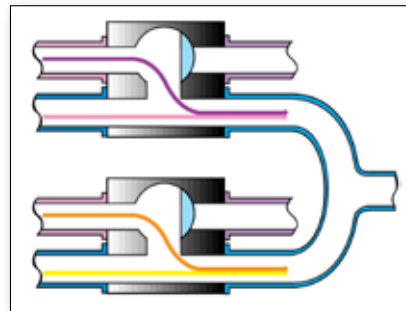
## 5 — [ LE CIRCUIT D'ÉCHAPPEMENT ]

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 longueur du système d'échappement complique cette acoustique. 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.

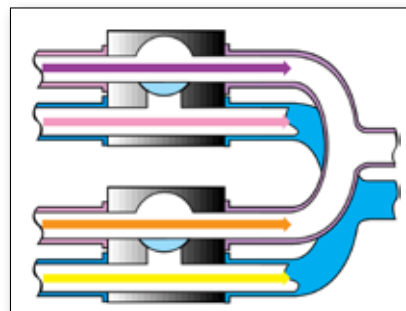
Le système de commande HVIX de HONDA permet d'exploiter au mieux l'acoustique de la ligne d'échappement en modifiant sa configuration géométrique afin de bénéficier d'un bon accord pour différents régimes moteur. Un servo-moteur commandé par le calculateur permet d'actionner un boisseau dans l'échappement en titane et modifie ainsi le couplage des échappements.

C'est un perfectionnement du système Exup inventé par Yamaha au milieu des années 80.

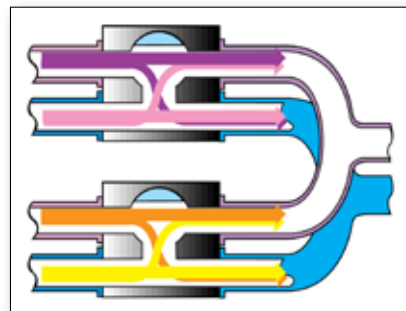
Actuellement, les motos sont équipées d'un volet à l'entrée du silencieux d'échappement pour accorder le circuit d'échappement aux régimes de rotation mais aussi pour étouffer les bruits de la moto aux vitesses de l'homologation.



