

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

SYSTEME COMMON RAIL

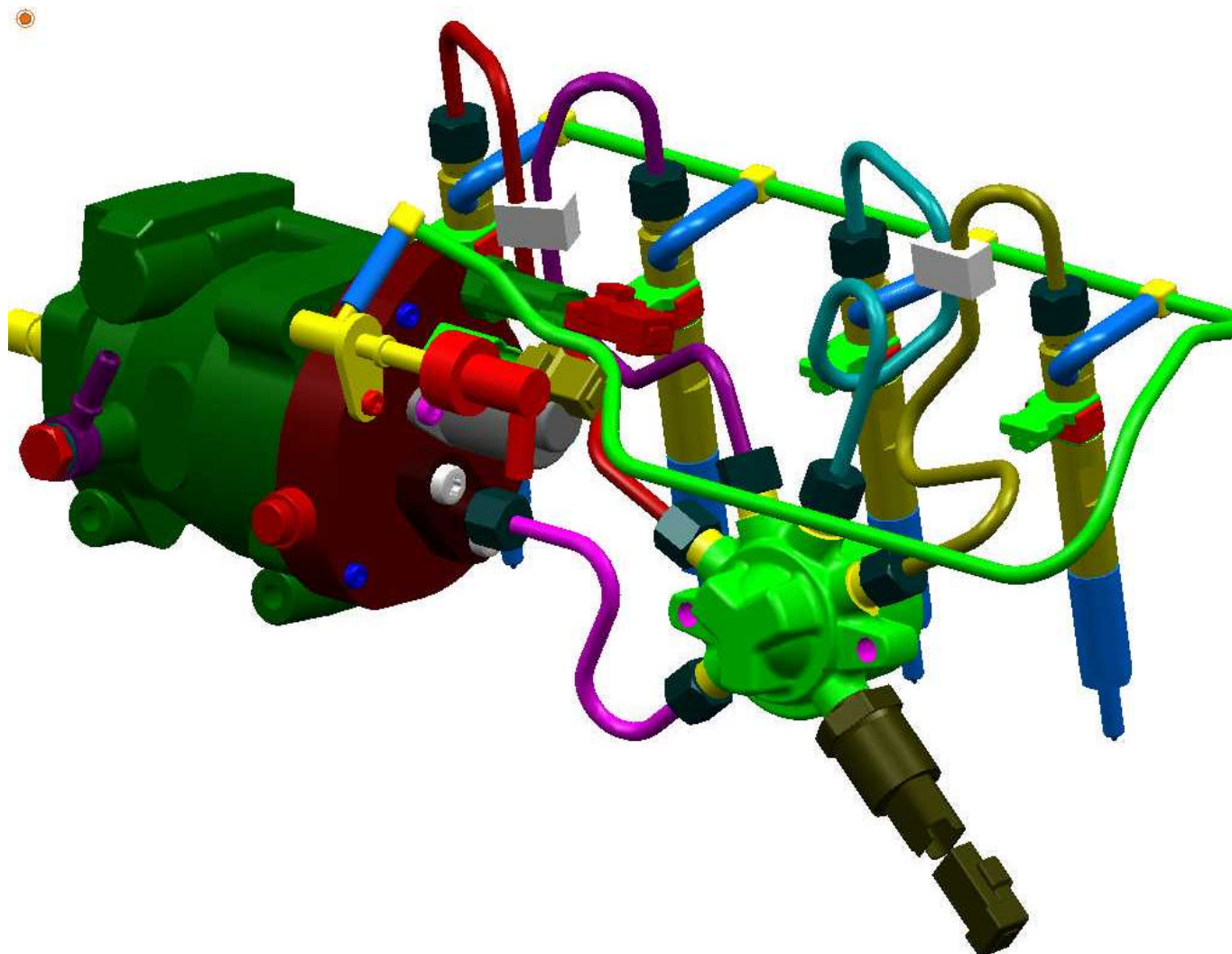


TABLE DES MATIERES

OBJECTIFS	1
------------------	----------

DESCRIPTION DU SYSTEME	2
-------------------------------	----------

STRATEGIES DE CONTROLE	3
-------------------------------	----------

Sommaire

1	OBJECTIFS.....	5
1.1	RÉDUCTION DU BRUIT	5
1.2	RÉDUCTION DES ÉMISSIONS POLLUANTES.....	5
1.2.1	Les oxydes d'azote (Nox)	6
1.2.2	Les particules	6
1.2.3	Les hydrocarbures imbrûlés HC	6
1.2.4	Le monoxyde de carbone CO	6
1.3	RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION.....	7
1.4	AUGMENTATION DES PERFORMANCES	8
2	DESCRIPTION DU SYSTEME.....	9
2.1	COMPOSITION DU SYSTEME	9
	CIRCUIT HYDRAULIQUE	10
2.3	LA POMPE DE TRANSFERT	12
2.3.1	Description	12
2.3.2	Principe de fonctionnement	12
2.3.3	Caractéristiques de la pompe de transfert	13
2.4	LA POMPE HAUTE PRESSION	14
2.4.1	Description	14
2.4.2	Principe de fonctionnement	14
2.4.3	Performance de la pompe HP	16
2.5	L'INJECTEUR	17
2.5.1	Fonction	17
2.5.2	Technologie	17
2.5.3	Description	18
2.5.4	Principe de fonctionnement	20
2.5.5	Commande des injecteurs	22
2.5.6	Décharge par les injecteurs	22
2.5.7	Calibration individuelle des injecteurs (C2I)	23
2.5.8	Procédure.....	24
2.6	L'IMV	25
2.6.1	Fonction	25
2.6.2	Description	26
2.6.3	Principe de fonctionnement	26
2.6.4	Caractéristiques de l'IMV	27
3	STRATEGIES DE CONTROLE.....	28
3.1	CONTROLE DE LA PRESSION.....	28
3.1.1	Demande de pression	28
3.1.2	Contrôle de la pression	28
3.2	CONTROLE DE L'INJECTION.....	29
3.2.1	Demande d'avance à l'injection principale	29
3.2.2	Demande d'avance à l'injection pilote	29
3.2.3	Demande de débit principal	30
3.2.4	Demande de débit pilote	33
3.2.5	Détermination du pulse	33
3.2.6	Stratégie cylinder balancing	34
3.2.7	Stratégie accéléromètre	35

Abréviation / Libellé :

ABS	Anti-Blocage Système (<i>freins</i>)
AMF	Air Mass flow (<i>Débitmètre</i>)
AOS	Anti-oscillation
ASR	Anti-patinage
BVA	Boîte de Vitesse Automatique
BVM	Boîte de Vitesse Mécanique
BVR	Boîte de Vitesse Robotisée
CAN	Controller Area Network
Cde	Commande
CME	Couple Moyen Effectif
CME	Connecteur Moteur Extérieur
CMI	Connecteur Moteur Intérieur
CH	Connecteur habitacle
C2I	Correction Individuelle des Injecteurs
EGR	Recyclage des Gaz d'Echappement
EOBD	European On Board Diagnostic
ESP	Contrôle de stabilité
FAP	Filtre à particules
Gap	Le gap représente les deux dents non usinées sur le volant moteur
GMV	Groupe Moto Ventilateur
IMV	Inlet Metering Valve (Actuateur de débit sur pompe)
MDP	Minimum Drive Pulse (Pulse mini nécessaire pour injecter)
Power latch	Phase de mise en veille du calculateur après coupure du contact
PPH	Pre-post heat (<i>pre-post chauffage</i>)
RCO	Rapport cyclique d'ouverture (%)
TGV	Turbo à Géométrie Variable
THP	Thermoplongeur
VAN	Vehicule Area Network
Vext	Alimentation capteur extérieure

1 OBJECTIFS

Le système d'injection Common Rail a été développé pour obtenir :

- Une réduction du bruit
- Une réduction des émissions polluantes
- Une réduction de la consommation de carburant
- Une augmentation des performances (augmentation du couple à bas régime en particulier)

1.1 RÉDUCTION DU BRUIT

Le bruit de combustion résulte de l'augmentation rapide de pression dans le cylindre.

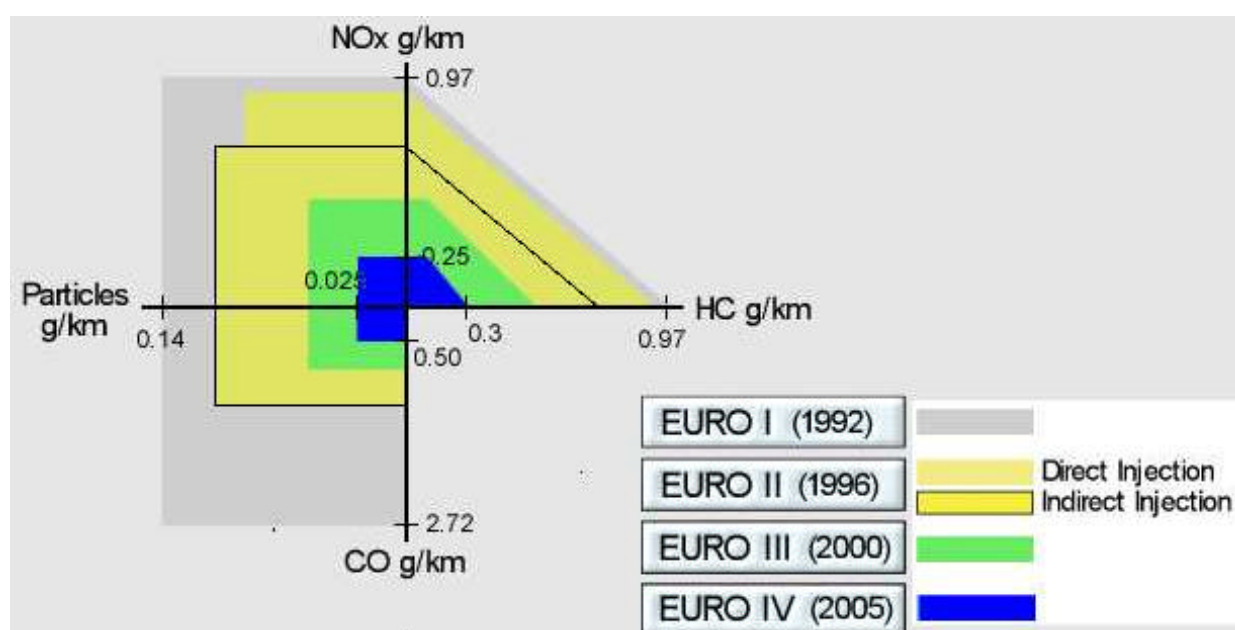
Dans un moteur diesel, la combustion ne commence pas immédiatement après l'injection du carburant dans le cylindre. Dans un premier temps, les petites gouttelettes de carburant se vaporisent, puis les composés instables se forment. Plus le délai entre le début de l'injection et l'inflammation est long, plus la quantité de carburant injectée dans le cylindre pendant ce délai est importante. Or, l'inflammation -et l'augmentation de pression qui en résulte- est d'autant plus brutale que la quantité de carburant disponible est importante.

Pour diminuer le bruit de combustion, il faut donc réduire le délai d'inflammation qui est la somme du délai physique de vaporisation et du délai chimique de formation des composés instables. La vaporisation du gazole est d'autant plus rapide que la température et la pression dans le cylindre sont élevées. La vitesse de formation des composés instables augmente -elle aussi- avec la température et la pression qui règnent dans le cylindre. La diminution du délai d'inflammation passe donc par une augmentation de la température et de la pression dans le cylindre. Cette augmentation peut être générée par l'injection d'une faible quantité de gazole quelques degrés avant le début de l'injection principale. C'est ce que l'on appelle l'injection pilote.

1.2 RÉDUCTION DES ÉMISSIONS POLLUANTES

Les normes anti-pollution réglementent les polluants suivants :

- Les oxydes d'azote (NOx)
- Les particules
- Le monoxyde de carbone (CO)
- Les hydrocarbures imbrûlés (HC)



1.2.1 Les oxydes d'azote (Nox)

Les oxydes d'azotes (NOx) sont produits par l'oxydation de l'azote de l'air. Cette réaction n'intervient qu'à très haute température ($>1800^{\circ}\text{C}$) lorsque l'excès d'air est important.

Pour limiter les rejets d'oxydes d'azote, on utilise un dispositif qui permet de renvoyer vers l'admission une partie des gaz d'échappement afin de limiter la quantité d'air admise dans le moteur. Ce dispositif –appelé EGR pour Exhaust Gas Recirculation- est piloté électriquement pour permettre un contrôle précis de la quantité de gaz d'échappement renvoyés vers l'admission. Si cette quantité est trop faible, l'efficacité du système n'est pas optimisée, si cette quantité devient trop importante, on constate une augmentation des fumées et des suies.

La réduction des rejets d'oxydes d'azote peut également se faire par un post traitement des gaz d'échappement dans un catalyseur DENOX. Le principe consiste à réduire les molécules de NOx formées lors de la combustion pour obtenir des molécules d'oxygènes d'un côté et des molécules d'azote de l'autre. Le gazole constitue un catalyseur de la réduction des NOx. Pour favoriser la réduction des NOx dans le catalyseur DENOX on injecte donc une petite quantité de gazole juste avant l'ouverture de la soupape d'échappement. C'est ce que l'on appelle la post injection.

1.2.2 Les particules

Les fumées et les suies résultent d'une mauvaise pulvérisation du carburant dans la chambre de combustion. Plus la taille des gouttelettes de carburant est importante, plus le temps nécessaire à leur vaporisation est grand. Si ce délai devient trop important, la partie centrale de la gouttelette n'aura pas le temps de se vaporiser. Sous l'effet de la très haute température ($>1800^{\circ}\text{C}$) qui règne dans la chambre de combustion, les molécules de carburant non vaporisées subissent un cracking. Ce phénomène physique produit des composés carbonneux très durs qui constituent les suies et autres particules caractéristiques des moteurs diesels.

L'injection directe sous très haute pression permet d'utiliser des orifices d'injecteur extrêmement petits. Il en résulte un degré de pulvérisation tel que la vaporisation des gouttelettes de carburant est complète, ce qui limite sensiblement la formation de particules et des suies.

1.2.3 Les hydrocarbures imbrûlés HC

Les hydrocarbures imbrûlés résultent d'un manque d'oxygène local (mauvaise répartition du carburant) ou d'une injection du carburant dans des zones froides de la chambre de combustion (typiquement lorsque le carburant vient lécher les parois).

