

I. Introduction

L'énergie est un bien essentiel dans la vie quotidienne des êtres humains et est souvent l'objet des conflits dans différentes régions du monde. Aujourd'hui et particulièrement depuis les crises pétrolières des années 70, les gaz de pétrole liquéfiés (GPL) sont devenus une source importante d'énergie.

En raison de ses avantages économiques et écologiques, ils deviennent de plus en plus attractifs pour beaucoup de pays et ils sont considérés comme l'énergie fossile la plus propre et la plus écologique. Actuellement, ils représentent la 3ème source d'énergie fossile utilisée après le pétrole et le gaz naturel.

L'utilisation de combustibles gazeux en automobile est liée à la maîtrise des processus de distribution du carburant via la voie d'admission. À l'optimisation des systèmes de contrôle moteur traditionnels succédera le temps du gaz naturel en amont des développements hybrides.

Le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) est un produit stratégique dans l'économie algérienne.

En effet, avec une production de près de 10 millions de tonnes par an, l'Algérie occupe une position importante dans le marché mondial du GPL (production, transport et commercialisation).

L'Algérie a adopté une stratégie énergétique reposant sur la promotion des énergies propres et renouvelables.

NAFTAL opérateur historique dans le domaine de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers, s'est vu confier la mission de commercialiser et de distribuer le GPL/C en Algérie.

I. 1. Historique :

1921 Le GPL/c apparaît pour la première fois aux États-Unis d'Amérique, Dans l'état du Michigan sur une flotte de camions transporteurs.

1969 La législation française autorise le propane comme carburant. Uniquement pour les chariots élévateurs et les petits engins destinés

Au transport de marchandises n'excédant pas deux mètres de longueur. Interdiction pour ceux-ci d'emprunter le réseau routier ou d'évoluer en agglomération.

1978 Volvo développe un moteur fonctionnant au gaz de pétrole liquéfié et en équipe un break 245 qui sera testé durant 10 000 km. Le projet est abandonné au fil d'une étude sur le méthanol.

1978 Le GPL/c est autorisé en France, en mono-carburant uniquement. Mercedes-Benz annonce la fabrication d'une turbine à gaz développant 115 ch, consommant entre 8,3 et 10 litres suivant le cycle de marche.

1980 Renault s'engage dans le développement de véhicules GPL avec la R4 Fourgonnette et la R5 Société.

1985 Le GPL/c est autorisé en France en bicarburant. Son prix est aligné sur celui du gazole.

1987 590 000 véhicules roulant au GPL/c sont recensés au Pays-Bas, dont 130 000 camions.

1988 1380 stations-services distribuent du GPL/c en France sur le réseau routier et autoroutier.

1989 À Tokyo, la flotte de taxis utilisant le GPL/c en bicarburant atteint 250 000 véhicules.

1994 1 100 000 véhicules roulant au GPL/c sont recensés en Italie.

1995 En France, le parc automobile GPL/c atteint à peine 30 000 unités, représenté essentiellement par des flottes de sociétés. Le nombre de stations-services distribuant du GPL/c tombe à 700.

1996 Au mois de janvier, le gouvernement français allège la fiscalisation du GPLc. Le litre passe de 4,70 F à 2,55 F. Renault propose pour la première fois à son catalogue, deux modèles : une Clio 1,2 l et un Express 1,4 l.

Dans le même temps, un projet de loi sur l'air prévoit de nombreux Avantages fiscaux liés à ce nouveau carburant (exonération de la vignette et de la carte grise).[1]

I. 2. Généralité sur Gaz Naturel et le GPL/c

I. 2.1. Définition :

Le **gaz de pétrole liquéfié**, abrégé en **GPL** est un mélange d'hydrocarbures légers, stocké à l'état liquide et issu du raffinage du pétrole pour 40 % et de traitement du gaz naturel pour 60 %¹. Les hydrocarbures constituant le GPL, dans son appellation officielle, sont essentiellement le propane et le butane ; le mélange peut contenir jusqu'à 0,5 % d'autres hydrocarbures légers tels que le butadiène

Le gaz naturel est plus léger que l'air alors que le GPL est plus lourd. Le gaz naturel est stocké à l'état gazeux, le GPL est stocké dans le réservoir à l'état liquide. La température d'auto-inflammation est de 420°C pour le GPL (225°C pour l'essence) et 540° C pour le gaz naturel.

