

valvalion@hotmail.fr

Le GPL

OpenOffice
Latex
The Gimp

Sommaire

- Introduction	p. 3
- La technologie du GPL	p. 4
- Injection GPL en phase liquide	p. 15
- Bilan des emissions	p. 16
- Cas réel, installation d'un kit GPL	p. 21
- Annexes	p. 37
- Bibliographie	p. 48

Le GPL

Le GPL est un combustible gazeux. Il peut alimenter, après adaptations, les moteurs à allumage commandé. Le carburant est stocké sous forme liquide dans un réservoir dédié, placé dans le compartiment à bagages ou sous le plancher du véhicule. Le contrôle de l'alimentation au GPL est confié à un calculateur. Il est aussi installé divers organes tels que le vapodétendeur qui va détendre le GPL liquide en GPL gazeux, les injecteurs ou le diffuseur qui vont libérer le gaz en amont des soupapes.

L'équipement d'injection essence est conservé, le démarrage ne pouvant se faire au GPL moteur froid.

Cette installation est soumise à homologation par réception en DRIRE, la source d'énergie du véhicule n'étant plus celle homologuée par le constructeur.

Technologie du GPL/C

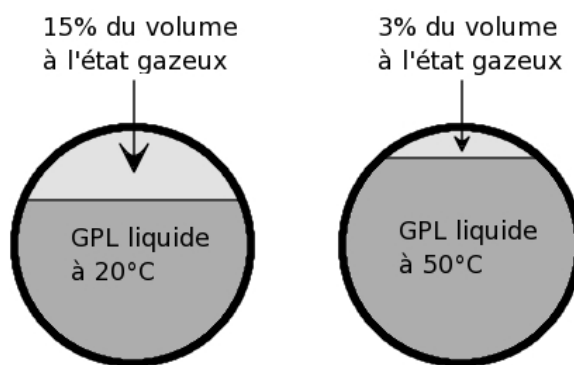
Caractéristiques :

Le GPL/C¹ utilisé comme carburant est un composé de butane et de propane dont les proportions varient de 50/50 à 30/70. Une proportion de propane supérieure au butane favorise les démarrages à froid.

L'utilisation de GPL n'entraîne ni dilution de l'huile moteur, ni encrassement par dépôt de calamine.

La pression absolue du carburant GPL dans le réservoir est de 1,7 bars à -15°C, de 4,4 bars à 15°C et de 12,5 bars à 50°C.

La dilatation du GPL est de 0,25 % par degré Celsius, d'où l'impératif de n'autoriser le remplissage qu'à 80% de son volume à l'état liquide par un dispositif limiteur. On conserve ainsi un ciel gazeux de dilatation. Il est à noter que les interventions de type retouche de peinture en cabine chauffée nécessitent la dépose du réservoir.



Emissions :

Le GPL ne contient ni plomb, ni benzène, et sa teneur en soufre est très nettement inférieure à celle du carburant essence.

Récapitulatif du bilan moyen des émissions par rapport à l'essence :

émissions en % Température	CO	HC	NO _x
20°C	126%	80%	30%
-7°C	130%	85%	40%

¹ Pour Gaz de Pétrole Liquéfié / Carburant

Le critère acoustique est lui aussi favorable au GPL :

Bruit de fonctionnement moyen	Motorisation
45,9 db	Essence
50 db	Diesel
43,6 db	GPL

Consommation et performances :

La consommation en GPL est de 10 à 15 % supérieure à celle en essence. On constate aussi une baisse de performance de l'ordre de 3 à 5 %

Gamme OPEL¹ moteur 16V	ASTRA 1400 cm³, 66 KW	VECTRA 1600 cm³, 74 KW	OMEGA 2000 cm³, 100 KW
Consommation moyenne aux 100 km. ESS/GPL	7,8 / 9,4	6,7 / 8,0	7,8 / 9,4

L'adoption d'une injection de gaz à l'état liquide, où la vaporisation du gaz dans la voie d'admission augmente notablement la masse volumique de la charge admise et optimise ainsi le niveau de remplissage, conduit à une nette amélioration des performances et des émissions moyennes.

Equipement type² :

Le GPL à l'état liquide stocké dans le réservoir est distribué, après dosage, dans la voie d'admission sous forme gazeuse. Le changement d'état, la détente, se fait par le passage du fluide dans le vapodétendeur. Ce changement d'état nécessite un apport de chaleur prélevée au circuit de refroidissement du moteur.

¹ Source : ETAI

² Il est décrit ici un équipement type. L'implantation d'un équipement réel est décrit en détail dans la section "Installation d'un kit GPL sur un Renault Grand Scenic 2.0l 16V"

On rencontre deux types de distribution :

- Par diffusion, ou effet venturi
- Par injection en phase liquide ou en phase gazeuse

L'injection gazeuse multipoints séquentielle phasée conduit à une réduction de la consommation et des émissions de polluants.

La particularité de l'alimentation en air/GPL réside dans le fait que le carburant admis est un gaz. Cela favorise l'homogénéisation de la charge air/carburant. La répartition du mélange ainsi optimisée permet de disposer du couple maximum à un régime plus bas de 500 tours par minute en moyenne.

Le réservoir :

Dispositif homologué (67R-01) soumis à épreuve de pression, il est équipé¹ :

- d'un dispositif d'arrêt ou d'isolement
- d'un limiteur de débit
- d'une jauge et de son émetteur
- d'un limiteur de remplissage qui fixe à 80% le volume de carburant contenu dans le réservoir

Une électrovanne, fermée en position repos, autorise le transit du carburant en fonctionnement GPL.

Une soupape de sécurité tarée à vingt-sept bars permet la libération d'une quantité de gaz en cas de surpression. Lorsque le réservoir est monté à l'intérieur du véhicule, la polyvanne est isolée de l'habitacle par un boîtier étanche qui communique avec l'extérieur par un tuyau. Ce montage permet le dégazage du réservoir hors du véhicule.

La polyvanne :

La polyvanne est liée au réservoir par une bride spécifique. Le dispositif d'arrêt étant une fonction dépendante de la position du flotteur dans l'espace, il est impératif de définir une position de mise en place du réservoir en relation avec l'angle d'inclinaison de la polyvanne.

¹ Ces équipements, sur les installations les plus modernes, se trouvent la plupart du temps intégrés à la polyvanne

La polyvanne est équipée :

- d'une électrovanne de fermeture
- d'un clapet anti-retour qui isole le carburant du milieu extérieur via l'orifice de remplissage
- d'un limiteur de débit
- d'une jauge et de son émetteur
- d'un limiteur de remplissage à 80%

Son identification se compose :

- du numéro d'homologation
- de l'angle de montage
- de la date de fabrication

Le vapodétendeur :

Les propriétés du vapodétendeur résident dans son aptitude à assurer un fonctionnement stable du moteur en charge, une progressivité adaptée lors des transitoires et un enrichissement dans des conditions de démarrage et de ralenti à froid.

Le vapodétendeur est généralement constitué de deux étages en cascade. Le changement d'état de la phase liquide à la phase gazeuse a lieu dans le premier étage. Cette étape de vaporisation nécessite un apport de chaleur prélevée au liquide de refroidissement du moteur. La température du GPL gazeux est alors comprise entre 40°C et 60°C. Le deuxième étage assure la régulation de la pression de sortie, entre 300 mbar et 2000 mbar absolus.

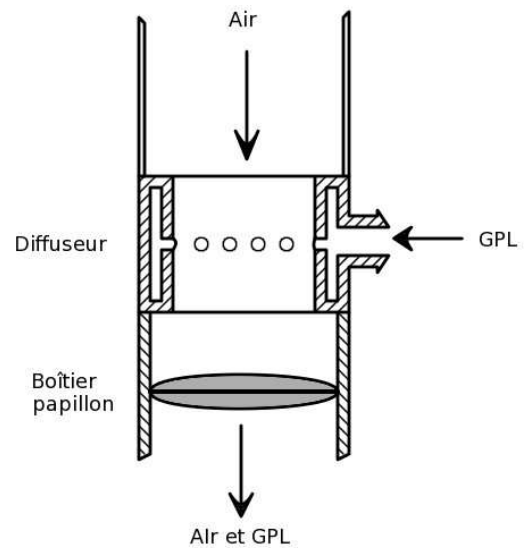
Le distributeur :

Il distribue la charge de carburant selon le mode d'injection essence : injection continue, full-group, semi séquentielle ou séquentielle phasée. Il est piloté par le calculateur GPL. Le distributeur est en fait un pack d'injecteurs électromagnétiques. À la différence des injecteurs essence, les injecteurs GPL ne comportent ni aiguille, ni trou de pulvérisation, le carburant déjà gazeux n'a pas besoin d'être pulvérisé. En sortie de distributeur sont montés les gicleurs d'injection dont le calibre est choisi en fonction de la puissance unitaire du moteur.

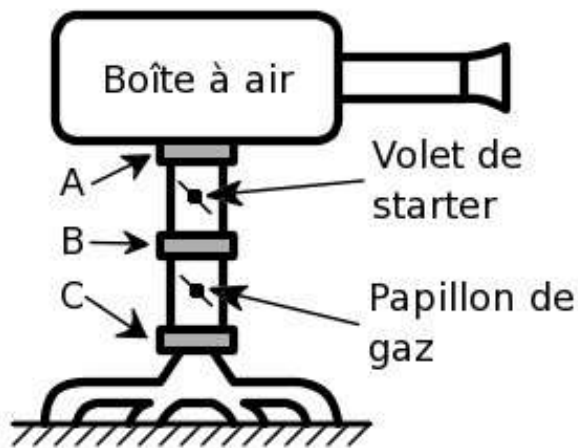
Autre moyen de distribution, le diffuseur :

Un diffuseur à trous est placé dans la voie d'admission. Il peut être placé, en amont du boîtier papillon, en aval du boîtier papillon ou encore, dans le cas de certains carburateurs, entre le volet de départ à froid et le papillon de gaz.

La distribution par diffuseur était utilisée pour les moteurs à carburateur ou à injection monopoint. Même s'il est tout à fait possible d'installer ce montage sur un moteur à injection multipoint, compte-tenu de ses performances médiocres, il est avantageusement remplacé par un montage avec distributeur électromagnétique multipoint. Cette technologie est donc de moins en moins utilisée.



Implantations possibles du diffuseur



A. Diffuseur en amont du boîtier papillon ou du carburateur.

B. Diffuseur entre volet de départ à froid et papillon des gaz.

C. Diffuseur en aval du boîtier papillon ou du carburateur.

Adaptation, l'allumage :

La température des gaz d'échappement émis par un moteur fonctionnant au GPL est majorée de 50°C en pleine charge par rapport au fonctionnement à l'essence. Des bougies d'indice thermique supérieur sont préconisées.

Adaptation, le couple soupapes-sièges de soupapes :

L'absence de plomb dans le carburant GPL peut causer une usure précoce des soupapes et des sièges sur les moteurs prévus pour fonctionner à l'essence plombée. Il convient donc de remplacer soupapes et sièges pour un usage au carburant sans plomb. Tous les véhicules fonctionnant à l'EuroSuper sans plomb peuvent fonctionner au GPL sans aucune conséquence sur le couple soupapes-sièges.

