

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Chimique

MEMOIRE DE
POST-GRADUATION SPECIALISEE
« Economie de l'Energie, Maîtrise et Applications »

Intitulé :

**CONTRIBUTION A L'ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE
LA CONVERSION AU GNC DES MOTEURS A CARBURANTS
CLASSIQUES**

Présenté par : A. FATMI
M. MOULAY BRAHIM

Promoteur : Dr M. BENBRAIKA

Soutenu le 24 Novembre 2008 devant la commission d'examen :

Pr C. E. CHITOUR	Président
Dr B. BENKOUSSAS	Examineur
Dr M. BENBRAIKA	Rapporteur
Mr HIHAT	Invité
Mr H. BOURAS	Invité

Année Universitaire 2007-2008

REMERCIEMENT PARTICULIER

Nous tenons à remercier chaleureusement, en particulier le Professeur Chems Eddine CHITOUR, Directeur de recherche du laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles à l'Ecole Nationale Polytechnique, en tant qu'initiateur et organisateur de cette Post Graduation, ainsi que pour les efforts déployés qui ont permis la réussite de cette formation.

Nous le remercions aussi pour sa confiance, sa patience durant cette formation et son soutien qui ont permis de mener à bien notre travail dans un environnement de recherche et de sérieux.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur Dr M. BENBRAIKA du département Génie Mécanique pour ses conseils constructifs ses orientations et son aide durant tout notre parcours de recherche.

Nous désirons sincèrement remercier tous les formateurs qui ont contribué à la réussite de cette formation, pour les efforts déployés durant tout le cursus de formation, et en particulier l'équipe de l'Ecole Nationale Polytechnique.

Nos remerciements vont également au Pr T. AHMED Zaid, Chef de Département Génie Chimique de l'ENP.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres du jury : le Pr C.E. CHITOUR, Dr B. BENKOUSSA, Mr HIHAT qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner notre travail, et à Mr H.BOURAS d'avoir accepté notre invitation.

Nous tenons à remercier aussi tous les responsables de la formation de la société SONATRACH pour l'effort déployé et en particulier Mlle SEMMAR qui nous a soutenu durant tout notre parcours .

Enfin, nos remerciements les plus sincères sont adressés à notre encadreur de l'entreprise Mr M. ZEBOUJ Directeur de Maintenance à la SONATRACH division production de la région de Hassi-Messaoud, pour sa contribution bénéfique à l'élaboration de ce travail.

مساهمة في الدراسة التقنيو إقتصادية لتحويل المحركات ذات الوقود الاعتيادي إلى الغاز الطبيعي المضغوط.

Contribution à l'étude technico-économique de la conversion au GNC de moteurs à carburants classiques
Contribution of the technical economic study of the conversion to CNG of classical fuel engines

ملخص:

سجلت الجزائر في السنوات الأخيرة نقصا في الوقود و خاصة الديزل و هذا راجع للنمو السريع لحظيرة السيارات.

بما أن الجزائر دولة غازية يعتبر استعمال الغاز الطبيعي كوقود الحل الأمثل اقتصاديا و بيئيا. لقد قمنا في عملنا هذا بدراسة تحويل محركات وسائل النقل الحضري لتعمل بالغاز الطبيعي كوقود لماله من فوائد اقتصادية و نقص في انبعاث غازات الإحتباس و كميات من الغازات الملوثة.

كلمات مفتاحية: غ ط م , نقص في وقود الديزل, انبعاث غازات الإحتباس , فوائد اقتصادية.

Résumé :

L'Algérie a enregistré ces dernières années un déficit en carburant notamment le gazole, ceci est dû à la croissance rapide du parc automobile. Ce déficit est couvert actuellement par l'importation.

Vu que l'Algérie est un pays à vocation gazière, l'utilisation du gaz naturel comme carburant est la solution la plus économique et la plus écologique.

Notre travail consiste en l'étude de la conversion au GNC des moteurs des véhicules de transport urbain (bus et taxis) et les économies dégagées et les gains en émission de CO₂ et des polluants.

