



L'alimentation L'Injection

Le temps de vous expliquer les principes de base et il vous fera découvrir les avantages et les inconvénients des systèmes d'injection de type mécanique. Qu'est-ce qu'il ne ferait pas pour les lecteurs de *Freeway*...

I) GENERALITES

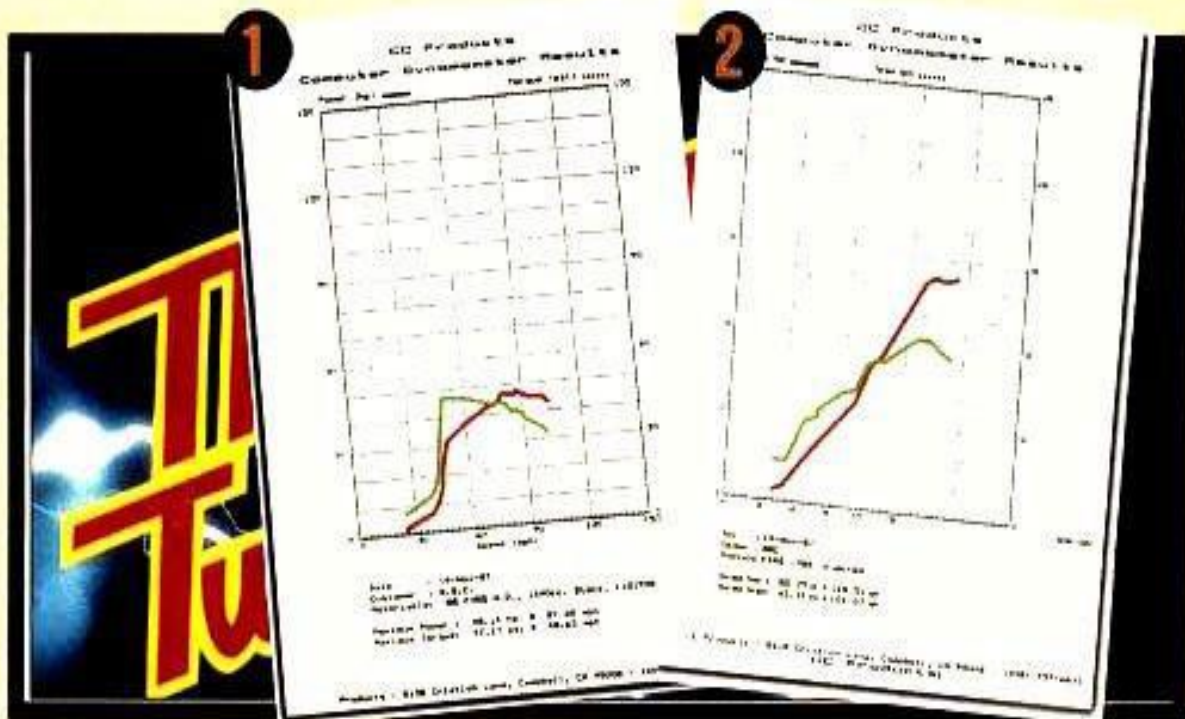
Cette technique d'alimentation consiste, comme son nom l'indique, à injecter de l'essence sous pression dans l'air d'admission afin de créer le mélange. Si cette technique commence seulement à se développer dans la motorisation moto, elle est apparue il y a plus de 90 ans et est maintenant très largement répandue dans le milieu automobile, en raison notamment de sa capacité à limiter favorablement les émissions polluantes. Actuellement et en raison des avantages qu'elle procure, on ne conçoit plus un moteur "top niveau" sans l'injection. Cependant, le domaine de ce type d'alimentation est vaste et regroupe un grand nombre de concepts différents donnant des résultats très variables. C'est pourquoi, contrairement à ce que veulent faire croire certains, l'injection n'est pas systématiquement synonyme de hautes performances, et mieux vaut un excellent carburateur qu'un mauvais système d'injection.