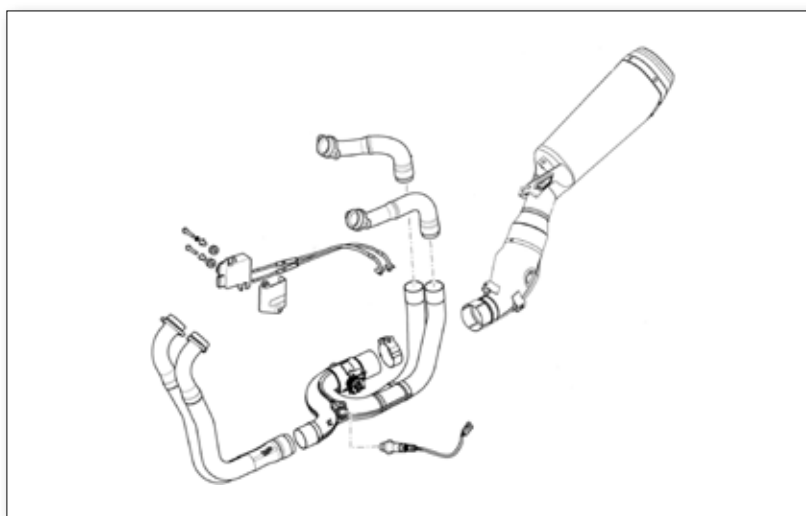
*A bas régime*



*A mi-régime*



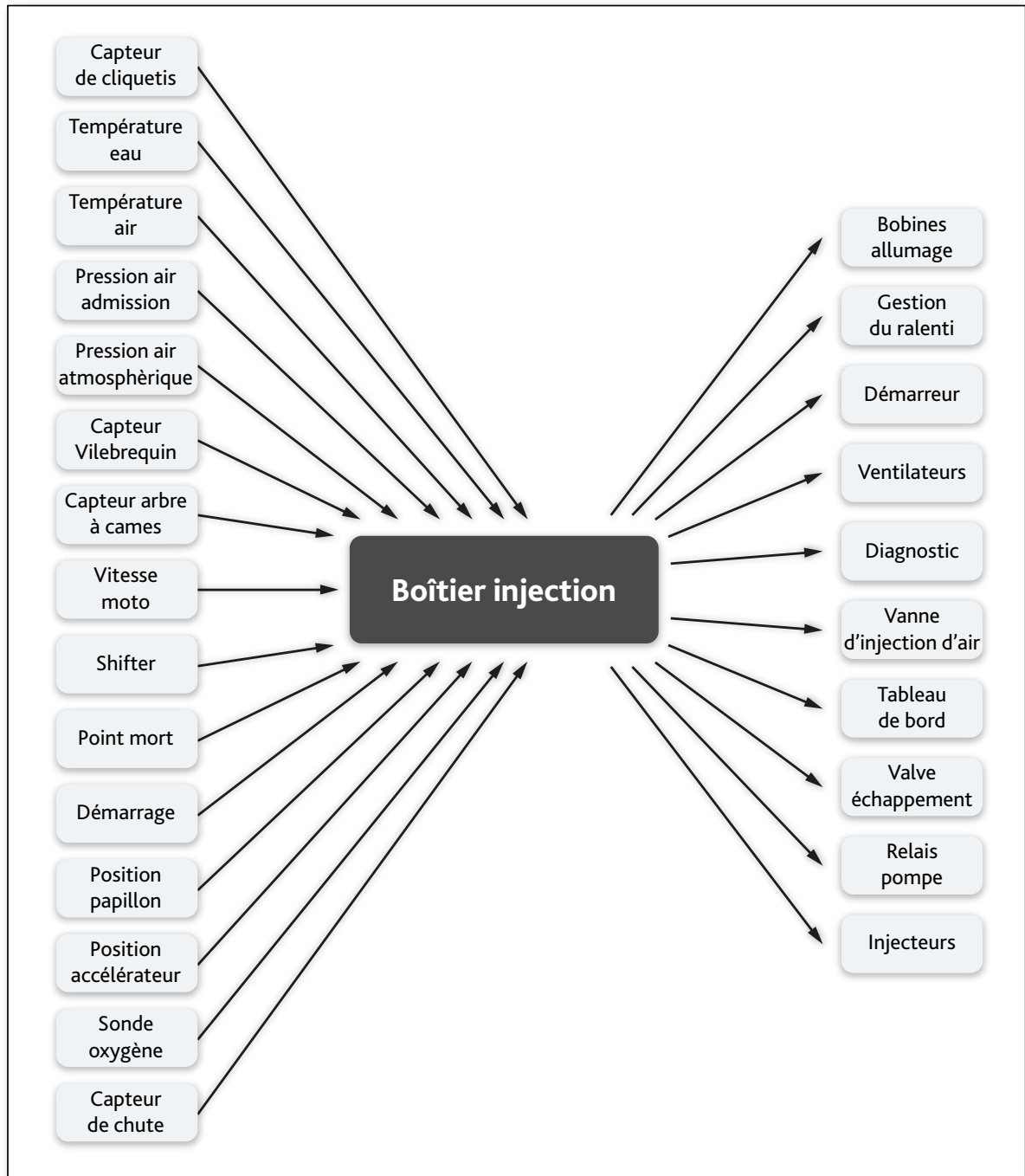
*A haut-régime*



*Exemple de commande de volet d'échappement sur une Aprilia RSV4*

# 6 — [ LE CIRCUIT ÉLECTRIQUE ]

Un système d'injection peut être représenté par ce schéma synoptique.



*Schéma synoptique du boîtier d'injection*



L'injection commande non seulement les injecteurs, mais aussi les bobines, la régulation de ralenti et la valve à l'échappement en fonction des conditions de fonctionnement données par des sondes et des capteurs :

- le cliquetis éventuel,
- le capteur de température du moteur qui mesure la température du liquide de refroidissement ou du liquide de lubrification,
- le capteur de température de l'air qui mesure la température de l'air aspiré,
- le capteur de pression d'air d'admission,
- le capteur de pression atmosphérique,
- le capteur de vilebrequin qui mesure le régime de rotation du moteur et la position angulaire du vilebrequin,
- le capteur d'arbres à cames qui permet de connaître le phasage du moteur,
- la vitesse de la moto,
- le contacteur de point mort,
- les conditions de mise en sécurité du démarrage ou de la marche,
- le capteur de position du papillon qui mesure l'angle d'ouverture du papillon,
- le capteur de position de la poignée d'accélérateur,
- la teneur en oxygène des gaz d'échappement,
- l'alerte de pression ou niveau d'huile,
- la position du levier d'embrayage,
- l'autorisation de marche du moteur (Engine Stop),
- le bouton de démarrage,
- la position de la béquille latérale,
- la position de la vanne d'échappement,
- la centrale électronique, qui surveille également la tension d'alimentation de la batterie afin de modifier en conséquence le temps d'ouverture des injecteurs et le temps de remplissage des bobines d'allumage,
- la gestion du couple moteur.

*Remarque : Cette liste est non-exhaustive, d'autres exemples pourraient venir l'enrichir.*

Les paramètres gérés par la centrale électronique sont les suivants :

- le réglage du ralenti,
- la commande du démarreur,
- la commande des ventilateurs de refroidissement,
- la commande de la vanne d'échappement,
- la commande de la pompe à essence,
- la quantité de carburant injectée dans chaque cylindre,
- l'instant de fermeture des injecteurs et le calage de l'injection par rapport à la fin de l'admission de chaque cylindre,
- l'avance à l'allumage,
- la commande des phares.

En fonction des modèles, l'architecture peut différer légèrement. En effet, certains capteurs peuvent être gérés par le tableau de bord et la donnée lue est transférée par multiplexage au boîtier d'injection.

## A. LES CAPTEURS

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

Les données physiques mesurées en moto sont principalement :

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

Les capteurs de température d'air, d'eau et d'huile utilisent des composants dont la température fait varier la résistivité du matériau qui le compose 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 :

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

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 motocycle sont de type CTN. Ils sont utilisés pour mesurer les températures d'eau, d'air et d'huile pour les moteurs refroidis par 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 3 - Mesure indirecte de la masse d'air).

La **sonde à oxygène** se compose d'un corps en céramique poreuse qui est placé dans un tube de protection métallique.