Mots clés : GNC, déficit gazole, émission CO₂, économies dégagées.

Abstract :

Algeria is facing during these latest years a deficit in fuel namely gasoline. This is due the increase of the number of cars in circulation. The deficit is actually covered by imports. Since Algeria is a rich country in terms of gas, the use of natural gas turns to be the economical and ecological solution.

Our work consists in the study of the conversion of urban transportation motors and vehicles (buses and taxis) into NGV as well as resulting economies and CO₂ emission gains and pollutants.

Key words: NGV, deficit in diesel fuel, savings and the winnings in emission of CO₂

Sommaire

Chapitre I

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre II

Généralités.....	4
II.1 L'énergie.....	4
II.2 Le moteur thermique.....	4
II.3 Les carburants et combustibles.....	5

Chapitre III

Différents types de carburants.....	7
III.1 Les carburants classiques.....	7
III.2 Les carburants alternatifs.....	8

Chapitre IV

Le gaz naturel carburant (GNC).....	16
IV.1 Généralités.....	16
IV.2 Industrie du gaz.....	18
IV.3 Utilisation du gaz naturel carburant dans le monde.....	21
IV.4 Caractéristiques du gaz naturel.....	22
IV.5 Statistiques sur le gaz naturel.....	24
IV.6 Avantages du gaz naturel.....	26
IV.7 Inconvénients du gaz naturel.....	27
IV.8 Pollution et effet de serre.....	27
IV.9 Sécurité.....	28

Chapitre V

Etude comparative.....	30
V.1 La combustion.....	30
V.1.1 La combustion détonante :.....	32
V.1.1.a La détonation dans les moteurs à essence.....	32
V.1.1.b La détonation dans les moteurs diesel.....	34
V.1.1. c Particularités liées à la combustion sur moteur à gaz naturel.....	34
V.1.2 Indices d'octane.....	35
V.1.3 Allumage et propagation de la flamme.....	35
V.1.4 Composition et température des produits de combustion.....	36

V.1.5 La combustion sous pression dans un moteur à gaz naturel	37
V.2 Performances du moteur GNC	38
V.2.1 La puissance.....	38
V.2.2 Performances des moteurs diesel / gaz	40
V.2.3 Performances Poids lourds.....	44
V.2.4 Consommation	45
V.2.5 Comparaison diesel, GPL et GNV. [12].....	47
V.2.6 Les évolutions possibles des motorisations thermiques diesel et GNV.....	48
V.2.7 Comparaison essence / GNC.....	50
V.2.8 Comparaison des carburants pour moteurs à allumage commandé:.....	51
V.3 Les émissions de polluants.....	54
Chapitre VI	
Technologie du GNC.....	61
Introduction	61
VI.1 Définitions :.....	62
VI.2 Les techniques d'alimentation	62
VI.3 Conversion des moteurs à essence.....	67
VI.4 Conversion des moteurs Diesel	68
VI.5 Stockage et distribution du GNV.....	72
VI.6 Exemple d'un système GNV « METAFUEL. »	75
Chapitre VII	
Coûts	84
VII.1 Coût de transformation d'un véhicule	84
VII.2 Coût d'acquisition d'un bus dédié GNC.....	84
VII.3 Coût d'une station de compression.....	85
Chapitre VIII	
Cas de l'Algérie	86
VIII.1 Facteur écologique.....	86
VIII.2 Le parc automobile.....	90
VIII.3 Consommation des carburants en Algérie.....	94
VIII.4 Etude économique.....	100
Conclusion et recommandations	106
Bibliographie	
Annexes	