GAZ NATUREL et BIOGAZ(chimiquement identique au gaz naturel, issu de la décomposition de Matériaux ou de déchets organiques) sont des carburants de substitution qui assurent des niveaux D'émissions bien moindres que les essences ou le gazole.

MÉTHANOL et ÉTHANOL sont produits à partir de matières premières biologiques.

Les huiles végétales telles que l'huile de colza sont à la base du " gazole biologique " connu sous le nom de métylester de colza ou RME.

Le **diméthylène** ou **DME** est un gaz à l'état libre ; liquéfié sous faible pression il devient un gazole dont les émissions nocives sont très faibles comparativement au gazole issu du raffinage ou à l'alcool.[1]

I. 2.2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES :

Le gaz de pétrole liquéfié utilisé comme carburant (GPL/c) est un hydrocarbure composé de Propane **C₃H₈** et de butane **C₄H₁₀** comprimé (les gaz de pétrole liquéfiés sont issus des coupes les plus légères lors de la distillation du pétrole).

Le gaz naturel véhicule GNV (méthane CH₄) provient de matières fossiles ; il est extrait de gisements souterrains.

Le faible niveau d'émissions, en termes de pollution, d'un moteur thermique alimenté par un mélange.

AIR-GAZ est un des facteurs de développement potentiel de cette technologie. Les pertes par Évaporation de carburant au niveau du réservoir sont nulles (circuit étanche).

L'utilisation du GPL/c n'entraîne ni dilution du fluide lubrifiant, ni encrassement par dépôts de calamine (Gommage de segmentation inhibé et absence de corrosion, lubrification du haut cylindre optimisée).[1]

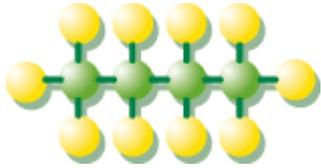
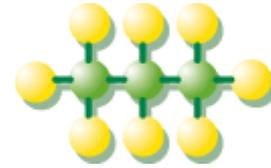
I. 2. 2.1. Provenance :

Les Gaz de Pétrole Liquéfiés proviennent :

- Des champs de gaz naturel, pour plus de 60 %
Les champs de gaz naturel sont composés à 90 % de méthane (CH₄). Les 10 % restants se répartissent entre 5 % de propane (C₃H₈) et 5 % d'autres gaz dont le butane (C₄H₁₀). Le pétrole brut contient aussi, en sortie de puits, des fractions souvent importantes de gaz associés dissous, parmi lesquels des GPL. Les pourcentages de GPL contenus dans le brut et le gaz naturel sont extrêmement variables d'un gisement à un autre.
Le gaz naturel, dont la production a très fortement augmenté depuis plus d'une décennie, est devenu la première source de fourniture de GPL avec plus de 60 % des volumes produits dans le monde.
- Des raffineries de pétrole, pour moins de 40 %
Lors du raffinage du pétrole brut, les GPL sont séparés en partie supérieure des colonnes de distillation, au cours des opérations « primaires ». Des volumes supplémentaires sont également récupérés au cours d'opérations de traitements « secondaires ».
Les GPL représentent entre 2 et 3 % de l'ensemble des produits obtenus. Selon sa provenance, une tonne de pétrole brut traitée donne 20 à 30 kg de GPL.[2]

I. 2.2.2. Composition :

Les GPL sont des hydrocarbures saturés dont les molécules sont composées d'atomes d'hydrogène et de carbone.

BUTANE C₄ H₁₀PROPANE C₃ H₈

Les gaz de pétrole liquéfiés sont des hydrocarbures composés majoritairement de coupes en C3 et C4, le butane et le propane étant les principaux composants. Ces produits, gazeux dans les conditions normales de température et de pression, peuvent être facilement liquéfiés, rendant aussi leur manipulation et leur transport très aisés.

	Point d'ébullition (°C)	Masse volumique du liquide (kg/m ³) à 15°C	Masse volumique du gaz (kg/m ³) à 15°C
Butane	0	585	2,50
Propane	-44	515	1,85

- 1 litre de butane liquide libère 239 litres de gaz (15 °C - 1 bar)
- 1 litre de propane liquide libère 311 litres de gaz (15 °C - 1 bar)
- Ces caractéristiques physiques confèrent à cette énergie un avantage certain du point de vue du stockage et du transport.[2]

I. 2.2.3. Température d'ébullition et tension de vapeur :

Gazeux à température normale (15°C) et à la pression atmosphérique (1013 mbar), les GPL sont liquéfiables sous faible pression :

- 1,7 Bara pour le butane (Bara : bar absolu)
- 7 Bara pour le propane.