La chambre de combustion toroïdale combinée à l'injection directe permet d'obtenir :

- un taux de turbulences très élevé garantissant une très bonne répartition du carburant dans la chambre de combustion. On évite ainsi la formation des zones riches où naissent les imbrûlés.
- Une chambre de combustion compacte dont les parois sont suffisamment chaudes pour éviter la formation d'imbrûlés

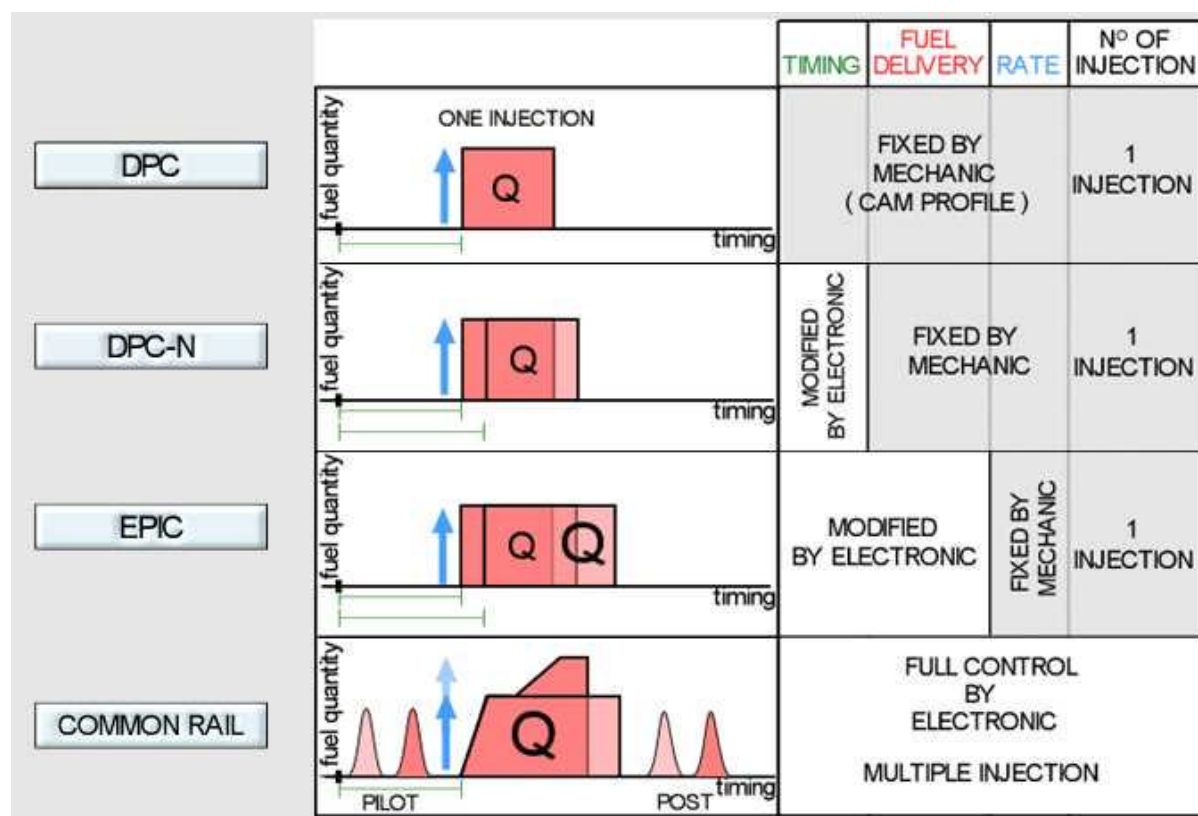
1.2.4 Le monoxyde de carbone CO

La présence de monoxyde de carbone dans les gaz d'échappement résulte de l'oxydation incomplète du carbone contenue dans le gazole. Cette oxydation incomplète est la conséquence d'une combustion se déroulant globalement ou localement en mélange riche. Le moteur diesel fonctionne avec un excès d'air important, les émissions de CO sont donc réduites.

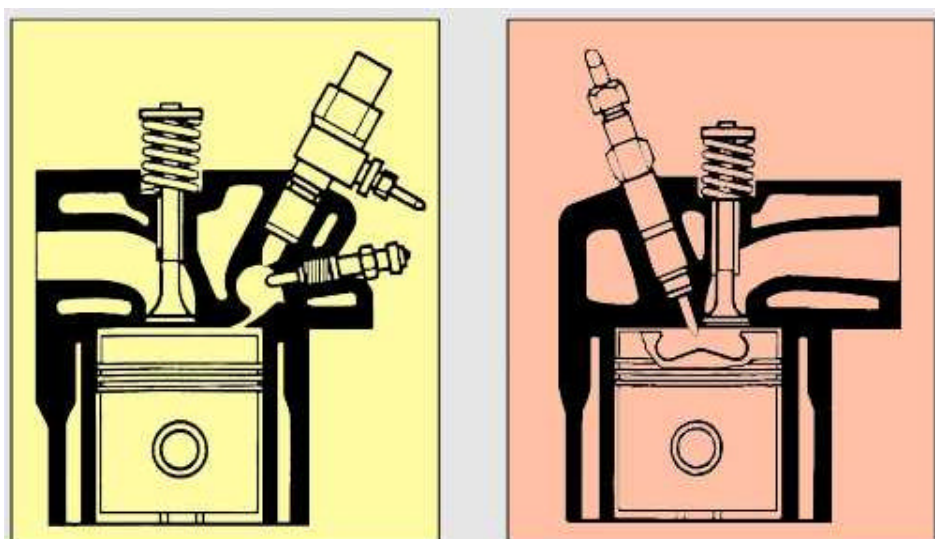
Néanmoins, il est possible de réduire les émissions de CO en éliminant les zones riches de la chambre de combustion. Pour ce faire, il est nécessaire d'optimiser l'aérodynamique interne de la chambre de combustion de façon à générer un taux de turbulence très élevé.

1.3 RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION

La réduction de la consommation est obtenue en améliorant le contrôle de la combustion, c'est à dire, en adaptant le débit, l'avance et la pression d'injection en fonction des besoins du moteur sur toute la plage de fonctionnement. Par rapports aux systèmes d'injection conventionnels, le système common rail apporte une souplesse d'utilisation qui permet d'ajuster avec précision le débit injecté, l'avance, le taux d'introduction et la pression d'injection en fonction des besoins du moteur pour toutes les conditions de fonctionnement.

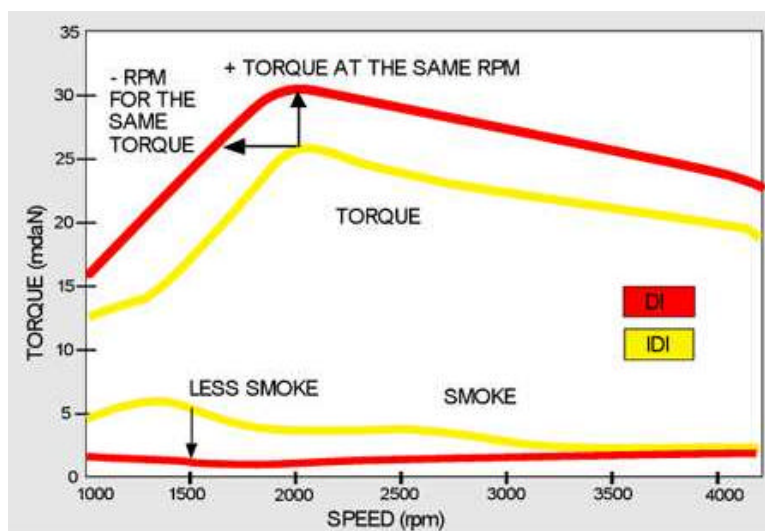


L'injection directe participe également à l'amélioration du rendement du moteur du fait de la diminution des pertes de chaleur par les parois.



1.4 AUGMENTATION DES PERFORMANCES

L'augmentation du couple à bas régime nécessite de pouvoir injecter une forte quantité de carburant dès les plus bas régimes. La quantité injectée est proportionnelle à la durée d'injection et à la racine carrée de la pression d'injection. Pour augmenter le débit il faut donc augmenter la pression d'injection puisque le temps disponible pour injecter le carburant dans le cylindre est limité.

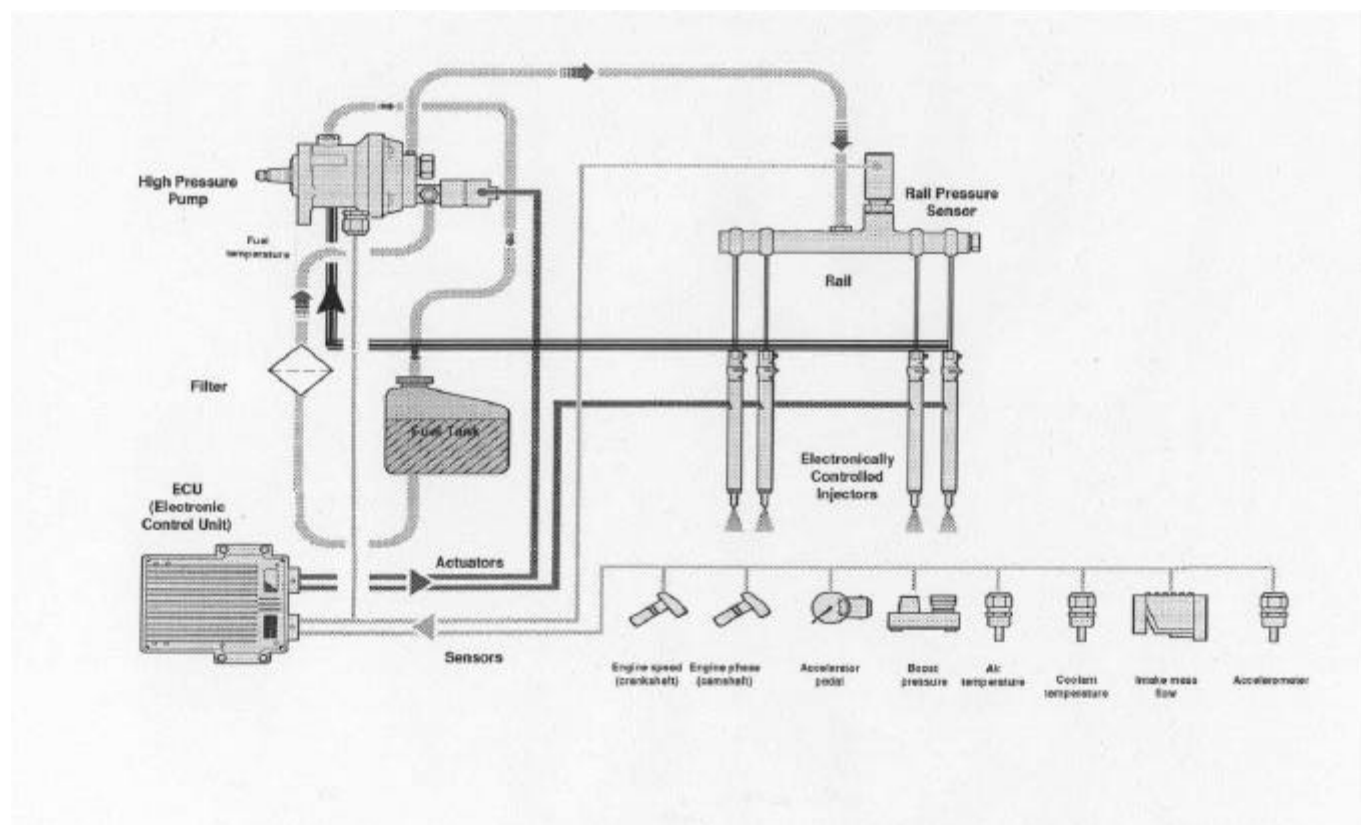


2 DESCRIPTION DU SYSTEME

2.1 COMPOSITION DU SYSTEME

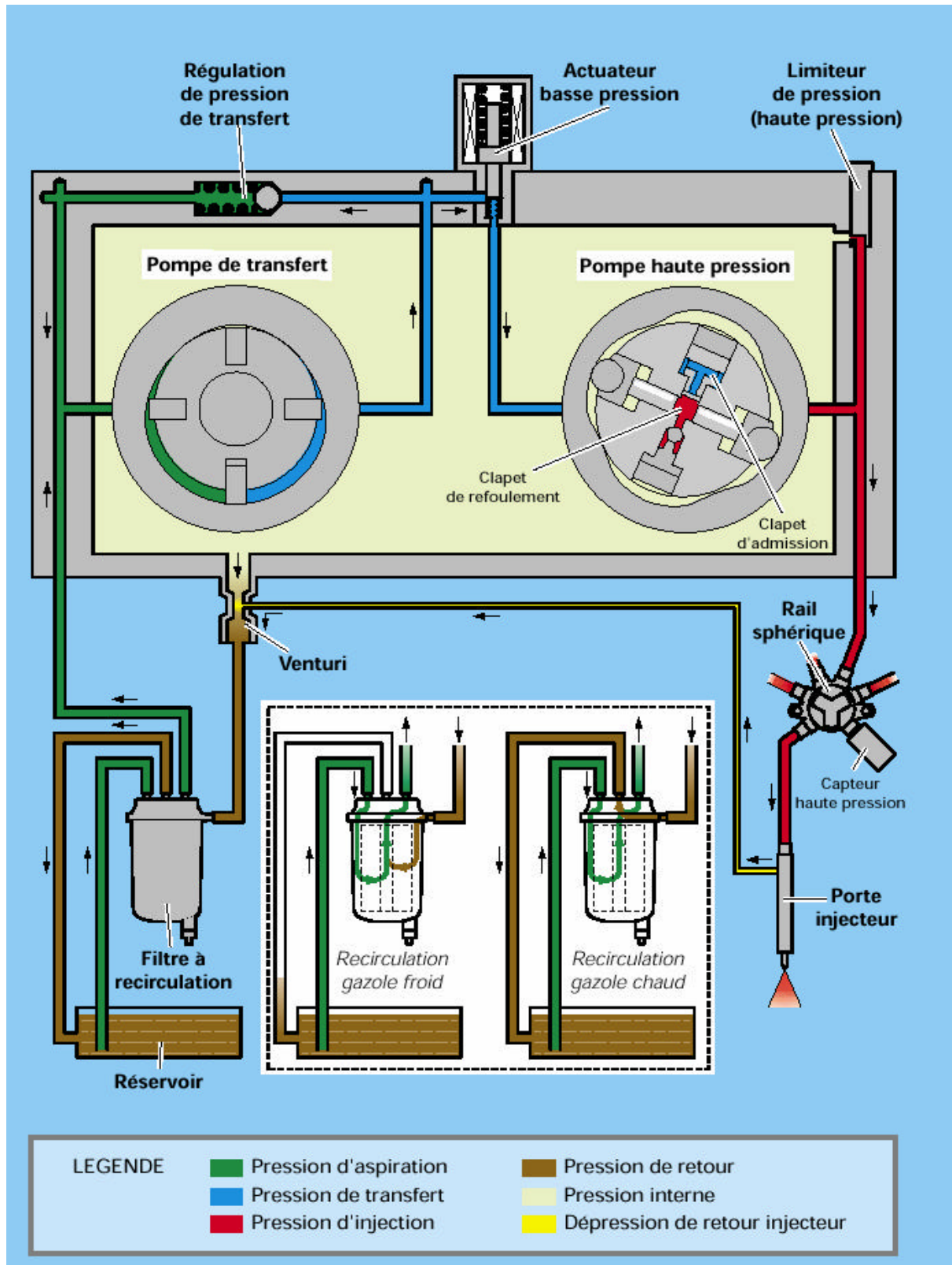
Le système d'injection common rail se compose des éléments suivants :

- Une **pompe de transfert** intégrée dans le carter de la pompe haute pression.
- Une **pompe haute pression** alimentée en carburant sous la pression de transfert. Elle débite sous très haute pression dans le rail.
- Un **actuateur basse pression** qui permet de contrôler la quantité de carburant envoyé vers la pompe haute pression en fonction des besoins du moteur.
- Un **rail** qui constitue une réserve de carburant sous pression.
- Des **injecteurs** qui pulvérisent la quantité voulue de carburant dans la chambre de combustion à l'instant souhaité.
- Un **ECU** qui contrôle l'injection (débit, avance et injection multiple) et la pression rail en fonction des conditions de fonctionnement du moteur. Le calculateur assure également le contrôle des fonctions annexes telles que l'EGR, le préchauffage, l'air conditionnée. Enfin, l'ECU peut communiquer avec les autres calculateurs du véhicule pour contrôler la motricité par exemple...
- Des **capteurs** permettant de connaître à chaque instant les informations nécessaires pour assurer le contrôle de l'injection :
 - Un capteur de pression rail
 - Un capteur de température gazole
 - Un capteur de température d'air d'admission
 - Un capteur de pression dans le collecteur d'admission
 - Un débitmètre d'air (facultatif)
 - Un capteur pédale
 - Un accéléromètre
 - Un capteur de position angulaire sur le volant moteur
 - Un capteur de phase sur l'arbre à came