En revanche, certaines injections électroniques ont actuellement atteint un tel degré de sophistication, qu'elles apportent un haut niveau de performance sur les moteurs les plus complexes. Si à haut régime et à pleine ouverture sur un moteur atmosphérique, la différence de puissance avec une excellente carburation n'est pas significative, toute la plage du ralenti jusqu'aux régimes intermédiaires est améliorée de façon remarquable, avec de plus des consommations diminuées de façon très sensible. Mais là où l'injection devient reine, c'est sur les moteurs profondément modifiés, avec compresseurs ou turbocompresseurs, qui comme le savent bien les préparateurs posent d'énormes problèmes de carburation à tous les régimes et rendent la machine inconduisible. Par son incroyable vitesse de réaction et son aptitude à délivrer instantanément "LE" bon mélange l'injection électronique est capable d'obtenir le meilleur des fauves les plus récalcitrants. C'est donc incontestablement la solution du futur, son application sur l'exceptionnelle Ducati 916 ou sur le flat-twin 1100 BMW en est la preuve. C'est pourquoi il est intéressant d'en comprendre le fonctionnement.

II) LES DIFFERENTS TYPES D'INJECTION

Selon la façon dont l'essence est injectée dans le moteur on distingue :

a) L'injection directe (*l'essence est directement injectée dans la chambre de combustion à la manière de certains moteurs diesel*) : Ce principe présente l'avantage de refroidir efficacement la chambre de combustion et autorise ainsi des rapports volumétriques élevés favorisant largement les performances. Il présente malheureusement de gros problèmes techniques comme la tenue des thermiques des injecteurs ou la lubrification des hauts de cylindre. Ce principe n'est plus utilisé aujourd'hui.



b) L'injection indirecte (*l'essence est pulvérisée dans les conduits d'admission, en amont de la soupape*) : Ce principe est actuellement décliné en trois versions :

- L'injection indirecte continue : les injecteurs débitent en permanence.
- L'injection indirecte intermittente : le carburant n'est injecté que pendant une période définie à chaque tour moteur.
- L'injection indirecte discontinue séquentielle : le carburant est injecté à un moment précis du cycle moteur lors de la phase d'admission du cylindre (tous les 2 tours).

La disposition des injecteurs peut varier, on parle :

- d'injection monopoint, lorsqu'il n'y a qu'un seul injecteur, situé à l'origine du collecteur d'admission, pour alimenter tous les cylindres.
- d'injection multi-points, lorsqu'il y a un injecteur par cylindre (situé généralement très près de la soupape d'admission). C'est le système le plus efficace mais également le plus complexe et le plus coûteux.

D'autre part, on doit considérer ce qui se passe en amont de l'injecteur, c'est à dire le principe utilisé pour doser l'essence que l'on envoie à l'injecteur. Dans le cas des applications utilisées en automobile, il existe une multitude de systèmes très différents. Dans le cadre de cet article, nous nous limiterons aux applications retenues actuellement pour le moteur Harley-Davidson :

- **L'injection mécanique** avec pompe volumétrique haute pression entraînée par le moteur. Cas de l'injection HILBORN pour drags, ou, plus civilisée, l'injection MRD, qui sont toutes deux du type indirecte continue monopoint.
- **L'injection électronique intégrale** avec ou sans débitmètre, indirecte intermittente ou indirecte discontinue séquentielle, monopoint ou multi-points (BILLY BUDDE'S, ACCEL, WHITEC, RB RACING...).

Certains constructeurs tendent à nous faire croire que l'injection est la solution miracle dans le domaine de la performance.

En effet, ces deux graphiques mettent en évidence les différences de puissance et de couple entre un FXRS de 1985 d'origine (48.14 cv) et le même FXRS équipé de l'injection électronique Billy Budde's (85.29 cv). Soit un gain de 37.15 cv, ce qui est énorme.

Mais, ce que la firme Billy Budde's oublie volontairement de préciser, c'est que le moteur, en plus de l'injection, a été équipé d'une paire de culasses RevTech Racing avec un rapport volumétrique de 10/1, d'un nouvel arbre à cames ainsi que d'un allumage performance. D'où un gain si important.

En fait, la caractéristique principale d'une bonne injection par rapport à un carburateur, est d'apporter un agrément de conduite incomparable en particulier à bas régime.