Le calculateur, stratégies entrées/sorties :

Dans une configuration GPL gazeux, seul l'étage "élaborer-distribuer le mélange GPL-AIR" est actif. Le pilotage de l'allumage reste à la charge de l'équipement d'origine.

Les entrées sont du type :

- analogique : pression, débit, régime, lambda ...
- logique "tout ou rien" : commutateur de changement d'état

Elles sont issues de capteurs, transducteurs ou contacteurs et entrent dans un étage de conversion analogique/numérique pour être stockées dans une mémoire de transit.

Les sorties délivrent les ordres issus de l'unité de commande et destinés au pilotage des actionneurs, à l'activation d'étages émulateurs ainsi qu'à la transmission de données à des fins de diagnostic et de maintenance.

Le matériel (hardware) :

Les capteurs et transducteurs sont chargés de capter et de traduire chacune des grandeurs destinées à l'unité de commande.

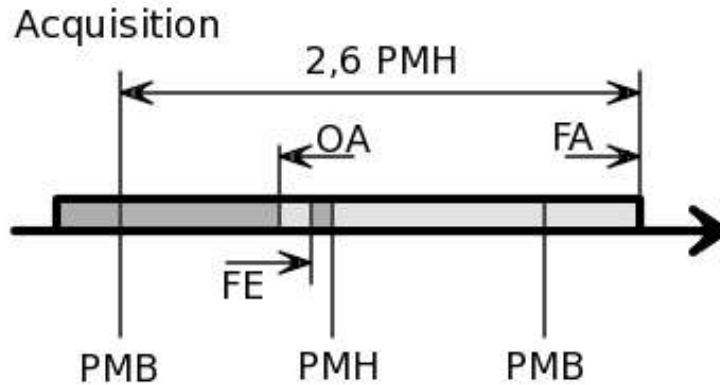
Pression et débit d'air :

La quantité d'air admise dans le moteur est déterminée par mesure directe ou indirecte. La typologie pression/régime (P/N) est celle utilisée dans la plupart des applications GPL.

La stratégie de prédiction de pression compense le retard dû à la dynamique du capteur. La valeur, une fois acquise, n'est exploitée qu'au terme d'une récurrence (x PMH, nombre x de PMH) calibrée par l'unité logique. Cette dernière pilote l'actionneur (injecteurs de GPL) via un ordre de commande, le Temps d'Injection (TI), identifié par le niveau de pression et/ou de x PMH

précédent. Pendant les transitoires, la pression d'admission varie significativement, ce qui conduit à une configuration de fonctionnement où la consigne de commande est inadaptée aux besoins instantanés du moteur.

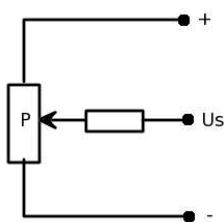
Le dispositif de prédiction évalue les deux phases de fonctionnement en l'associant à la dernière mesure validée, ce qui a pour effet de corriger par compensation le retard lié au système de mesure.



Température :

Les capteurs de température sont de type CTN (Coefficient de Température Négatif). La caractéristique de ce type de sonde est linéarisée par le calculateur. Les basses températures sont connues plus précisément que les températures hautes, ce qui permet de mieux gérer les stratégies de régulation à froid.

Position :



Le potentiomètre de recopie de position du papillon informe le calculateur de l'état de ce dernier : pied levé, pied à fond et transitoire.

Lambda :

Le signal émis par la sonde lambda est la composante fondamentale dans la stratégie de régulation de la richesse¹.

¹ Voir principe de la catalyse p. 19.

Les actionneurs pilotés par le calculateur traitent le débit de GPL.

Les injecteurs ou valves d'injection sont de type mécanique et sont chargés de distribuer le GPL sous forme gazeuse. On les trouve de plus en plus de type électromagnétique. La pression d'alimentation est comprise entre 1 et 2 bars.

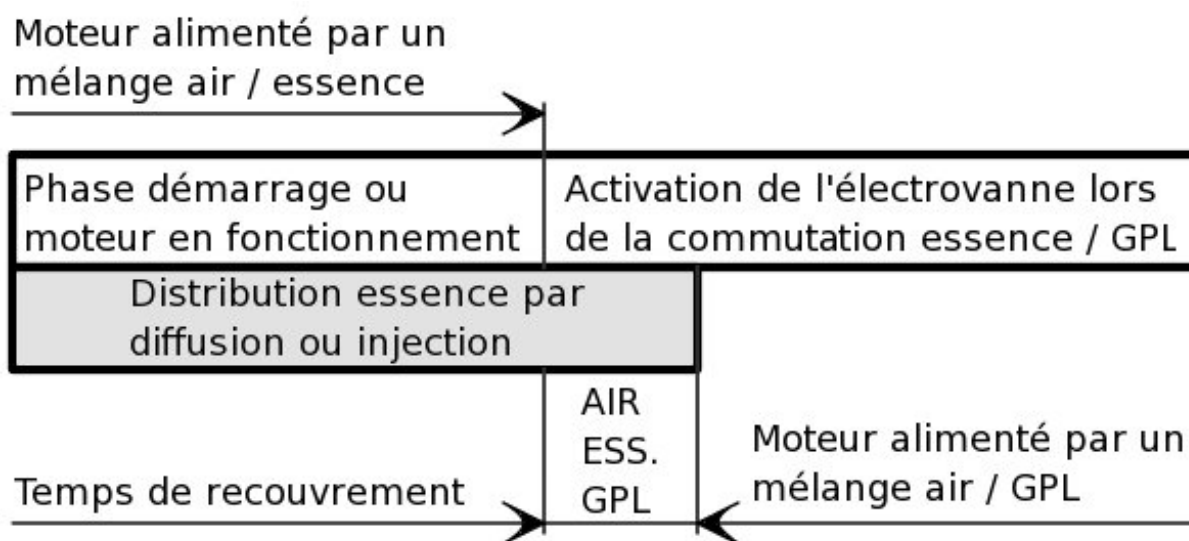
Les injecteurs d'injection en phase liquide sont de type électromagnétique et se caractérisent par :

- la section de calibrage : annulaire, mono-orifice, bi-orifice ou multi-orifices
- le lieu d'entrée du carburant : top feed (entrée axiale), bottom feed (entrée par le nez de l'injecteur) ou side feed (entrée radiale)
- la pression d'injection est de 10 à 16 bars

Le logiciel (software) :

Transit de phase :

Il se définit en termes de temps de recouvrement, soit le temps pendant lequel le moteur est alimenté simultanément en essence et en GPL. Cette disposition est nécessaire à la commutation essence / GPL. La durée de recouvrement est fonction de la température moteur. Une fois le temps de transit écoulé, le signal de commande des injecteurs essence est intercepté par un relais et orienté vers un étage émulateur du calculateur GPL.



Emulation des injecteurs :

L'étage émulateur d'injecteurs a pour mission de remplacer matériellement les injecteurs essence inhibés pendant le fonctionnement GPL. Le calculateur d'injection essence pilote un leurre pendant cette phase.

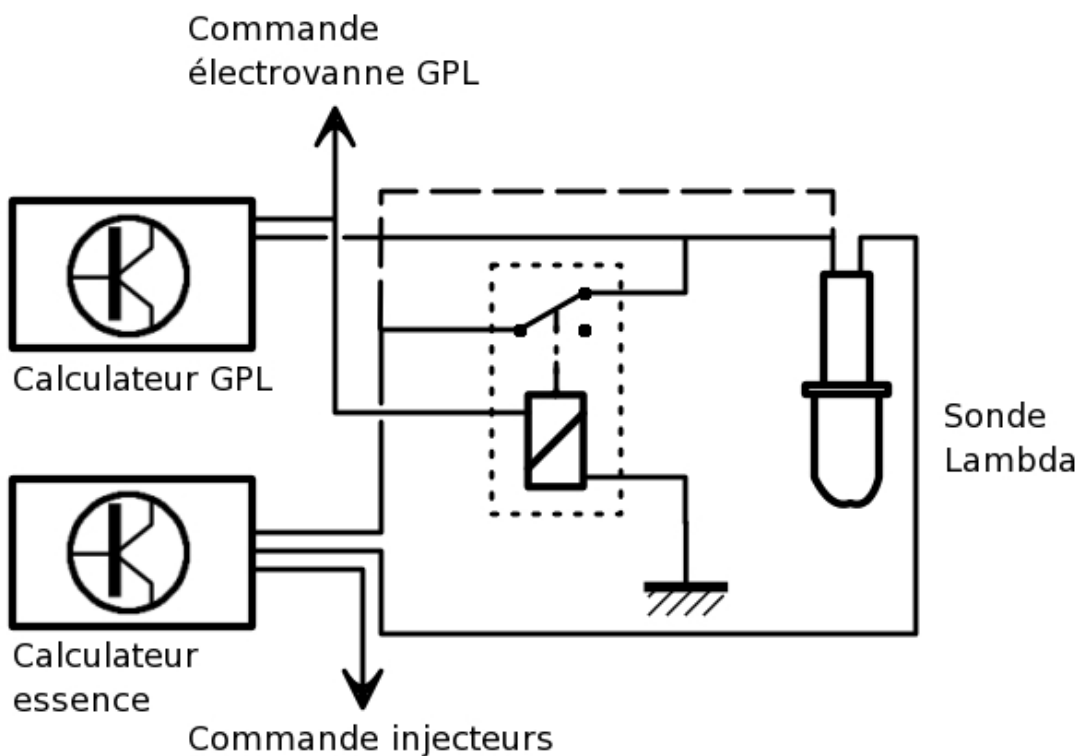
Les simulateurs sont de deux types :

- résistifs : ils sont les plus souvent utilisés sur les systèmes pilotant des injecteurs groupés. Les valeurs de résistances équivalentes sont identiques à celles du groupement d'injecteurs essence.
- inductifs, où le phénomène d'auto-induction caractérise une réponse de l'injecteur reconnue par le calculateur.