DESCRIPTION DU SYSTEME

2.2 CIRCUIT HYDRAULIQUE



DESCRIPTION DU SYSTEME

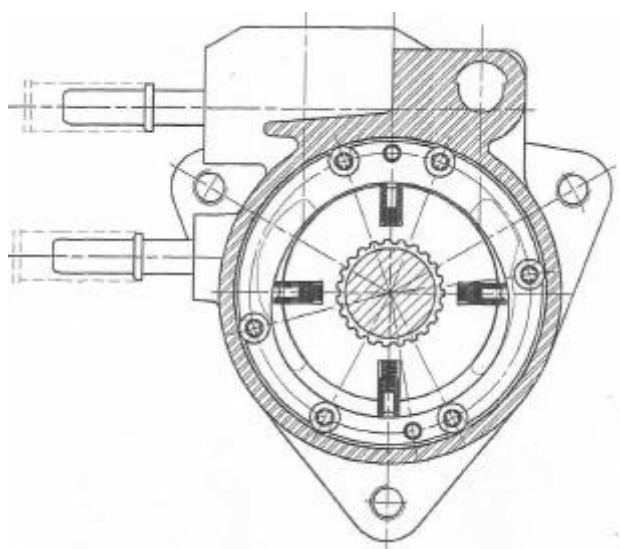


2.3 LA POMPE DE TRANSFERT

2.3.1 Description

La pompe de transfert est intégrée dans le carter de la pompe HP. La pompe de transfert est une pompe volumétrique à palettes. Elle se compose des éléments suivants :

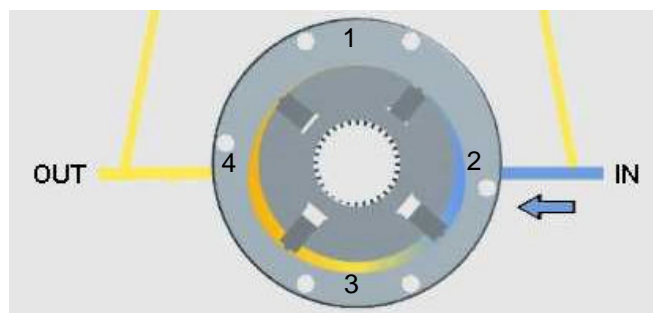
- Un rotor entraîné en rotation par l'arbre de la pompe HP. La liaison est assurée par des cannelures.
- Un stator excentré fixé sur le carter de la pompe HP par 6 vis torx. Le positionnement du stator est assuré par deux goupilles excentrées de façon à éviter les erreurs de montages.
- Une plaque munie de deux trous oblongs :
- L'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement
- Quatre palettes réparties à 90 degrés. Chaque palette est plaquée contre le stator par un ressort hélicoïdal.



2.3.2 Principe de fonctionnement

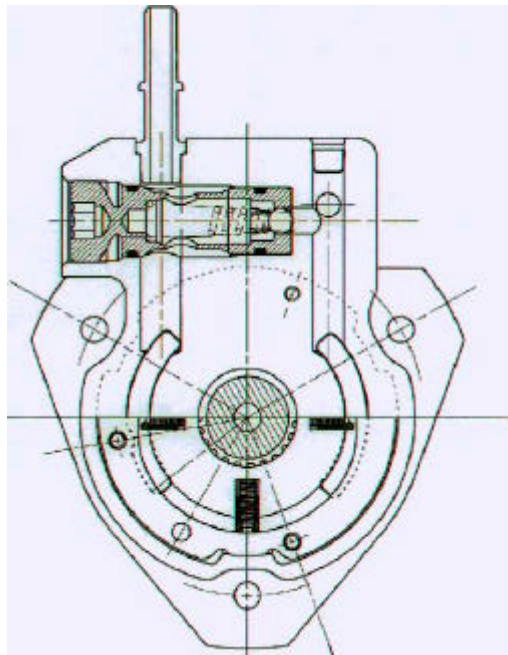
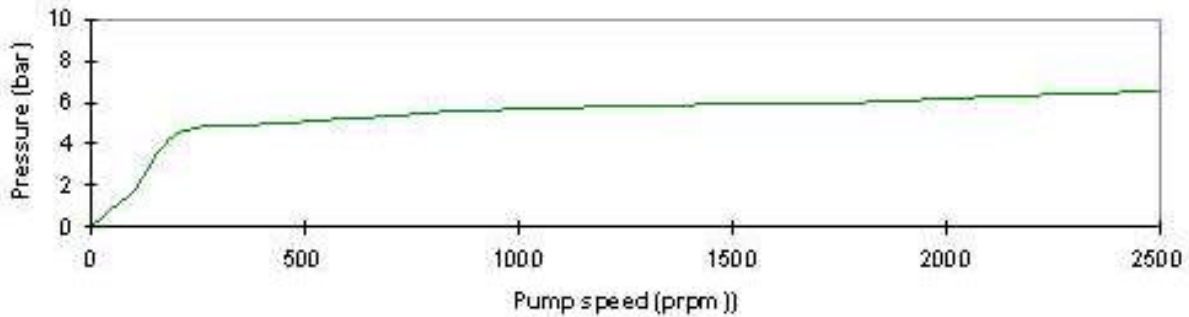
Considérons l'espace situé entre le rotor, le stator et deux palettes successives.

- Lorsque cet espace est dans la **position 1**, le volume de cet espace est minimum. Les variations de volumes en fonction de l'angle de rotation du rotor sont faibles.
- Le rotor effectue un quart de tour dans le sens horaire. L'espace précédent se retrouve dans la **position 2**. L'orifice d'aspiration est découvert. Le volume délimité par cet espace augmente rapidement. La pression au sein de cet espace diminue brusquement. Le carburant est aspiré dans cet espace.
- La rotation du rotor se poursuit. Il se retrouve dans la **position 3**. Les orifices d'aspiration et de refoulement sont obturés. Le volume délimité par le rotor, le stator et les deux palettes est maximum. Les variations de volumes en fonction de l'angle de rotation du rotor sont faibles.
- La rotation du rotor se poursuit. Le rotor se retrouve finalement dans la **position 4**. L'orifice de refoulement est découvert. Le volume délimité par le rotor, le stator et les palettes diminue rapidement. La pression au sein de cet espace augmente brusquement. Le carburant est refoulé sous pression.



DESCRIPTION DU SYSTEME

La dépression générée par la rotation de la pompe de transfert est suffisante pour aspirer le gazole à travers le filtre. La pompe de transfert est entraînée par l'arbre de la pompe HP. La pression de transfert augmente donc en fonction du régime moteur. Un clapet de régulation permet de maintenir la pression de transfert à une valeur quasi constante (environ 6 bars) sur toute la plage de fonctionnement du moteur en renvoyant une partie du carburant à l'entrée de la pompe.



2.3.3 Caractéristiques de la pompe de transfert

Pression de régulation :	6 bars
Volume brassé :	5,6 cm ³ /tr
Débit :	90 l/h à 300 tr/min pompe 650 l/h à 2500 tr/min pompe
Capacité d'aspiration :	-65 mbar à 100 tr/min pompe

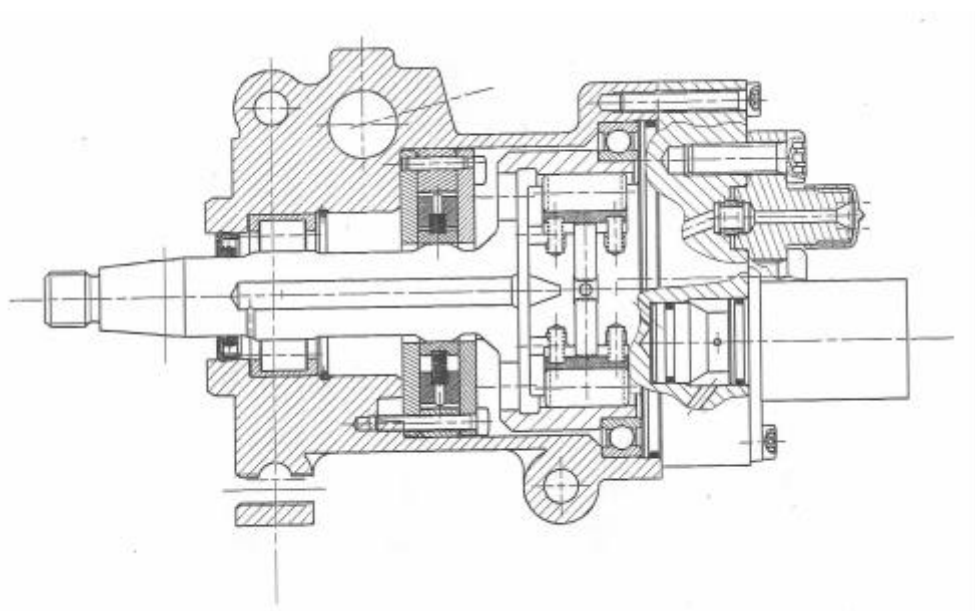
2.4 LA POMPE HAUTE PRESSION

2.4.1 Description

La pompe haute pression reprend le concept de la came et des pistons radiaux qui a déjà fait ses preuves sur les pompes rotatives DPC et EPIC. Pour les moteurs nécessitant un débit important, la pompe est équipée de deux nappes décalées angulairement de 45 degrés. Ce décalage permet de réduire les pics de couple et les fluctuations de pression dans le rail.

La came à quatre lobes est identique à celle des pompes rotatives conventionnelles, mais puisque la pompe ne détermine plus la loi d'injection, il est possible d'allonger la phase de pompage de façon à réduire sensiblement le couple d'entraînement, les vibrations et le bruit.

La différence par rapport aux pompes rotatives conventionnelles réside dans le fait que ce n'est plus le rotor qui tourne dans la came, mais la came qui tourne autour de la tête hydraulique. Ainsi, on supprime les problèmes d'étanchéité dynamique, puisque la haute pression est générée dans la partie fixe de la pompe.



2.4.2 Principe de fonctionnement

2.4.2.1 Alimentation de la pompe

Le carburant est aspiré au travers du filtre par la pompe de transfert. Celle-ci refoule le carburant vers l'entrée de la pompe HP à une pression quasi constante dite pression de transfert.

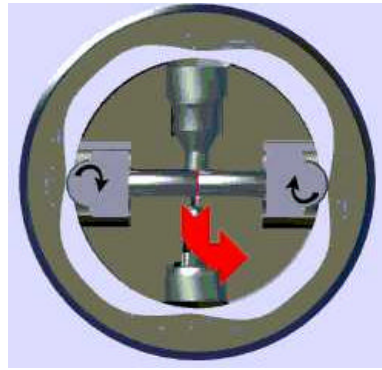
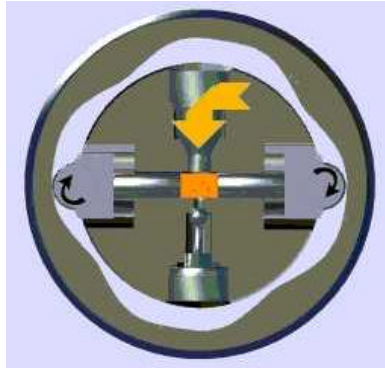
Un actuateur de remplissage est implanté en amont de la pompe HP. Il permet de contrôler la quantité de carburant envoyé vers les éléments de pompage en ajustant la section de passage. Le DCU détermine la valeur du courant envoyé à la bobine pour obtenir la section de passage requise pour atteindre la pression demandée en fonction des conditions de fonctionnement du moteur. Lorsque la demande de pression diminue le courant augmente et inversement.

2.4.2.2 Le principe de pompage

- Pendant la phase de remplissage, les galets sont maintenus en contact de la came par le biais de deux ressorts à boudins montés de part et d'autre de chaque piston. La pression de transfert est suffisante pour ouvrir le clapet d'admission et écarter les pistons plongeurs. Ainsi, l'espace mort compris entre les deux pistons plongeurs se remplit de carburant.

DESCRIPTION DU SYSTEME

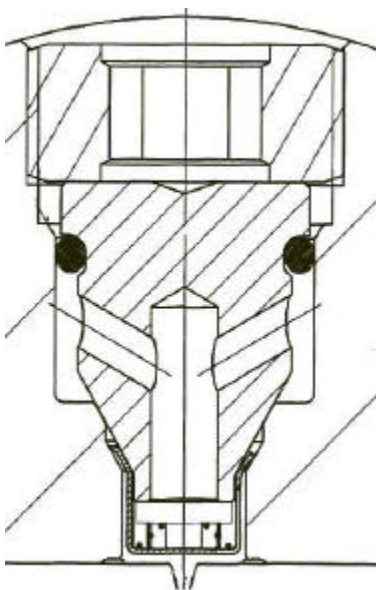
- Lorsque les galets diamétralement opposés rencontrent simultanément le profil d'attaque de la came, les pistons sont repoussés l'un vers l'autre. La pression augmente rapidement dans l'espace compris entre les deux pistons plongeurs.
- Dès lors que la pression devient supérieure à la pression de transfert, le clapet d'aspiration se referme. Lorsque la pression devient supérieure à la pression qui règne dans le rail, le clapet de refoulement s'ouvre. Dès lors, le fluide sous pression est refoulé vers le rail.



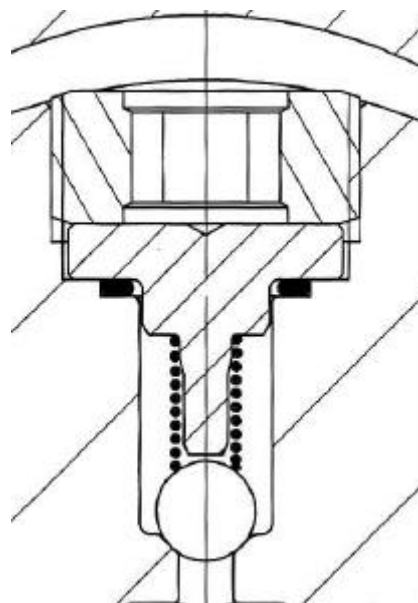
2.4.2.3 Les clapets d'aspiration et de refoulement

En phase d'aspiration, la pression de transfert repousse le clapet d'aspiration. Le fluide pénètre dans le corps de l'élément de pompage. Sous l'effet de la pression de transfert, les deux pistons plongeurs sont écartés. Lorsque les galets rencontrent simultanément le profil d'attaque de la came, la pression augmente subitement dans le corps de l'élément de pompage. Le clapet se referme dès lors que la pression dans le corps de l'élément de pompage devient supérieure à la pression de transfert.

En phase d'aspiration, la bille du clapet de refoulement est soumise à la pression rail sur sa face extérieure et à la pression de transfert sur sa face intérieure. La bille repose donc sur son siège assurant ainsi l'étanchéité du corps de l'élément de pompage. Lorsque les deux galets diamétralement opposés rencontrent simultanément les profils d'attaque de la came, les pistons plongeurs se rapprochent et la pression augmente rapidement dans le corps de l'élément de pompage. Lorsque la pression dans cet élément devient supérieure à la pression qui règne dans le rail, la bille se trouve en déséquilibre et elle s'ouvre (le tarage du ressort est négligeable devant les efforts de pression). Le carburant est alors refoulé vers le rail sous haute pression.