III) LA MESURE DU DEBIT D'AIR

Pour pouvoir doser le carburant afin d'obtenir le mélange idéal, il est nécessaire de connaître constamment la quantité d'air aspirée par le moteur. Par conséquent quel que soit le principe d'injection retenu son fonctionnement sera basé sur la façon dont on va mesurer le débit d'air à l'admission.

a) La mesure directe du débit :

C'est la solution idéale, car de loin la plus précise. L'inconvénient majeur est le coût élevé du système. On place un débitmètre dans le conduit d'admission en amont du ou des papillons. Ce débitmètre va mesurer la masse d'air en corrigeant la mesure par rapport à la température de l'air d'admission (masse volumique). Il existe plusieurs types de débitmètres, mais dans le cas de la moto, seul le débitmètre à fil chauffant est utilisable en raison de son très faible encombrement. Ce principe développé par BOSCH est constitué d'un fil de platine maintenu à une température

(suite page 106...)

constante par un courant électrique. Au contact de l'air d'admission traversant le débitmètre, le fil a tendance à se refroidir d'autant plus que le débit massique de l'air est élevé. L'augmentation de la tension du courant nécessaire au maintien de la température initiale du fil est directement proportionnelle à la masse d'air aspiré. Ce système en plus de son extrême précision est insensible aux pulsations à l'admission et ne provoque aucune perte de charge, il équipe les injections les plus performantes du moment.

Une injection à débitmètre massique (*closed loop fuel injection*) possède l'avantage de "lire" constamment le moteur. Elle peut ainsi adopter instantanément la richesse idéale pour les conditions de fonctionnement du moment. Mais, contrairement à ce qui se dit très souvent, une telle injection ne peut pas s'adapter automatiquement à toutes les modifications du moteur. Tout changement d'arbre à cames ou de cylindrée (modification de la course et/ou de l'alésage) nécessite une reprogrammation complète du système.

b) La mesure indirecte du débit :

Il est possible de déterminer indirectement le débit massique de l'air admis à partir des éléments suivants : •le régime moteur •la pression dans le collecteur d'admission •la température de l'air admis •le rendement volumétrique du moteur, traduisant la variation du taux de remplissage en fonction du régime.

1) Le régime moteur peut être détecté de plusieurs façons :

- mécaniquement par une pompe volumétrique entraînée par le moteur (cas de l'injection *Hilborn* ou *MRD*).

- électroniquement grâce à un capteur inductif de régime situé sur le volant moteur (cas de l'injection *Marelli* d'origine sur Harley) ou en bout d'arbre à cames (cas de l'injection *Whitek*).

2) La pression dans le collecteur d'admission varie énormément en fonction des conditions de fonctionnement d'un moteur atmosphérique. De 200 mb papillon fermé (forte dépression) à 1013 mb à pleine ouverture (pression atmosphérique). C'est un élément déterminant dans la mesure du débit d'air qui peut être obtenu :

- par une sonde de pression électronique (présente sur tous les systèmes électroniques modernes).

- indirectement par le repérage de la position angulaire du papillon qui reflète l'état de charge. Ce repérage s'effectue par liaison mécanique papillon/valve de dosage dans le cas de l'injection mécanique *MRD*, ou par traitement électronique de l'information d'un potentiomètre de papillon dans le cas des injections électroniques *Whitek*, *Accel*, *Billy Budde's*...

3) La température de l'air permet de corriger la mesure de pression en tenant compte des variations de la masse volumique de l'air (le remplissage des cylindres diminuant avec l'augmentation de la température de l'air d'admission).

4) Le rendement volumétrique du moteur est déterminé en fonction de la cylindrée, de la perméabilité des culasses, du diagramme de distribution (arbre à cames). Il est obtenu par mesure au banc de puissance, ou par simulation informatique en introduisant les paramètres précédemment cités. Cet élément majeur prend généralement la forme d'une mémoire électronique de type "cartographique".

Comme nous venons de le voir, l'appellation "injection" regroupe de nombreux systèmes qui peuvent être très différents en fonction de leur concept et de leur degré de sophistication déterminé en particulier par le nombre et la qualité des capteurs mis en jeu. Les résultats obtenus sur le plan des performances peuvent de ce fait être très divers, il est donc essentiel avant d'investir des sommes très élevées dans un système d'injection de connaître les avantages et les inconvénients liés au principe sur lequel il repose.

IV) L'INJECTION MECANIQUE

L'injection mécanique qui est de plus en plus délaissée de nos jours est pourtant toujours présente dans le monde *HARLEY-DAVIDSON*, en alimentant les V-Twins des dragsters les plus performants. Qui ne connaît pas en effet la fameuse injection mécanique *HILBORN* ?

