

L'INJECTION D'ESSENCE

1- Présentation du système

- 1.1 Frontière d'étude Bilan des entrées - sorties) P₂
- 1.2 Fonction globale
- 1.3 Structure fonctionnelle) P₃

2- Justification de l'injection

3- Principe de fonctionnement

4- Modes d'injection

- 4.1 Injection multipoints) P₄
- 4.2 Injection monopoint) P₅

ETUDE DU CIRCUIT D'ESSENCE

1- Identification du circuit sur documents

2- Schématisation des circuits

- 2.1 Injection multipoints) P₆
- 2.2 Injection monopoint

3- Rôle et fonctionnement de chaque élément

- 3.1 Pompe à carburant
- 3.2 Le filtre à carburant
- 3.3 Le régulateur de pression de carburant) P₇
- 3.4 L'injecteur

Mesure de la masse d'air aspirée

1- Identification des différents systèmes

- 1.1 Présence d'un débitmètre sur le circuit) P₈
- 1.2 Absence de débitmètre sur le circuit

2- Principes utilisés

- 2.1 Mesure par débitmètre) P₉₋₁₀
- 2.2 Mesure par capteur de pression
- 2.3 Mesure par débitmètre à fil chaud → P₁₁₋₁₂

3- Détermination de la masse d'essence à injecter) P_{13,14}

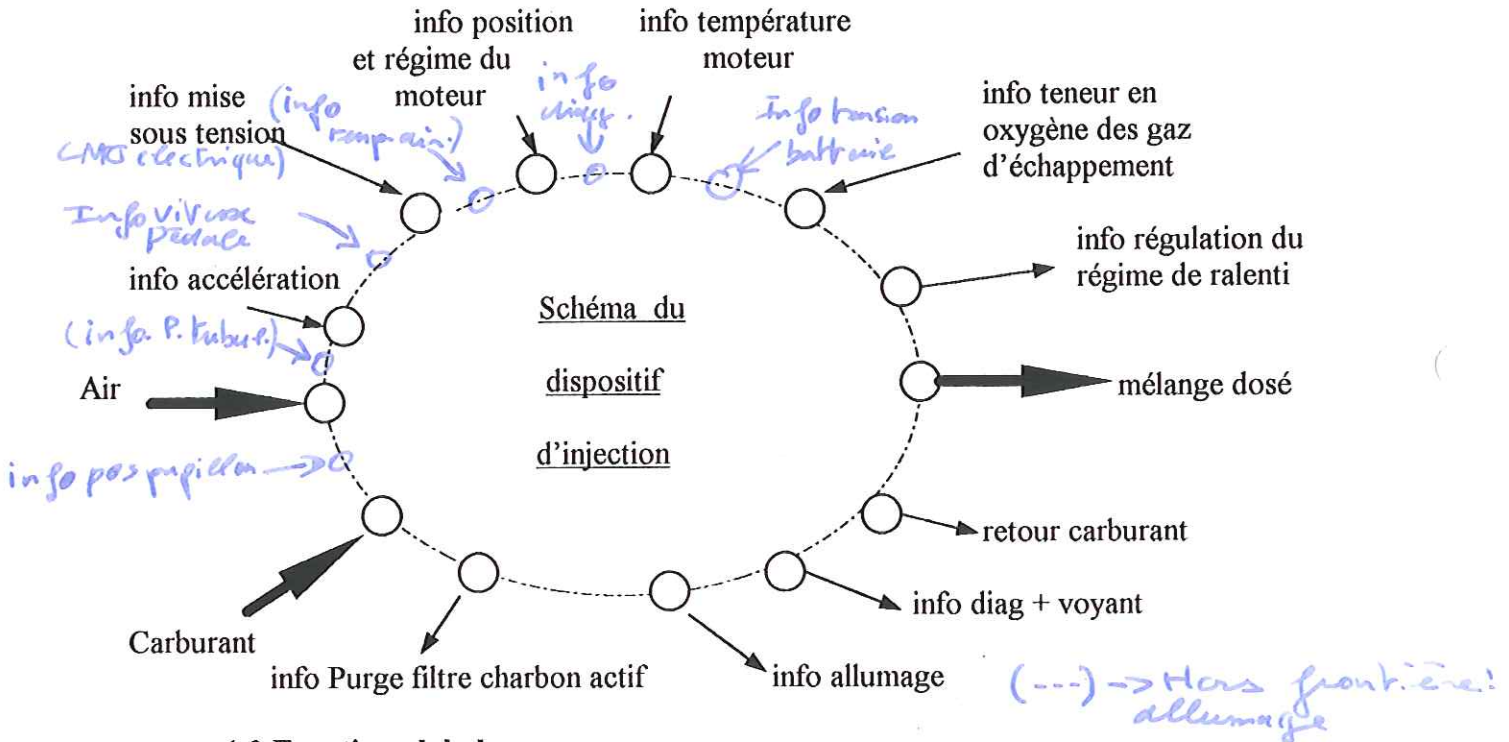
L'INJECTION D'ESSENCE

1- Présentation du système :

* Système d'injection monté sur véhicules 806, évason,...