Clapet d'aspiration



Clapet de refoulement

DESCRIPTION DU SYSTEME

2.4.2.4 Lubrification et refroidissement de la pompe

La lubrification et le refroidissement de la pompe sont assurés par la circulation du carburant. Le débit minimum nécessaire pour assurer un bon fonctionnement de la pompe est de 50 l/h.

2.4.2.5 Phasage de la pompe

Les pompes d'injection conventionnelles assurent la mise en pression et la distribution du carburant aux différents injecteurs. Il est donc indispensable de caler la pompe de telle sorte que les injections se produisent à l'endroit souhaité du cycle. La pompe HP du système common rail n'assure plus la distribution du carburant, il n'est donc pas indispensable de caler la pompe par rapport au moteur. Néanmoins, le calage de la pompe apporte deux avantages :

- Il permet de synchroniser les variations de couples de l'arbre à cames et de la pompe de façon à limiter les contraintes au niveau de la courroie de distribution.
- Il permet d'améliorer le contrôle de la pression en synchronisant les pics de pression produits par la pompe avec les chutes de pression générées par chaque injection. Ce phasage permet d'améliorer la stabilité de la pression, ce qui contribue à réduire l'écart de débit entre les cylindres (ligne à ligne).

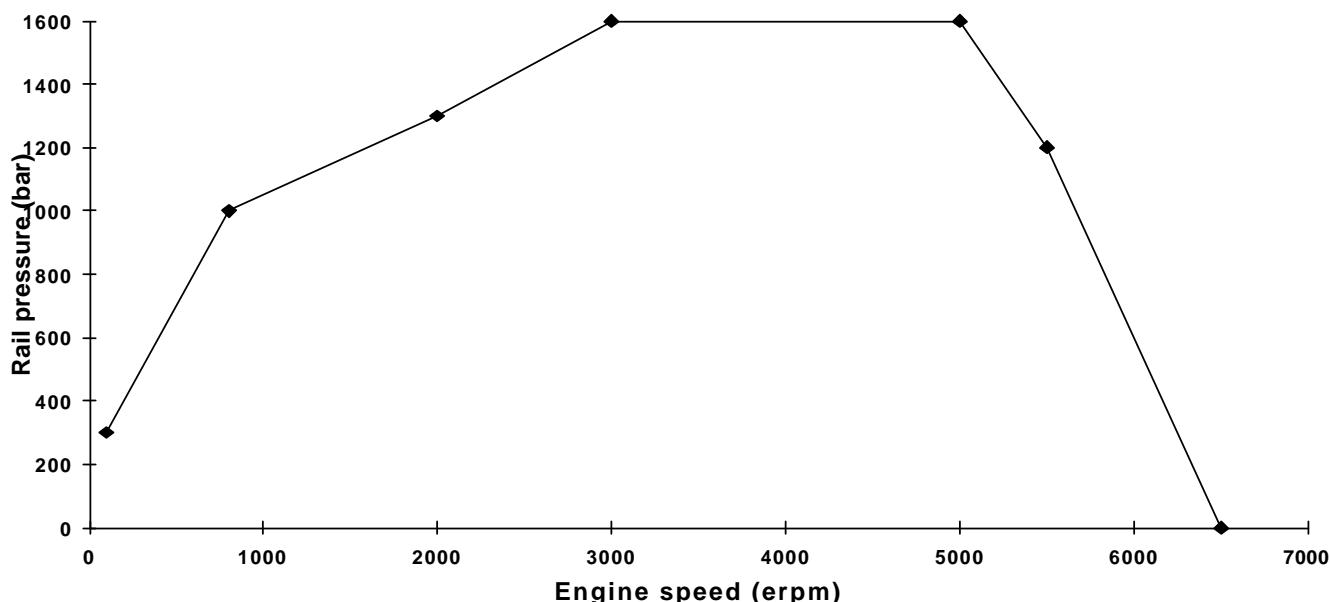
Le calage de la pompe sera réalisé par une goupille implantée sur l'arbre d'entraînement de la pompe.

2.4.3 Performance de la pompe HP

2.4.3.1 Temps de montée en pression

Le temps nécessaire pour atteindre une pression dans le rail suffisante pour pouvoir démarrer dépend du volume du système d'injection (définition du rail, longueur des tubes...). L'objectif est de pouvoir atteindre une pression de 200 bars en 1,5 tours (3^{ème} compression)

2.4.3.2 Courbe de pression max



2.5 L'INJECTEUR

2.5.1 Fonction

L'injecteur du système Common Rail est un injecteur à trous piloté électroniquement. Il a été conçu pour :

- Permettre des injections multiples avec des temps de séparation très courts entre chaque injection.
- Etre contrôlé électroniquement.
- Dégager une faible quantité de chaleur.

2.5.2 Technologie

Les pressions d'injection maxi sont de l'ordre de 1600 bars. Les efforts à vaincre pour soulever l'aiguille de l'injecteur sont donc très importants. De ce fait, il est impossible de piloter directement l'aiguille de l'injecteur à l'aide d'un actuateur électromagnétique, à moins d'employer des courants très importants dont les temps d'établissement seraient incompatibles avec les temps de réaction requis pour les injections multiples. D'autre part, l'utilisation de courants forts requiert une électronique de puissance volumineuse et chère et provoque un échauffement important de l'actuateur et du calculateur.

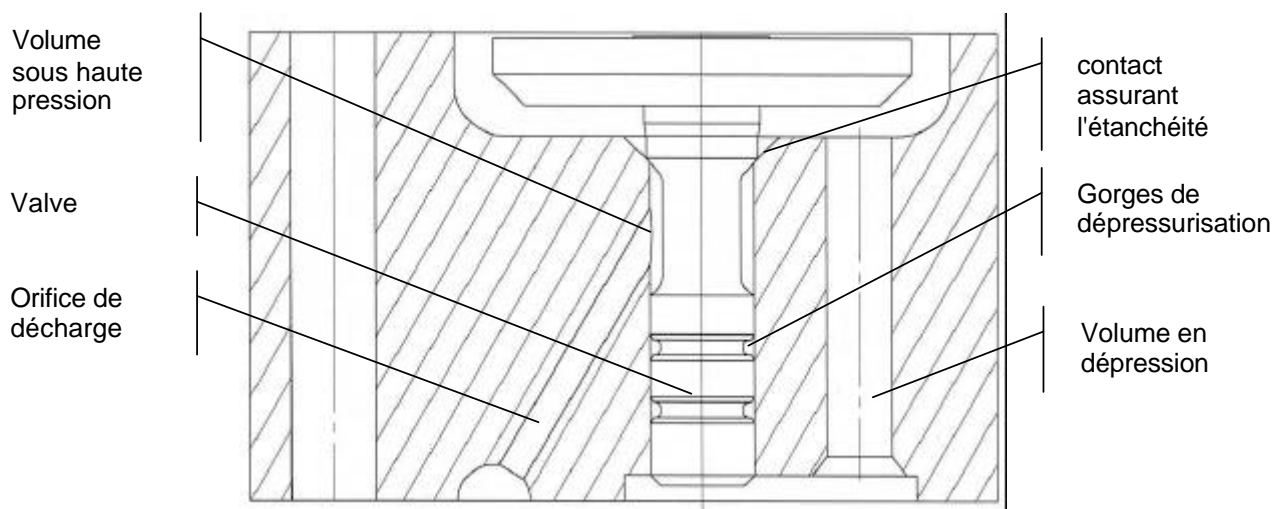
L'aiguille de l'injecteur est donc pilotée indirectement grâce à une valve qui commande la mise en pression ou la décharge de la chambre de contrôle située au-dessus de l'aiguille :

- Lorsque l'aiguille doit se lever (en début d'injection), la valve est ouverte de façon à décharger la chambre de contrôle dans le circuit de retour de fuite.
- Lorsque l'aiguille doit se refermer (en fin d'injection), la valve se referme de telle sorte que la pression s'établisse à nouveau dans la chambre de contrôle.

2.5.2.1 La valve

Afin de garantir un temps de réponse et une consommation d'énergie minimum :

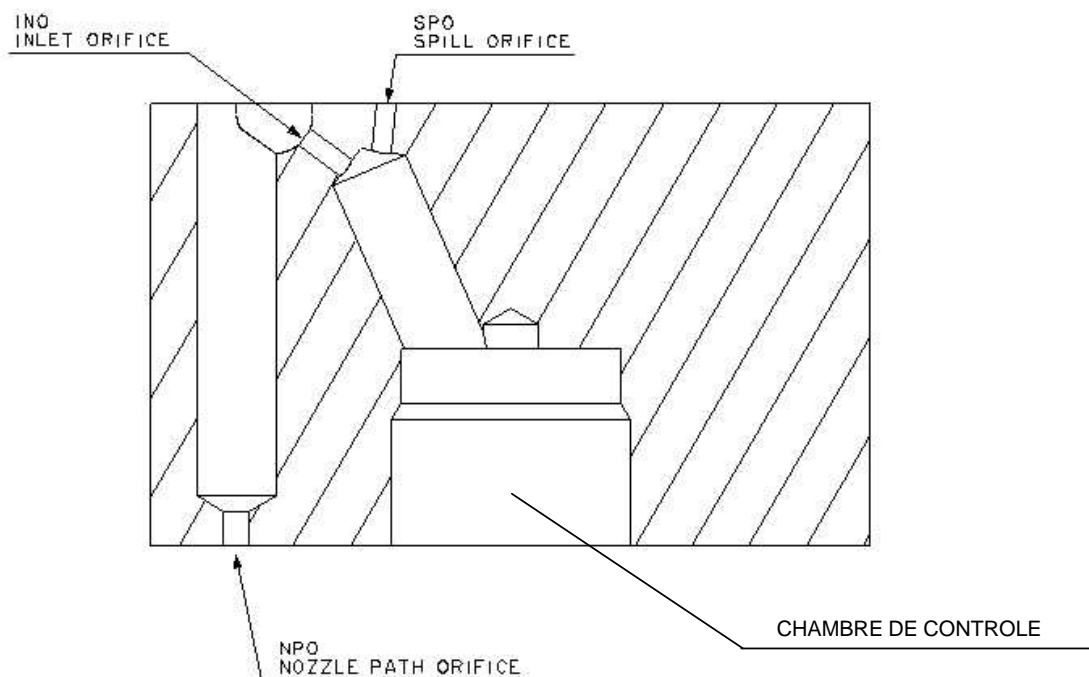
- La valve doit être aussi légère que possible
- la course de la valve doit être aussi faible que possible
- L'effort à exercer pour déplacer la valve doit être minimum, ce qui implique que la valve doit être en équilibre hydraulique en position fermée. Seule un ressort faiblement taré assure le contact de la valve sur son siège. Pour soulever la valve, il suffit donc de vaincre la force exercée par ce ressort.



2.5.2.2 L'entretoise

L'entretoise est située en dessous du support de valve. Elle intègre la chambre de contrôle ainsi que les trois orifices calibrés qui assurent le fonctionnement de l'injecteur. Ces orifices sont :

- L'orifice d'alimentation de l'injecteur (Nozzle Path Orifice : NPO)
- L'orifice de décharge de la chambre de contrôle (Spill Orifice : SPO)
- L'orifice de remplissage de la chambre de contrôle (Inlet Orifice : INO)



2.5.3 Description

Le porte injecteur du système common rail se compose des éléments suivants :

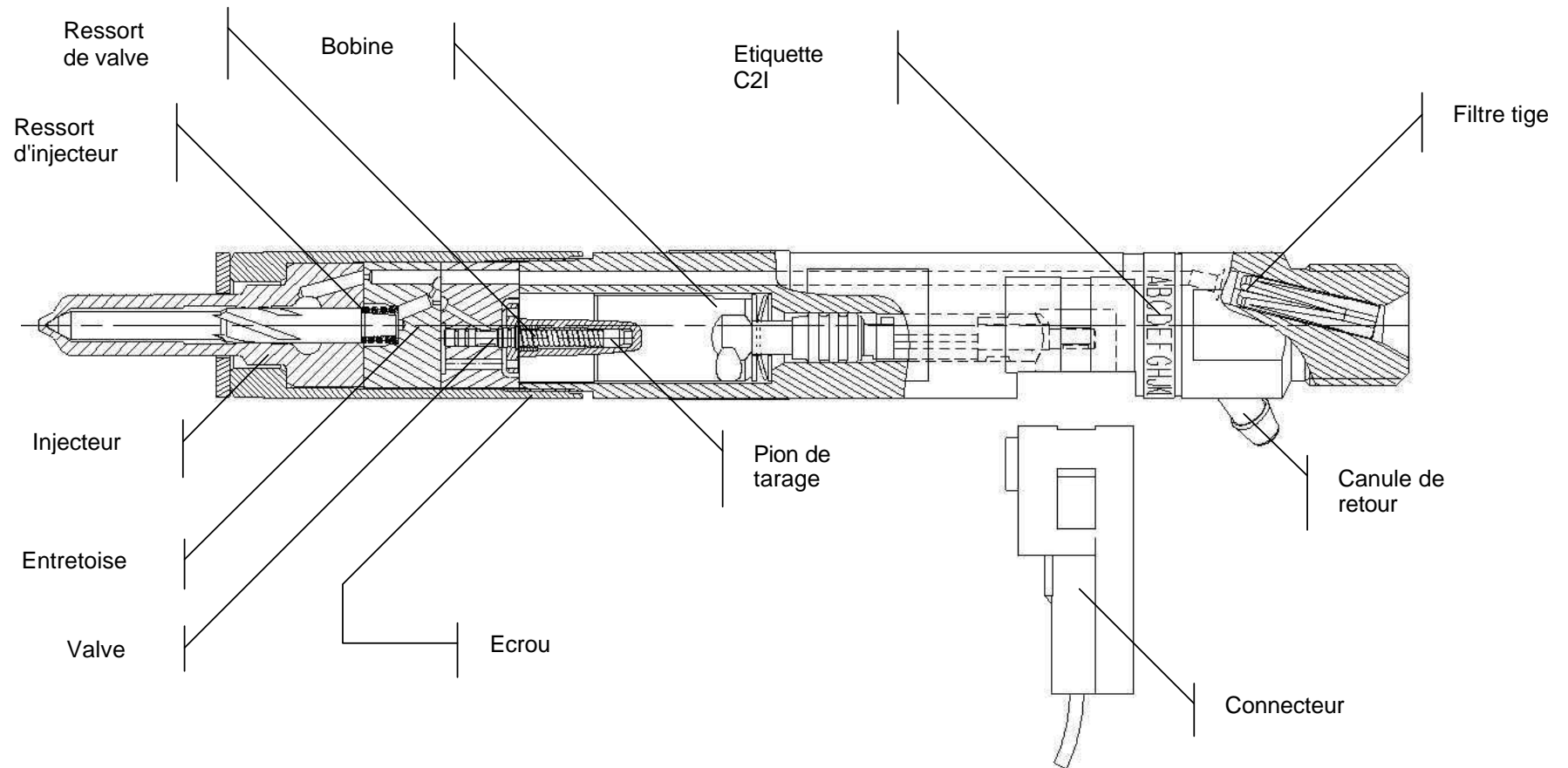
- Un injecteur à trous avec son aiguille.
- Un corps de porte-injecteur munis des orifices d'alimentation et de retour.
- Une bobine intégrée dans le corps du porte-injecteur.
- Un connecteur implanté au sommet du porte-injecteur.
- Un filtre tige implanté au niveau de l'orifice d'alimentation en carburant.
- Une entretoise munie d'une chambre de contrôle et des gicleurs calibrés nécessaires pour assurer le pilotage de l'aiguille.
- Une valve et de son support.
- Un écrou.