*Sonde lambda*

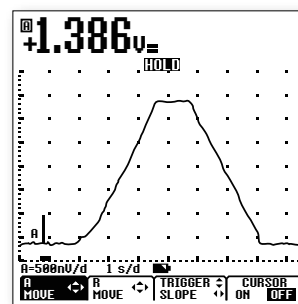
Lorsqu'une électrode est soumise à une plus forte concentration d'oxygène que l'autre, il se produit une tension entre les deux électrodes. Un saut de tension se produit donc lors du passage d'un mélange riche à un mélange pauvre. Dans la sonde lambda, l'électrode extérieure se trouve du côté des gaz 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.

Les **potentiomètres** informent le calculateur de la position de la poignée d'accélérateur. Les systèmes d'injection utilisent des potentiomètres semblables à ceux utilisés pour corriger la cartographie d'avance à l'allumage des systèmes à carburateur. Ces potentiomètres sont en général à simple ou double piste.



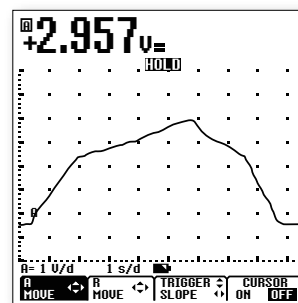
Potentiomètre de papillon d'une CB1100 Honda

Les **potentiomètres simple piste** retransmettent au calculateur d'injection une tension proportionnelle à l'angle d'ouverture des papillons.



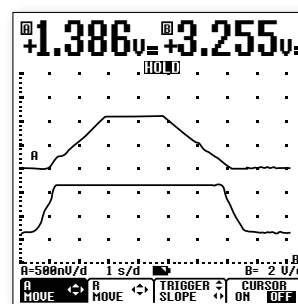
Courbe représentant la tension de sortie du potentiomètre lors d'une accélération / décélération

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



Courbe représentant la tension de sortie du potentiomètre lors d'une accélération / décélération

Les **premiers potentiomètres double piste** retransmettent au calculateur d'injection deux tensions (sur deux fils) : une tension proportionnelle à l'angle d'ouverture et une autre qui ne varie que pour une faible ouverture du papillon (la valeur reste maximale après cette valeur).



Courbe représentant la tension de sortie du potentiomètre lors d'une accélération / décélération d'une K1200S BMW

Les potentiomètres double piste actuels sont utilisés sur les systèmes d'injection à papillon motorisé.

Le doublage des pistes est une technique de sécurité en cas de défaillance du potentiomètre. Suivant les systèmes, les deux signaux sont soit identiques, soit ont un rapport constant entre eux (généralement de moitié).

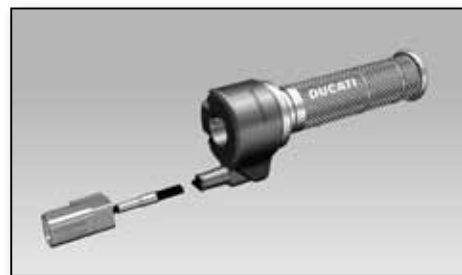
Les potentiomètres des papillons secondaires des circuits d'admission sont de même type que ceux du papillon commandé par le conducteur. Les potentiomètres de l'ouverture du papillon motorisé sont aussi doublés.

De même sur la commande de gaz, pour des raisons de sécurité, les signaux sont soit identiques, soit inversés l'un par rapport à l'autre. Quand l'un augmente avec la position du papillon, l'autre baisse.

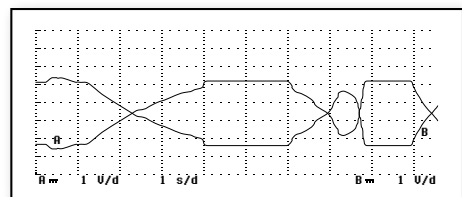
**Le capteur de pression d'air atmosphérique et d'admission** fonctionne sur la mesure de la déformation d'une membrane soumise à une différence de pression. La déformation de la membrane est mesurée grâce à des jauges de contrainte (dites piézo-résistives). Des mesures de la température du capteur permettent de compenser les variations de pressions internes au capteur. La tension de sortie est proportionnelle à la dépression mesurée (en relatif).



*Potentiomètre d'une Yamaha R1*



*Potentiomètre de poignée d'accélérateur d'une Ducati Multistrada*



*Courbe représentant la tension de sortie du potentiomètre lors d'une accélération / décélération*



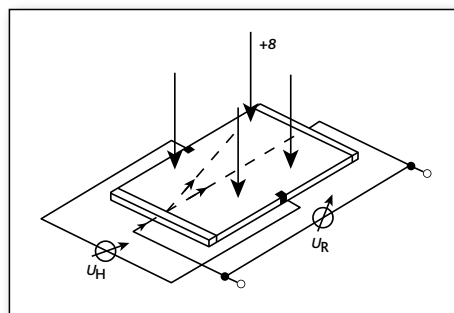
*Capteur de pression d'air*

**Le capteur inductif** 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 destine à la mesure de position d'objets tournants (vilebrequin et arbre à cames).



*Capteur de régime d'une Ducati*

**Le capteur à effet Hall** fonctionne avec une plaquette de semi-conducteur (silicium) de faible épaisseur (plaquette de Hall) 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.



*Capteur à effet Hall*

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.

**Le capteur de détection de rapport de boîte** est utilisé 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 détection de rapport de boîte*

Le **capteur de chute** fonctionne sur le principe de mesure de la position d'un poids. En l'absence de force centrifuge (faible vitesse du véhicule) et lors d'une inclinaison importante du véhicule, un capteur électronique mesure le déplacement du poids. En cas de forte inclinaison, le calculateur coupe la pompe à injection et ne la remet en marche que si la moto est relevée et le contact coupé puis remis, ce qui réinitialise le circuit de pompe à essence.



