

## **Un petit cours sur la technologie d'injection électronique de carburant :**

Beaucoup de mécaniciens et la plupart des conducteurs n'ont pas vraiment une idée claire sur la façon dont fonctionne l'Injection Electronique (EFI) et comment ses principaux composants interagissent. Les idées fausses abondent, et la désinformation aussi... Le but de cet article est d'éclaircir tout cela

Nous ferons de notre mieux pour réduire au minimum le jargon technique et pour simplifier les explications, mais il reste encore une bonne quantité de termes techniques et d'acronymes qui sont nécessaires pour expliquer la technologie. Nous vous expliquerons les acronymes en termes simples. En commençant par les bases sur l'EFI, nous allons ensuite passer en revue les types d'EFI disponibles pour les V-twins, les différences entre le carburateur et l'EFI, puis finalement les modifications et les mises à niveau disponibles pour votre moto.

Vous ne serez pas un expert sur l'injection de carburant à la fin de cet article, mais votre compréhension et l'appréciation des subtilités et des complexités de ces systèmes en seront améliorées....

### **Les Bases :**

Dans sa plus simple expression, une injection électronique (EFI) est un système de distribution de carburant contrôlé par ordinateur. Cette unité de contrôle électronique (ECU) lit divers capteurs situés sur le véhicule et détermine la quantité de carburant nécessaire au bon fonctionnement du moteur. L'ordinateur va ouvrir et fermer les injecteurs permettant le passage de l'essence dans le moteur, en fonction des informations de capteurs et de la cartographie programmée dans l'ordinateur. Les différents capteurs (les tours/min, la température du moteur, température de l'air, de position, de pression, de position de vilebrequin) fournissent des informations sur les conditions de fonctionnement et de la charge du moteur.

Nous limiterons notre discussion sur les types de systèmes d'injection de combustible qui sont susceptibles d'être rencontrés sur les motos.

Une des principales différences entre les systèmes d'injection de carburant est la façon dont est déterminée la charge du moteur, c'est à dire la quantité de travail qui lui est demandée.

Elle peut être déterminée soit par la position de la poignée de gaz (type TPS pour *Throttle Position Sensor*), soit par la dépression créée dans la pipe d'admission (type MAP pour *Manifold absolute Pressure*). Les systèmes qui utilisent les capteurs de position (TPS) sont dit Alpha-N, les autres sont dit Speed density. HD a utilisé les deux systèmes sur ses machines, le TPS au début (Magneti-Marelli), le Map (Delphi) sur les machines récentes.

### **Pourquoi y a-t-il différents types de systèmes EFI?**

Il y a des avantages à chacun de ces types de système EFI. Le choix des systèmes peuvent être dépendants du type de véhicule et de son utilisation.

Dans le cas du système HD-Magneti Marelli, la simplicité d'utilisation du capteur de position (Alpha-N) pour la détermination de la charge du moteur a probablement été le facteur déterminant dans l'utilisation de ce premier système d'injection d'origine.

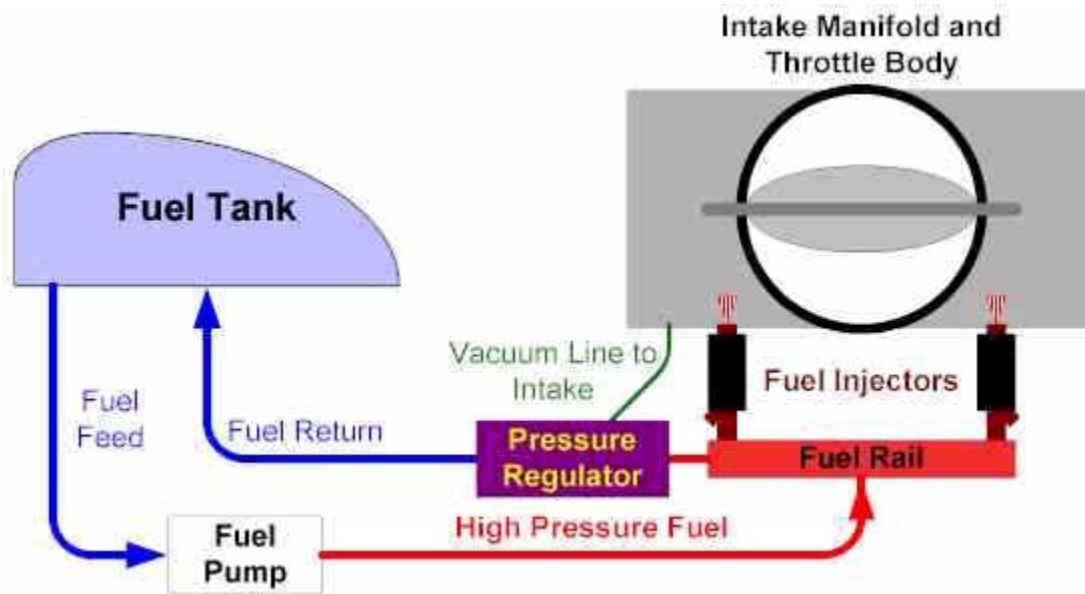
Les systèmes MAP nécessitent une information très précise et stable du capteur de dépression de la pipe d'admission pour déterminer avec exactitude le mélange de carburant. Si vous avez déjà essayé de lire un manomètre relié à un moteur v-twin et vu l'aiguille rebondir d'un bout à l'autre du mano, vous pouvez commencer à comprendre pourquoi un système MAP n'était pas le premier choix d'Harley-Davidson...