Liste des tableaux

4.1 Parc véhicules et infrastructures mondiale du GNC	22
4.2 Comparaison des caractéristiques du méthane et de l'essence	23
4.3 Pouvoir calorifique du GNC comparé à d'autres carburants	24
4.4 Production du gaz naturel par pays en 2005 selon l'AIE	25
4.5 Exportations du gaz naturel par pays et les principaux clients	25
5.1 Caractéristiques comparées du méthane et d'une essence classique	34
5.2 Couple en fonction du régime	41
5.3 Différence de puissance entre le fonctionnement essence et GNV.	43
5.4 Comparaison des rendements de deux moteurs gazole et gaz naturel	44
5.5 Puissances et consommations pour véhicules légers.	45
5.6 Coûts aux 100 km	46
5.7 Consommations selon les normes antipollution	47
5.8 Normes européennes d'émissions des moteurs de poids lourds et de bus	48
5.9 Comparaison de consommation des bus Diesel et GNC	48
5.10 Bilan des consommations d'énergie non renouvelable du puits à la roue (1)	49
5.11 Bilan des consommations d'énergie non renouvelable du puits à la roue (2)	50
5.12 Caractéristiques du véhicule Toyota Prius II bicarburation	50
5.13 Comparaison des carburants	51
5.14 Comparaison entre deux moteurs, l'un dédié au gazole, l'autre au GNC.	53
5.15 Émissions mesurées d'un moteur optimisé GNC	57
5.16 Émissions comparées d'un moteur 6 cylindres en fonction du carburant	58
5.17 Emissions comparées Diesel – GNC	59
6.1 Comparaison des différents systèmes d'alimentation d'un moteur GNV	67
8.1 Contribution du trafic dans la pollution urbaine de quelques villes	87
8.2 Polluants en milieu urbain	88
8.3 Principaux HAP identifiés et leur teneur atmosphérique.	90
8.4 Nombre de véhicules importés par années	91
8.5 Nombre de véhicules importés par années (par type d'énergie)	92
8.6 Evolution de la consommation des carburants en Algérie (tonnes)	95
8.7 Perspective de production du Gazole à court terme	98
8.8 Consistance du programme à court terme	102
8.9 Estimation des consommations moyennes	103

Liste des figures

2.1 Différents types de moteurs thermiques	5
2.2 Atome de carbone	5
2.3 Molécule du méthane	6
4.1 Chimie du méthane	20
5.1 Signal de tension à la bougie, comparaison essence/GNV	35
5.2 Vitesse laminaire de combustion du méthane, du propane et de l'isooctane	36
5.3 Phénomène de cliquetis	37
5.4 Synoptique du fonctionnement au gaz naturel	39
5.5 Rendement d'un moteur alimenté en combustible liquide ou gazeux	40
5.6 Couple en fonction de la richesse (essence et GNC).	41
5.7 Performances du moteur GNC	42
5.8 Performances du moteur essence	42
5.9 Emissions en fonction de la richesse	55
5.10 Émissions de gaz à effet de serre en fonction du carburant du puit à la roue	56
5.11 Emissions de polluants d'un moteur GNC par rapport à la filière essence	57
5.12 Comparaison GNC Diesel	59
6.1 Mise en place d'une bougie dans une culasse Diesel à la place de l'injecteur gazole	61
6.2 Carburateur DELTEC	63
6.3 Synoptique générale en fonctionnement GNC	64
6.4 Alimentation d'un moteur au GNV. Système d'injection monopoint	65
6.5 Alimentation d'un moteur GNV. Système d'injection multipoint	66
6.6 Schéma de l'injection directe	66
6.7 Système dual fuel	70
6.8 Schéma général d'un autobus au gaz naturel	73
6.9 Station de compression et distribution GNC	74
6.10 : Compresseur domestique	74
7.1 Composition du kit GNC	84
7.2 Schéma d'une station de service GNC	85
8.1 Evolution des émissions en fonction de la vitesse du véhicule	87
8.2 Cycle journalier moyen du NO, NO2 et O3 à Alger	89
8.3 Production mondiale de véhicules	91
8.4 Evolution du parc automobile Algérien	92
8.5 Nombre de véhicule importé par année	92