1.1 Frontière d'étude Bilan des entrées - sorties

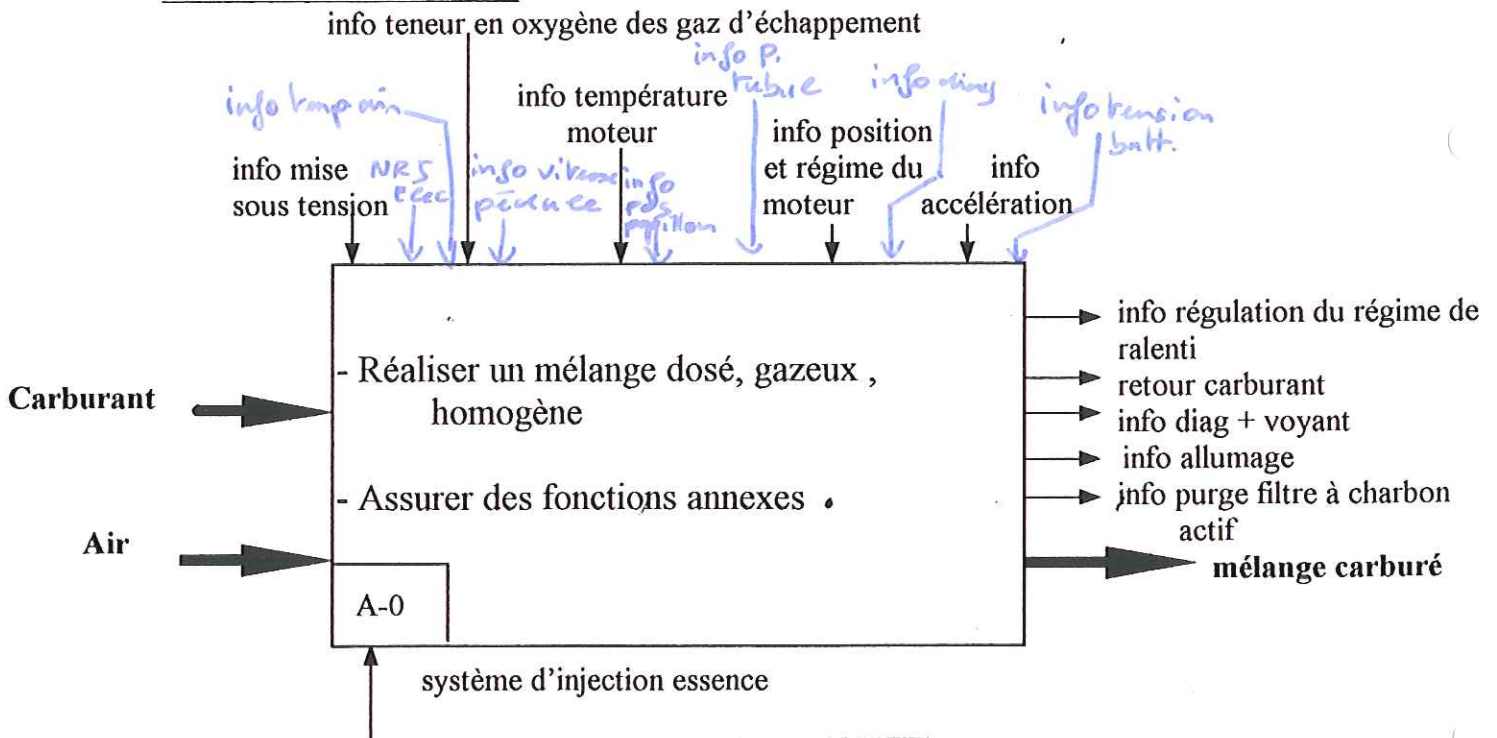
La frontière délimite le système étudié. Elle se justifie par la réalisation d'une fonction ou d'un ensemble de fonctions.



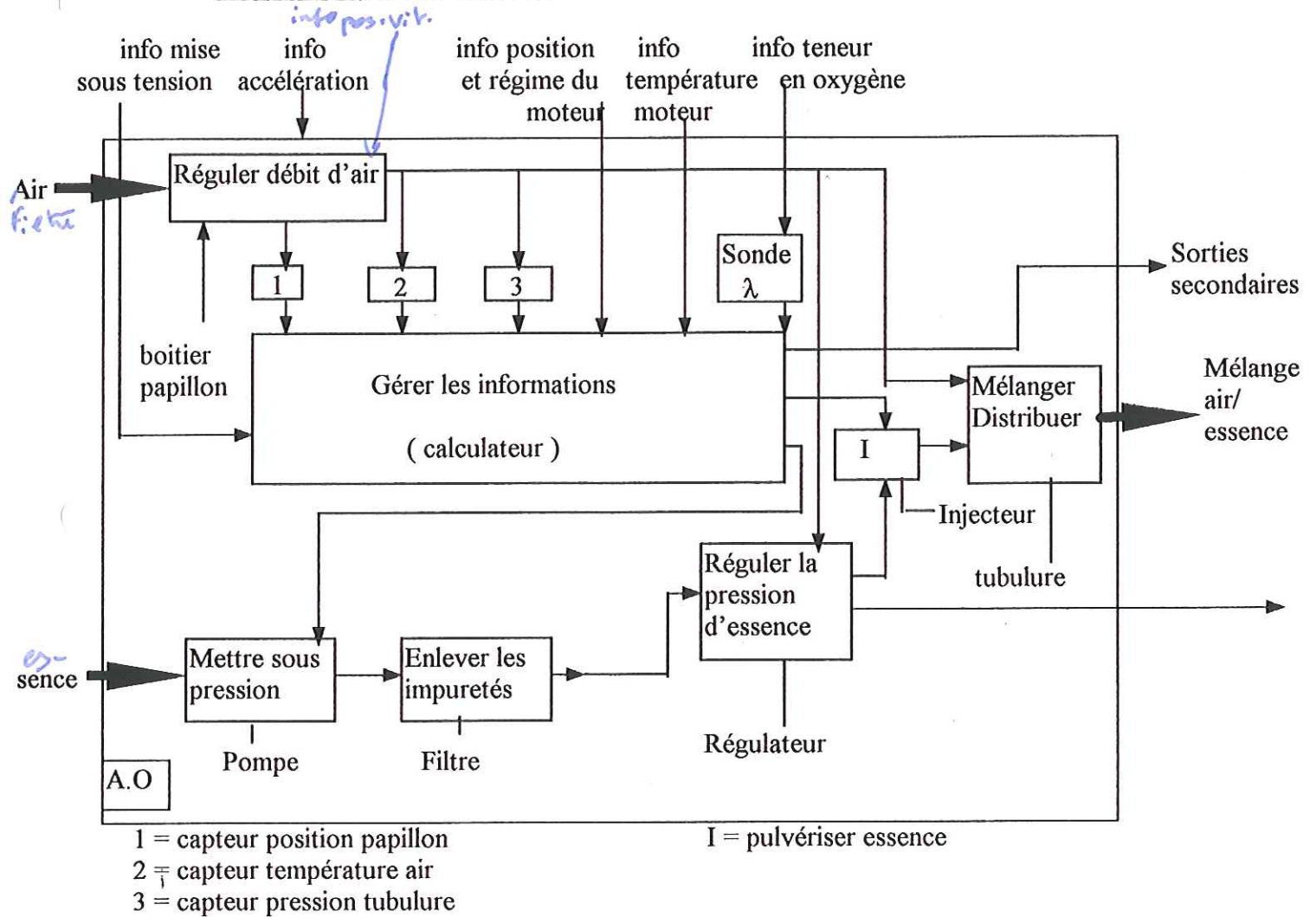
1.2 Fonction globale :

« Préparer le mélange air/essence admis dans les cylindres »

* Modélisation de la fonction:



1.3 Structure fonctionnelle :



2- Justification de l'injection :

Les systèmes d'injection ont remplacé les carburateurs car ils permettent :

- * de respecter les normes antipollution et leur sévérité.
- * de réduire la consommation de carburant pour des performances identiques grâce à une meilleure gestion des informations et une optimisation de la forme des tubulures.

Les systèmes d'injection actuels sont tous pilotés par un calculateur électronique car :

- * cette solution permet de prendre en compte rapidement et simultanément un grand nombre de paramètres de fonctionnement.

De plus, les calculateurs "nouvelles générations" intègrent la fonction allumage afin de permettre une **optimisation simultanée** de la richesse et de l'avance à l'allumage. Ils permettent aussi de piloter d'autres fonctions telles que :

- * La régulation des régimes de ralenti
- * La commande de la climatisation, BV automatique
- * La purge du filtre à charbon actif...