L'étanchéité entre l'injecteur, l'entretoise, le support de valve et le porte injecteur est assurée par des glaces serrées les unes contre les autres par l'écrou.

Le positionnement angulaire entre l'injecteur, l'entretoise, le support de valve et le porte injecteur est réalisé par des pions de centrage desaxés pour éviter les erreurs de montage.

Le réglage de la précharge appliquée au ressort de la valve est réalisé par un pion de tarage implanté entre la bobine et le ressort.

DESCRIPTION DU SYSTEME



2.5.4 Principe de fonctionnement

2.5.4.1 Notation

Notons S l'aire de la surface plane supérieure de l'aiguille de l'injecteur.

Notons F_f la force exercée par le fluide sur la section S .

Notons s l'aire de la surface de l'aiguille située au-dessus de la section de contact entre l'aiguille et son siège.

Notons F_o la force exercée par le fluide sur la surface s .

2.5.4.2 Injecteur au repos

La valve est fermée. La chambre de contrôle est soumise à la pression rail. La force de pression exercée par le fluide sur l'aiguille vaut :

$$F_f = S \times p_{\text{rail}}$$

L'aiguille est fermée, il n'y a donc pas de circulation de fluide au travers du gicleur NPO. En statique, le gicleur ne génère pas de perte de charge. Le cône de l'aiguille est donc soumis à la pression rail. La force exercée par le fluide sur l'aiguille vaut :

$$F_o = s \times p_{\text{rail}}$$

Comme $S > s$, l'aiguille est maintenue en position fermée. Il n'y a pas d'injection.

2.5.4.3 Pilotage de l'électrovanne

Lorsque l'électrovanne est alimentée, la valve s'ouvre. Le carburant contenu dans la chambre de contrôle est évacué par l'orifice de décharge appelé Spill Orifice (SPO).

Tant que $F_f > F_o$, l'aiguille reste plaquée sur son siège, il n'y a pas d'injection.

2.5.4.4 Début d'injection

Dès que $F_f < F_o$, c'est à dire que :

$$p_{\text{contrôle}} < p_{\text{rail}} \times \frac{s}{S},$$

L'aiguille se lève et l'injection commence. Tant que la valve est ouverte, l'aiguille de l'injecteur reste levée.

Lorsque l'injection débute, une circulation de carburant s'établit pour alimenter l'injecteur. Le passage du carburant au travers de l'orifice d'alimentation de l'injecteur (assimilable à un gicleur) engendre une perte de charge qui dépend de la pression rail. Lorsque la pression rail est maxi, (1600 bars), cette perte de charge dépasse 100 bars. La pression appliquée sur le cône de l'aiguille –la pression d'injection- est donc inférieure à la pression rail.

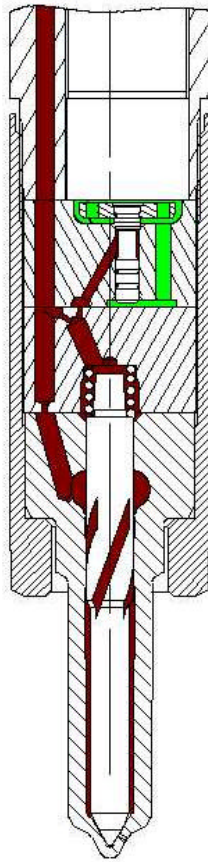
2.5.4.5 Fin d'injection

Dès que l'électrovanne n'est plus alimentée, la valve se referme. La chambre de contrôle se remplit par l'orifice de remplissage. L'aiguille étant levée, les sections de poussée situées de part et d'autre de l'aiguille sont égales à S . Le seul moyen de refermer l'aiguille consiste donc à appliquer des pressions différentes sur chacune de ses faces. La pression dans la chambre de contrôle ne peut pas dépasser la pression rail. Il est donc nécessaire de limiter la pression appliquée sur le cône de l'aiguille. Cette limitation de pression est réalisée par le gicleur NPO qui génère une perte de charge Δp lorsqu'il est traversé par du gazole.

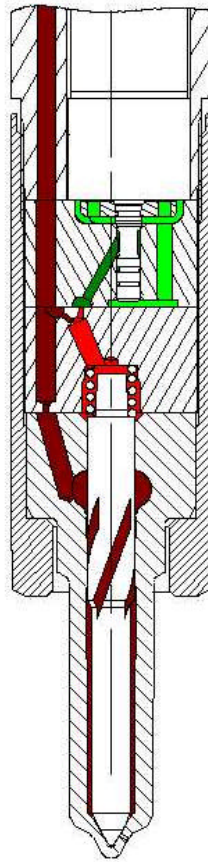
$$p_{\text{rail}} \times S \geq (p_{\text{rail}} - \Delta p) \times S$$

En statique, cette perte de charge est nulle. Lorsque la pression dans la chambre de contrôle devient supérieure à la pression appliquée sur le cône de l'aiguille, l'injection s'arrête.

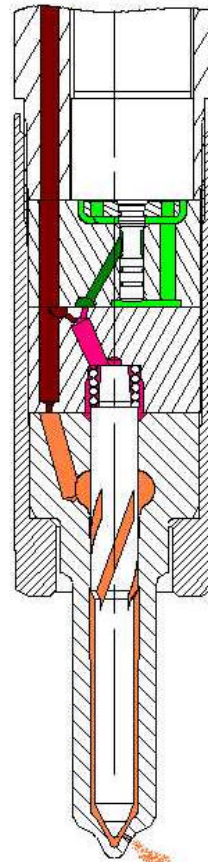
DESCRIPTION DU SYSTEME



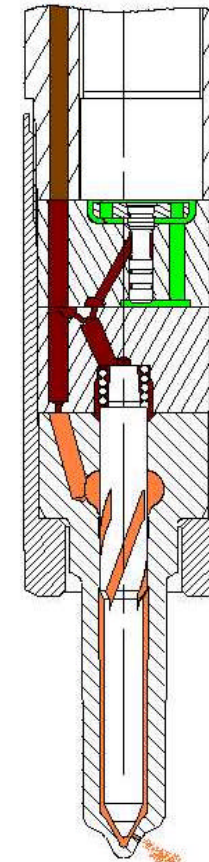
Valve fermée
Aiguille fermée
Pas d'injection



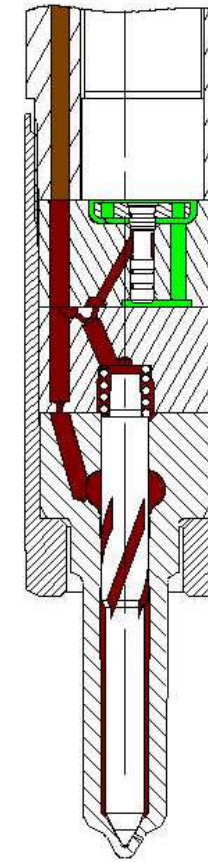
Ouverture de la valve
Aiguille fermée
Pas d'injection



Valve ouverte
Ouverture de l'aiguille
Début d'injection



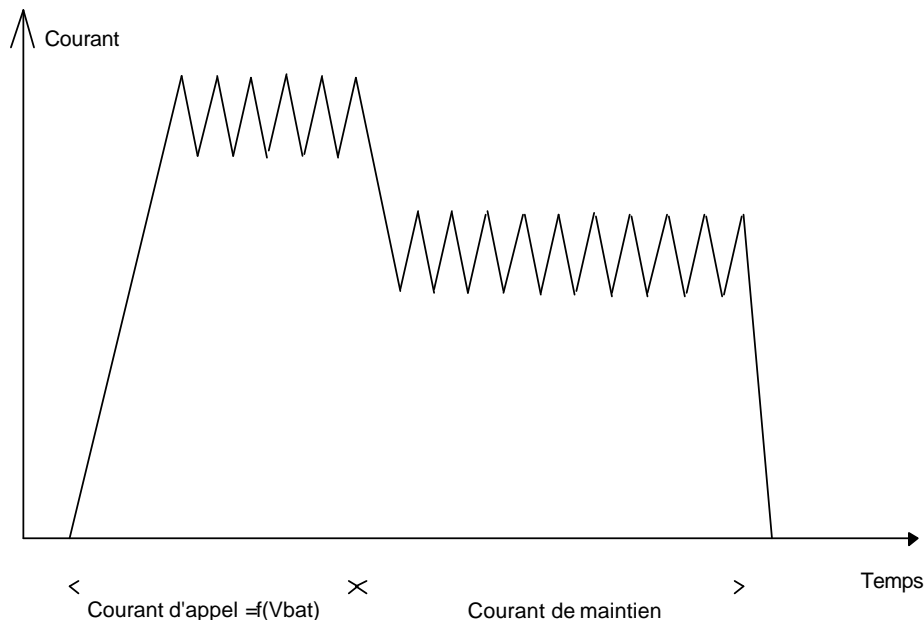
Fermeture de la valve
Aiguille ouverte
Fin d'injection



Valve fermée
Aiguille fermée
Pas d'injection

2.5.5 Commande des injecteurs

Le courant de commande de la bobine reprend la forme suivante :



Le courant haché permet de réduire les pertes par effet joules au niveau du calculateur et de l'injecteur.

Le courant d'appel est supérieur au courant de maintien puisque dans la phase de maintien :

- L'entrefer entre la valve et la bobine est réduit (de la valeur de la course de la valve, soit environ 30 μm) la force électromagnétique à appliquer à la valve peut donc être réduite.
- Il n'est plus nécessaire de vaincre l'inertie de la valve.

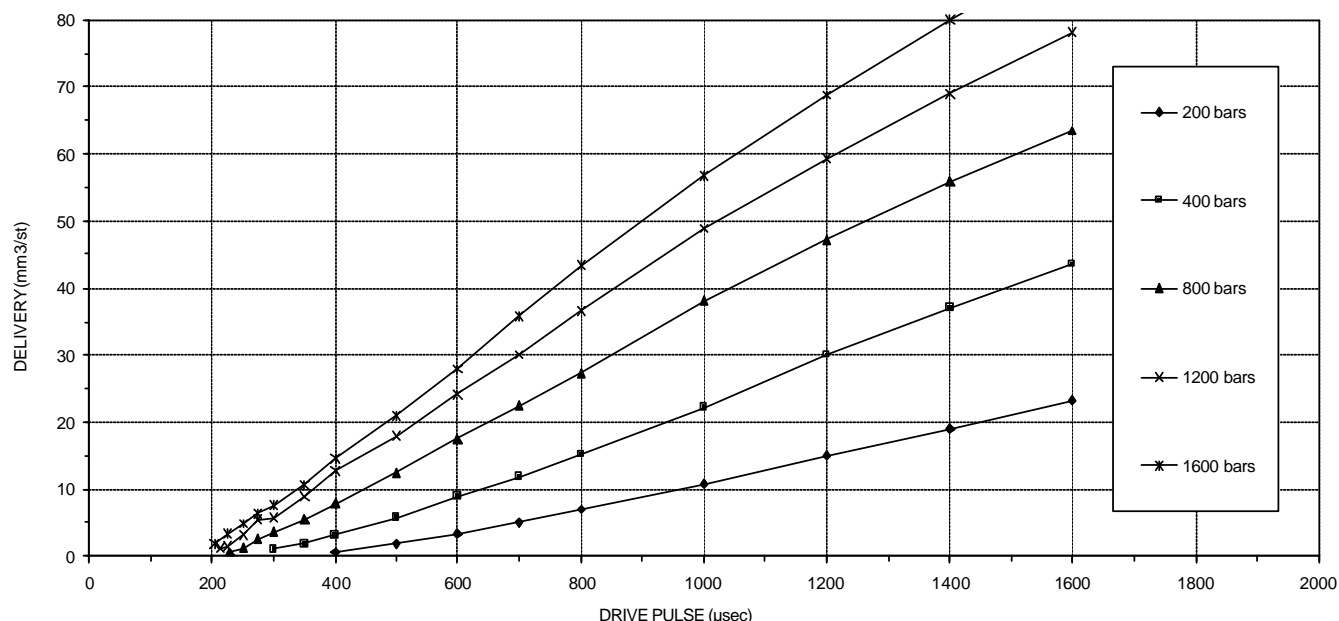
2.5.6 Décharge par les injecteurs

Lorsque la demande de pression rail chute brusquement (en cas de levée de pied ou d'un défaut nécessitant la décharge rapide du rail par exemple), la fermeture de l'IMV ne permet pas d'atteindre suffisamment vite la nouvelle consigne de pression définie par le calculateur. Le système utilise donc les injecteurs pour décharger le rail. Ce mode de fonctionnement repose sur le temps de réponse des injecteurs. En effet, pour décharger le circuit HP sans risquer l'introduction de carburant dans les cylindres, il faut alimenter la bobine avec des pulses suffisamment longs pour soulever la valve et ainsi mettre en communication directe le rail avec le circuit de retour de fuite injecteur, mais suffisamment courts pour éviter que l'aiguille de l'injecteur ne se soulève et provoque ainsi l'introduction inopinée de carburant dans la chambre de combustion.

Ce mode de fonctionnement n'est possible que si l'on maîtrise parfaitement le temps de réponse de l'injecteur, c'est à dire le temps compris entre le début de l'alimentation de l'électrovanne et l'instant où l'aiguille de l'injecteur se soulève. Ce temps est évidemment différent pour chaque injecteur puisqu'il dépend des caractéristiques initiales de l'injecteur (C2I) et de l'état d'usure de l'injecteur (apprentissage). Il est donc indispensable de connaître avec précision la caractéristique initiale et la dérive de chaque injecteur.

2.5.7 Calibration individuelle des injecteurs (C2I)

Le débit injecté est proportionnel au temps d'injection (le pulse) et à la racine carrée de la pression rail. Les courbes de débit en fonction du pulse et de la pression rail sont appelées caractéristiques de l'injecteur, elles ont la forme suivante :



Les injecteurs du système common rail sont des pièces d'une très grande précision. Ils sont capables d'injecter des débits variant de 0,5 à 100 mg/cp sous des pressions de 150 à 1600 bars. La précision demandée requiert des tolérances de fabrication extrêmement faibles (quelques μm) au niveau du diamètre des gicleurs et du jeu fonctionnel entre les différentes pièces en mouvement. Néanmoins, du fait des dispersions d'usinage, les pertes de charge, les frottements mécaniques entre les pièces en mouvement et l'effort magnétique varient d'un injecteur à l'autre. De ce fait, on constate des dispersions sur les débits qui peuvent atteindre 5 mg/cp. En clair, cela veut dire que si l'on applique un même pulse à deux injecteurs, on peut obtenir une différence de 5mg/cp.

Il est impossible de contrôler efficacement un moteur avec une telle dispersion entre les injecteurs. Il est donc nécessaire d'appliquer une correction qui permettra d'injecter la quantité souhaitée de gazole quelquesoit la caractéristique initiale de l'injecteur. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître cette caractéristique, et de corriger le pulse appliqué à l'injecteur en fonction de la différence entre cette caractéristique et celle qui est utilisée dans le calculateur.