Ce principe d'injection a été conçu par Stuart Hilborn à la fin des années 30 pour remplacer les carburateurs sur les moteurs à hautes performances. Largement répandu dans le milieu des drags HD, il a été amélioré au fil des années grâce notamment à Dave Harryman qui, après 15 années de travail sur l'injection *Hilborn*, a finalement créé sa propre compagnie : *MRD (Mechanical Research and Development)*. L'injection *MRD* est une injection purement mécanique qui ne fait intervenir aucun capteur électrique ou électronique. Elle est du type indirecte continue monopoint. Ce système, conçu pour être monté directement à la place du carburateur d'origine du V-Twin, comprend seulement deux éléments distincts usinés dans de l'aluminium type aviation :

a) La pompe volumétrique haute pression :

Cette pompe est entraînée mécaniquement par le moteur en étant fixée à l'extrémité de l'arbre à cames à la manière du capteur d'allumage. Ainsi montée, cette pompe tourne à une vitesse proportionnelle (2 fois moins vite) au régime moteur; son débit va donc varier en fonction du régime. Lorsque le moteur est au ralenti la pression du carburant est faible tandis qu'à haut régime elle est forte. Ce principe très simple est un premier facteur de dosage de l'essence, la pompe étant le "capteur" du régime moteur, permettant en partie de déterminer le volume d'air admis.

b) Le corps d'injection : Ce corps d'injection comprend : •un conduit d'admission tubulaire de 46 mm de diamètre équipé d'un papillon •un organe de dosage •un injecteur.

Le conduit d'admission est tout à fait similaire à celui d'un carburateur à papillon à la différence près, qu'il est dépourvu de venturi puisque l'essence n'est plus aspirée mais injectée.

L'organe de dosage est constitué d'un puits calibré dans lequel plonge une aiguille conique (principe du gicleur variable dans les carbus à boisseau). L'organe de dosage est relié mécaniquement au papillon. Le mouvement de la poignée des gaz actionne non seulement le papillon mais aussi l'aiguille déterminant ainsi la section de passage de l'essence. Ce principe d'apparence simple est le deuxième facteur de dosage du carburant par repérage de la position du papillon qui reflète l'état de charge du moteur. La liaison mécanique entre le papillon et le doseur ne se réduit pas à une simple timonerie rigide, car

c'est sur elle que repose le principe de la pompe de reprise. En effet, lors de l'action sur la manette des gaz, la valve de dosage s'ouvre en un premier temps, proportionnellement plus que le papillon puis se referme à la valeur déterminée par la nouvelle position du papillon. Ainsi, lors d'ouvertures brutales des gaz, on évite l'appauvrissement du mélange. Ce principe repose sur une liaison élastique comprenant des ressorts de tarage.

L'injecteur est de conception très simple similaire à celle des injecteurs rencontrés sur les moteurs diesel.

c) Les réglages :

L'injection *MRD* est adaptable à toutes modifications du moteur par le réglage de trois éléments :

- l'injecteur, dont l'aiguille est changeable pour en modifier le débit.

La liaison mécanique dont l'élasticité est réglable par la modification du tarage des ressorts (on ajuste ainsi les reprises à bas régime).

- l'organe de dosage, réglable en utilisant des aiguilles de conicités différentes (on ajuste ainsi les hauts régimes).

La pompe volumétrique n'est pas réglable.

d) Les avantages et les inconvénients :

L'injection *MRD*, malgré sa rusticité, fonctionne correctement, en particulier sur des moteurs profondément modifiés. L'absence de venturi dans le conduit d'admission de 46 mm donne une excellente perméabilité, suffisante même sur les grosses cylindrées. L'injection d'essence sous pression procure une réponse au gaz bien meilleure qu'un carburateur, en particulier à bas régime. La robustesse de sa conception ainsi que la simplicité des réglages limitent les problèmes à l'utilisation. Son prix réduit par rapport aux injections électroniques la rend très abordable.

Mais il faut être conscient des limites d'une telle injection :

• Le système de pompe entraînée par l'arbre à cames ne permet pas l'emploi des allumages électroniques très performants du moment, ce qui va à l'encontre des performances.

• Le principe de dosage d'une telle injection est si imprécis, qu'il est impossible d'obtenir une loi d'enrichissement correcte sur toute la plage d'utilisation du moteur. Généralement performante, si elle est bien ajustée, dans les tours (dragsters) ou sur les moteurs utilisant une très faible plage de régime (moteurs d'avions), elle est loin de fournir une souplesse de fonctionnement exemplaire en utilisation routière et donne souvent des consommations élevées en particulier parce que l'injecteur débite en permanence.

Quitte à abandonner le carburateur au profit de l'injection, mieux vaut investir dans une injection électronique moderne dont nous étudierons toutes les subtilités le mois prochain. (À suivre)