Leur température d'ébullition est de :

- 0°C pour le butane,
- - 44°C pour le propane,
- - 25°C pour le GPL carburant.[2]

I. 2.2.4. Données de sécurité des produits :

La combustion des GPL n'est possible que si le mélange gaz-air se situe entre 2 et 10 %.

A titre de comparaison :

- Hydrogène 4 et 75 %.
- Acétylène 2,5 et 80 %.
- Gaz naturel 5 et 15 %.

Conséquences pratiques :

La comparaison avec ces autres gaz fait apparaître une plage très restreinte pour les GPL, ce qui représente un avantage sur le plan de la sécurité.

Les données de sécurité pour le butane, le propane et le GPL carburant sont inscrites dans des fiches de données sécurité.(*)

Ces fiches contiennent des informations sur :

- les caractéristiques et propriétés des produits,
- les précautions à prendre pour leur utilisation, leur transport et leur manipulation,
- les mesures à prendre en cas de dispersion ou d'incendie.[2]

I. 2.3. Les avantages GPL/C:

- En dépit de ses caractéristiques, le GPL/C présente les avantages suivants1 :
- La pureté et la propreté ; les GPL/C sont exempts de soufre et de plomb, ce qui réduit les risques de pollution et de corrosion lors de leur combustion.
- Le stockage et le transport en phase liquide des GPL/C sont possibles dans des réservoirs fixes alimentés par des camions citernes.
- Pollution plus faible (CO/7 par rapport à l'essence et /2,5 par rapport au gasoil ; NOx/4 par rapport à l'essence et /10 par rapport au gasoil ; HC/3,5 par rapport à l'essence et /2 par rapport au gasoil).
- Economie sur l'achat du carburant.
- Espacement des vidanges (double le kilométrage), ce qui n'est pas négligeable puisque l'huile est aussi un produit pétrolier.
- Conduite plus souple (couple moteur disponible à plus bas régime).
- L'utilisation du GPL réduit l'usure du moteur: c'est-à-dire ni encrassement, ni dépôt de calamine dans le moteur.

I.2. 4. Liquéfaction

Les gaz de pétrole liquéfiés utilisés comme carburant sont des hydrocarbures qui peuvent être aisément condensés en phase liquide sous une pression limitée (la liquéfaction du carburant GPL/c et GNV est obtenue par compression et/ou refroidissement) ; elle est nécessaire pour assurer le stockage d'une quantité suffisante de carburant GAZ (autonomie) dans le réservoir d'un véhicule automobile.

Liquéfaction du propane
par pressurisation à 20°C

Liquéfaction par décrémentation
(diminution) de la température

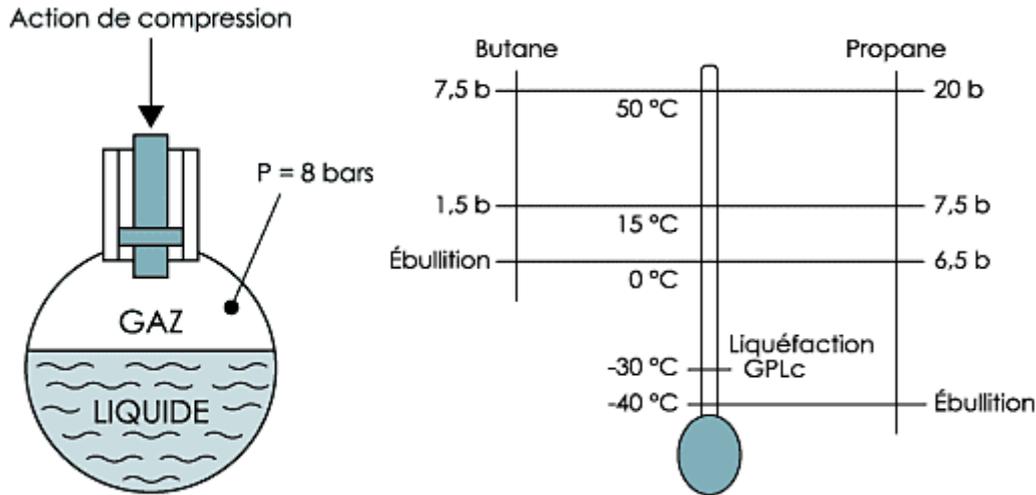


Figure I.1 : Liquéfaction du propane.