Emulation de la sonde lambda :

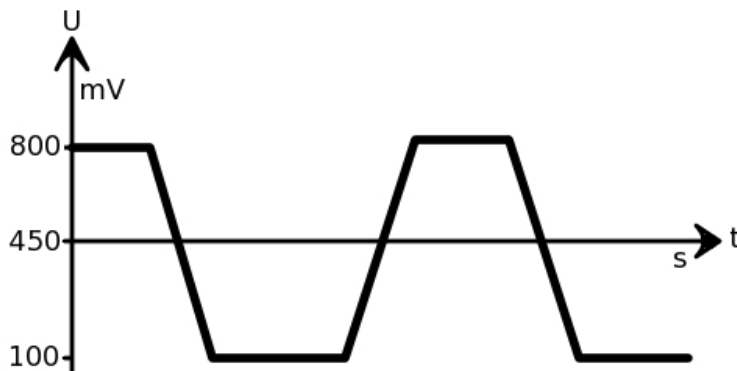
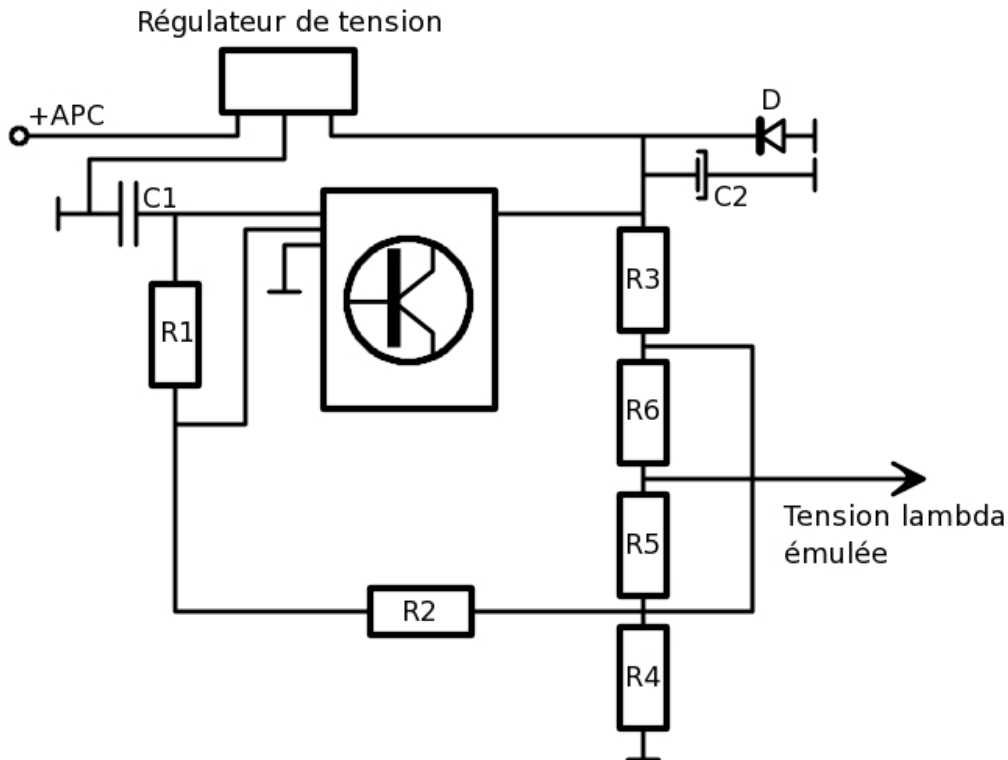
En phase GPL, les niveaux de polluants sont différents de ceux en fonctionnement essence. La sonde lambda placée dans la boucle de rétroaction renvoie donc une information de dosage inadaptée, voire allume le voyant MIL¹. Le dispositif leurre donc le calculateur essence qui reconnaît la sonde en activité et l'empêche de recourir à des stratégies dégradées.

Interruption du signal émis par la sonde lambda au moyen d'un relais



¹ MIL : Malfunction Indicator Light

Étage émulateur de sonde lambda par émulation de signal



Fonctionnement de l'étage d'émulation :

Le circuit R1 C1 a pour fonction de définir une base de temps. Le circuit D C2 est un filtre destiné à l'alimentation via le régulateur de tension. Les potentiels 100mV, 450mV et 800mV destinés à simuler l'activité de la sonde lambda sont fixés par les associations des résistances R3, R4, R5 et R6. La période du signal délivré est modulée en fonction du régime moteur.

Ralenti :

La gestion du ralenti se fait par la maîtrise du débit d'air, en dérivation sur le papillon des gaz, contrôlé par une vanne pilotée. La stratégie de gestion de ralenti s'appuie sur la température moteur, la copie de la position du papillon ainsi que sur la mesure différentielle de la pression d'admission et de

la pression de GPL dans le second étage du vapodétendeur. Les états de boîte de vitesses automatique, de climatisation, de direction assistée, de débit d'alternateur sont pris en compte pour maintenir le ralenti à son régime de consigne.

L'injection de GPL Liquide

Le carburant est stocké dans le réservoir sous forme liquide. Une pompe immergée est destinée à assurer une pression différentielle positive entre la voie d'alimentation et le réservoir, un régulateur de pression y est intégré. Le GPL liquide est acheminé vers des injecteurs électromagnétiques.

Les niveaux de pression en ligne varient de six à vingt bars en fonction de la température. Les informations en provenance des capteurs à l'origine destinés au calculateur essence sont mises à la disposition du calculateur GPL.

L'utilisation d'une injection séquentielle-phasée autorise un contrôle très précis de la richesse.

Le changement d'état endothermique du carburant qui passe de l'état liquide à l'état gazeux dans la voie d'admission augmente le rendement du moteur : le refroidissement de la masse d'air admise optimise son taux de remplissage ce qui entraîne aussi une baisse significative des émissions.

Les gains de performance (puissance et couple) sont directement liés à l'amélioration du remplissage. Ceux associés à la réduction des émissions découlent de la précision du dosage de GPL.

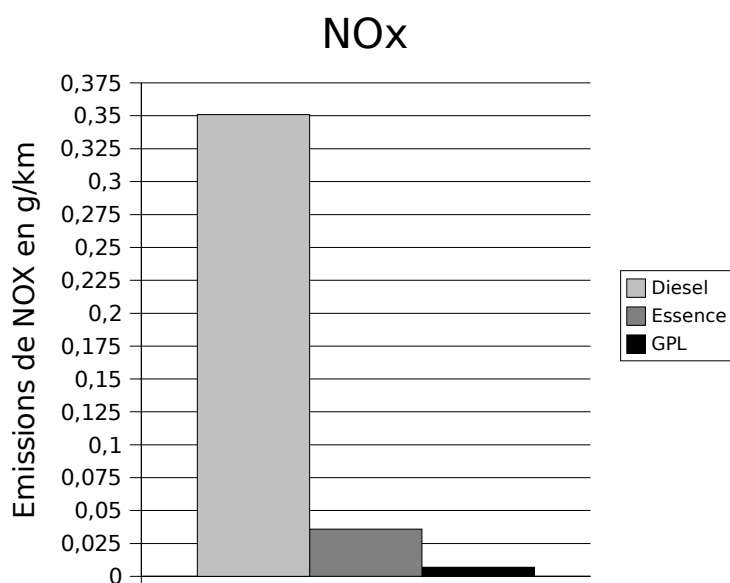
Dans le cas de l'injection monopoint, certains équipementiers élaborent une distribution à deux étages compound :

- un seul injecteur est actif à faible charge.
- les deux injecteurs sont actifs à pleine charge et aux régimes élevés.

Bilan des émissions

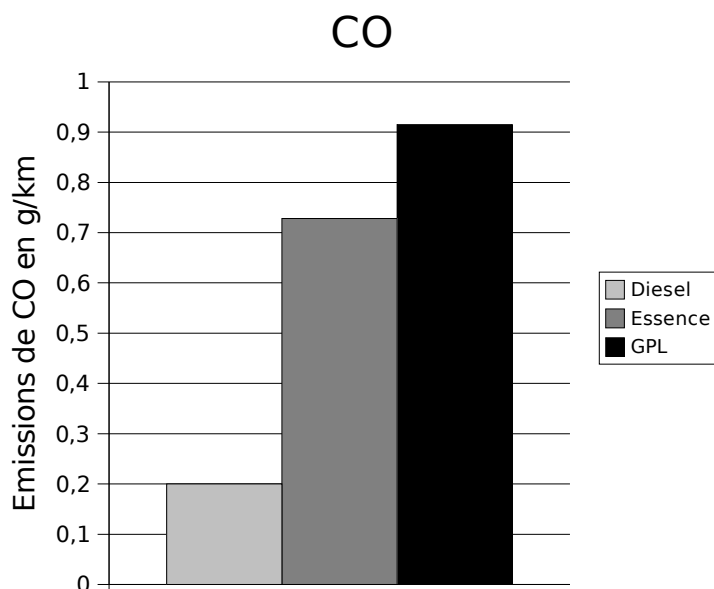
La bicarburant est une solution after-market fiable et efficace pour réduire fortement une certaine partie des émissions de polluants¹.

Polluants réglementés :



Sous cette abréviation sont regroupées deux molécules : le NO, monoxyde d'azote, et le NO₂, dioxyde d'azote. Dans l'atmosphère, les No_x s'associent à l'eau et produisent de l'acide nitrique HNO₃, responsable des pluies acides.

- GPL / Diesel : -95,8 %
- GPL / Ess. : -68 %

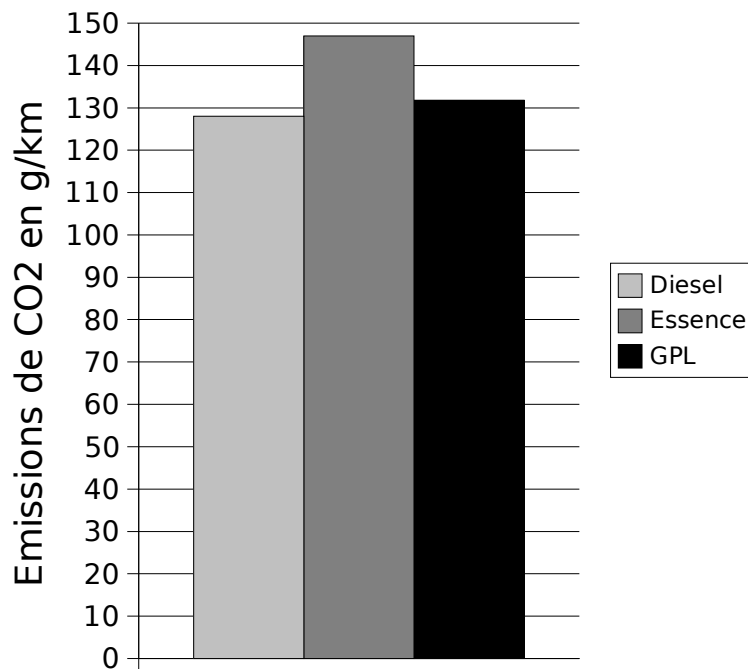


Le monoxyde de carbone est un polluant toxique pour les organismes vivants, responsable d'intoxications mortelles.

- GPL / Diesel : x 5
- GPL / Ess. : + 26 %

¹ Source : Etude EETP (European Emission Test Program) avril 2004

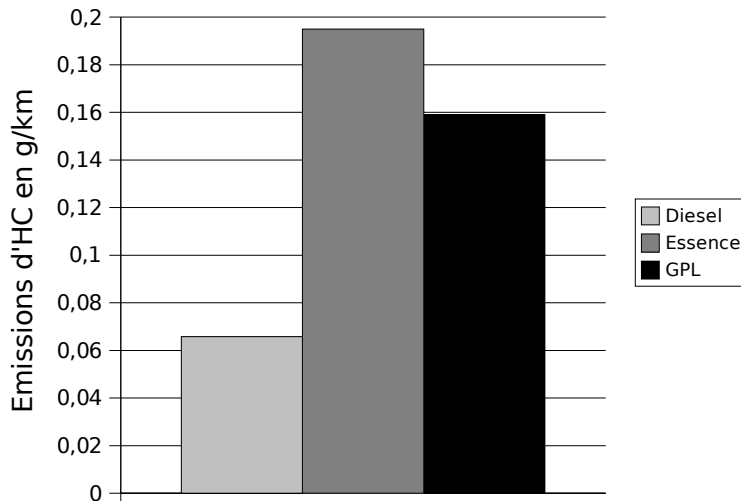
CO2



Les rejets de dioxyde de carbone ne sont pas toxiques en eux-même. Ils favorisent en fait la croissance des plantes. Le dioxyde de carbone en excès est une forme de pollution. C'est un puissant gaz à effet de serre qui agit fortement sur le réchauffement climatique ainsi que sur l'acidification du milieu marin.