Malgré ce qui semble être un problème insurmontable à la création régulière d'un vide correctement lisible par un capteur, il existe une multitude de moyens mécaniques et électroniques de "calmer" la lecture du MAP par l'ECU.

Le système Delphi EMS est capable d'utiliser la pression de la tubulure d'admission HD, ce qui lui permet de déterminer plus précisément la charge sur le moteur plutôt que d'après la position de la manette des gaz.

Le système Delphi offre également un niveau de sophistication important et une bonne capacité à personnaliser des cartographies d'injection.

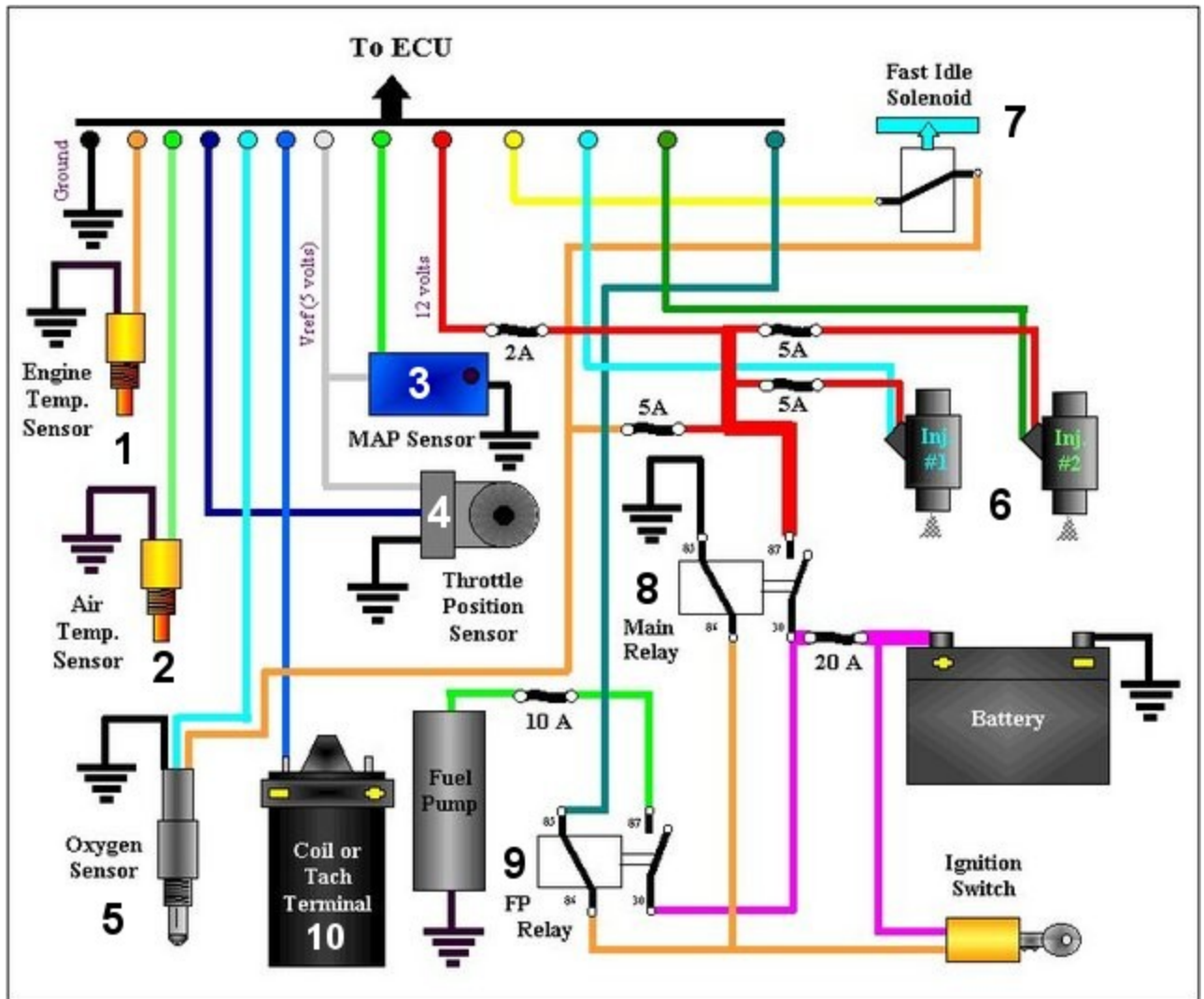
### **Descriptions des composants de l'EFI**