La norme EN 589 préconise une pression de 2,5 bars à - 10 °C.

Le GPLc se liquéfie à une température de - 30 °C ; son comportement est relativement proche de celui du propane.

Le taux d'inflammabilité du propane (indice d'octane 104 à 110) est de 2,4 % à 9,6 % dans l'air, sa Température d'auto-inflammation de 855 °F (457 °C).

$$^{\circ}\text{C} = [(\text{°F} - 32)(5/9)][1]$$

I. 2.5. Dilatation

La **dilatation du GPL/c** est de 0,25 % par degré Celsius, d'où l'impératif de n'autoriser le remplissage du réservoir de carburant qu'en deçà de 80 à 85 % de son volume (dispositif limiteur).

À 15 °C et sous une pression de 1 013 mb :

- une masse de 1 kg de GPL/c à l'état liquide occupe un volume de 1,8 dm³ ;
- un volume de 1 dm³ de GPL/c à l'état liquide a pour équivalent un volume de 242 dm³ de GPL/c gazeux.[1]

I. 2.6. Emissions

La combustion de GPL/c est associée à celle de tout autre hydrocarbure ; elle est à l'origine d'émissions de polluants considérablement diminuées comparativement à celles générées dans le cas du fonctionnement d'un moteur thermique alimenté par un mélange AIR-ESSENCE.

Il est à noter que le carburant GPL/c (inodore et incolore) ne contient ni plomb, ni benzène, et que la teneur en soufre (longévité de la ligne d'échappement) est très nettement inférieure à celle de la carburante essence.[1]

I. 2.6.1. Mesures comparatives d'émissions de CO, HC, NOx

La difficulté d'assurer un mélange idéalement dosé est plus difficilement maîtrisée dans le cas du GPL/c : inertie de la masse gazeuse, répartition des parts propane-butane, lieu du dispositif de distribution du carburant à l'admission, configuration bicarburation...

L'équation de combustion détermine le dosage pour lequel la transformation est complète.

I. 2.6.2. Équation de combustion du GPL/c

Butane (50 %) + Propane (50 %) + Air Combustion Échappement

$C_3H_8 + C_4H_{10} + x(O_2 + 3,76 N_2)$ Combustion $x CO_2 + x H_2O + x N_2$

$C_3H_8 + C_4H_{10} + 23/2 (O_2 + 3,76 N_2)$ Combustion $7 CO_2 + 9 H_2O + N_2$

Ce qui nous donne un rapport stœchiométrique de 1 gramme de GPL/c pour 15,47 grammes d'air.[2]