- GPL / Diesel : + 6,4 %
- GPL / Ess. : - 11 %

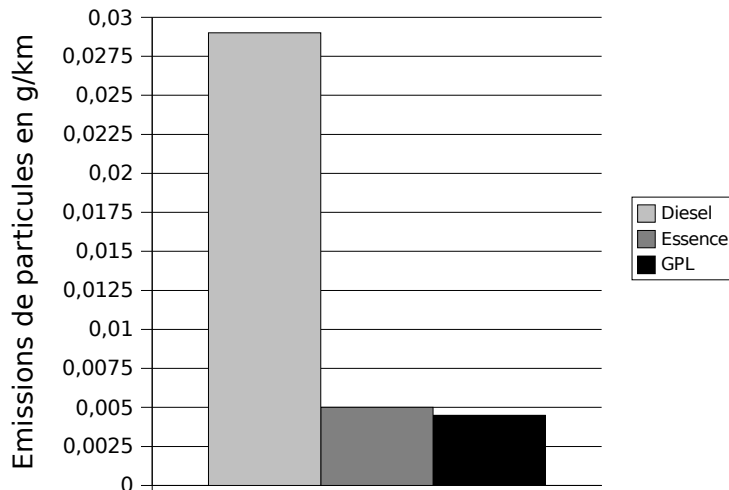
HC



Les hydrocarbures imbrûlés par le moteur en sortent plus chargés en carbone et sont des polluants toxiques qui agissent sur l'effet de serre.

- GPL / Diesel : + 115 %
- GPL / Ess : - 19 %

Particules

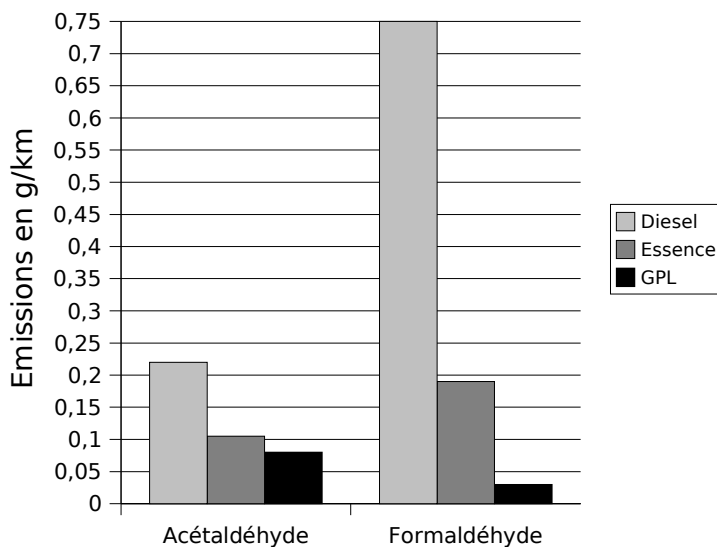


Leur émission est réglementée pour les véhicules diesels. Ce sont majoritairement des suies à base de carbone. C'est un polluant à l'origine de problèmes respiratoires. Il est cancérigène.

- GPL / Diesel : - 99 %
- GPL / Ess. : Non significatif.

Polluants non-réglés :

Acétaldéhyde, Formaldéhyde



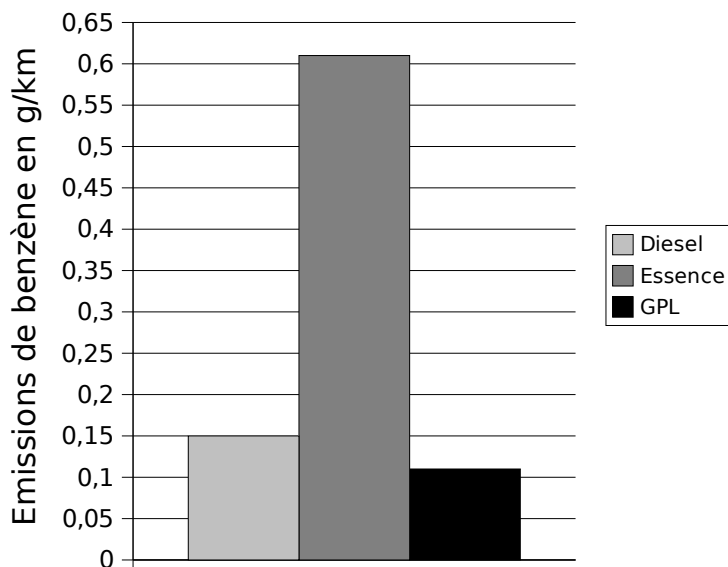
Le formaldéhyde est un polluant toxique et reconnu formellement comme cancérigène par l'Organisation Mondiale de la Santé et par le Centre International de Recherche sur le Cancer. Il est à l'origine de cancers de la cavité buccale, des fosses nasales, des sinus et son implication dans les leucémies est jugée certaine. Il irrite les yeux et les muqueuses, causant conjonctivites, maux de tête et difficultés respiratoires. Le

formaldéhyde entre dans la composition de la plupart des explosifs contemporains.

L'acétaldéhyde est un polluant toxique. C'est un cancérigène. Il a des effets mutagènes et embryotoxiques. Il serait à l'origine de tumeurs de la trachée et de cancers de la gorge. Il entre dans la formulation de "L'agent orange"¹.

¹ Défoliant hautement cancérigène massivement utilisé entre 1961 et 1971 au Viet-Nam par les USA. Sa composition étant très stable, l'Agent Orange continue d'enpoisonner de nos jours sols et populations.

Benzène



C'est un hydrocarbure. Polluant toxique et mortel, il impacte la fertilité des hommes et dégrade la moëlle osseuse. C'est un cancérigène reconnu.

- GPL / Diesel : - 27,7 %
- GPL / Ess. : -82,2 %

Récapitulatif des résultats :

Pour les polluants réglementés :

- Très basse émission de NO_x, 20 à 30 fois plus faible que pour le diesel.
- Particules non mesurables.
- CO et HC, émissions faibles, mais plus élevées que pour les véhicules essence et diesel.

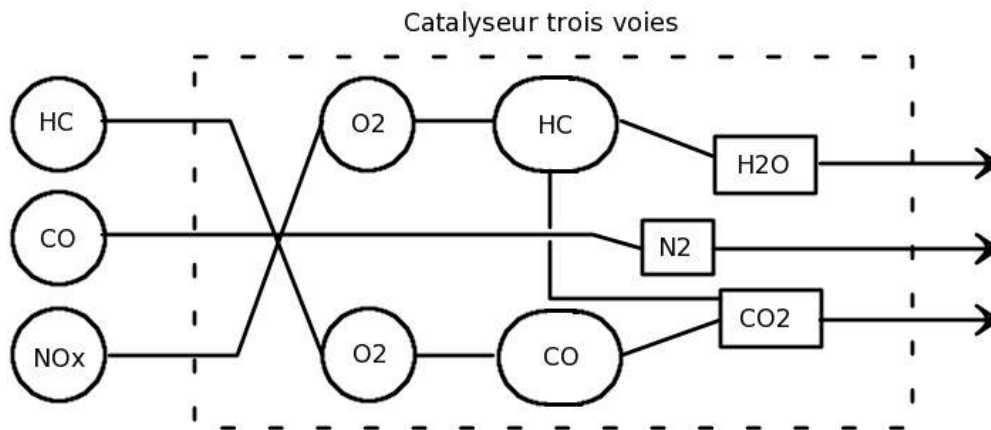
Pour les polluants non-réglémentés :

- Emissions plus faibles de formaldéhyde, acétaldéhyde et benzène.
- CO₂, émissions intermédiaires entre essence et diesel, très proches de celles du diesel.

La catalyse :

La catalyse trois voies conduit à une action curative sur les HC, CO et NO_x dans une configuration de dosage stœchiométrique. Dans une fenêtre de lambda comprise entre 0,99 et 1,01, le rendement du catalyseur est alors compris entre 80 % et 90 %.

Synoptique des étapes de transformation de polluants dans le catalyseur



- Réduction : décomposition des NO_x en O₂ et N
- Oxydation : transformation du CO en CO₂, transformation des HC en CO₂ et H₂O.

Installation d'un kit GPL sur un Renault Grand Scenic 2.0l 16V

Le matériel installé est un kit fabriqué par **topgas** (appellation commerciale "SLY"). La technologie utilisée est l'injection en phase gazeuse séquentielle-phasée.

Le véhicule installé est un Renault Grand Scenic 2.0l 16V neuf, non immatriculé. Le véhicule étant neuf, zéro kilomètre, certains contrôles préliminaires tels qu'une analyse d'huile, un essai routier prolongé, un nettoyage du moteur, une prise des compressions et un diagnostic complet du moteur n'ont pas été nécessaires.

Composé du kit :

- réservoir torique extérieur de quarante deux litres et ses sangles de suspension
- polyvanne avec jauge électronique
- conduites en cuivre
- durits d'eau, de GPL, de dépression
- vapodétendeur
- distributeur
- électrovanne avant, intégrant un filtre en phase liquide
- filtre GPL en phase gazeuse
- capteur de pression différentielle
- calculateur GPL
- commutateur/afficheur de niveau
- faisceaux électriques

Descriptif de l'implantation :

Le remplissage s'effectue par l'orifice à l'extérieur du véhicule, situé sur le bouclier arrière. Le GPL est stocké sous forme liquide dans un réservoir torique suspendu sous le plancher de coffre, à l'arrière du véhicule.

La polyvanne fixée sur le réservoir assure la limitation du remplissage aux 80% imposés, elle contient un clapet anti-retour sur la voie de remplissage. Sont aussi montés sur la polyvanne un émetteur de niveau et une électrovanne de commande de circulation de gaz (l'électrovanne arrière fermée en position repos). La sécurité est assurée par une soupape de sûreté tarée à 27 bars.

En aval de la polyvanne, la circulation de gaz est pilotée par une seconde électrovanne, l'électrovanne avant.

La détente et la régulation de la pression et du débit de gaz sont assurées par un vapodétendeur à deux étages réchauffé par dérivation du circuit de refroidissement du moteur. La dérivation se fait sur les durits aller-retour du radiateur de chauffage d'habitacle, avant le calorstat.

Le GPL à l'état gazeux est ensuite filtré puis est distribué dans les conduits d'admission en amont des soupapes d'admission par un distributeur piloté par le calculateur GPL.