*Capteur de chute*

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.



*Capteur de cliquetis*

Le **shifter** détecte la pression sur le sélecteur de la boîte de vitesses. Le calculateur d'injection fait chuter la puissance en retirant de l'avance à l'allumage, ce qui libère les contraintes dans la boîte de vitesses.



*Shifter*

Le **boîtier d'injection** mesure aussi :

- la tension de la batterie pour compenser le ralentissement de la vitesse d'ouverture des injecteurs,
- l'état du contacteur d'embrayage,
- l'état des contacteurs de freins (papillon motorisé),
- l'état du bouton de démarreur, le rapport engagé en plus du point mort.

## B. LES ACTUATEURS

Un **actuateur** transforme une tension électrique en une action mécanique ou magnétique. Ce sont principalement des électrovannes ou des moteurs à courant continu ou pas-à-pas.

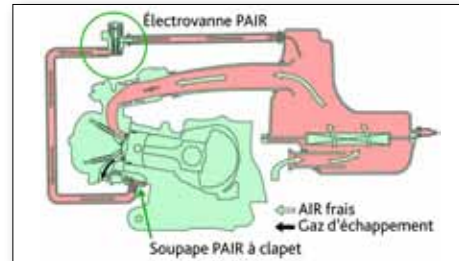
Les **électrovannes sur circuit d'air** sont utilisées dans la gestion des circuits PAIR (Injection d'air secondaire pulsé). Ces circuits permettent de modifier les gaz d'échappement en y injectant de l'air pour finir la combustion du carburant.

Les **électrovannes sur circuit d'huile** sont utilisées pour commander par exemple les soupapes des circuits VTEC chez Honda ou le calage de l'arbre à cames d'admission de la Kawasaki 1400GTR.

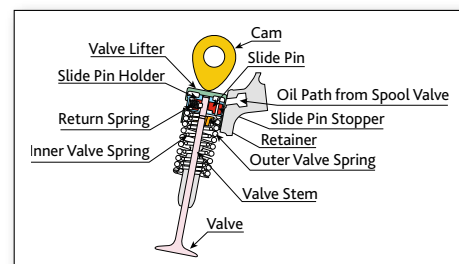
Les **électrovannes sur circuit d'essence** sont couramment appelées injecteurs et sont chargées d'envoyer de l'essence dans le conduit d'admission. La quantité désirée est injectée en jouant sur le temps de commande de l'électrovanne. L'essence doit être injectée le plus finement possible pour augmenter le rendement de la combustion. Elles envoient la quantité de carburant nécessaire au parfait fonctionnement du moteur.

La plage de régime de rotation moteur des motorcycle est très grande, le système doit pouvoir injecter la bonne quantité d'essence que cela soit au ralenti comme à plein régime avec les contraintes de charges qui leur sont associées. Il est très difficile de fabriquer des injecteurs de qualité et en grande quantité (4 par motos) qui auraient la possibilité de débiter à la fois une faible et une forte quantité d'essence sous une pression d'essence constante.

Les constructeurs de motorcycle ont choisi de doubler les injecteurs. La gestion du pilotage des injecteurs est particulier à chaque système mais la majorité des systèmes pilotent les injecteurs supérieurs sous forte charge d'accélération.



*Circuit de circulation de l'air injecté dans l'échappement*



*Distribution Honda VTEC*



*Distribution Kawasaki 1400 GTR*



*Injecteurs BMW S1000R*



**Les papillons secondaires** sont utilisés dans le but de mieux exploiter tout le potentiel moteur. Ils 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. Les papillons motorisés sont utilisés pour mettre en commun le papillon d'admission commandé par le conducteur et le papillon secondaire. Les motos actuelles utilisent une gestion du ralenti par un papillon motorisé.

**La pompe à essence** transfère l'essence du réservoir vers la rampe d'injection. Elle est commandée par le calculateur. Celui-ci la commande pendant quelques secondes pour mettre le circuit sous pression lors de la mise du contact puis elle est commandée en permanence quand le moteur tourne. (Cf. chapitre 4 - le circuit d'alimentation en essence)

**Le réchauffage de la sonde lambda** optimise plus tôt son fonctionnement, car elle doit être en permanence à la bonne température. Or, 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.

**Le mouvement du compte-tours** est piloté par le boîtier électronique depuis l'introduction de l'injection sur le marché. Il en est de même pour le compteur kilométrique.

**L'allumage** : au début du développement de l'injection, l'allumage commandait l'injection (K100 et Z1000). Avec l'arrivée des calculateurs numériques, l'injection commande les bobines d'allumage soit en intégrant les modules de puissances d'allumage, soit en les déportant à l'extérieur (Ducati 916), soit en les intégrant dans les bobines d'allumages (Aprilia RSV4).

**Les volets d'échappement** retiennent les gaz d'échappement à bas régime (voir le chapitre 5 - le circuit d'échappement).



*Injecteur Panigale*



*Papillon motorisé d'une Yamaha R1*



*Papillon motorisé d'une Ducati Multistrada*



*Volet d'échappement*

## 6 — [ LE CIRCUIT ÉLECTRIQUE ]

---

**Le moteur pas-à-pas** est un moteur électrique équipé d'un rotor à aimants permanents. 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 bielle qui agit directement sur le palonnier des papillons.