3- Principe de fonctionnement :

Quelque soit le type d'injection retenu, le principe utilisé pour obtenir le mélange carburé est toujours le même :

1. On mesure la masse d'air aspiré par le moteur

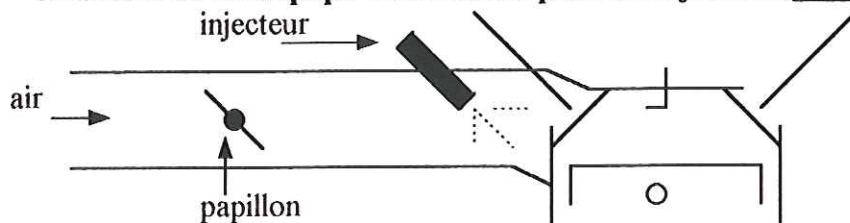
2. On détermine la masse d'essence à injecter en fonction de la masse d'air aspirée et de la richesse souhaitée (rendement, puissance, pollution)

4- Modes d'injection :

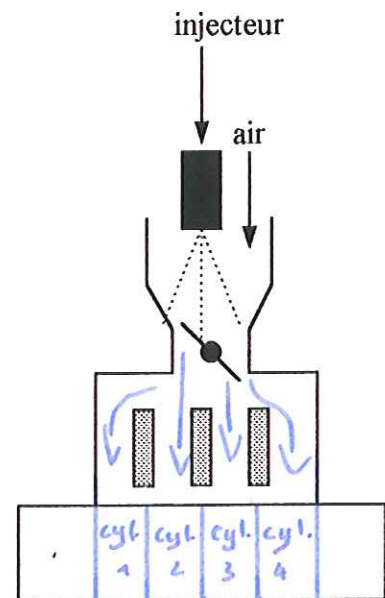
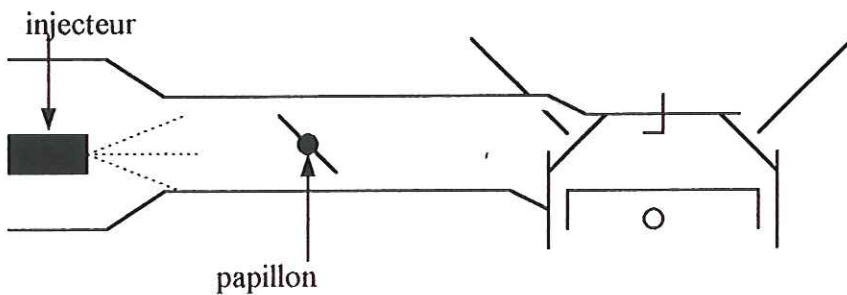
Sur les moteurs actuels les injecteurs débouchent dans la tubulure d'admission. Ce sont des injections indirectes.

On distingue deux réalisations :

* en amont de la soupape d'admission pour les injections multipoints



* en amont du papillon des gaz pour les injections monopoint



4.1 Injections multipoints :

Un injecteur est associé à chaque cylindre .

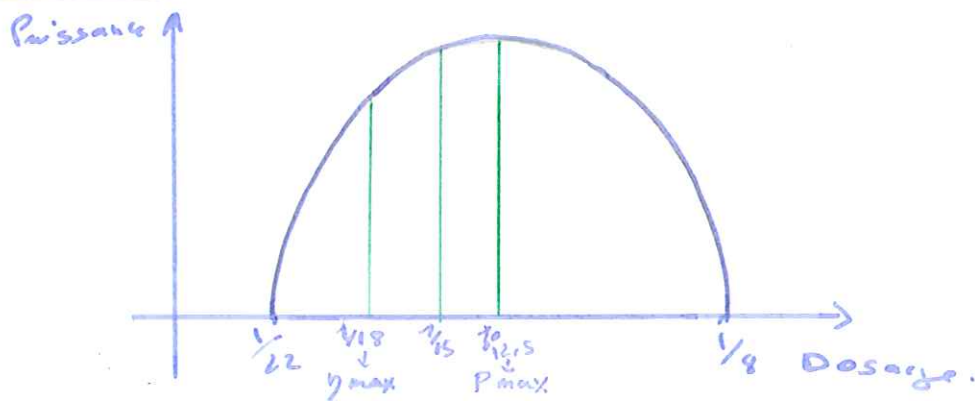
On trouve plusieurs réalisations :

* injection continue : Les injecteurs débitent simultanément et en permanence lorsque le moteur fonctionne.

C'est généralement un système mécanique (Bosch K Jetronic)

Ex : Golf VW ; Mercedes ; Audi (plus monté actuellement).

RAPPEL :



*** injection discontinue (ou séquentielle non phasée):**

- Les injecteurs sont pilotés électriquement pour ne s'ouvrir que pendant un temps défini du cycle.
- L'ouverture des injecteurs se fait simultanément : En fonctionnement normal la masse d'essence nécessaire est injectée en 2 fois (tous les tours moteur)
- La majorité des systèmes actuels est de ce type Ex : 806 ; 405 ; R19 ; Safrane...

*** injection séquentielle phasée :**

- les injecteurs sont pilotés individuellement pour s'ouvrir à un moment déterminé du cycle (une injection tous les 2 tours)
- L'ordre d'injection est identique à l'ordre d'allumage
- L'injection a lieu pendant le temps d'admission. (Elle débute en fin échappement). La masse totale sera injectée à chaque impulsion. C'est la solution d'avenir car elle est moins polluante mais c'est aussi la plus chère.

4.2 Injection monopoint :

- L'injecteur est placé en lieu et place du carburateur.
- Il débite pour chaque admission. Il est phasé avec l'allumage (moteur 4 cylindres = 2 injections par tour).

C'est un montage de transition :

(sur les moteurs de < 2 litres de cylindrée).

Ne satisfait pas aux normes futures de dépollution car il présente un problème de condensation de l'essence dans les tubulures de répartition du mélange entre les différents cylindres.

*** injection semi-séquentielle**

Les injecteurs sont pilotés 2 par 2.

L'injection se fait aussi une fois par tour.

Il n'y a pas de capteur position arbre à came (capteur phase)