Ce diagramme montre une vue simplifiée des différents composants de l'injection :

- Le réservoir fournit le carburant à la pompe à essence, qui peut être à l'intérieur du réservoir ou à l'extérieur.
- Cette pompe alimente à haute pression la rampe d'injection qui porte les injecteurs.
- Cette rampe contient également un régulateur de pression qui limite la pression à 39-45 PSI et la maintient constante
- Le régulateur de pression est également relié à la pipe d'admission par une prise de vide
- le carburant en excès est renvoyé au réservoir

### **Diagramme Electronique de l'injection**



Ceci représente un diagramme schématique d'un système électronique d'injection standard.

Suivant les systèmes, les capteurs peuvent être plus ou moins nombreux...

- les capteurs de température moteur et air sont de simples résistances variables (1 et 2)
- les capteurs MAP et TPS envoient à l'ECU un signal variable en voltage de 0 à 5 V (3 et 4)
- la sonde à oxygène (ou sonde lambda) fournit à l'ECU un courant variant entre 0 et 1 volt en fonction du ratio air/essence capté dans l'échappement (5)
- Les injecteurs ont une alimentation permanente en 12V et sont actionnés par l'ECU par une mise à la masse (6)
- Le solénoïde de ralenti est activé par un signal 12V et agit en autorisant l'admission d'air dans la pipe d'admission pour augmenter le régime de ralenti (7)
- Le relais principal est activé par la clef de contact et fournit le courant à l'ensemble de l'installation (8)
- Le relais de la pompe à essence est alimenté par l'ECU quand le moteur tourne, et coupé si le moteur cale, pour des raisons de sécurité (9)

Dans ce schéma, la bobine ou le compte-tours agissent en tant que "déclencheur" sur le système d'injection (10)

sur les HD ce rôle est dévolu à un capteur sur l'embellage.

### **Comment fonctionne réellement une injection électronique ?**

Voici de manière très simplifiée ce qui se passe quand on ouvre les gazs :

- l'ECU détermine le nombre de trs/min grâce au signal du capteur d'embellage
- l'ECU détermine la charge du moteur d'après les informations fournies par le TPS ou le MAP
- l'ECU prends ces 2 valeurs et recherche dans la cartographie la valeurs d'ouverture de l'injecteur qui correspond à ces 2 valeurs et si elle ne trouve pas de correspondance exacte, elle est capable d'estimer la valeur adéquate par approximation
- une fois cette valeur d'ouverture déterminée, l'ECU va "l'ajuster" en fonction des autres paramètres :
  - l'ECU consulte la température moteur : s'il est froid, la valeur d'ouverture est augmentée d'un pourcentage pré-établi (comme un starter sur un carburateur), et au fur et à mesure de la montée en température, ce pourcentage est diminué jusqu'à atteindre 0 à la température normale de fonctionnement. ces pourcentages se basent sur une table pré-enregistrée.
  - l'ECU détermine la température de l'air d'admission et comme pour la température moteur, ajuste le temps d'ouverture de l'injecteur en fonction: par exemple si l'air est froid, elle augmente le temps d'ouverture pour enrichir le mélange, toujours en se basant sur une autre table pré-enregistrée
  - l'ECU a maintenant déterminé précisément la durée d'ouverture de l'injecteur et va donc envoyer un courant qui va déclencher cette ouverture en en contrôlant très précisément la durée (jusqu'à une milli-seconde...) et ce au moment précis où elle est nécessaire...