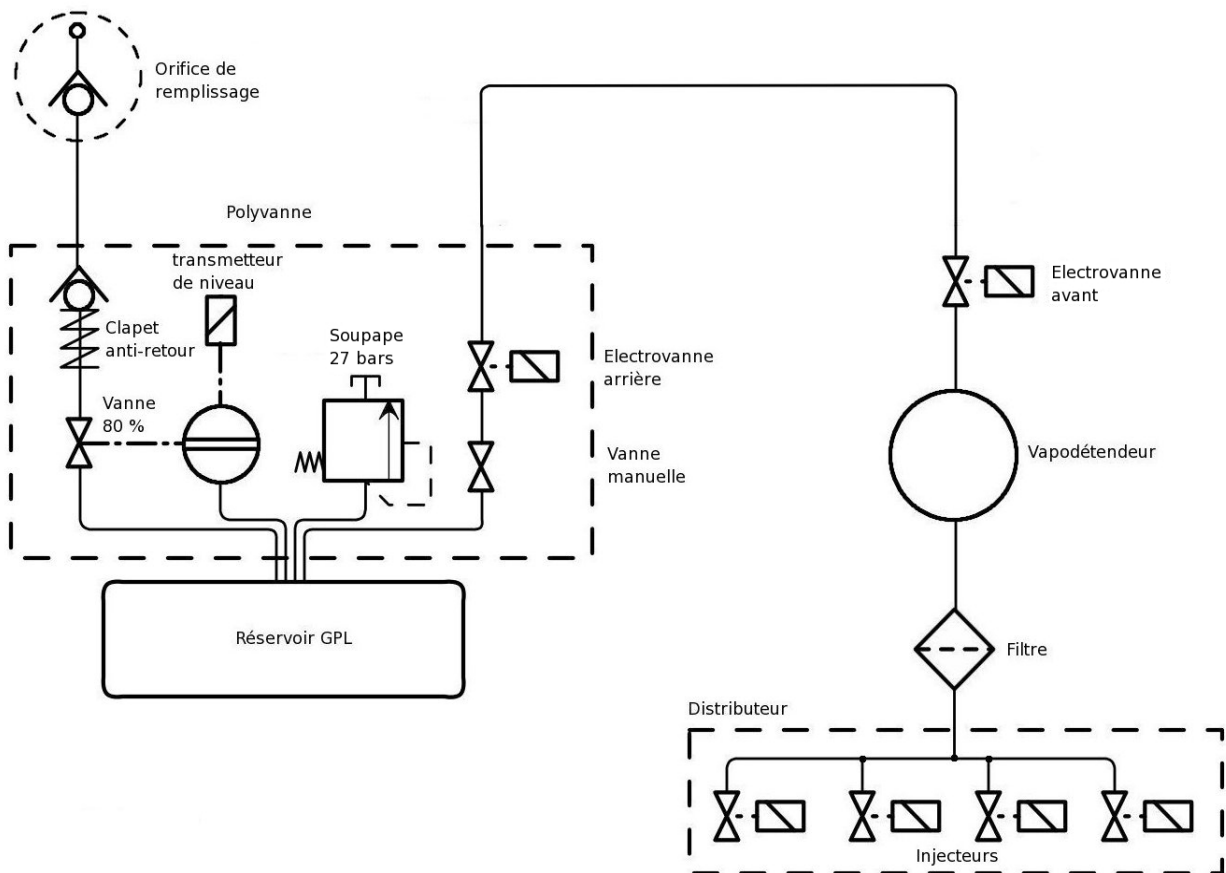


Schéma du circuit gaz

Installation

Le réservoir :

Le coffre doit être déshabillé, puis le réservoir et ses sangles de fixation sont présentés. Les sangles doivent se croiser à 90 degrés¹.

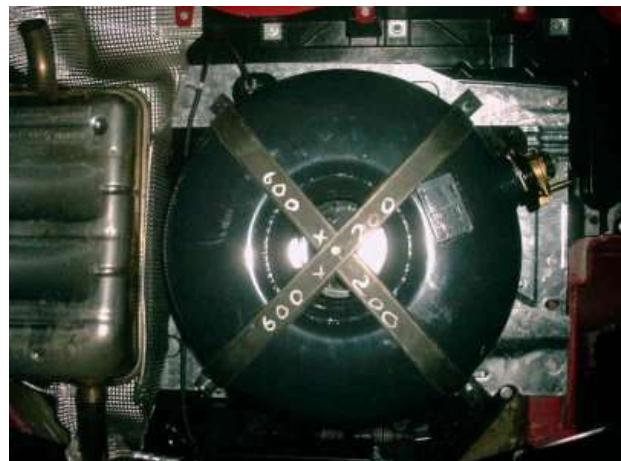
Le plancher de coffre est pointé et percé. Le plancher étant en composites, les tiges filetées de fixation doivent traverser les traverses extérieures en acier et y être boulonnées de chaque côté.



Réservoir en cours de montage ...



... puis monté sous le plancher



¹ Voir en exemple les notes de calcul de fixation de réservoir validées par l'APAVE en annexe 5.

La polyvanne :

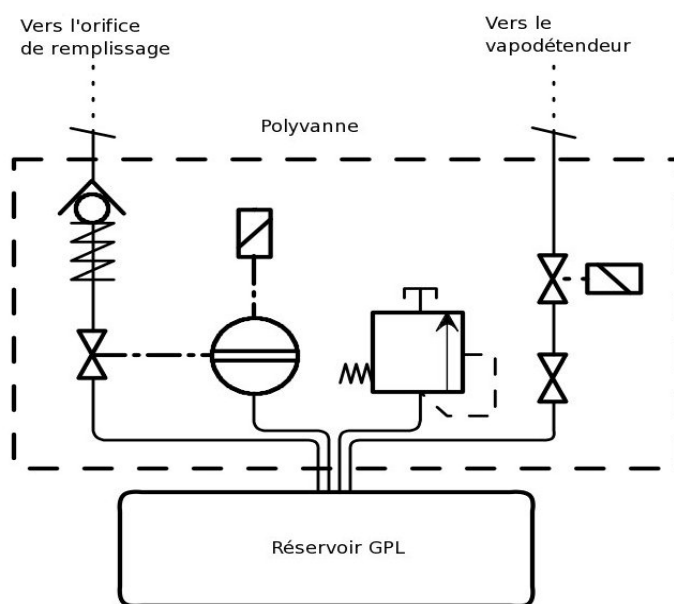
Le réservoir est considéré parallèle au plan horizontal. La limitation de remplissage se faisant par le biais d'un flotteur, l'assiette de la polyvanne est un impératif de sécurité. On installe donc une polyvanne dite "zéro degré", en fait zéro degré par rapport au plan horizontal.

La polyvanne est bridée sur le réservoir par des vis BTR. L'étanchéité se fait par un joint caoutchouc.

Après montage, elle est protégée entièrement par un cache en plastique.



Schéma de fonctionnement de la polyvanne



Le bouchon de remplissage :

Le constructeur a laissé, à côté de l'orifice de remplissage d'essence, un espace suffisant pour installer le remplissage GPL. La platine est percée puis le remplissage GPL est installé. Le remplissage GPL est relié à la polyvanne par une conduite de cuivre sous gaine annelée, fixée à la carrosserie par des colliers acier-caoutchouc. Entre la fixation sur caisse et le remplissage, la conduite de cuivre doit être enroulée sur plusieurs spires (boucle de Nelson) par mesure de sécurité en cas d'arrachement du bouclier.



Le vapodétendeur :

Le vapodétendeur est fixé sur une traverse dans l'aile avant gauche.

Vapodétendeur prêt à monter



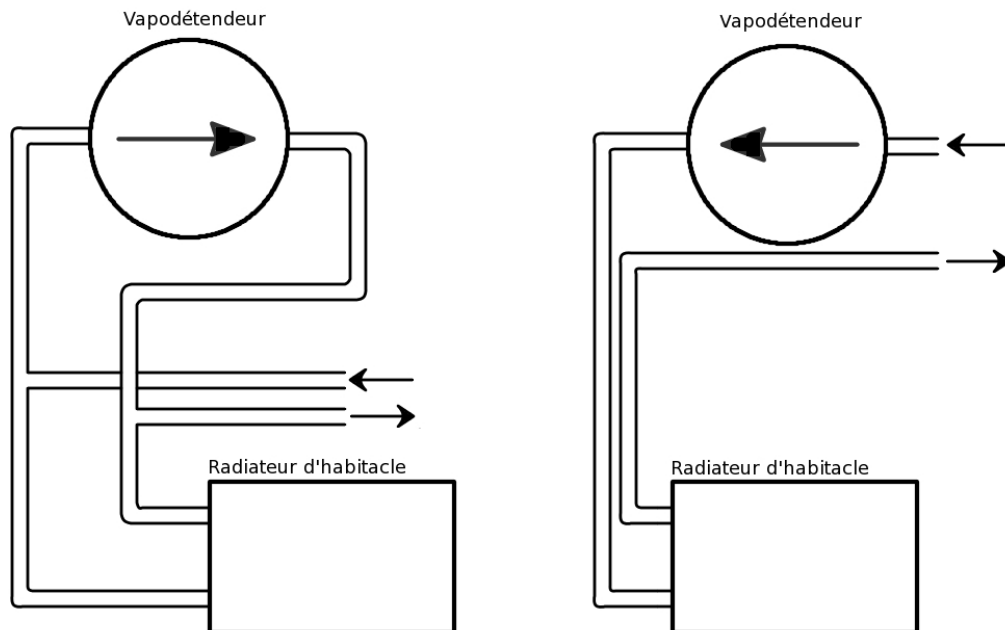
Vapodétendeur en place dans l'aile



Compartiment moteur :

- Déposer la batterie, le bac à batterie, les conduites d'admission d'air, la boîte à air et les résonateurs.
- Sectionner les deux durits du radiateur de chauffage d'habitacle, et dériver le vapodétendeur.

Deux cas possibles pour le réchauffage du vapo-détendeur, parallèle ou série. Dans tous les cas, le piquage doit se faire avant le calorstat.



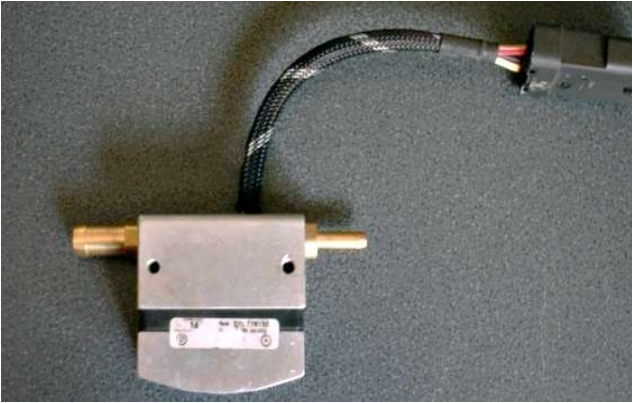
- Passer ensuite le faisceau de commutateur à travers le tablier jusque dans l'habitacle, et implanter le commutateur dans la planche de bord.
- Installer le calculateur dans le bac à batterie.
- Déposer ensuite le cache moteur, le damper avant en fonte d'aluminium, la rampe d'injecteurs et la pipe d'admission.