**Les feux** : pour donner un maximum de puissance au démarreur, l'injection commande l'allumage des feux seulement lorsque le moteur tourne.



*Moteur pas-à-pas de by-pass de circuit d'air*

## A. GÉNÉRALITÉS

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 modules de commandes de puissance des bobines d'allumage à l'extérieur.



*Calculateur d'une ZX1400 KAWASAKI*

## B. LES DIFFÉRENTS TYPES D'INJECTION

### → L'injection simultanée

L'essence est injectée simultanément dans toutes les pipes d'admission à chaque demi-tour moteur sur un quatre cylindres. L'essence est vaporisée dans la tubulure d'admission, même si le cylindre correspondant n'est pas en phase d'admission. Ce type d'injection est simple à gérer mais ne permet pas de respecter l'évolution des normes antipollution.

### → L'injection semi-séquentielle

Un mode d'injection intermédiaire au mode simultané et au mode séquentiel est le mode semi-séquentiel. Le moteur n'est pas équipé de capteur de synchronisation et les injecteurs des cylindres 1 et 4 sont commandés en même temps ainsi que l'allumage des mêmes cylindres.

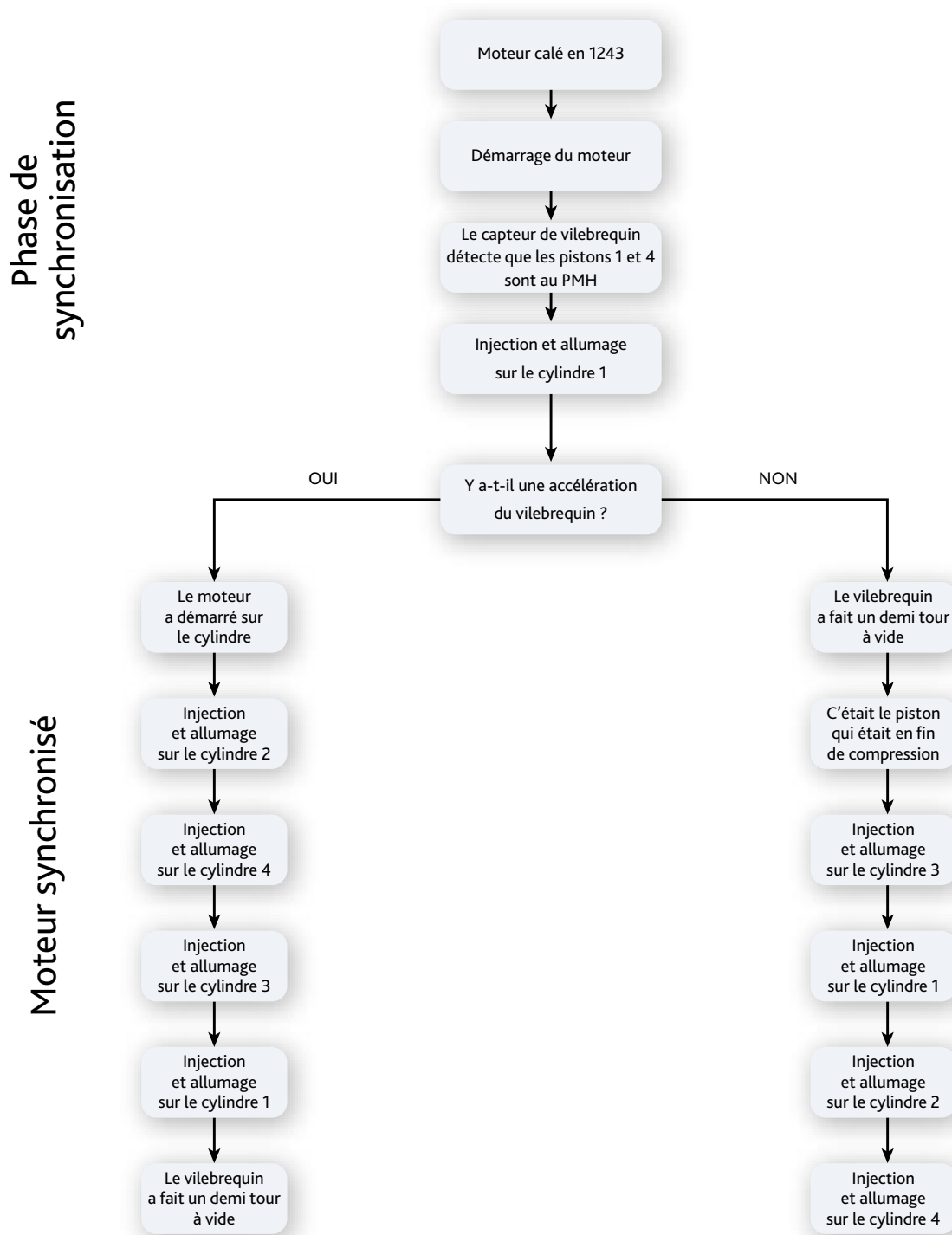
### → L'injection séquentielle

L'injection séquentielle synchronise la commande des injecteurs avec l'ordre d'allumage.