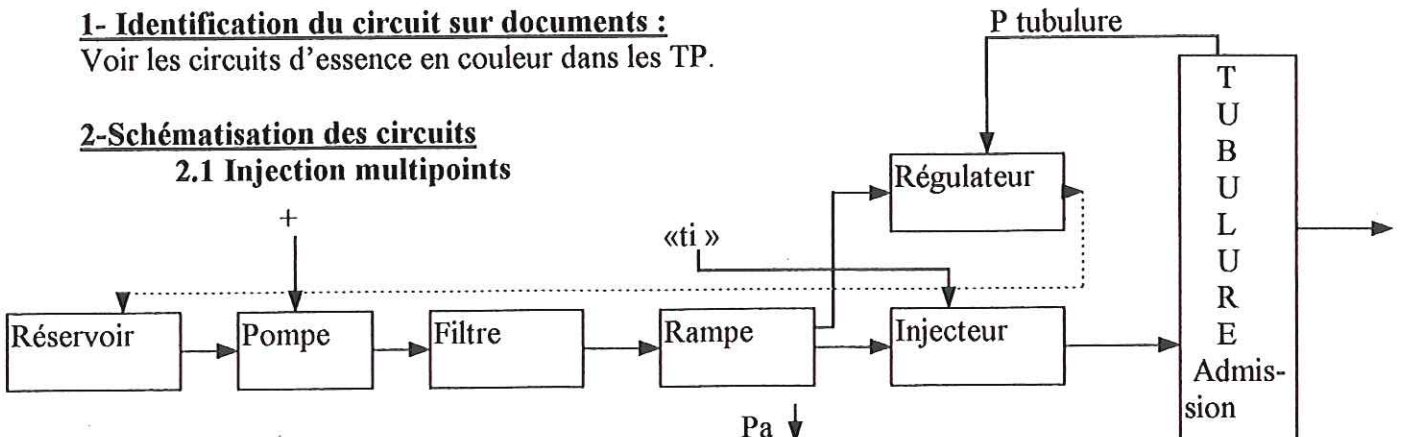
ETUDE DU CIRCUIT D'ESSENCE

1- Identification du circuit sur documents :

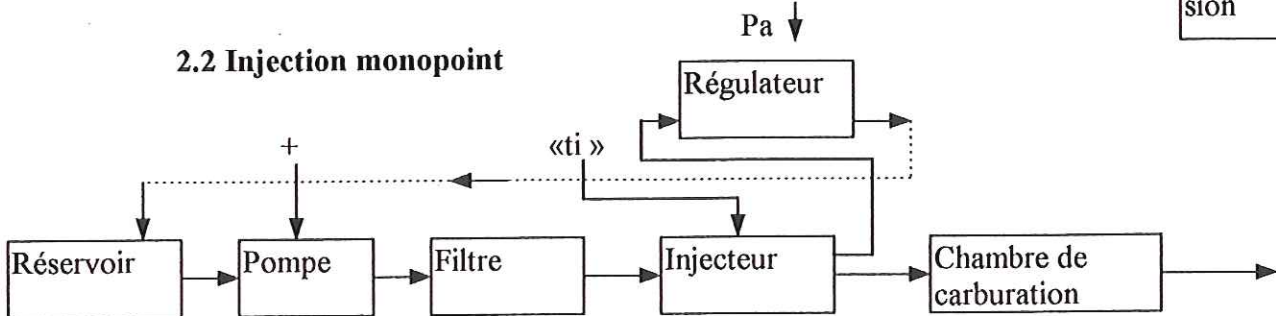
Voir les circuits d'essence en couleur dans les TP.

2-Schématisation des circuits

2.1 Injection multipoints

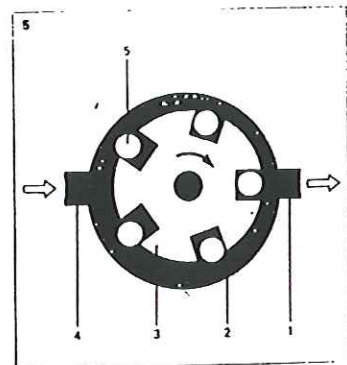
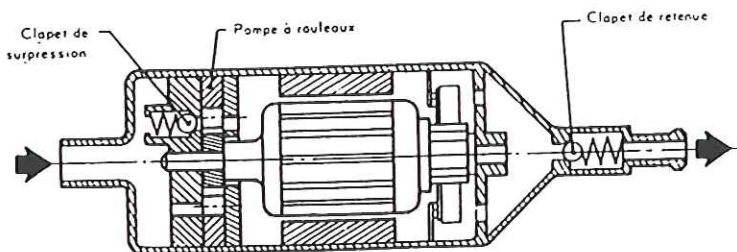


2.2 Injection monopoint



3- Rôle et fonctionnement de chaque élément

3.1 Pompe à carburant :



- 1 Côté refoulement
- 2 Carter de pompe
- 3 Rotor de pompe
- 4 Côté aspiration
- 5 Rouleau

Rôle : débiter une quantité importante de carburant *sous pression ($\approx 100 \text{ kPa}$)*

Fonctionnement : C'est une pompe volumétrique à rotor excentré commandée par un moteur électrique.

Le rotor est composé d'un disque comportant à sa périphérie des rouleaux qui se déplacent dans des lumières.

En fonctionnement, ces rouleaux sont plaqués contre les parois de la pompe par la force centrifuge.

L'aspiration est produite par l'augmentation de volume des chambres déterminées par les rouleaux et la paroi extérieure.

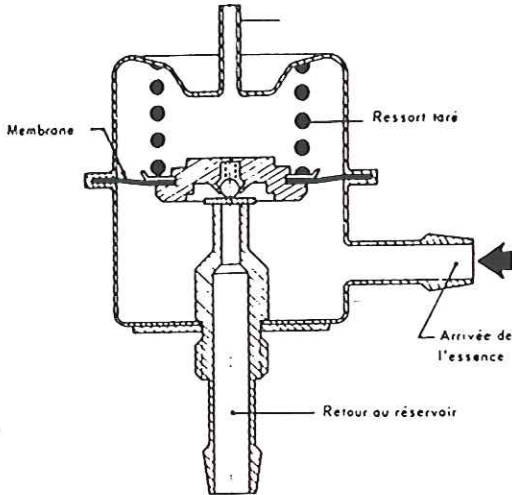
Le refoulement est réalisé par une diminution de volume de ces mêmes chambres.

Un clapet de surpression protège la pompe en cas d'anomalie sur le circuit de refoulement (circuit bouché).

3.2 Le filtre à carburant

Rôle : Eliminer les impuretés afin de protéger les injecteurs (encrassement, grippage)

3.3 Le régulateur de pression de carburant



Rôle: Limiter la pression du carburant.

Fonctionnement : Lorsque la pression souhaitée est atteinte, la membrane est repoussée ce qui libère, par l'intermédiaire d'un clapet, le circuit de retour vers le réservoir.

$$P = \frac{F}{S}$$

P= pression (bar)

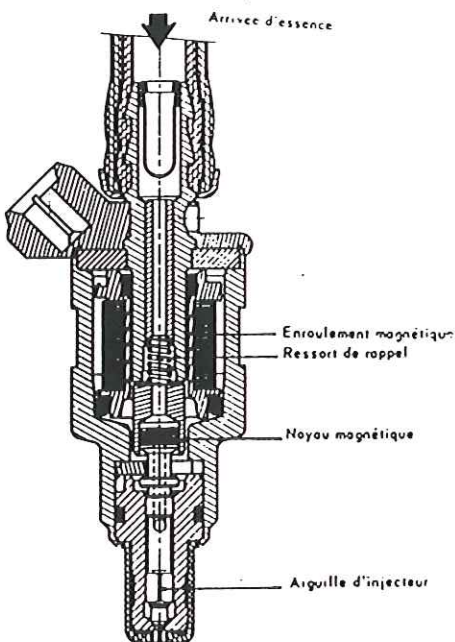
F= force (daN)

S= surface (cm²)

2 montages suivant la position de l'injecteur par rapport au papillon

- avant (monopoint) → pas d'asservissement à la pression tubulure
- après (multipoints) → asservissement à la pression tubulure

3.4 L'injecteur



Rôle : -Ouvrir ou fermer le passage du carburant
-Pulvériser le carburant

Fonctionnement :

→ identique à une électrovanne

- Lorsque l'injecteur est alimenté (ti), le champ magnétique créé par le bobinage attire le noyau magnétique qui se soulève en entraînant l'aiguille.