I. 2.6.3. Analyse de gaz :

Régime tr/min 750 Essence GPL/c

% volume de CO₂ 0,04 0,08

% volume de CO 14,6 13,2

Hc ppm 8 12

% volume d'O₂ 0,9 0,6

Lambda 1,04

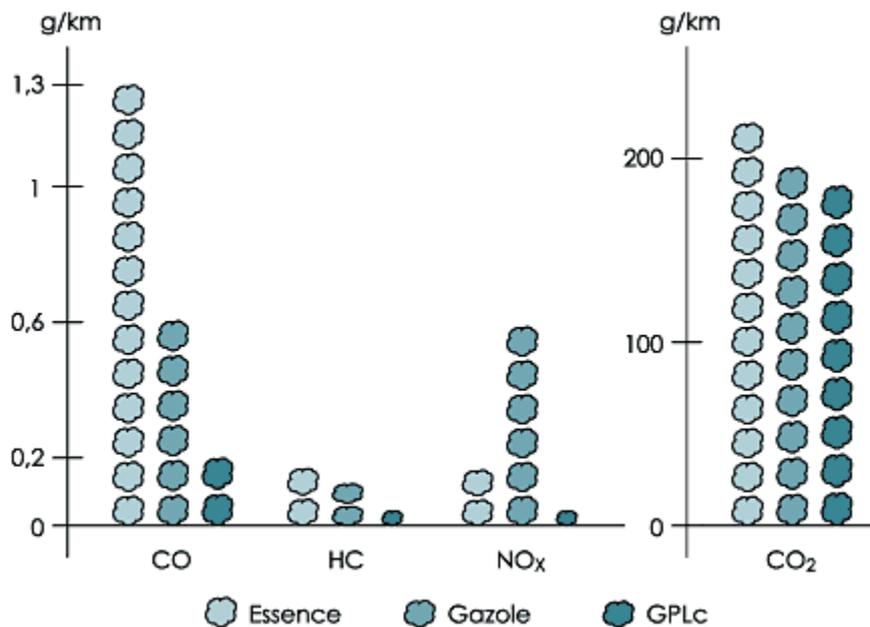


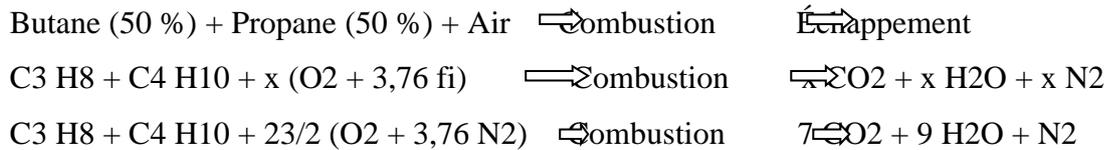
Figure I.2 : Analyse des gaz.

I. 2.6.4. Mesures comparatives d'émissions de CO, HC, NOx

La difficulté d'assurer un mélange idéalement dosé est plus difficilement maîtrisée dans le cas du GPL/c : inertie de la masse gazeuse, répartition des parts propane-butane, lieu du dispositif de distribution du carburant à l'admission, configuration bicarburation...

L'équation de combustion détermine le dosage pour lequel la transformation est complète.

I. 2.6.5. Équation de combustion du GPL/c



Ce qui nous donne un rapport stœchiométrique de 1 gramme de GPL/c pour 15,47 grammes d'air.

I. 2.6.6. Analyse de gaz :

Régime tr/min 750	Essence	GPL/c
% volume de CO ₂	0,04	0,08
% volume de CO	14,6	13,2
Hc ppm	8	12
% volume d'O ₂	0,9	0,6
Lambda	1,04	1,03

I. 2.6.7. Catalyse :

La stratégie de la catalyse trois voies (TWC), conduit à une action curative sur les HC, le CO et les NO_x dans une configuration de dosage (richesse 1) stœchiométrique. Le catalyseur est caractérisé par deux étapes fonctionnelles de conversion :

- **la réduction** ou séparation des oxydes d'azote (NO_x) en azote (N₂) et oxygène (O₂) ;
- **l'oxydation** :
 - transformation du monoxyde de carbone (CO) en dioxyde de carbone (CO₂),
 - transformation des hydrocarbures (HC) en dioxyde de carbone (CO₂) et en eau (H₂O).

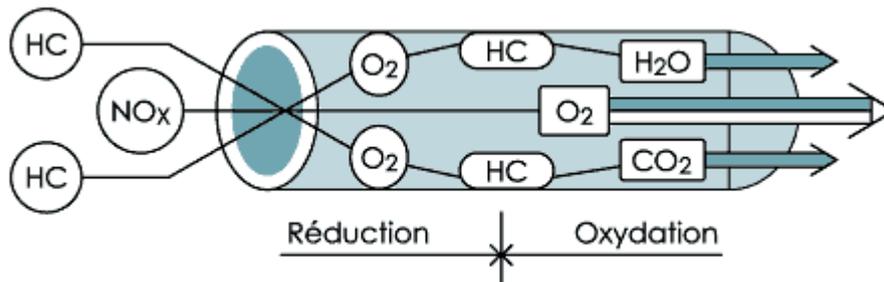


Figure I.3 : Stratégie de catalyse.[1]

I. 2.6.8. Étapes de transformation de polluants via le catalyseur

La première phase opérative dite de réduction caractérise la décomposition des oxydes d'azote (NO_x) en oxygène (O₂) et en azote (N₂) pour ensuite combiner l'oxygène au monoxyde de carbone (CO) et aux hydrocarbures (HC) (seconde phase dite d'oxydation) et les transformer respectivement en eau (H₂O) et dioxyde de carbone (CO₂).

Certaines configurations de traitement de polluants associent à la tubulure d'échappement un catalyseur d'amorçage baptisé " **light off** ", en amont du convertisseur.