A l'établi :

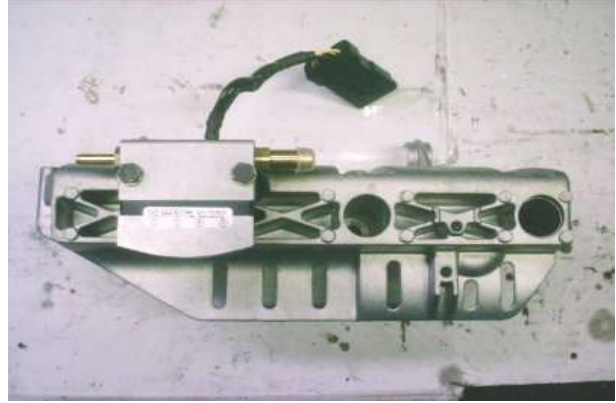
- Percer, et tarauder la pipe d'admission pour y visser les gicleurs GPL. A noter que le constructeur a prévu un emplacement, venu de fonderie, à côté des fûts d'injecteurs propice à l'implantation des gicleurs GPL.
- Percer et tarauder le damper en aluminium et y poser le distributeur GPL.



Le distributeur GPL ...



... le distributeur en place.



Distributeur, gicleurs GPL, pipe d'admission et damper assemblés, prêts à être remontés.



- Installer le filtre GPL sous le bac à batterie, poser le capteur de pression différentielle sur le tablier, poser l'électrovanne avant sur le longeron droit.
- Percer et tarauder la partie de la tubulure d'admission en plastique noir, juste en aval du papillon, et faire le piquage de dépression.

Schéma du piquage de dépression et du circuit du capteur de pression différentielle

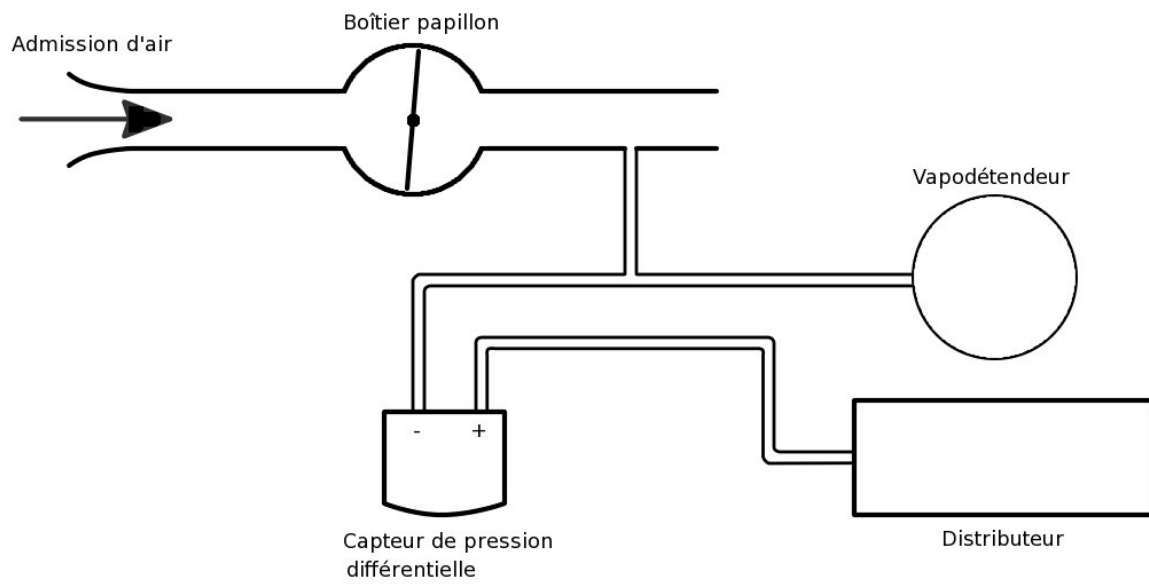
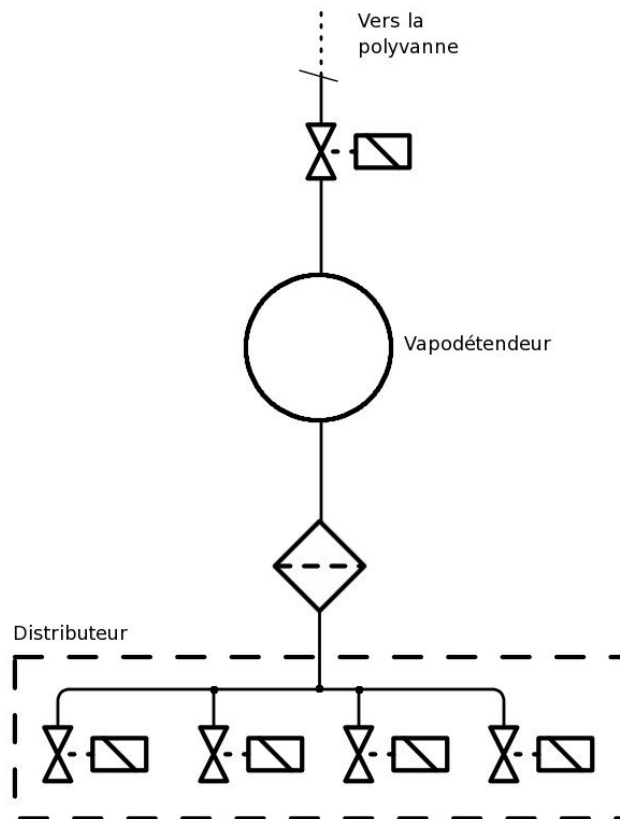


Schéma du circuit de gaz, partie avant



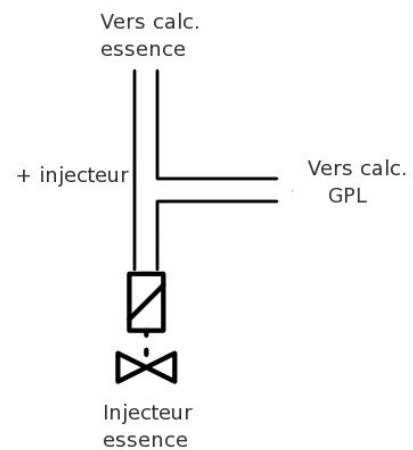
Sous l'auto :

- Passer la conduite de gaz et le faisceau arrière et remonter dans le compartiment moteur.

Connexions et branchements électriques :

- Passer et brancher les faisceaux GPL.
- Passer et brancher le faisceau de coupure injecteur. Le faisceau de coupure injection se branche entre le faisceau d'origine et les injecteurs. En fonctionnement essence, le calculateur GPL est transparent et laisse le calculateur essence piloter les injecteurs essence normalement. En fonctionnement GPL, le calculateur GPL intercepte le signal injecteur essence, le recopie pour établir sa stratégie d'injection, et simule un jeu d'injecteurs. Il leurre ainsi le calculateur essence et évite la remontée de codes défauts.

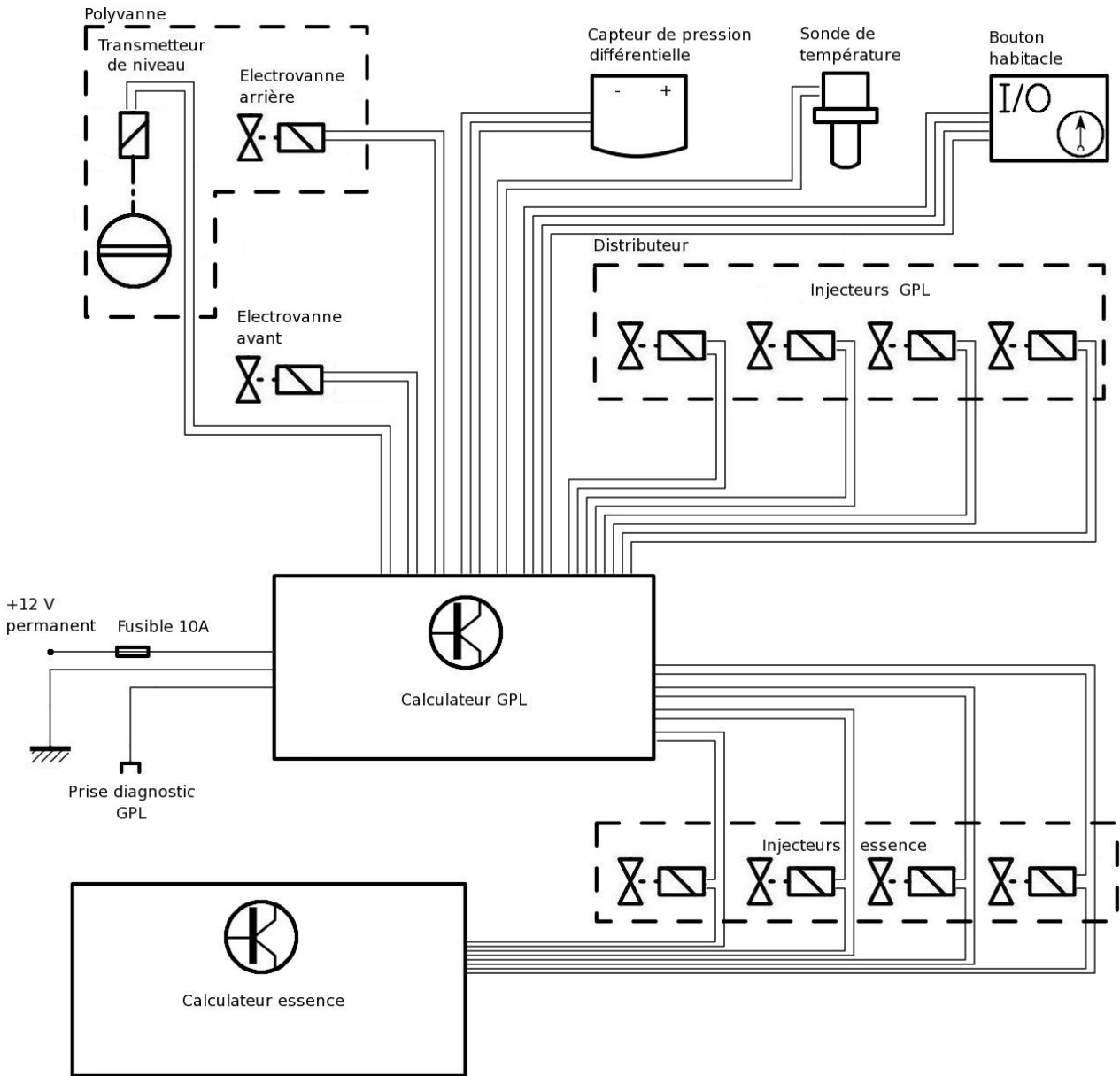
Schéma de principe coupure injection essence



Calculateur GPL



Shéma électrique



Raccordements :

A l'état liquide, le GPL est acheminé de l'orifice de remplissage à la polyvanne, de la polyvanne à l'électrovanne avant et de l'électrovanne avant au vapedétendeur par des conduites en cuivre recuit, gainées. Une seconde gaine, annelée, est ajoutée lorsque la conduite est située dans un endroit sujet aux projections (passage de roue par exemple).

Mise en oeuvre :

La section de cuivre est formée à la main et à l'aide d'outils dédiés : cintreuse, ressorts à cintrer, outils de fabrication locale. La section de cuivre est mise à la côte et coupée au coupe tube. La coupe est débouchée au foret puis ébavurée.