→ le carburant sous pression est pulvérisé finement.

- Lorsque l'injecteur n'est plus alimenté, l'aiguille d'injecteur est en appui sur son siège grâce au ressort de rappel.

→ L'injecteur ne débite plus.

La rampe d'injection (sur injection multipoints)

Rôle : répartir l'essence sous pression entre les différents injecteurs.

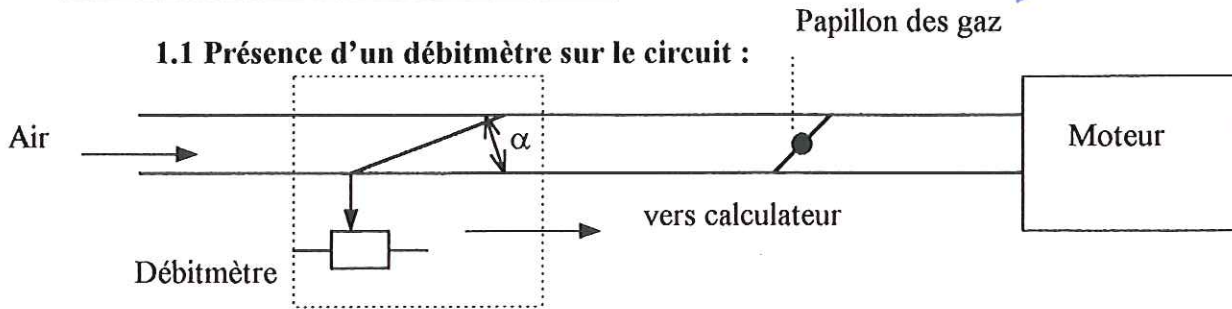
Mesure de la masse d'air aspirée

$$Q_v = S v$$

$$\frac{m}{s} = m^2 \times \frac{m}{s}$$

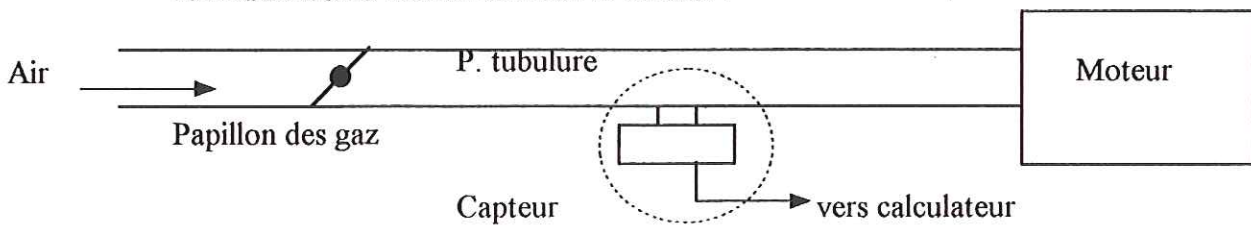
1- Identification des différents systèmes :

1.1 Présence d'un débitmètre sur le circuit :



La masse d'air aspirée est mesurée par le **débitmètre**.

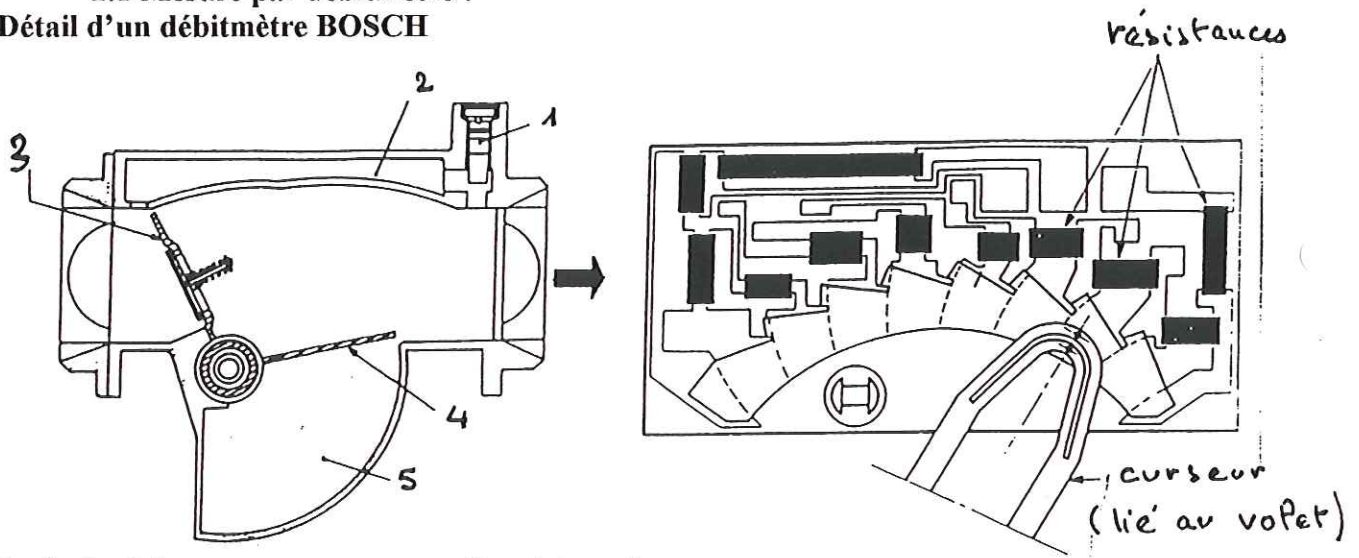
1.2 Absence de débitmètre sur le circuit :



La masse d'air aspirée est mesurée par un **capteur de pression tubulure**.

2- Principes utilisés :

2.1 Mesure par débitmètre : Détail d'un débitmètre BOSCH



1. vis de richesse

2. canal de dérivation

3. volet sonde

4. volet de compensation

5. volume d'amortissement (pulsations régimes transitoires)

Il s'agit d'une **mesure directe**.

Pour connaître la **masse d'air aspirée** on utilise l'**équation de continuité** :

Q_{ma} : débit d'air aspiré (kg/s)
 ρ_a : masse volumique de l'air (kg/m³)
 S : Section de passage de l'air (m²)
 V : Vitesse de passage de l'air (m/s)

pression ↓ $Q_{ma} = \rho_a \cdot S \cdot V$

$Q = \frac{P}{KT} \cdot S \cdot c$
 ← c = vitesse
 section

Les 2 variables étant S et V, pour mesurer le débit il suffit de mesurer l'une d'elles, l'autre étant prise comme constante.