Comme vous pouvez le constater, une ECU ne chôme pas vraiment....et encore, il s'agit là d'une version simplifiée....

Son activité est beaucoup plus complexe que celle expliquée ici, mais ça vous en donne une bonne idée

### **Pourquoi l'injection électronique est-elle meilleure que le carburateur ? :**

Choisir un carburateur et le régler résulte toujours d'une série de compromis...

Le carburateur s'appuie sur le flux d'air qui entre dans le venturi pour créer le mélange air/essence qui va alimenter le moteur. Il combine une série de circuits de carburant pour parvenir au meilleur mélange possible.

Les circuits de ralenti, intermédiaire et principal sont utilisés conjointement pour adapter le mélange aux différentes plages de régime du moteur. Ces différents circuits peuvent interagir les uns sur les autres et créer des "points" de richesse ou d'appauvrissement le long de la courbe d'alimentation.

Certains utilisateurs tentent même d'ajouter des circuits supplémentaires (type Thunderjet) pour essayer de pallier ces défauts de la courbe d'alimentation. Ces circuit additionnels compliquent encore les efforts de réglage. Une modification de gicleur dans un des circuits peut nécessiter une modification dans un autre circuit, ce qui rend les choses bien difficiles à gérer...

Pour simplifier, considérons le carburateur comme n'ayant qu'un circuit de ralenti et un circuit principal. La richesse du mélange va devoir varier également avec le régime moteur, mais aussi en fonction de la charge demandée au moteur.

A bas régime, un carburateur de petit diamètre permet les meilleures performances, alors qu'un carburateur de fort diamètre est seul capable de fournir la quantité d'air nécessaire aux hauts régimes. La capacité d'un carburateur à fournir un bon mélange air/essence dépend également directement de la vitesse de l'air qui le traverse, ce qui est nécessaire pour maintenir une bonne réponse à la poignée de gaz. Or, un carbu de petit diamètre, par l'étranglement de son venturi, induit une vitesse d'air bien plus rapide qu'un carburateur plus gros. Un carburateur de trop gros diamètre pour la machine peut donner de très mauvaises performances à bas régimes, les mécaniciens HD le savent bien, qui connaissent le syndrome du "gros carbu"...

On se trouve donc devant plusieurs compromis à faire :

- compromis de taille de gicleurs et d'interactions entre les différents circuits
- compromis de richesse du mélange malgré les variations liées au régime, à la charge moteur, à la température...
- compromis de taille de carburateur suivant les régimes d'utilisation et les effets du venturi sur le mélange, etc, etc, ....

et comme disait Coluche : "Co(n)promis,....Chose due... "

Tout ceci n'existe plus avec l'injection électronique....

Avec celle-ci, la quantité d'essence nécessaire pour chaque nombre de tours/min et conditions de charge du moteur est inscrite dans la cartographie de l'ECU. Une fois cette quantité déterminée, l'ECU est capable d'ajuster le mélange air/essence en fonction des températures du moteur et de l'air d'admission. Dans de nombreux cas, elle peut même prendre en compte dans cet ajustement la pression atmosphérique et l'altitude....

Sur la base de tous les renseignements fournis par ses capteurs, l'ECU fournit au moteur la quantité d'essence adéquate à chaque explosion...De plus, comme le flux d'air n'a plus à traverser un venturi pour créer le mélange, le diamètre du passage peut être très important et permettre ainsi au moteur d'aspirer tout l'air qui lui est nécessaire pour atteindre un fort potentiel de puissance. L'EFI n'a plus qu'à fournir la quantité d'essence nécessaire et suffisante pour que ça pète !!!!

### **Un mot sur les échappements :**

Les modifications d'échappement entraînent encore plus de questions au sujet des performances sur les moteurs à injection que les problèmes d'injection eux-même, de même qu'avec les carburateurs, et tout ceci est lié à la pression de retour (*back pressure*)

Quand on parle de manque de pression de retour, on parle en fait de la gestion des vagues de pression de gaz qui se déplacent par écho en direction de l'entrée de l'échappement (vers le moteur). Ces vagues rebondissent le long des pipes d'échappement, tout à la fois en "tirant" et en "repoussant" les gazs qui tentent de sortir du moteur, et ceci de façon variable suivant le cycle du moteur. Une barrière physique dans l'échappement génère une variété d'ondes de pression et le moment où celle-ci vont atteindre la soupape d'échappement peut aussi bien améliorer la sortie des gaz en les "tirant" et augmenter par la même l'admission d'air frais, que les freiner en les "repoussant" et réduire la quantité d'air frais admis. Ces effets changent avec le nombre de tours par minute.