Le début de la commande d'injection se déroule de sorte que l'injection d'essence se fasse lorsque la soupape d'admission est fermée. La synchronisation avec l'ensemble mécanique du moteur est réalisée au début avec un capteur installé sur l'arbre à cames. Dans le but de simplifier le système d'injection et de réduire les coûts d'usinage (modification du couvre-culasse), la synchronisation a été réalisée grâce au capteur de dépression collecteur. L'information de dépression n'est faite que sur 3 cylindres, l'absence de variation de tension sur le signal permet de repérer le bon cylindre. Actuellement, certaines injections n'utilisent aucun capteur supplémentaire pour synchroniser les phases d'injection.

Pour expliquer ce principe, nous prendrons un 4 cylindres avec comme ordre de calage 1 2 4 3. En début de démarrage, le vilebrequin commence à tourner, le capteur de régime informe que les pistons 1 et 4 de l'équipage mobile sont au point mort haut.

La suite de la procédure est expliquée par le schéma suivant :



Pour améliorer le démarrage de ce type de moteur, certaines injections démarrent en mode semi-séquentiel puis passent en mode séquentiel en suivant la méthode ci-dessus.

## A. PREMIÈRES VÉRIFICATIONS

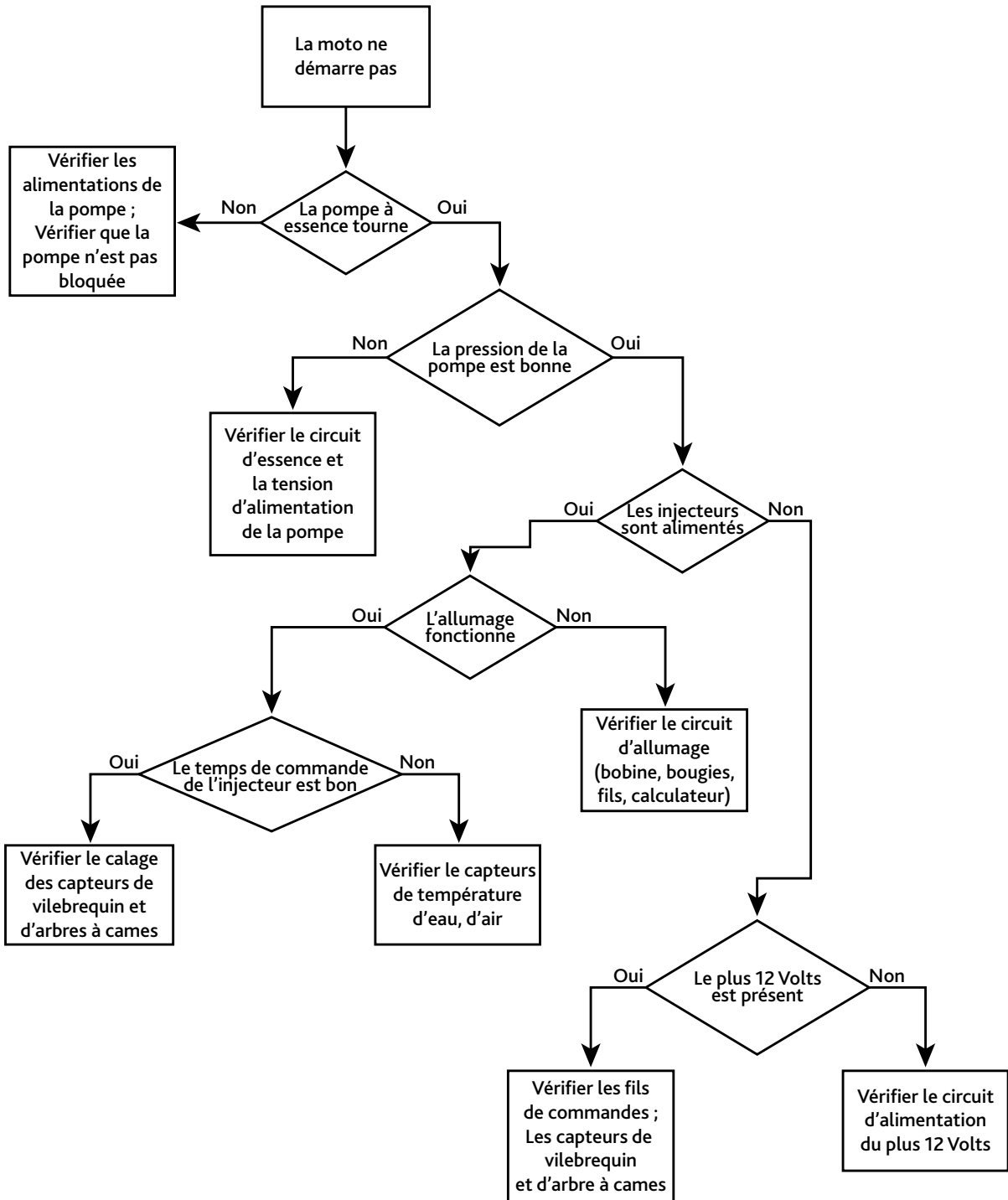
Avant tout diagnostic, il est essentiel de vérifier le bon fonctionnement ou le bon état des divers éléments constituant la moto, hors circuit d'injection, mais pouvant influencer sur le fonctionnement du moteur.

Ainsi, il est nécessaire au préalable de vérifier :

- l'état de charge de la batterie,
- le bon fonctionnement du démarreur,
- le niveau d'essence et sa qualité 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.** Le logigramme suivant permet d'avoir une démarche de diagnostic cohérente, de cerner la panne.



- **La moto démarre difficilement à 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.