Dans le débitmètre S est la variable et V la constante.

Pour connaître le débit d'air il suffit de mesurer S, ou plus simplement le déplacement du volet par rapport à sa position initiale.

Dans les systèmes électroniques l'axe du volet est relié à un potentiomètre dont la résistance varie en fonction de l'angle de rotation du volet.

Afin de tenir compte de la variation de la masse volumique de l'air en fonction de la température on monte en série sur la résistance du potentiomètre une thermistance qui prend en compte les variations de température de l'air.

$Q_{ma} = U_d$ (U_d = tension de sortie du débitmètre)

$U_d = f. (\alpha^\circ \text{ et } T^\circ \text{ air})$ α = angle de rotation du volet du débitmètre

Critique du système :

- La présence d'un obstacle (volet) entraîne une perte de charge, donc une diminution du remplissage. Il y a une baisse de puissance d'environ 3%.
- Le débitmètre est sujet à l'encrassement. Le contact entre le curseur et les résistances peut être défectueux.
- C'est un système en voie d'abandon.

2.2 Mesure par capteur de pression :

Il s'agit d'une mesure indirecte. Pour connaître la masse d'air aspirée on mesure tous les paramètres permettant de connaître la masse d'air admise dans le moteur :

$Q_{ma} = \frac{1}{2} \text{ cyl} \cdot n \cdot \rho_a \cdot \eta_v$

Q_{ma} : débit d'air aspiré (kg/s)

Cyl : Cylindrée du moteur (m³)

n : régime moteur (tr/s)

ρ_a : masse volumique de l'air (kg/m³)

η_v : rendement volumétrique du moteur (<1)

La cylindrée du moteur est divisée par 2 car le cycle s'effectue sur 2 tours moteur.

La cylindrée est une constante pour un moteur donné.

Le régime est une variable.

Le « η_v » est une caractéristique constante pour un moteur donné qui varie en fonction de l'ouverture du papillon et du régime moteur. Ces différentes valeurs peuvent être mesurées au banc d'essais.

ex : pour $N = 5000 \text{ tr/min}$ et $o_p = 3/4 \rightarrow \eta_v = 0.85$

La « ρ_a » ne peut pas être mesurée directement.

On la calcule grâce à l'équation des gaz parfaits :

$$P \cdot V = m \cdot r \cdot T$$

P = Pression (tubulure) (N/m^2)
 V = Volume air aspiré (m^3)
 m = masse air aspiré (kg)
 r = Cte (air 273 $\text{j/kg} \cdot ^\circ\text{K}$)
 T° = température air ($^\circ\text{K}$)

Comme $\rho_a = \frac{m}{V}$; on peut en déduire :

$$\rho_a = \frac{P}{rT^\circ}$$

Pour connaître « ρ_a » on mesure la pression absolue dans la tubulure ou plutôt la variation de pression par rapport à la pression atmosphérique et la température de l'air.

Actuellement , on mesure « P » par voie électronique à l'aide d'un capteur.

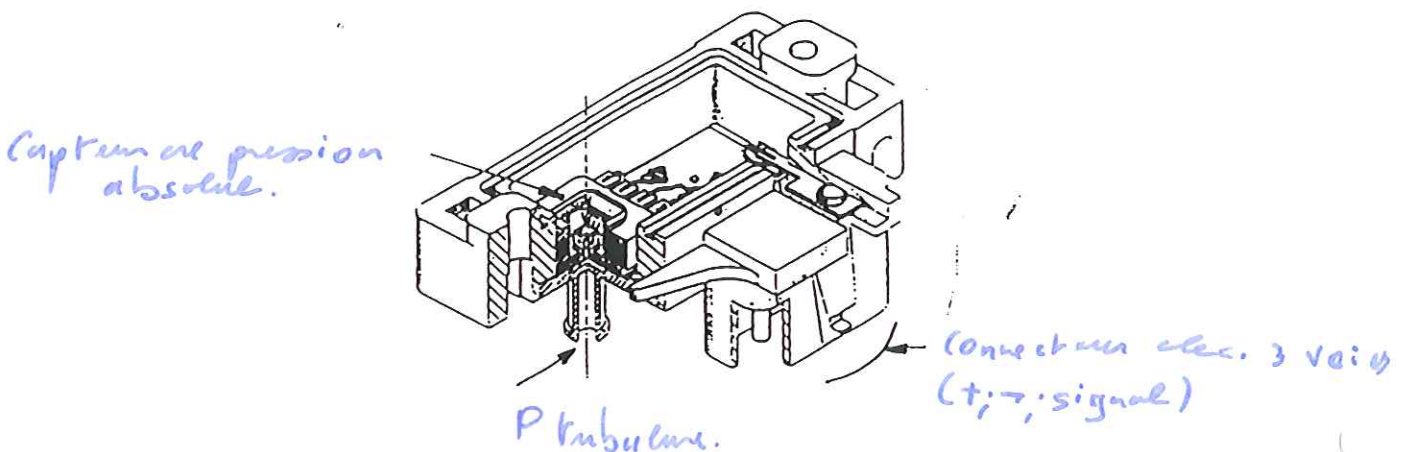
On mesure « T » par transposition directe à l'aide d'une thermistance.

$$Q_{ma} = f \cdot \left(\text{Cte} \cdot \frac{P}{T} \cdot n \right)$$

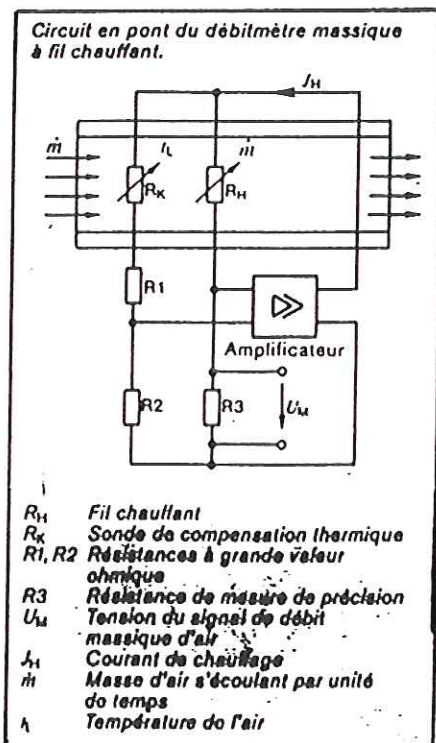
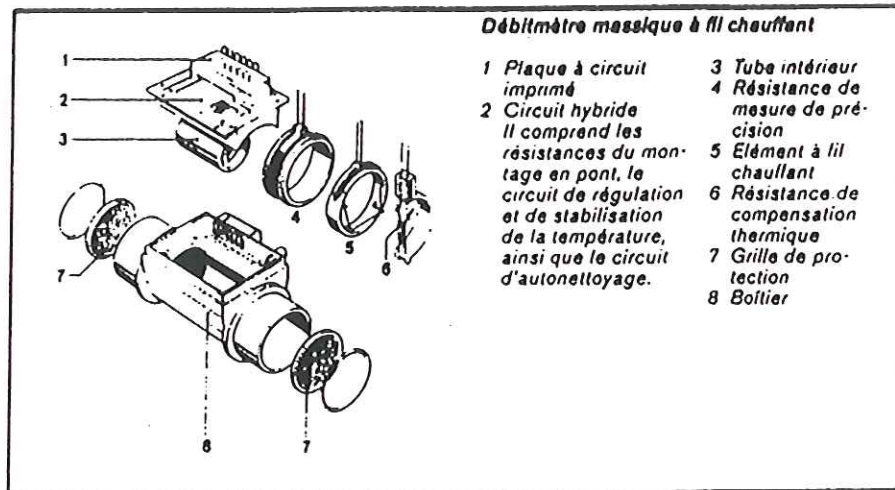
$\text{Cte} = \frac{\text{Cyl} / 2 \cdot n_v}{r}$
 P = variation de pression / Pa
 T = variation T° air

Ce principe de mesure est de plus en plus utilisé.