Un système échappement de qualité essaye soit de minimiser ces ondes, soit de contrôler leur timing pour augmenter l'air d'admission.

Le système d'injection n'est pas directement affecté par le système d'échappement, mais la quantité d'air admise l'est !

Plus d'air demande plus de carburant (pour maintenir un ratio correct) mais si le système ne peut pas détecter ce changement, le bon ratio ne pourra pas être fourni... Comme aucun système d'injection utilisé par HD n'utilise le contrôle de la quantité d'air admise pour générer le ratio correct, la cartographie doit être modifiée pour refléter ce changement et permettre à l'ECU de fournir le bon ratio.

Quand une moto à injection est équipée d'un échappement "performant" et d'un filtre à air moins restrictif, la cartographie doit être modifiée pour compenser l'accroissement d'air admis par le moteur.

Les silencieux "slip-on", les systèmes conventionnels 2en2 et 2en1 permettent une plus grande admission en réduisant les restrictions sur l'échappement, mais ne modifient pas de manière significative les ondes de pression, au contraire des drag-pipes qui altèrent dramatiquement et entraînent d'importantes modifications de la quantité d'air d'admission, et donc de la puissance en particulier à bas et moyens régimes.

Carburateurs et injection réagissent de la même manière à ces changements. La différence se situe dans la manière dans vous allez résoudre le problème :

- Pour le carburateur, vous allez modifier les gicleurs pour compenser l'augmentation d'air, sans vraiment réaliser qu'il faudrait aussi modifier l'ensemble des circuits de carburant...
- Avec un système d'injection, seule la cartographie doit être modifiée pour refléter ces changements, et au contraire du carburateur qui continue à être un compromis, la cartographie "colle" parfaitement aux modifications et permet une puissance continue et équilibrée sur toute la plage de régime d'utilisation

## **Température de fonctionnement élevée sur les Harley 2007/2008**

les HD 2007 et 2008 ont des moteurs qui atteignent de très hautes températures, aussi bien au niveau de l'échappement qu'au niveau du moteur. Ces hautes températures doivent être principalement attribuées au nouveau mode de fonctionnement "en boucle fermée" du système d'injection. Celui-ci s'appuie sur les capteurs lambda à bande étroite situés dans les pipes d'échappement pour maintenir le ratio air-essence à 14.7:1 au ralenti, en roulage normal et sur l'autoroute.

Le système d'injection utilise également un autre mode de fonctionnement en cas de température trop élevée, c'est à dire en cas de ralenti prolongé, circulation très lente ou température extérieure élevée (au delà de 30° !), en augmentant momentanément la richesse du mélange pour tenter de réduire la température du moteur .

### **Les différents modes de fonctionnement :**

#### **Au démarrage :**

- L'ECU fonctionne en mode "boucle ouverte" avec un ratio à 12.0:1, quelle que soit la température moteur (c'est d'ailleurs le ratio appliqué par défaut si on déconnecte les capteurs).
- Quand l'ECU détermine que la température de fonctionnement est atteinte, elle passe en mode "boucle fermée" avec un ralenti à 1050 trs/min et un ratio extrêmement "pauvre" de 14.7:1

#### **En mode haute température :**

Le régime de ralenti tombe à 950 trs/min et l'ECU passe en mode "boucle ouverte" en enrichissant le mélange à 12.0:1 pour abaisser la température moteur, mais aussitôt que le

régime moteur atteint 1200 trs/min, elle repasse en "boucle fermée " à 14.7:1, ce qui fait que le moindre coup de gaz appauvrit brutalement le mélange tant que l'ECU est mode haute température !!! Imaginez les dégâts dans les embouteillage en plein été !!!

Ce passage répété en "boucle fermée" appauvrit donc le mélange et augmente encore la température moteur ce qui maintient l'ECU en mode haute température...un vrai cercle vicieux !

Le meilleur conseil à donner est de ne SURTOUT pas donner de coup de gaz lorsque l'ECU passe en mode haute température, à moins d'être sur de pouvoir avancer...

Le mode haute température est facilement identifié par un baisse du ralenti de 1050 à 950 trs/min : dans ce cas, laissez le moteur au ralenti SANS coup de gaz jusqu'à ce que le départ soit possible