Les raccordements sont à sertissage par olive en laiton. C'est un raccord perdu, il n'est pas remontable. En cas de démontage, l'extrémité de la section doit être coupée pour être de nouveau raccordée. Il est donc judicieux de prévoir une légère surcôte dans la longueur des sections.

Comme le prévoit la note d'homologation, les conduites de cuivre ne doivent pas passer à moins de dix centimètres d'une quelconque partie de l'échappement. Dans le cas contraire, un écran thermique est à installer.

A l'état gazeux, les sections vapedétendeur – filtre, filtre - distributeur et distributeur - gicleurs, ainsi que les sections de prise de dépression pipe d'admission – vapedétendeur – capteur de pression différentielle et capteur de pression différentielle – distributeur, sont des durits souples, homologuées GPL/GNV 67R-01 et de tenue au feu classe M3. Les durits sont serrées par des colliers à vis non ajourés.

Fin de l'installation :

Arrivé à ce stade, les différents organes posés, les raccordements hydrauliques faits et les différents faisceaux électriques installés et connectés, l'installation physique est terminée. Le véhicule est remonté, mis en route et part en essai routier.

Un diagnostic moteur complet est effectué pour s'assurer du bon fonctionnement du véhicule après modification. D'éventuels codes défauts sont notés puis effacés.

L'installation GPL est testée "vide de gaz", puis un remplissage partiel de GPL est effectué.

Une première recherche de fuite est réalisée avec un fluide détecteur de fuite en aérosol. Le véhicule est ensuite commuté au GPL. Une seconde recherche de fuite, en fonctionnement, est faite.

Mise au point :

La mise au point des systèmes "SLY" se fait par informatique grâce à un logiciel dédié. La stratégie d'injection GPL étant basée sur la seule recopie du temps d'injection délivré par le calculateur essence et le calculateur disposant de ses propres capteurs de température et de pression, la mise au point est très simplifiée.

- Connexion du PC de mise au point à la prise diagnostic GPL.
- Connexion d'un outil de diagnostic, en l'occurrence le Bosch KTS, à la prise EOBD du véhicule.
- Mise en place de l'analyseur de gaz.
- Le véhicule fonctionnant en mode essence, acquisition des temps d'injection maxima (pied au plancher).
- Le véhicule est ensuite commuté au GPL. Le temps d'injection GPL est amené au plus près du temps d'injection essence¹.
- La valeur lambda doit être de 1 à l'analyseur de gaz. Son réglage dépend de la pression de gaz et est ajusté sur le vapodétendeur en jouant sur une vis de réglage commandant l'étage secondaire, l'étage de pression de sortie.
- Avec l'outil de diagnostic, contrôler le bon fonctionnement du moteur.

¹ A noter que la valeur temps d'injection donnée par le logiciel de mise au point est une valeur arbitraire, sans unité, propre à ce logiciel, le "Tinj" de 4230 annoncé n'est donc pas une valeur réelle de temps, idem pour la valeur lambda logicielle.



Ici, on obtient le lambda 1 à une pression d'injection de 1594 mbar.

- On calibre ensuite la jauge de niveau de gaz, le délai entre deux commutations successives et la température minimum de commutation.
- Est ensuite définie la plage météo de circulation du véhicule, zone tempérée pour la France.



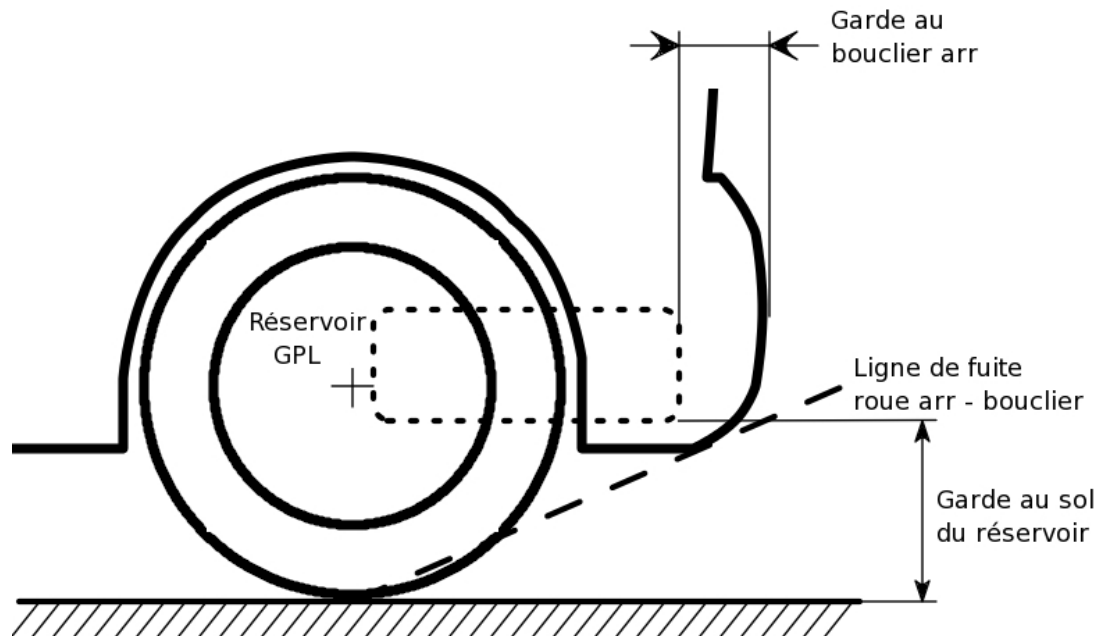
La mise au point est validée, voire affinée lors d'un essai routier final.

Préparation à l'homologation DRIRE :

Sont joints au dossier d'homologation : un bon d'analyse de gaz, à l'essence et au GPL, toutes les références des pièces installées, les fiches d'homologation et d'épreuve du réservoir, le schéma complet et côté de toute l'installation, en précisant avec soin la distance minimum des divers organes avec les frontières extérieures du véhicule et la garde au sol du réservoir. C'est l'occasion de vérifier que toute l'installation est conforme à la procédure DRIRE¹. L'installation est totalement terminée une fois l'emplacement du fusible GPL signalé clairement par une étiquette autocollante portant la mention "fusible GPL" et une fois la plaque de transformation rivetée à la caisse, si possible à côté des plaques ou des frappes constructeur. Dans tous les cas, la plaque de transformation doit être visible sans aucun démontage, d'un cache moteur par exemple.

¹ voir la procédure DRIRE en annexe 1.

Exemple non-côté d'un schéma d'implantation du réservoir faisant apparaître la garde au sol, la garde au bouclier arrière et la ligne de fuite essieu arrière – bas de bouclier que le réservoir ne doit pas engager



Restitution du véhicule :

Les différents caches sont remontés, l'auto déshabillée, nettoyée et restituée au client. Un rendez-vous est pris dans le même temps avec la DRIRE pour homologuer l'installation.

Visite technique Drire :

L'inspection DRIRE est une visite technique où le contrôleur atteste du montage correct et selon la procédure GPL-DRIRE de l'installation, et sanctionne la visite par une fiche d'homologation du véhicule autorisant son immatriculation.

Après l'installation, les entretiens :

Après une période de "rodage" de 2000 km, les membranes en caoutchouc du vapedétendeur maintenant assouplies, le véhicule revient en atelier pour la mise au point finale et pour corriger éventuellement les approximations de la première mise au point. A l'écoute du client, dans le sens où il souhaite soit plus de puissance, soit plus d'économie en consommation, les réglages sont affinés.

Les entretiens suivants sont :

- Tous les 20.000 km, une visite de contrôle général de l'équipement GPL, analyse des émissions, contrôle de la mise au point.
- Tous les 60.000 km, mêmes prestations, plus le remplacement des filtres GPL.

Annexe 1 : extraits de la procédure GPL – DRIRE¹

Procédure PR/CTV/RTI/3.7.1

1. Nature de la réception à titre isolé concernée :

Véhicules dont la source d'énergie a été modifiée par adjonction d'un équipement spécial GPL.

5. Vérifications ou essais particuliers à effectuer :

- Concordance plaque constructeur, numéro dans la série du type et plaque de transformation¹
- Vérification, chaque fois que cela est possible, et sans démontage autre que celui du capot étanche de la polyvanne, des marquages d'homologation des équipements GPL et de leur concordance avec le dossier technique. Tout accessoire tel que le miroir pourra servir à cette vérification.
- Respect du montage correct dit « dans les règles de l'art ». Les recommandations qui suivent ne sont pas exhaustives mais constituent une liste de points techniques pour lesquels la vigilance est de rigueur.
- Prescriptions générales
 - Tout réservoir installé sous le véhicule avec tout ou partie en dessous du plan de fuite (plan joignant les points contact des roues arrières avec le sol et les extrémités basses du pare chocs arrières) devra être muni d'une protection contre les chocs dus au roulement, par exemple mise en place d'une tôle ou d'une grille. Cette protection est obligatoire pour tous les véhicules de type 4X4.
 - De même, en matière de protection contre les mouvements de la charge transportée dans les véhicules destinés au transport de marchandises, le réservoir GPL doit être protégé par un capot de protection lorsqu'il est installé dans la partie réservée au chargement.
 - Pour les véhicules mono-carburant sans système de mobilité réduite, possibilité d'installation d'un raccord d'alimentation de secours (signalisation par étiquette, clapet anti-retour, protection).

¹ Source, DRIRE Créteil

¹ Voir en annexe 2

- Possibilité pour les véhicules de PTAC > 3500kg de raccorder un système de chauffage du compartiment voyageurs à l'équipement GPL, sous réserve qu'il soit suffisamment protégé et qu'il n'affecte pas le bon fonctionnement du moteur. Toute autre utilisation est interdite.

- Autres prescriptions :

- Les équipements GPL, y compris le réservoir, sont concernés par la distance minimale de 100 mm de toute source chaude ou par l'obligation d'une protection thermique.
- Aucun organe autre que le réservoir GPL ne doit faire saillie par rapport à l'arête inférieure du véhicule, et ce dans toute section transversale prise isolément. Cette prescription concerne aussi les canalisations.
- Sont considérés comme source chaude la ligne d'échappement complète et le chauffage autonome éventuel.
- Installation du réservoir :
 - Position dans le véhicule conforme à la note de calcul.
 - La distance minimale entre les accessoires du réservoir, non compris l'orifice de remplissage et le contour extérieur du véhicule, en projection horizontale, est de 0,45m vers l'avant et de 0,35m vers l'arrière et de 0,15m dans les autres directions.

Pour les parois des réservoirs, ces distances sont respectivement ramenées à 0,25m 0,15m et 0,10m. Cette dernière valeur peut être réduite à 0,05m pour les véhicules de PTAC > 3500kg.

- Fixations : il est précisé que les réservoirs ne peuvent être fixés que par des points d'ancrage permanents, s'ils en sont équipés, ou par l'intermédiaire d'un berceau et de sangles. Pour les réservoirs toriques installés sous le plancher, la fixation par sangles rigides autoporteuses dispensera de berceau dans la mesure où l'appui du réservoir contre le plancher est stable. Pour ces mêmes réservoirs, il est précisé que les notes de calculs basées sur une décélération de 30g dans toutes les directions restent valables. Aucun contact métal/métal n'est toléré sauf aux points d'ancrage permanents, isolation intermédiaire dans tous les autres cas. En cas de montage longitudinal, le calcul d'une butée avant ou de tout dispositif de maintien devra être joint à la note.
- Toute découpe de la structure du véhicule est subordonnée à l'accord du constructeur ou de son représentant accrédité.