La caractéristique enregistrée dans le calculateur est appelée la cible. Elle correspond à la caractéristique moyenne des débits mesurés sur un lot représentatif d'injecteurs. Cette cible est utilisée pour convertir la demande de débit Q en pulse T . Mais, ce pulse ne peut pas être appliqué directement à l'injecteur puisque les caractéristiques de ce dernier sont différentes de la cible. Il est donc nécessaire de corriger le pulse T à l'aide de la caractéristique propre de l'injecteur. Cette caractéristique est déterminée par une mesure des débits pour différentes valeurs de pression. La C2I est une modélisation de ces caractéristiques.

2.5.8 Procédure

Les injecteurs sont testés sur banc électrique en fin de chaîne. Les mesures sont traitées pour en déduire les coefficients de correction. Les coefficients sont écrits sous deux formes sur l'injecteur : dans un code data matrix et en caractère alpha-numérique sur l'étiquette SAV.

Dans l'usine moteur, les data matrix sont lus et stockés sur un média intermédiaire. Ce dernier comporte la C2I et le numéro de cylindre sur lequel l'injecteur considéré est monté. Les C2I des quatre injecteurs sont lues avant que les injecteurs soient montés sur le moteur afin de faciliter la lecture des codes data matrix à l'aide d'un lecteur laser. Le client doit donc garantir par son process qu'il n'y a pas de risque d'inversion entre l'ordre de lecture des codes et l'ordre des cylindres sur lesquels les injecteurs vont être montés.

Dans l'usine véhicule, le contenu du média intermédiaire est lu puis téléchargé vers le calculateur du système d'injection.

En SAV, en cas de remplacement de l'injecteur X, il est nécessaire de charger la C2I de l'injecteur X dans le calculateur.

En cas de remplacement de tous les injecteurs, il est nécessaire de :

- Charger la C2I de tous les injecteurs dans le calculateur.
- Réinitialiser les apprentissages qui caractérisent l'état dans lequel se trouve le système. Puisque le système repart avec des composants neufs, il convient de remettre ces apprentissages aux valeurs initiales.

Dans le cas d'un remplacement de calculateur, il est nécessaire de :

- Charger les C2I et la configuration véhicule dans le nouveau DCU
- Recopier les apprentissages qui caractérisent l'état dans lequel se trouve le système. Puisque le DCU est neuf, il ignore la valeur de ces apprentissages et utilise donc des valeurs neutres. Afin de permettre un fonctionnement optimal dès le premier démarrage après intervention, il faut enregistrer dans le nouveau calculateur la valeur de ces apprentissages.

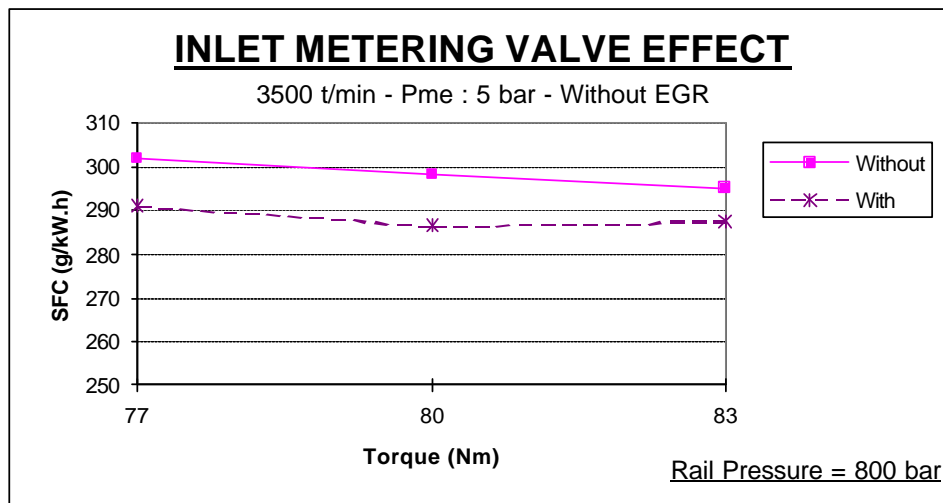
Des services KEYWORD 2000 ont été définis pour permettre de réaliser facilement ces interventions dans le cadre du réseau après vente.

2.6 L'IMV

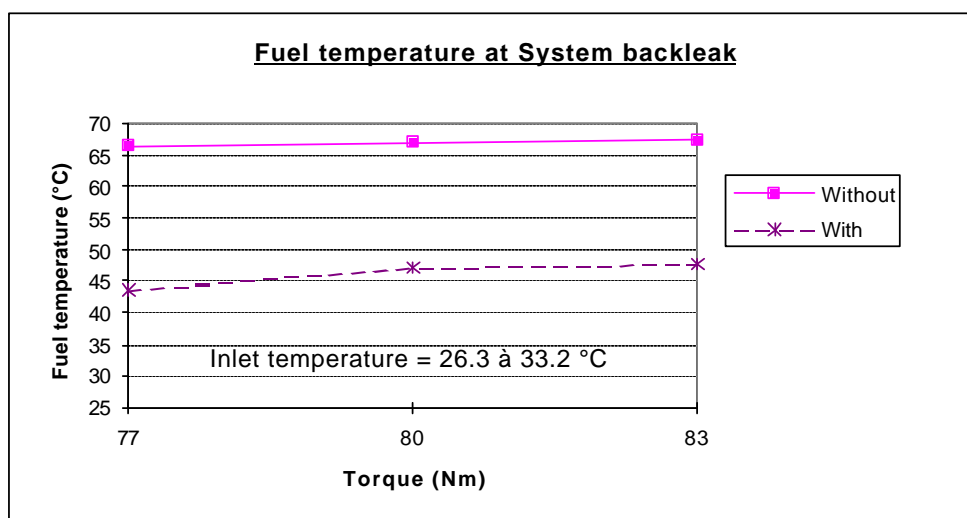
2.6.1 Fonction

L'actuateur BP -aussi appelé Inlet Metering Valve- est utilisé pour contrôler la pression rail en régulant la quantité de carburant qui est envoyée aux éléments de pompage de la pompe HP. Le but de cet actuateur est double :

- D'une part **il permet d'améliorer le rendement du système d'injection**, puisque la pompe HP ne comprime que la quantité de carburant nécessaire pour maintenir dans le rail le niveau de pression demandé par le système en fonction des conditions de fonctionnement du moteur.



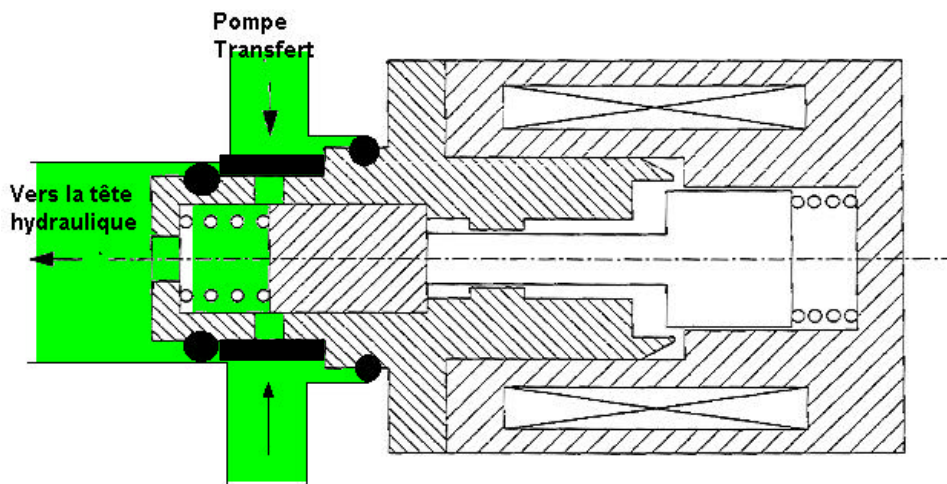
- D'autre part, **il permet de diminuer la température dans le réservoir de carburant**. En effet, lorsque l'excédent de gazole est déchargé dans le circuit de retour, la détente du fluide (de la pression rail à la pression atmosphérique) dégage une forte quantité de chaleur. Celle-ci génère une augmentation de la température du carburant évacué vers le réservoir. Pour éviter d'atteindre des températures trop élevées, il faut :
 - Refroidir le gazole dans un échangeur (solution coûteuse, encombrante et peu efficace)
 - Limiter la quantité de chaleur générée par la détente du carburant en réduisant le débit de fuite. Pour réduire le débit de fuite, il suffit d'adapter le débit de la pompe HP aux besoins du moteur sur toute sa plage de fonctionnement.



2.6.2 Description

L'IMV est implantée sur la tête hydraulique de la pompe. Elle est alimentée en carburant par la pompe de transfert via deux perçages radiaux. Un filtre cylindrique est implanté sur les orifices d'alimentation de l'IMV. Il permet de protéger non seulement l'actuateur BP, mais également tous les organes du système d'injection situés en aval de l'IMV. L'IMV se compose des éléments suivants :

- Un piston maintenu en butée pleine ouverture par un ressort.
- Une bobine pilotée en courant.
- Un boisseau plaqué contre le piston par un ressort dont le tarage est inférieur à celui du premier ressort.
- Un corps muni de deux orifices radiaux d'alimentation et d'un orifice axial de refoulement.
- D'un filtre cylindrique positionné sur les orifices d'alimentation.
- De deux joints toriques assurant l'étanchéité entre la tête hydraulique et le corps de l'IMV.

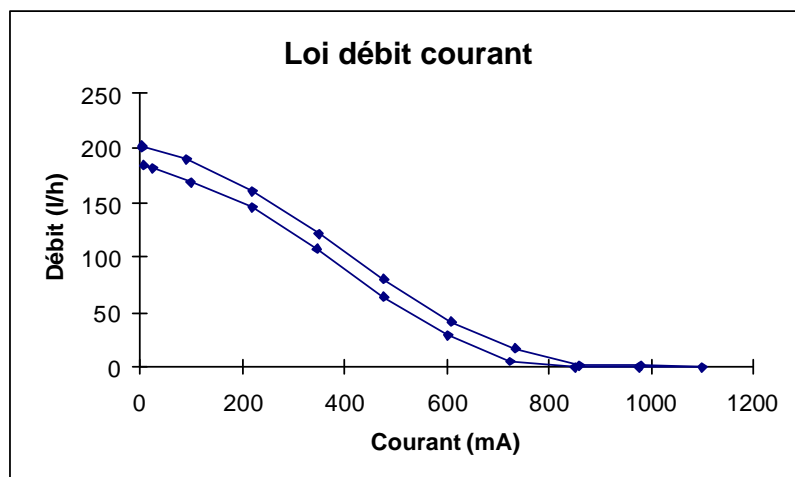


2.6.3 Principe de fonctionnement

L'actuateur BP est utilisé pour doser la quantité de carburant envoyé aux éléments de pompage de la pompe HP de façon à ce que la pression mesurée par le capteur HP soit égale à la demande de pression formulée par le calculateur. Pour chaque point de fonctionnement on doit avoir :

Débit introduit dans la pompe HP = Débit injecté + Débit de fuite injecteur + Débit de contrôle injecteur

L'IMV est normalement ouverte lorsqu'elle n'est pas alimentée. Elle ne peut donc pas être utilisée comme organe de sécurité pour couper le moteur en cas de nécessité. L'IMV est pilotée en courant. La loi débit/courant est représentée ci dessous :



DESCRIPTION DU SYSTEME

Le calculateur détermine la valeur du courant à envoyer à l'IMV en fonction de :

- La vitesse moteur
- La demande de débit
- La demande de pression rail
- La pression rail mesurée.

2.6.4 Caractéristiques de l'IMV

Course du piston :	1,4 mm
Diamètre des orifices :	3,4 mm
Résistance de la bobine :	5,4 Ω à 25°C
Tension d'alimentation :	Vbatt (Interdiction d'alimenter directement l'IMV sous la tension batterie lors des tests de diagnostic !)
I maxi :	1 A
Masse :	260 g
Températures de fonctionnement :	-40<T<125°C
Températures du fluide :	-40<T<90°C
Logique de pilotage :	Normalement ouverte sans alimentation Le débit diminue lorsque le courant augmente

3 STRATEGIES DE CONTROLE

3.1 CONTROLE DE LA PRESSION

Le contrôle de la pression se compose de deux modules principaux :

- Le premier détermine la valeur de la demande de pression rail en fonction des conditions de fonctionnement du moteur.
- Le second est chargé de piloter l'IMV pour que la pression rail atteigne la consigne.

3.1.1 Demande de pression

La demande de pression est déterminée en fonction du régime et de la charge du moteur. L'objectif est d'adapter la pression d'injection aux besoins du moteur :

- Lorsque le régime et la charge sont élevés, le taux de turbulence est très important et on peut injecter le carburant sous très forte pression afin d'optimiser la combustion.
- A faible charge ou à bas régime, le remplissage et le taux de turbulence sont faibles. Si la pression d'injection est trop élevée, la pénétration du jet est trop importante et une partie du carburant est projetée directement sur les parois du bol, ce qui provoque la formation de fumées, d'hydrocarbures imbrûlés et peut à terme endommager le piston.

La demande de pression est corrigée en fonction de la température d'air, de la température d'eau et de la pression atmosphérique de façon à prendre en compte l'augmentation du délai d'inflammation provoqué par un fonctionnement à froid ou un roulage en altitude.

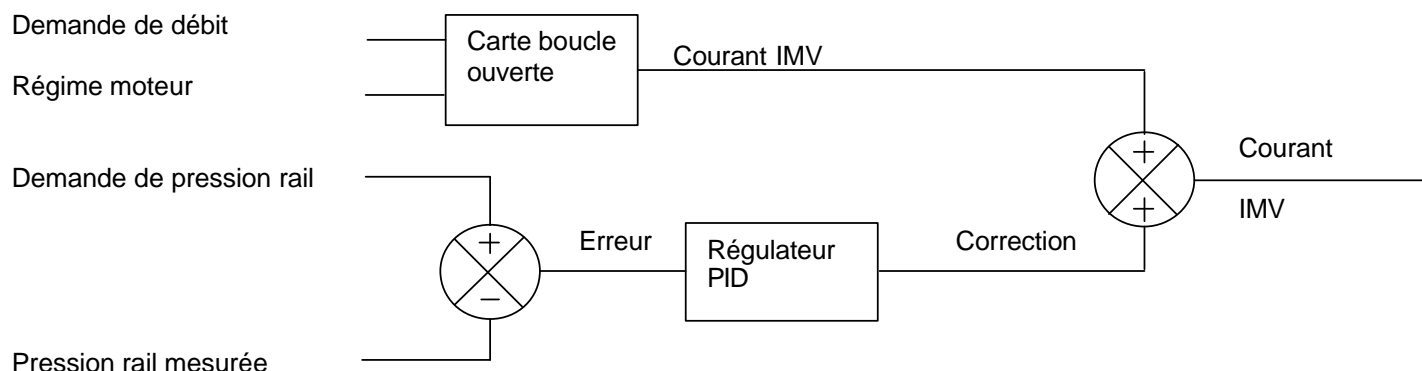
Une demande de pression spécifique est nécessaire pour pouvoir obtenir le débit de surcharge requis au démarrage. Cette demande est déterminée en fonction du débit injecté et de la température d'eau.

La demande de pression est limitée en fonction de la température du carburant. En effet, tout le gazole comprimé par la pompe HP n'est pas injecté dans le moteur. Une partie du gazole comprimé est envoyée vers le réservoir de carburant par le circuit de retour. La décharge du gazole de la pression rail à la pression atmosphérique provoque un dégagement de chaleur important dans le réservoir de carburant.