Tous ces contrôles peuvent se faire à l'aide d'appareils de mesure conventionnels du type multimètres et oscilloscopes, mais à l'heure actuelle des outils de diagnostic informatiques permettent de dialoguer avec les calculateurs et d'avoir une vision des données traitées par l'injection. Ces outils sont proposés par tous les constructeurs avec des outils dédiés à une marque et par des fabricants d'outils traitant la plupart des modèles des principales marques de motos.

## B. LA DÉTECTION DES PANNES

La détection des pannes n'est vraiment efficace que lorsque le constructeur a prévu la détection directe d'une déficience. Le boîtier d'injection comprend donc un système de détection des pannes pour certains capteurs et actionneurs. L'affichage du défaut est obtenu soit au tableau de bord, soit sur un outil d'aide au diagnostic. La panne est détectée par le boîtier d'injection et est mémorisée. Puis, quand le technicien effectue un diagnostic, ce défaut est affiché.

Le boîtier d'injection détecte les défauts de plusieurs manières :

- Si le capteur est une sonde variable comme celle de température ou de pression, un débranchement, un court-circuit, une mise à la masse ou au plus correspondent à une valeur extrême que la moto n'est pas censée rencontrer. Par exemple, un débranchement du capteur d'eau correspondra à une température de -50 °C.
- Si le capteur est un contacteur comme celui de pression d'huile, le boîtier d'injection ne peut pas détecter un défaut. Il aura besoin d'informations complémentaires pour vérifier ces paramètres.
- Si un actionneur est débranché ou en court-circuit, la détection se fait avec un circuit électronique de mesures, de courant ou à l'aide d'un capteur de mesure de l'effet engendré par l'actionneur. Par exemple, les moteurs de papillon sont contrôlés par les potentiomètres de papillon.

Le boîtier d'injection est construit pour détecter les défauts impliquant la sécurité du motocycliste et les lois sur le contrôle de la pollution de l'air. Il ne détectera pas forcément un capteur de roue arrière ou un voyant débranché.

Le présent dossier dresse un état des lieux des principales technologies en vigueur sur le marché actuel. Ainsi, du traitement de la colonne d'air à l'échappement, les différentes technologies de papillons, de capteurs et de traitement des gaz polluants par le catalyseur ont été abordées.

Malgré les évolutions récentes, le développement de l'injection est loin d'être terminé. Le coût des carburants augmentant sans cesse, les restrictions sur la consommation se faisant de plus en plus pressantes et la recherche sur le traitement de la pollution s'accéléralant, les systèmes d'injection devront s'adapter en précision de calcul (plus de mesures par tours moteur) et en complexité de capteurs et actionneurs.

En effet, on assiste déjà à la généralisation des systèmes bouclés avec des catalyseurs tri-fonctionnels et des sondes à oxygène amont et aval sur tous les types de 2 roues motorisés.

De plus, on constate que la grande capacité des calculateurs permet le choix des modes d'injection et d'antipatinage par le conducteur en roulant sur la plupart des modèles sportifs.

Enfin, la gestion des papillons motorisés par le calculateur d'injection permettra de généraliser, comme sur les automobiles, les régulateurs de vitesses qui existaient jusqu'alors uniquement sur les modèles haut de gamme.

Le transfert de technologies de l'automobile vers la moto devrait également se poursuivre. On le constate déjà avec l'entrée sur le marché du «Stop and Start» sur le PCX Honda, de l'Hybride sur le MP3 de Piaggio et de l'électrique avec «Zéro Motorcycles».

Le développement des véhicules électriques et hybrides et la co-existence énergétique essence/électricité nous amènent d'ailleurs à penser que demain nous parlerons non plus d'injection mais de contrôle moteur.



## A. NORMES ANTIPOLLUTION

Les normes antipollution relatives au motorcycle sont édictées par le Parlement Européen sous formes de directives et règlements consultables sur [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr) :

- DIRECTIVE 97/24/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 17 juin 1997.
- DIRECTIVE 2002/24/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 18 mars 2002.
- DIRECTIVE 2002/51/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 19 juillet 2002.
- DIRECTIVE 2003/77/CE DE LA COMMISSION du 11 août 2003.
- DIRECTIVE 2005/30/CE DE LA COMMISSION du 22 avril 2005.
- DIRECTIVE 2006/27/CE DE LA COMMISSION du 3 mars 2006.
- DIRECTIVE 2006/72/CE DE LA COMMISSION du 18 août 2006.
- RÈGLEMENT N° 168/2013 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 15 janvier 2013

## B. LEXIQUE

### *BDC*

Bottom Dead Center (Point Mort Bas).

### *DITECH*

DI Tech (Direct Injection Technology) du SR50 d'Aprilia.

### *EXUP*

Exhaust Ultimate Powervalve. Valve sur le conduit d'échappement inventée par Yamaha.

### *HECS*

Honda Evolutional Catalizing System. Système de catalyse évolutive Honda. Système complet de gestion de la pollution (catalyseur, Pair, injection, sonde à oxygène).

### *H-VIX*

Honda Variable Intake eXhaust Control system (Système de commande d'échappement et d'admission variable). Système Honda comparable (mais différent) au système EXUP de Yamaha.

### *IACV*

Idle Air Control Valve. Valve sur le conduit d'admission pour contrôler le régime de ralenti.