I. 2.6.9. Niveaux d'émissions (Ne) :**Monoxyde de Carbone CO :**

Ne GPL/c = Essence/7 = Ne Gazole/2,5

Hydrocarbures imbrûlés HC :

Ne GPL/c = Ne Essence/3,5 = Ne Gazole/2

Oxydes d'azote NOX :

Ne GPL/c = Ne Essence/4 = Ne Gazole/10

I. 2.6.9. Facteur de consommation

Dans la théorie, en établissant le rapport des pouvoirs calorifiques au litre de chacun des carburants que sont l'essence et le GPL/c soit : $[(42,9.103) 0,750] / [(45,9.103) 0,555] = 1,26$; on évalue une consommation en volume de GPL/c de 26 % théoriquement supérieure à celle de l'essence.

Consommations l/100 km moteur 1 800 cm3	Essence	GPL/c
Urbaine	12	15,2
Extra urbaine	6,3	8,4
Mixte	8,3	11
Emissions CO2 g/km	193	170

I. 2.7. Performances

Un carburant GPL/c dont la composante en propane est prépondérante (indice d'octane > 100) autorise un rapport volumétrique de compression accru ce qui conduit à des gains de consommation de l'ordre de 7 %.[1]

Moteur 1 800 cm3	Essence	GPL/c
Puissance maxi kW à 5 500 tr/min	81	76,5
Puissance au litre kW/l	46	43,5
Couple maxi da. Nm à 4 250 tr/min	155	155

Véhicule Cx 0,24 TTC 1 186 kg	Essence	GPL/c
0 - 400m	17,8	18
0 - 1000m	32,8	33,6
0 - 100km/h	10,6	11,4
Vitesse maximale km/h	195	192

I. 2.8. Équipement type gaz

I. 2.8.1. Bloc diagramme

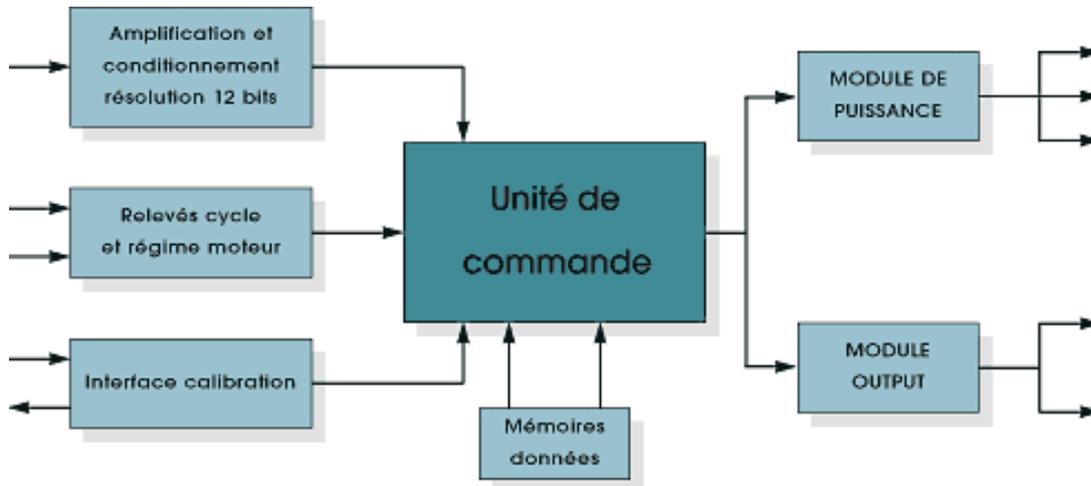


Figure I.4 : Synoptique Flying injection BRC.

Les entrées analogiques (pression admission, position papillon des gaz, niveau de richesse, températures moteur et mélange, etc.) transitent via un étage de mise à l'échelle et de conversion numérique (12 bits) pour ensuite être acquises par l'unité de commande.

Le pilotage des actionneurs essence (signal de commande injecteurs) associé au régime moteur (bobine d'allumage, capteur couronne, signal compte-tours) font l'objet d'un second niveau d'acquisition.

La calibration (mise au point) se fait par une liaison série avec l'outil de programmation (PC) ; le processeur (routines logicielles) pilote :

- **l'étage de puissance** : activation de l'actuateur de flux (SMART), d'actionneurs (relais, électrovannes GPL/c-GNV) et de dispositifs d'émulation ou de simulation, en s'appuyant sur les données stockées en mémoire (technologie flash-eprom) ;
- **l'étage interface** avec le milieu extérieur : affichage paramètres, états fonctionnels, gestion commande accessoires, message diagnostic.[1]