3.1.2 Contrôle de la pression

Le contrôle de la pression rail est réalisé par la régulation en boucle fermée de l'actuateur de remplissage. Une cartographie –dite boucle ouverte- détermine le courant qu'il faut envoyer à l'actuateur pour obtenir le débit demandé par le calculateur. La boucle fermée vient corriger la valeur du courant en fonction de l'écart entre la demande et la mesure de la pression :

- Lorsque la pression est inférieure à la demande, le courant est diminué de sorte que le débit envoyé à la pompe HP est augmenté.
- Lorsque la pression est supérieure à la demande, le courant est augmenté de sorte que le débit envoyé à la pompe HP est diminué.



3.2 CONTROLE DE L'INJECTION

Cette stratégie est utilisée pour déterminer les caractéristiques du pulse qui est envoyé au driver des injecteurs. La stratégie consiste à :

- Calculer la demande d'avance
- Calculer la demande de débit
- Traduire ces données en valeurs qui peuvent être interprétées par le driver des injecteurs :
 - Une dent de référence
 - Le délai entre cette dent et le début du pulse
 - La durée du pulse

3.2.1 Demande d'avance à l'injection principale

La demande d'avance à l'injection principale est déterminée en fonction du régime moteur et du débit injecté (qui est une image de la charge).

Une première correction est effectuée en fonction des températures d'air et d'eau. Cette correction permet d'adapter l'avance à la température de fonctionnement du moteur. Lorsque le moteur est chaud, l'avance peut être retardée pour réduire la température de combustion et donc les émissions polluantes (Les NOx principalement). Lorsque le moteur est froid, l'avance doit être suffisamment importante pour permettre à la combustion de s'initier correctement.

Une seconde correction est déterminée en fonction de la pression atmosphérique. Cette correction est utilisée pour adapter l'avance en fonction de la pression atmosphérique et donc de l'altitude.

Une troisième correction est effectuée en fonction de la température d'eau et du temps écoulé depuis le démarrage. Cette correction permet d'augmenter l'avance à l'injection pendant la phase de chauffe du moteur, c'est-à-dire pendant les 30 secondes qui suivent le démarrage. Cette correction vise à réduire les ratés de combustion et les instabilités susceptibles d'apparaître après un démarrage à froid.

Une quatrième correction est déterminée en fonction de l'erreur de pression. Cette correction est utilisée pour réduire l'avance à l'injection lorsque la pression dans le rail est supérieure à la demande de pression. Dans ce cas, la combustion peut devenir bruyante. Il est possible de compenser ce phénomène en diminuant légèrement l'avance.

Une cinquième correction est déterminée en fonction du taux d'EGR. Cette correction est utilisée pour corriger l'avance à l'injection en fonction du taux de recirculation des gaz d'échappement. Lorsque le taux d'EGR augmente, l'avance à l'injection doit en effet être augmentée pour compenser la chute de température dans le cylindre.

Lors du démarrage, l'avance à l'injection doit être retardée pour positionner le début de combustion à proximité du PMH, c'est à dire là où les températures sont le plus élevées en l'absence de combustion. Pour ce faire, une cartographie spécifique détermine l'avance à l'injection en fonction du régime moteur et de la température d'eau. Ce besoin concerne uniquement la phase de démarrage, dès lors que le moteur a démarré, le système doit réutiliser les cartographies et les corrections décrites précédemment. Il est possible de modifier la valeur d'avance à l'aide de l'outil de diagnostic.

3.2.2 Demande d'avance à l'injection pilote

L'avance à l'injection pilote est déterminée en fonction du régime moteur et du débit total.

Une première correction est effectuée en fonction des températures d'air et d'eau. Cette correction permet d'adapter l'avance à l'injection pilote à la température de fonctionnement du moteur.

Une seconde correction est déterminée en fonction de la pression atmosphérique. Cette correction est utilisée pour adapter l'avance à l'injection pilote en fonction de la pression atmosphérique et donc de l'altitude.

En phase de démarrage, l'avance à l'injection pilote est déterminée en fonction du régime moteur et de la température d'eau.

3.2.3 Demande de débit principal

Le débit principal représente la quantité de carburant injecté dans le cylindre pendant l'injection principale. Le débit pilote représente la quantité de carburant injecté pendant l'injection pilote.

Le débit total injecté sur un cycle (débit principal + débit pilote) est déterminé de la façon suivante :

La demande conducteur (qui représente la traduction de la position pédale en demande de débit) est comparée à la valeur du débit d'entretien déterminée par le contrôleur de ralenti.

- Lorsque le conducteur enfonce la pédale, c'est sa demande qui est prise en compte par le système pour déterminer le débit injecté.
- Lorsque le conducteur relache la pédale, le contrôleur de ralenti reprend la main pour déterminer le débit minimum qu'il faut injecter dans le cylindre pour éviter que le moteur ne cale.

C'est donc la plus grande de ces deux valeurs qui est conservée par le système.

Cette valeur est ensuite comparée à la limite inférieure de débit déterminée par le système de contrôle de trajectoire MSR. Dès lors que le débit injecté devient inférieur à la limite de débit déterminée par le système de contrôle de trajectoire MSR, le couple antagoniste (couple de freinage dû au frein moteur) transmis aux roues motrices dépasse les capacités d'adhérence du véhicule et il y a donc un risque de blocage des roues motrices. Le système conserve donc la plus grande de ces deux valeurs, de façon à éviter une perte de contrôle du véhicule (dû au blocage des roues motrices) lors d'une forte décélération.

Cette valeur est ensuite comparée à la limite de débit déterminée par le régulateur de vitesse (Cruise control). Dès lors que le débit injecté devient inférieur à la limite de débit déterminée par le cruise control, la vitesse du véhicule diminue et devient inférieure à la consigne de vitesse demandée par le conducteur. Le système conserve donc la plus grande de ces deux valeurs de façon à maintenir la vitesse au niveau de la consigne.

Cette valeur est ensuite comparée à la limite de débit déterminée par la stratégie de limitation de débit. Cette stratégie permet de limiter le débit en fonction des conditions de fonctionnement du moteur. Le système conserve donc la plus petite de ces deux valeurs de façon à préserver le moteur.

Cette valeur est ensuite comparée à la limite de débit déterminée par le limiteur de vitesse. Dès lors que le débit injecté devient supérieur à la limite de débit déterminée par le limiteur de vitesse, la vitesse du véhicule dépasse le seuil maxi déterminé par le conducteur. Le système conserve donc la plus petite de ces deux valeurs, de façon à maintenir la vitesse en dessous du seuil maxi déterminé par le conducteur.

Cette valeur est ensuite comparée à la limite de débit déterminée par le système de contrôle de trajectoire ASR. Dès lors que le débit injecté devient supérieur à la limite de débit déterminée par le système de contrôle de trajectoire ASR, le couple moteur transmis aux roues dépasse les capacités d'adhérence du véhicule et il y a un risque de patinage des roues motrices. Le système conserve donc la plus petite des deux valeurs de façon à éviter une perte de contrôle du véhicule lors des accélérations.

La stratégie anti-oscillation permet de compenser les fluctuations du régime moteur lors des phases transitoires. Cette stratégie détermine une correction de débit qui est ajoutée au débit total de chaque cylindre. La correction est déterminée avant chaque injection en fonction du régime instantané et du rapport de boîte.

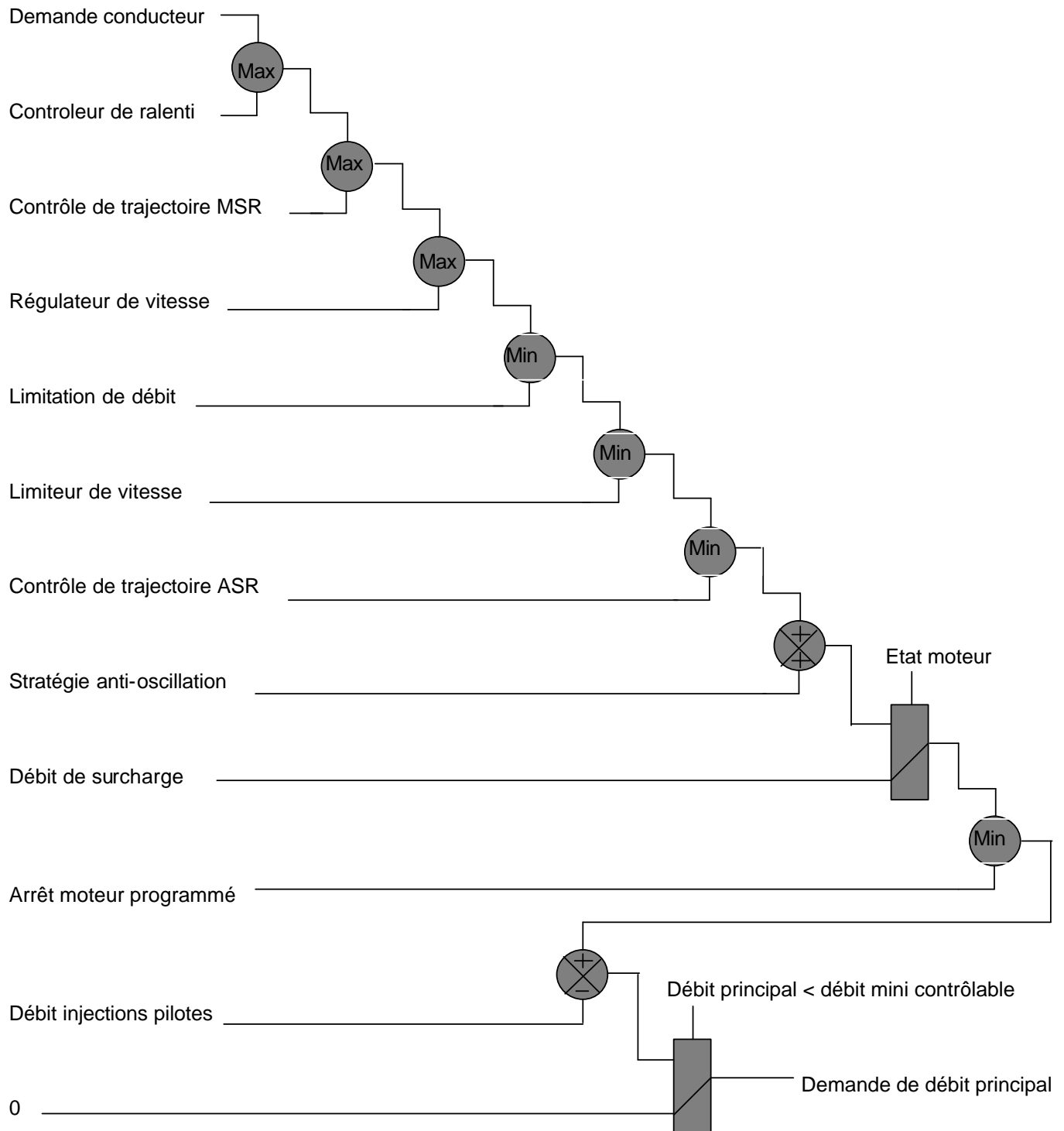
Un switch permet de basculer du débit de surcharge au débit total en fonction de l'état moteur.

- Tant que la phase de démarrage n'est pas achevée, le système utilise le débit de surcharge.
- Dès que le moteur passe en fonctionnement normal, le système utilise le débit total.

Le débit principal est obtenu en soustrayant le débit d'injection pilote au débit total.

Une cartographie détermine le débit minimum que peut contrôler un injecteur en fonction de la pression rail. Dès lors que le débit principal devient inférieur à cette valeur, la demande de débit passe à 0 puisque de toute manière l'injecteur n'est pas capable d'injecter la quantité demandée.

STRATEGIES DE CONTROLE



3.2.3.1 Demande conducteur

La demande conducteur est la traduction de la position pédale en demande de débit. Elle est calculée en fonction de la position pédale et du régime moteur. La demande conducteur est filtrée pour limiter les à-coups liés aux variations rapides de position pédale.

Une cartographie détermine le débit maxi que l'on peut injecter en fonction de la demande conducteur et de la pression rail. Le débit étant proportionnel au temps d'injection et à la racine carrée de la pression d'injection, il est nécessaire de limiter le débit en fonction de la pression pour éviter de prolonger l'injection trop tard dans le cycle moteur. Le système compare la demande conducteur à cette limite et conserve la plus petite des deux valeurs.

La demande conducteur est ensuite corrigée en fonction de la température d'eau. Cette correction vient s'ajouter à la demande conducteur.

3.2.3.2 Contrôleur de ralenti

Le contrôleur de ralenti se compose de deux modules principaux :

- Le premier module détermine la consigne de ralenti en fonction :
 - Des conditions de fonctionnement du moteur (température d'eau et rapport de boîte).
 - De l'activation éventuelle des consommateurs électriques (parebrise électrique, direction assistée électrique, air conditionné, thermoplongeurs).
 - De la tension batterie.
 - De la présence éventuelle de fautes susceptibles de perturber le contrôle de la pression rail ou le contrôle de l'injection. Dans ce cas, le ralenti accéléré est activé pour éviter le calage du moteur lors d'un fonctionnement en mode dégradé.
 - Il est possible d'augmenter ou de diminuer la consigne de ralenti à l'aide de l'outil de diagnostic.
- Le second est chargé d'assurer un contrôle en boucle fermée du régime de ralenti en adaptant le débit d'entretien en fonction de l'écart entre la consigne de ralenti et le régime moteur.

3.2.3.3 Limitation de débit

La stratégie de limitation de débit repose sur les stratégies suivantes :

- La limitation de débit dépendant du remplissage en air du moteur est déterminée en fonction du régime et du débit d'air. Cette limitation permet de réduire les émissions de fumées en marche stabilisée.
- La limitation de débit dépendant de la pression atmosphérique est déterminée en fonction du régime moteur et de la pression atmosphérique. Elle permet de réduire les émissions de fumées lors du fonctionnement en altitude.
- La courbe de débit de pleine charge est déterminée en fonction du rapport de boîte et du régime moteur. Elle permet de limiter le couple maxi fournie par le moteur.
- La limitation du débit en phase transitoire est déterminée en fonction du régime moteur et de la demande de débit. Cette limitation permet d'éviter les émissions de fumées lors de phases transitoires.
- Une limitation des performances est mise en place lorsque des fautes susceptibles de perturber le contrôle de la pression rail ou le contrôle de l'injection sont détectées par le système. Dans ce cas et en fonction de la gravité de la faute, le système active :
 - la stratégie de débit réduit 1 qui garantie 75 % des performances sans limitation de régime,
 - la stratégie de débit réduit 2 qui garantie 50 % des performances avec une limitation de régime à 3000 tr/min
 - La stratégie de débit réduit 3 qui limite le régime à 2000 tr/min

Le système conserve la plus petite de toutes ces valeurs. Une correction dépendant de la température d'eau est ajoutée à la limitation de débit. Cette correction permet de limiter les contraintes mécaniques pendant le temps de chauffe du moteur. Cette correction est déterminée en fonction de la température d'eau, du régime moteur et du temps écoulé depuis le démarrage.

3.2.3.4 Demande de débit de surcharge

Le débit de surcharge est calculé en fonction du régime moteur et de la température d'eau. Une correction en fonction de la température d'air et de la pression atmosphérique est effectuée pour augmenter le débit de surcharge lors des démarrages à froid. Il est possible de modifier la valeur du débit de surcharge en ajoutant un offset de débit à l'aide de l'outil de diagnostic.