### *INJECTION CONTINUE*

Les injecteurs envoient en continu de l'essence dans les conduits d'admission sous un débit variable. Ce type d'injection est mécanique et n'a jamais été utilisé en série en moto.

### *INJECTION DIRECTE*

L'injecteur pulvérise l'essence directement dans le cylindre.

*INJECTION INDIRECTE*

L'injecteur pulvérise l'essence dans le conduit d'admission.

*INJECTION MONOPOINT*

Un seul injecteur pour plusieurs cylindres. Utilisé dans la transition Carburateur / Injection, ce type d'injection n'a pas été installé en série en moto.

*INJECTION MULTIPOINT*

Un injecteur par cylindre pulvérise le carburant.

*INJECTION SEMI-SÉQUENTIELLE*

Les injecteurs sont commandés 2 par 2 et pulvérisent l'essence tous les tours moteur dans un 4 cylindres.

*INJECTION SÉQUENTIELLE*

Les injecteurs pulvérisent le carburant en suivant un ordre déterminé.

*INJECTION SIMULTANÉE*

Les injecteurs pulvérisent le carburant tous ensemble dans les conduits d'admission.

*PAIR*

Pulse secondary AIR injection. Injection d'air secondaire pulsé, injection d'air frais dans le circuit d'échappement.

*PGM FI*

Programmed Fuel Injection. Injection numérique chez Honda.

*PMB*

Point Mort Bas.

*PMH*

Point Mort Haut.

*PUREJET*

PureJet (Piaggio Ultralow emission Research Engine JET) du Runner de Gilera et du NRG Power de Piaggio.

*ROTOR*

Partie tournante d'un moteur électrique.

*SYSTÈME «TOUT OU RIEN»*

Système ne prenant que 2 positions. Par exemple ouvert ou fermé pour un papillon de contrôle de passage d'air.

*TDC*

Top Dead Center (Point Mort Haut).

*TSDI*

TSDI (Two Stroke Direct Injection) du Jet Force de Peugeot Motorcycle.





### [ SIÈGE NATIONAL ]

#### → ANFA

41-49 rue de la Garenne  
92313 Sèvres Cedex  
Tél. : 01.41.14.16.18 ; fax : 01.41.14.16.00  
[www.anfa-auto.fr](http://www.anfa-auto.fr)

### [ DÉLÉGATIONS RÉGIONALES ]

#### → ANFA Aquitaine, Poitou-Charentes

Parc technologique de Canteranne  
15 avenue de Canteranne - 33600 Pessac  
Tél. : 05.56.85.44.66 ; fax : 05.56.49.34.02  
e-mail : [bordeaux@anfa-auto.fr](mailto:bordeaux@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Auvergne, Limousin

1 rue Képler - 63100 Clermont-Ferrand  
Tél. : 04.43.76.10.50 ; fax : 04.73.92.13.25  
e-mail : [clermont@anfa-auto.fr](mailto:clermont@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Bretagne, Pays de la Loire

2 cours des Alliés - CS 21242 - 35012 Rennes Cedex  
Tél. : 02.22.74.14.80 ; fax : 02.99.05.92.26  
e-mail : [rennes@anfa-auto.fr](mailto:rennes@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Centre, Basse-Normandie, Haute-Normandie

Parc d'Activité de la Saussaie  
98 rue des Hêtres - 45590 Saint Cyr en Val -  
45075 Orléans Cedex 2  
Tél. : 02.18.84.23.63 ; fax : 02.38.57.26.10  
e-mail : [orleans@anfa-auto.fr](mailto:orleans@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Franche-Comté, Bourgogne

Le Forum - 5 rue Albert Thomas - 25000 Besançon  
Tél. : 03.70.72.12.45 ; fax : 03.81.82.17.38  
e-mail : [besancon@anfa-auto.fr](mailto:besancon@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Île-de-France

41-49 rue de la Garenne - BP 93 - 92313 Sèvres Cedex  
Tél. : 01.41.14.13.07 ; fax : 01.41.14.16.56  
e-mail : [sevres@anfa-auto.fr](mailto:sevres@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées

570 cours de Dion Bouton - 30900 Nîmes  
Tél. : 04.30.92.18.53 ; fax : 04.66.21.32.01  
e-mail : [nimes@anfa-auto.fr](mailto:nimes@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Lorraine, Alsace, Champagne-Ardenne

7 rue Jean-Antoine Chaptal - 57070 Metz  
Tél. : 03.55.35.10.70 ; fax : 03.87.74.21.29  
e-mail : [metz@anfa-auto.fr](mailto:metz@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Picardie, Nord-Pas-de-Calais

Immeuble Sanelec - ZAC La Vallée  
Rue Antoine Parmentier - 02100 Saint-Quentin  
Tél. : 03.64.90.12.60 ; fax : 03.23.64.30.36  
e-mail : [stquentin@anfa-auto.fr](mailto:stquentin@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse

Parc Club des Aygalades - 35 boulevard du Capitaine Gèze  
Bâtiment D - 13014 Marseille  
Tél. : 04.86.76.15.70 ; fax : 04.91.67.33.23  
e-mail : [marseille@anfa-auto.fr](mailto:marseille@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Rhône-Alpes

Zac La Fouillouse - Parc des Lumières  
6 rue Nicéphore Niepce  
69800 Saint Priest  
Tél. : 04.72.01.43.93 ; fax : 04.72.01.43.99  
e-mail : [lyon@anfa-auto.fr](mailto:lyon@anfa-auto.fr)