8.6 Comparaison du nombre de véhicule importé diesel et essence (1)	93
8.7 Comparaison du nombre de véhicule importé diesel et essence (2)	94
8.8 Part de la consommation des carburants par produit en 2006	94
8.9 Evolution des consommation Essence et diesel (2000-2008)	95
8.10 Evolution de l'offre nationale en gazole période 2000-2006	95
8.11 Evolution de la demande nationale en gazole période 2000-2006	96
8.12 Evolution de la part de la consommation du gazole dans les carburants terres	96
8.13 Répartition de la consommation finale du gazole par secteur d'activités en 2005	97
8.14 Evolutions de l'offre et de la demande en gazole à l'horizon 2025	98
8.15 Estimation de l'offre et de la demande à l'horizon 2020	99

Nomenclature

FAP : Filtre à Particules

PAC : Pile à Combustible

GNV dédié : le GNV est le seul carburant utilisable

Hybride : véhicule ayant un moteur thermique et un (ou deux) moteur(s) électrique(s)

GTL : Gas to liquids

CTL : Coal to liquids

BTL: Biomass to liquids

GNC/GNV : Gaz Naturel Carburant / Gaz Naturel Véhicule

GPLc : Gaz Pétrole Liquifié carburant

GNL : Gaz Naturel Liquifié

RON : indice d'octane recherche.

MON : indice d'octane moteur.

TLF : température limite de filtrabilité.

EMHV : Les esters méthyliques d'huiles végétales

b/j : baril par jour

t/j tonne par jour

tep : tonne équivalent pétrole

C1, C2, C3, ... Cn : un atome de carbone contenant n atomes d'hydrogène.

PCS = pouvoir calorifique supérieur

PCI = pouvoir calorifique inférieur

BP : British Petroleum

PMH : Point Mort Haut

Ppb : *part per billion*, parte par milliard

Smog : mélange opaque de brouillard et de fumée des zones industrielles

Chapitre 1

Introduction

Sur les 30 prochaines années, c'est la demande énergétique associée aux transports qui devrait progresser le plus rapidement (+ 2,1 %/an contre 1,7 %/an pour la demande globale d'énergie). Aujourd'hui, ce secteur économique utilise presque exclusivement des produits pétroliers. Outre cette dépendance, la question fondamentale de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, que cette activité génère, paraît primordiale. [1]

Plus généralement, se pose la question du volume des réserves de pétrole par rapport à la demande de transport actuelle et future.

À l'échelle mondiale, les carburants issus du pétrole constituent 97 % de l'énergie utilisée par les transports routiers. Pour répondre aux questions posées ci-dessus, de nombreuses améliorations ont été réalisées en agissant sur le carburant lui-même tel que la fabrication des carburants de synthèse (GTL, CTL, BTL) ou sur la technologie des moteurs tels que les nouveaux modes de combustion des moteurs à allumage commandé et diesel (CAI, HCCI, etc.). [1]

La solution la plus économique et la plus écologique est la mise en œuvre d'énergies alternatives au pétrole en conservant les moteurs à combustion interne. Certaines sont déjà utilisées depuis fort longtemps, souvent pour réduire une dépendance au pétrole au profit d'une ressource spécifique (cas du Brésil).

L'Algérie a enregistré ces dernières années un déficit de 100.000 tonnes de gazole par an, d'où la nécessité de recourir à l'importation pour un coût de 52 millions de dollars. Ceci est dû au parc automobile national qui tend à la « diésélisation », notamment durant la période 2000/2006 avec un important accroissement du nombre de véhicules diesels passant de 27% à 31%, durant cette période. [2]

La consommation du gazole en Algérie augmente selon un taux moyen de 9% par an, passant de 3,6 millions de tonnes en 2000 à 6,1 millions de tonnes en 2006.

La production moyenne du gazole en Algérie entre 2000 et 2006 est de l'ordre de 6,1 millions de tonnes par an, soit 28% de la production totale des carburants.