Détail du capteur de pression :



Débitmètre à fil chaud BOSCH + ardisse



Fonctionnement :

Le débitmètre massique à fil chauffant fonctionne selon le principe de la « température constante ».

Le fil chauffant est une partie d'un montage en pont de Wheastone dont la tension diagonale est réglée sur zéro par la variation du courant de chauffage.

Une augmentation du débit d'air entraîne le refroidissement du fil et une diminution de sa résistance. Cela provoque un déséquilibre des rapports de tension dans le pont. Le circuit de régulation (ampli-opérationnel OP) effectue une correction immédiate par une augmentation du courant de chauffage de manière à ce que le fil chauffant retrouve sa température initiale. Le signal de mesure est pris aux bornes d'une résistance de précision placée dans le pont.

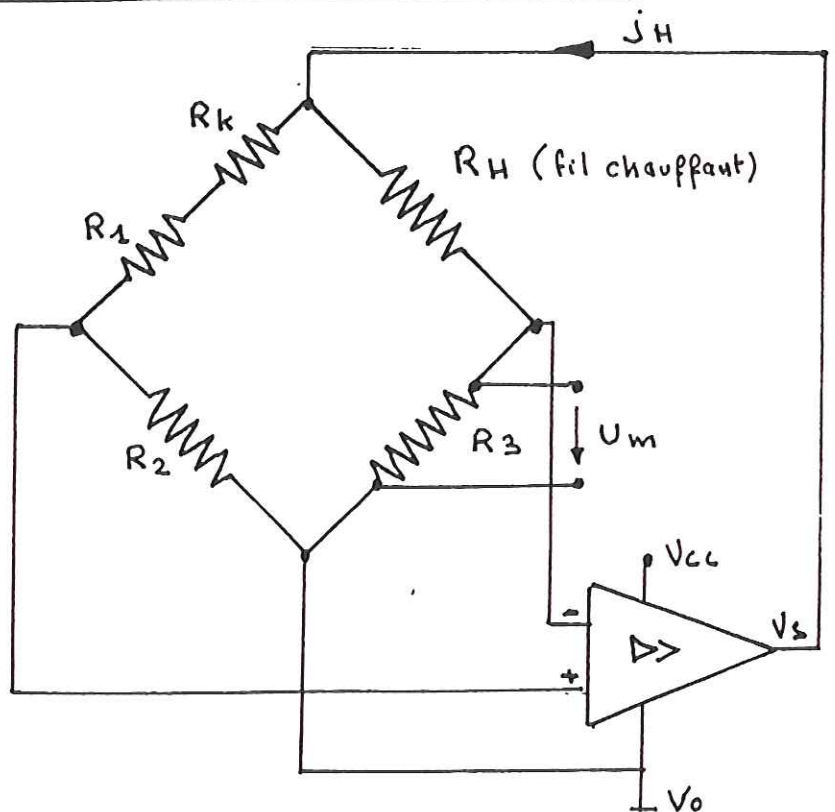
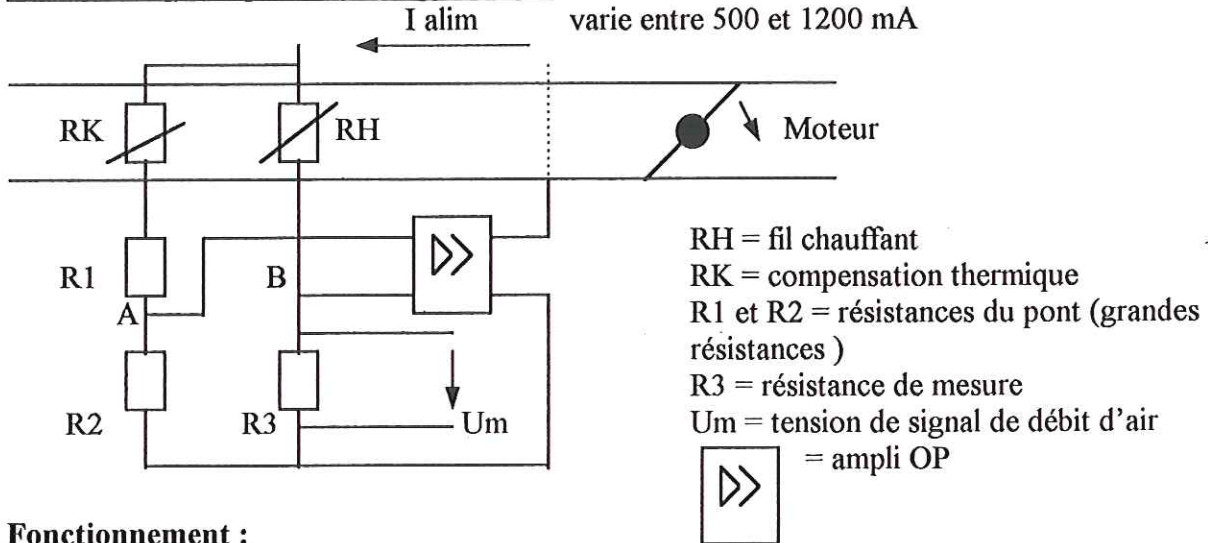


Schéma de principe du montage utilisé :



Fonctionnement :

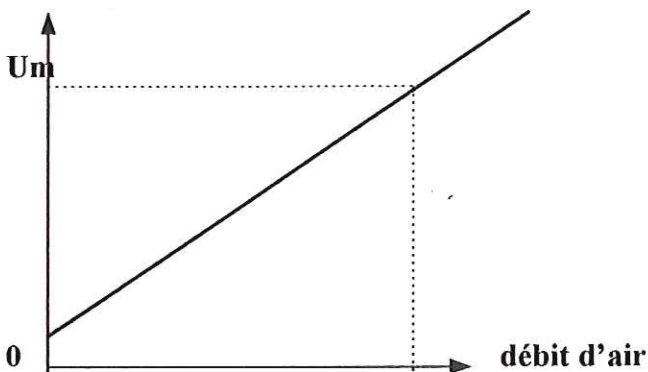
Moteur à l'arrêt : Le pont est équilibré $\rightarrow U_{AB} = 0$

$I_{\text{ampli}} = 500 \text{ mA}$. La résistance RH a atteint sa température de fonctionnement.