– Accessoires du réservoir

- Vanne d'isolement télécommandée avec limiteur de débit : présence obligatoire directement sur le réservoir ou intégré à la polyvanne, avec fermeture asservie à l'arrêt du moteur ou à la rupture d'une canalisation de GPL par l'intermédiaire du module de commande électronique.
 - Présence obligatoire des accessoires du réservoir ou de la polyvanne sauf si le réservoir est installé à l'extérieur et si ses accessoires sont protégés de la poussière, de la boue et de l'eau. La sortie de l'évent du capot étanche doit déboucher à l'air libre, être orientée vers le bas et ne doit pas déboucher dans un passage de roue ni à proximité d'une source de chaleur telle que la ligne d'échappement. On veillera à ce qu'aucun obstacle ne vienne obstruer l'évent. La surface de communication avec l'extérieur, 450mm² au minimum, est la surface libre de tout encombrement (sections des tuyauteries contenues déduites). Une note de calcul sur ce point sera demandée si nécessaire.
 - Dispositif de surpression : peut être constitué par la seule soupape de surpression, dont le montage est obligatoire, sous condition de débit minimal ou par une combinaison de la soupape avec un fusible ou tout autre dispositif.
- Tuyauteries rigides et flexibles
 - Toutes les tuyauteries, y compris le cuivre gainé, doivent être munies de manchons protecteurs aux points de fixation et aux points de passage à travers la carrosserie.
 - Elles doivent être fixées de manière à ne pas être soumises à des contraintes mécaniques, les tuyaux rigides autres que les tuyaux non métalliques devant être fixés de manière à ne pas être soumis à des vibrations (boucle de Nelson, vagues sinusoïdales, lyre ...)
 - Le cheminement des tuyauteries à l'intérieur du compartiment à passagers ou à bagages doit être le plus court possible.
 - Les points de levage au cric doivent être évités dans le cheminement des canalisations.
- Raccords à gaz entre les organes de l'équipement GPL :
 - Raccords soudés ou brasés non autorisés, les raccords à compression de type crantés non plus.
 - Nombre de raccords limité au strict minimum
 - Vanne d'arrêt télécommandée :
 - Doit être placée le plus près possible du vapodétendeur. Un autre emplacement n'est possible que s'il existe un système de retour du carburant du vapodétendeur au réservoir.

- Dispositif de remplissage :
 - Installé à l'extérieur (remplissage possible sans ouverture de porte ou de capot), protection obligatoire contre la poussière, la boue et l'eau (bouchon obligatoire même dans la trappe à essence).
 - Dépassement de 10 mm maximum par rapport au contour du véhicule.
 - Le positionnement du dispositif de remplissage du réservoir sur la face arrière du véhicule est interdit, sauf s'il est protégé par le pare choc.

- Système de sélection de carburant et installation électrique :
 - Système de sélection de carburant obligatoire empêchant que le moteur ne puisse à aucun moment être alimenté par plus d'un carburant à la fois.
 - Le câble d'alimentation de l'installation GPL doit être muni d'au moins un fusible indépendant accessible sans aucun outil et dans un endroit repéré.
 - Les câbles électriques doivent être efficacement protégés contre les détériorations.

5.8. Si le réservoir utilisé condamne l'emplacement de la roue de secours, celle-ci devra avoir une nouvelle fixation appropriée, si elle est encore présente.

Annexe 2

Modèle de plaque de transformation
(à fixer à proximité de la plaque constructeur)

La hauteur des caractères sera au minimum de 4mm.

NOM DU TRANSFORMATEUR :

NUMÉRO D'AGRÉMENT DE L'ENTREPRISE :

TYPE ET VERSION :

N° DE LA TRANSFORMATION OU N° DE SÉRIE DU VEHICULE :

MOTIF DE LA RECEPTION À TITRE ISOLÉ : ESS/GPL ou GPL

Annexe 3

Modèle d'autorisation du propriétaire de l'essai des ancrages du réservoir GPL.

Je soussigné,

autorise la société :

à utiliser le PV d'essais n°

réalisé par l'organisme :

pour valider les ancrages du réservoir n° :

installé sur le véhicule de marque : , type :

et n° de série :

Le montage devra être réalisé conformément aux plans joints n°

référencés sous le n°

Fait à , le

Signature et cachet
nom et qualité

Annexe 4

Modèle de rapport de contrôle de conformité

0. VÉHICULE :

Genre :

Marque :

Type :

N° d'identification :

Date de 1er mise en circulation :

Immatriculation à l'étranger :

Date de la visite du contrôle :

1. INSTALLATION GPL :

N° d'homologation des équipements :

Accessoires fixés sur le réservoir

- limiteur de remplissage à 80% : E - 67 R – 01 ...
- jauge de niveau : E - 67 R – 01 ...
- vanne d'isolement télécommandée avec limiteur de débit : E - 67 R – 01 ...
- soupape de surpression : E - 67 R – 01 ...
- dispositif de surpression : E - 67 R – 01 ...
- boîtier d'étanchéité : E - 67 R – 01 ...
- pompe à GPL : E - 67 R – 01 ...
- soupape antiretour : E - 67 R – 01 ...

Autres

- raccord de remplissage : E - 67 R – 01 ...
- vapodétendeur : E - 67 R – 01 ...
- vanne d'arrêt télécommandée : E - 67 R – 01 ...
- module de commande électronique : E - 67 R – 01 ...

Annexe 5

Exemple de note de calcul de vérification de dimensionnement des fixations et support de réservoir GPL.¹

Caractéristiques du réservoir :

$M_{\text{vide}} : 34 \text{ kg}$	diamètre = 650 mm
Capacité $V = 72 \text{ litres}$	$h = 270 \text{ mm}$
$d_{\text{gaz}} = 0,568 \text{ kg/litres}$	Remplissage à 85 %

Chargement :

Accélération : 30g (soit $30 \cdot 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Données :

Fixation de type 1, INT/INT (placée dans le logement de la roue de secours) avec deux boulons centraux.

- Tige filetée de maintien du réservoir dans le logement de la roue de secours ;
 - nombre : 2
 - matière : classe 5.6 (NF EN 20898), avec $R_c = 300 \text{ N/mm}^2$
 - diamètre : M10
 - section : 52.3 mm^2
- Tôle plancher :
 - résistance au cisaillement : $R_c = 215 \text{ N/mm}^2$
 - épaisseur : $e_p = 0,5 \text{ mm}$
- Contre-plaques d'appuis :
 - matière : E24 (NF A 35-501) ou S235 (NF EN 10025), soit $R_c 235 \text{ N/mm}^2$
 - épaisseur : 3 mm
 - périmètre installé : plaque rectangulaire 350 sur 350 = 1400 mm ou rondelle de diamètre 50 mm = 314 mm

¹ Source APAVE

Détail de la justification :

- Effort total :

horizontal : $F_{HT} = (M_{vide} + 0,85 \cdot d_{gaz} \cdot V) \cdot 30 \cdot g = 20273 \text{ N}$

vertical : $F_{VT} = F_{HT} \cdot \frac{h/2}{D/2} = 8422 \text{ N}$

- Effort horizontal par tige :

$$F = \frac{F_{HT}}{2} = 10136,5 \text{ N}$$

- Boulonnerie de fixation plancher :

cisaillement : $S_{mini} = \frac{C \cdot F}{R_e} = 50,6 \text{ mm}^2 < S_{installée} \text{ (avec } C = 1,5)$

traction : $S_{mini} = \frac{0,5 \cdot C \cdot F_{VT}}{R_e} = 21,1 \text{ mm}^2 < S_{installée} \text{ (avec } C = 1,5)$

- Plancher logement :

Les sollicitations horizontales sont reprises par le logement de la roue de secours, en considérant une surface de contact formant un angle de 20° autour de l'axe vertical et sur le quart inférieur du réservoir.

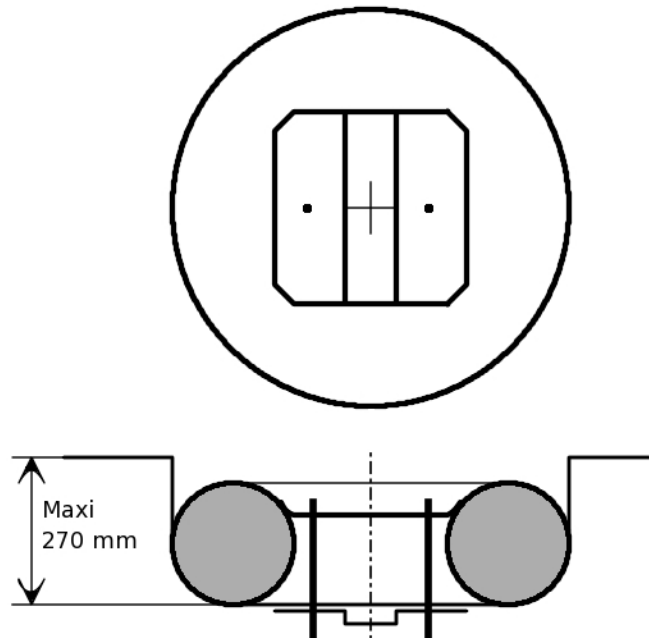
$$= \frac{18 \cdot F_{HT}}{2 \cdot D \cdot e_p} = 113,8 \text{ N:mm}^2 < R_c$$

- Cisaillement plancher par contre-plaque :

$$\text{Périmètre}_{mini} = \frac{C \cdot F_{VT}}{2 \cdot e_p \cdot R_c} = 282 \text{ mm} < \text{Périmètre}_{installée}$$

Ancrages des réservoirs toriques :

Toutes dimensions jusqu'à 72 litres, poids maximal 34 Kg
Montage type 1 INT/INT, dans le logement de la roue de secours
avec 2 boulons centraux



Tiges filetées :

tiges filetées : classe 5.6

nombre et position : 2, centrale

diamètre : 10 mm

Tôle du logement :

résistance minimum au cisaillement : 215 N/mm²

épaisseur : 0,5 mm

Plaque d'appui intermédiaire :

acier E24-2, 350 x 350, épaisseur 2mm

ou rondelles d'appui acier E24-2, diamètre 50mm, épaisseur 3mm, nombre : 2

hauteur maximale du réservoir installé : 270 mm

Bibliographie, webographie.

- GPL Technologie et systèmes, Daniel Rouche, ETAI 2003
 - Gestion du moteur à essence, Cahier jaune Bosch 2001
 - GPL, doc. Direction des services après vente
 - Fond documentaire Necam Koltec
 - Fond documentaire DRIRE
 - Fond documentaire APAVE
-
- www.wikipedia.org L'encyclopédie libre
 - www.cfbp.fr Comité Français du Butane et du Propane
 - www.legifrance.gouv.fr Le service public de l'accès au droit