3.2.4 Demande de débit pilote

Le débit pilote représente la quantité de carburant injecté dans le cylindre lors de l'injection pilote. Cette quantité est déterminée en fonction du régime moteur et du débit total.

Une première correction est effectuée en fonction des températures d'air et d'eau. Cette correction permet d'adapter le débit pilote à la température de fonctionnement du moteur. Lorsque le moteur est chaud, le délai d'inflammation diminue puisque la température de fin de compression augmente. Le débit pilote peut donc être réduit puisque naturellement le bruit de combustion est plus faible lorsque le moteur est chaud.

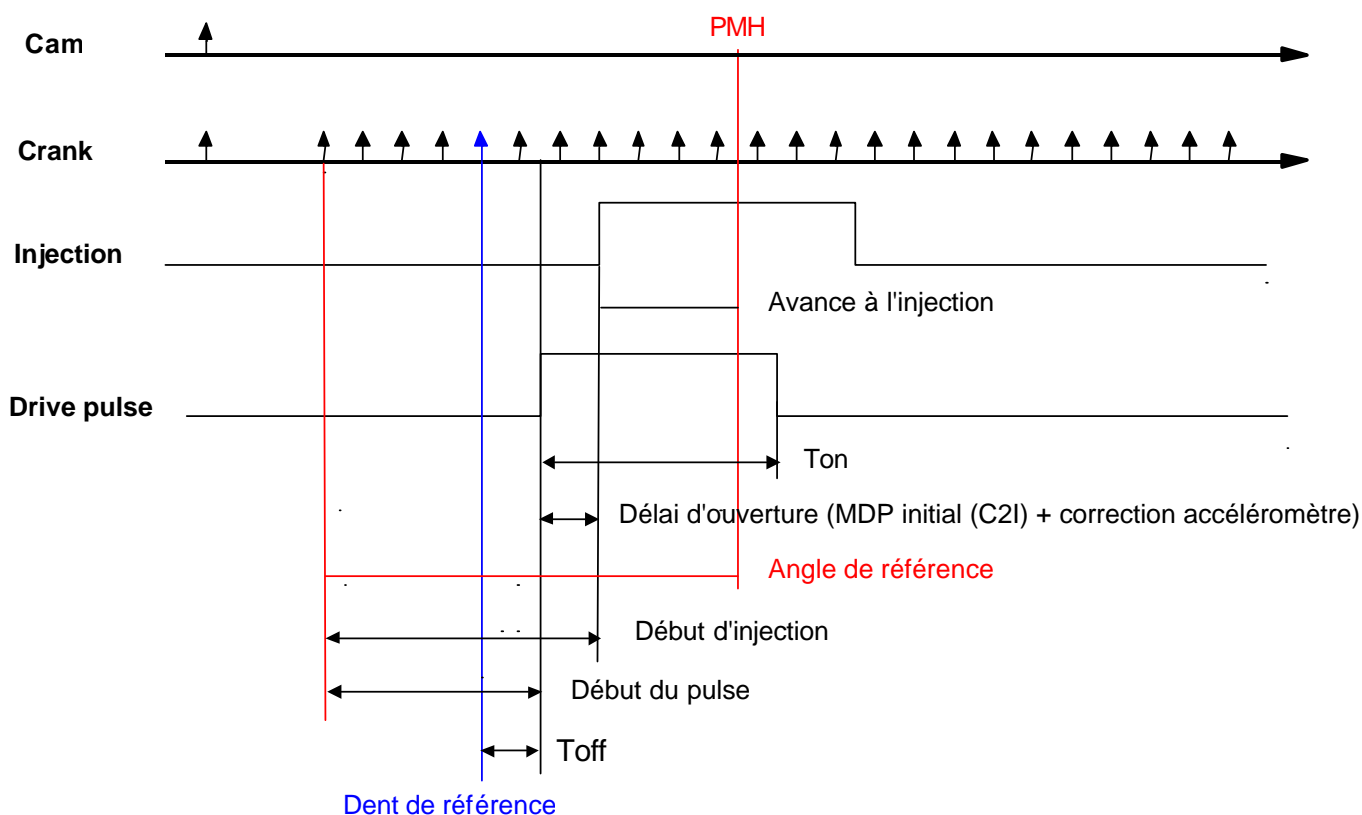
Une seconde correction est déterminée en fonction de la pression atmosphérique. Cette correction est utilisée pour adapter le débit pilote en fonction de la pression atmosphérique et donc de l'altitude.

En phase de démarrage, le débit pilote est déterminé en fonction du régime moteur et de la température d'eau.

3.2.5 Détermination du pulse

Le système sait à présent quand les injections doivent débuter (avances) et il connaît aussi les quantités de gazole qu'il faut injecter dans les cylindres lors de chaque injection (débit). Il lui reste donc à déterminer -pour chaque injecteur- le nombre de pulse, leur durée et leur positionnement dans le cycle moteur. En clair, cette fonction permet de traduire les avances et les débits déterminés précédemment en données compréhensibles par le système de commande des injecteurs :

- Une dent de référence (CPT).
- Un délai entre cette dent et le début du pulse (Toff).
- La durée du pulse (Ton).



3.2.5.1 Détermination de la dent de référence

L'avance à l'injection est exprimée en degré vilebrequin par rapport au PMH. L'avance est positive quand l'injection débute avant le PMH et négative lorsqu'elle débute après.

La position angulaire du gap par rapport au PMH est une donnée d'application qui dépend de l'orientation du volant par rapport au vilebrequin et de la position du capteur de régime sur la cloche d'embrayage.

Le délai d'ouverture de l'injecteur dépend :

- Des caractéristiques initiales de l'injecteur (C2I).
- De la tension batterie et de la résistance du faisceau (stratégie BRC).
- De la dérive de l'injecteur (recalage du MDP par l'accéléromètre).

Le délai d'ouverture permet de déterminer la position angulaire à laquelle le pulse doit être envoyé à l'injecteur pour que l'injection commence effectivement à la valeur angulaire correspondant à l'avance à l'injection.

Dès lors que l'on sait où doit commencer le pulse, on détermine la position de la dent de référence.

3.2.5.2 Calcul du Toff

Le Toff représente le temps compris entre la dent de référence et le début du pulse. La valeur du Toff est obtenue en divisant l'angle qui sépare la dent de référence du début du pulse par le régime instantané.

3.2.5.3 Calcul du Ton

Le Ton représente la durée du pulse. La valeur du Ton est déterminée en fonction de la demande de débit et de la pression rail. Le résultat de ce calcul est ensuite corrigé par :

- La C2I pour prendre en compte les caractéristiques initiales de l'injecteur.
- La stratégie BRC pour considérer les variations de résistance faisceau et de tension batterie.
- La stratégie d'équilibrage des débits poste à poste (cylinder balancing).

3.2.6 Stratégie cylinder balancing

3.2.6.1 Equilibrage des débits poste à poste

Cette stratégie permet d'équilibrer les débits poste à poste. Le pulse de chaque injecteur est corrigé en fonction de la différence de vitesse instantanée mesurée entre deux injections successives :

- On calcule dans un premier temps les vitesses instantanées sur deux injections successives.
- On calcule ensuite la différence entre ces deux vitesses instantanées.
- On détermine enfin la durée à ajouter au pulse de l'injection principale pour les différents injecteurs. Pour chaque injecteur, cette durée est calculée en fonction de l'offset initial de l'injecteur et de la différence de vitesse instantanée.

3.2.6.2 Détection d'un injecteur bloqué fermé

La stratégie cylinder balancing permet également de détecter un injecteur bloqué fermé. La différence de vitesse instantanée entre deux injections successives dépasse alors un seuil pré-défini. Dans ce cas, une faute est levée par le système.

3.2.7 Stratégie accéléromètre

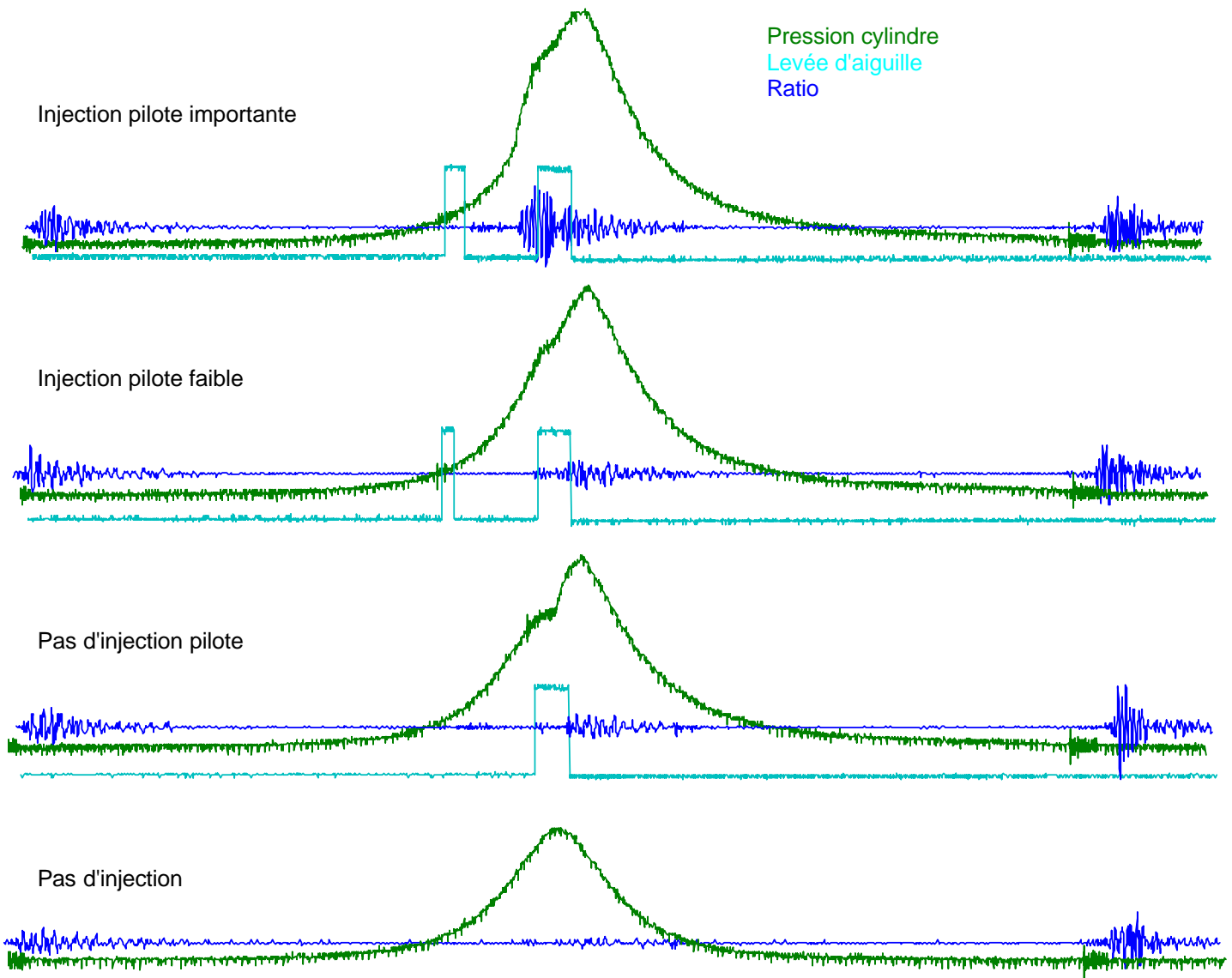
3.2.7.1 recalage de l'injection pilote

L'accéléromètre est utilisé pour recalibrer le débit de l'injection pilote en boucle fermée pour chaque injecteur. Cette méthode est auto adaptative et permet donc une correction des dérives éventuelles des injecteurs au cours du temps.

Le principe d'utilisation de l'accéléromètre repose sur la détection des bruits de combustion. Le capteur est positionné de manière à recevoir le signal maximum pour tous les cylindres.

Les signaux bruts de l'accéléromètre sont traités pour obtenir une variable qui quantifie l'intensité de la combustion. Cette variable -appelée le ratio- est le rapport entre l'intensité du bruit de fond et le bruit combustion.

- Une première fenêtre sert à fixer le niveau de bruit de fond du signal accélérométrique pour chaque cylindre. Cette fenêtre doit donc être positionnée à un moment où il ne peut pas y avoir de combustion.
- La deuxième fenêtre sert à mesurer l'intensité de la combustion pilote. Sa position est telle que seuls les bruits de combustion générés par l'injection pilote sont mesurés. Elle est donc placée juste avant l'injection principale.



L'accéléromètre ne permet pas l'évaluation de la quantité injectée. Par contre, il permet de connaître avec précision la valeur du pulse à partir de laquelle l'injecteur commence à injecter. Cette valeur du pulse est appelée le MDP (pour **M**inimum **D**rive **P**ulse). A partir de cette information, il est possible de corriger efficacement les débits pilotes puisque les petits débits sont très sensibles aux variations du MDP.

Le principe du recalage de l'injection pilote consiste donc à déterminer le MDP, c'est à dire le pulse qui correspond au début de l'augmentation du ratio. Il est effectué périodiquement dans certaines conditions de fonctionnement. Lorsque le recalage est terminé, la nouvelle valeur du pulse mini remplace la valeur obtenue lors du recalage précédent. La première valeur du MDP est fournie par la C2I. Chaque recalage permet ensuite la mise à jour en boucle fermée du MDP en fonction de la dérive de l'injecteur.

3.2.7.2 *Détection de fuites dans les cylindres*

L'accéléromètre est également utilisé pour détecter un injecteur bloqué ouvert. Le principe de détection repose sur la surveillance du ratio. Dans le cas d'une fuite dans le cylindre, le gazole accumulé s'auto-enflamme dès lors que les conditions de température et de pression sont favorables (haut régime, forte charge et faible fuite). Cette combustion se déclenche environ 20 degrés avant le PMH, c'est à dire bien avant la combustion provoquée par l'injection principale. Le ratio augmente donc considérablement dans la fenêtre de détection. C'est cette augmentation qui permet la détection des fuites. Le seuil au-delà duquel une faute est levée est un pourcentage de la valeur maxi que peut prendre le ratio.

Du fait de la sévérité du mode de recouvrement (arrêt moteur), la détection doit être extrêmement robuste. Or, une augmentation du ratio peut être la conséquence de plusieurs causes :

- Injection pilote trop importante.
- Combustion principale décalée dans la fenêtre de détection (trop d'avance ou fenêtre décallée).
- Fuite de gazole dans le cylindre

Dans le cas où le ratio deviendrait trop important, la stratégie limite dans un premier temps le débit de l'injection pilote et retarde l'injection principale. Si malgré ces interventions le ratio reste élevé, cela indique que l'on est en présence d'une vraie fuite, une faute est levée et le moteur est arrêté.

3.2.7.3 *Détection d'une défaillance de l'accéléromètre*

Cette stratégie permet la détection d'un défaut du capteur ou du faisceau reliant le capteur au DCU. Elle repose sur la détection de la combustion. Au ralenti, la fenêtre de détection est sous calée dans la combustion provoquée par l'injection principale. Si le ratio augmente, cela indique que l'accéléromètre fonctionne correctement, dans le cas contraire, une faute est levée pour indiquer une défaillance du capteur. Les modes de recouvrement associés à cette faute sont l'inhibition de l'injection pilote et de la décharge par les injecteurs.