Le moteur fonctionne: Le débit d'air entraîne un refroidissement de RH \Rightarrow sa résistance varie

$\Rightarrow U_m \neq 0$. L'ampli détecte cette variation de tension et augmente le courant I (de 500 à 1200 mA) pour réchauffer RH jusqu'à ce que $U(AB) = 0$.

\Rightarrow L'information masse d'air aspirée par le moteur est fournie par la tension mesurée aux bornes de R3



Avantages du système :

- Pas besoin de dispositif de correction en fonction de la température ou de la pression atmosphérique de l'air, le refroidissement de RH étant fonction de ces paramètres \Rightarrow moins de capteurs
- absence de pièces mobiles
- temps de réponse rapide
- Absence d'erreurs dues aux pulsations (faible régime -pleine charge)

Inconvénients :

- Fil chaud en platine de diamètre très faible ($70 \mu\text{m}$) d'où nécessité d'une grille de protection.
- Encrassement du fil par les vapeurs d'huile du dispositif de recyclage. Cela nécessite un dispositif provoquant une surtension dans le fil chauffant à chaque démarrage pour carboniser les dépôts (aspirés par le moteur).

3- DETERMINATION DE LA MASSE D'ESSENCE A INJECTER

En fonction des paramètres reçus le calculateur détermine un temps d'ouverture des injecteurs. Ce temps d'ouverture (t_i) est calculé par le calculateur en fonction:

- pour une mesure directe du débit d'air :

* *Température de l'air*
* de la position du volet du débitmètre (paramètre principal)

* de la vitesse du moteur
* de la température du moteur
* *de la température de l'air*
* de la position du papillon des gaz
* de la sonde lambda éventuellement

} paramètres de correction

- pour une mesure indirecte du débit d'air :

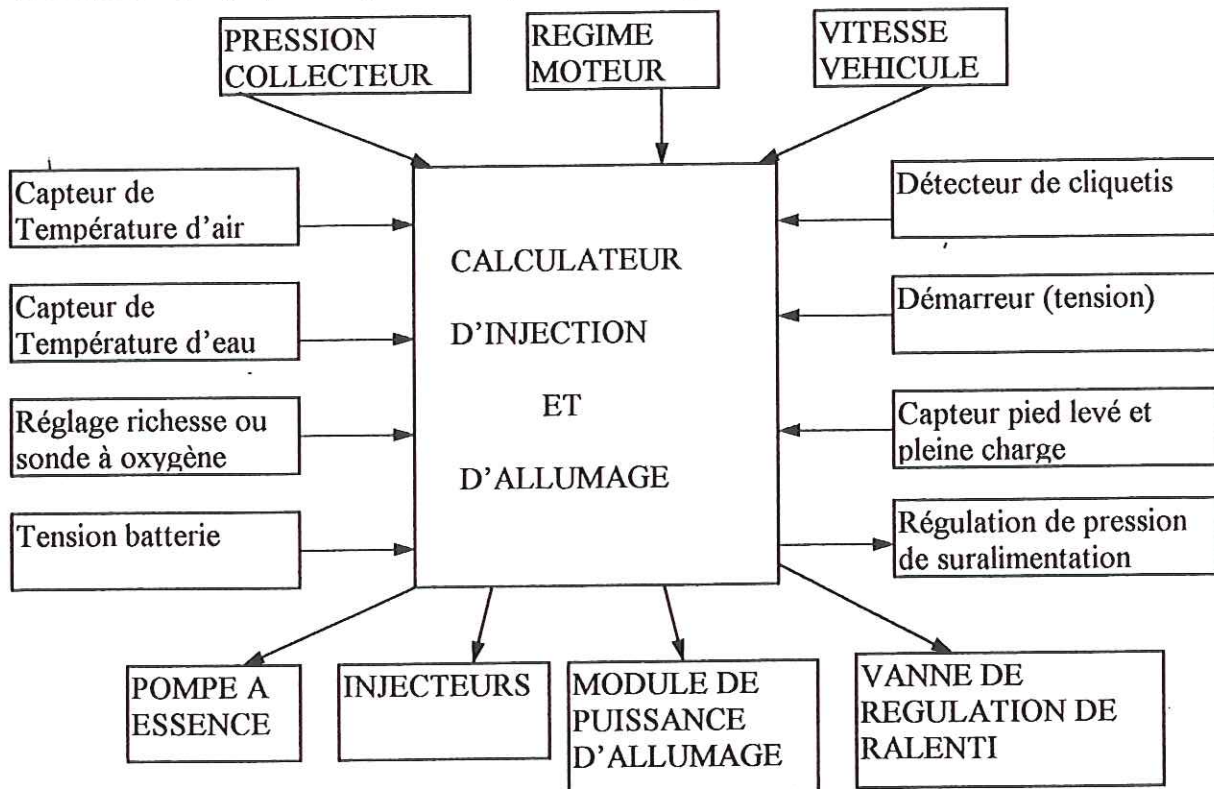
* de la pression tubulure
* du régime de rotation du moteur

} paramètres principaux

* de la température de l'air
* de la température du moteur
* de la position du papillon des gaz

} paramètres de correction

Exemple : Synoptique du système d'injection allumage Fenix 3B



La masse d'essence injectée est égale à :

$$Me = (\rho_e \cdot S \cdot V) \cdot t_i$$

Me = Masse d'essence débitée (kg)

ρ_e = masse volumique de l'essence (kg/m³)

S = section de passage essence (m²)

V = vitesse de passage essence (m/s)

t_i = temps d'injection (s)

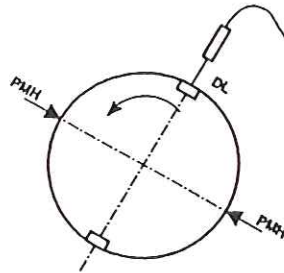
Si l'on veut que la masse d'essence injectée soit uniquement fonction de (t_i) il faut que tous les autres paramètres soient constant.

Dans les injections multipoints, les injecteurs débitent dans la tubulure d'admission, donc leur débit est fonction de la pression tubulure (application de la loi de Bernouilli)

$$V = \frac{\sqrt{2\Delta P}}{\sqrt{\rho_e}} \quad \Delta P = P - P \cdot \text{tubulure}$$

On trouve donc sur le circuit d'essence un régulateur de pression asservi à la pression tubulure qui module la pression d'essence afin que ΔP reste constant pour que V soit constant.

Suivant les montages, la masse d'essence est injectée tous les tours ou les demi-tours, *ou tous deux tours (sur 4 cylindres)*



PERIODE : TEMPS ENTRE 2 PMH
EX : A 100 tr/mn = 300 ms
A 5000 tr/mn = 6 ms