La consommation de gazole en Algérie est répartie comme suit : le secteur des transports représente, à lui seul, la part la plus importante avec 49%, suivi du secteur résidentiel et tertiaire (23%), l'agriculture (17%) et l'industrie et le bâtiment-travaux publics 11% . [2]

A cet effet et afin de pouvoir répondre à la demande croissante des carburants en Algérie et surtout le gazole, les carburants les plus économiques et les plus écologiques tels que le gaz naturel carburant (GNC), « carburants les moins polluants » doivent être utilisés. Le gaz naturel est composé de 91 % de méthane (CH₄), Sa combustion ne produit ni oxyde de soufre, ni plomb, ni

poussières, ni fumées noires et peu d'oxyde d'azote et de monoxyde de carbone. C'est un carburant idéal, respectueux de l'environnement. C'est un carburant qui ne nécessite aucune transformation chimique potentiellement polluante, contrairement à d'autres carburants alternatifs. A la différence du pétrole, un processus de raffinage n'est pas nécessaire.

Le gaz naturel est le moins polluant du fait de sa composition chimique très simple, il ne comporte que 7 éléments dont 91% de méthane (CH₄). A titre d'indication, l'essence est constituée de 150 éléments différents et le gazole de plus de 1000 qui, au cours de leur combustion, émettent des produits toxiques.

De tous les hydrocarbures, le GNC est celui qui contient le moins de carbone et il est donc riche en hydrogène. Cette particularité est favorable en ce qui concerne les émissions de CO₂. L'utilisation de cette énergie contribue à lutter contre l'effet de serre : En moyenne, un véhicule gaz naturel produit:

- 25 % de moins de CO₂ qu'un véhicule équivalent fonctionnant à l'essence,
- 10 % de moins qu'un véhicule équivalent fonctionnant au gazole.

Aussi le « gaz naturel carburant » est plus économique. Pour parcourir une même distance, le Carburant Gaz Naturel affiche un prix inférieur à celui des autres carburants couramment utilisés aujourd'hui.

Près de 5 millions de voitures roulent au Carburant Gaz Naturel dans le monde. Son utilisation se développe sur tous les continents en raison de sa disponibilité immédiate et de ses atouts économiques et écologiques. Plus de 500.000 véhicules ont déjà été vendus en Europe pour leurs qualités environnementales et leurs performances. Mais malgré tous ces développements, on remarque que sur les 1500 Mtep consommées par le transport routier dans le monde, le gaz naturel (GNC), le gaz de pétrole liquéfié (GPL) et les biocarburants ne représentent toutefois aujourd'hui qu'une quarantaine de Mtep, soit moins de 3% du total.

L'Algérie se trouve interpellée par une réflexion sérieuse sur l'utilisation du GNC comme carburant du fait qu'elle s'achemine vers l'importation du gazole, un carburant cher et polluant alors qu'elle dispose d'énormes gisements de gaz naturel, d'un réseau dense de transport et de distribution qui met ce produit à la disposition de l'utilisateur sans besoin de transformation. Aussi ce produit offre de très bonnes qualités intrinsèques en matière de protection de l'environnement et de la santé.

C'est au regard de tous ces avantages que la généralisation de l'utilisation du gaz naturel comme combustible pour les véhicules s'avère primordiale.

Partant de là, nous avons eu la tâche dans le cadre de notre travail de mener une étude sur la conversion au GNC de moteurs à carburants classiques.

Nous proposons ce travail sous forme de huit chapitres ; en commençant par des généralités sur l'énergie, les moteurs thermiques et les carburants et combustibles. Dans le troisième chapitre on parlera des différents types des carburants à savoir les carburants fossiles et les carburants alternatifs. Le quatrième chapitre sera consacré au gaz naturel comprimé (GNC) où on exposera sa définition, ses origines et ses différents types, son industrie et son traitement, son utilisation, ses caractéristiques, ses avantages et ses inconvénients.

La problématique sera abordée aux chapitres : 5, 6, 7 et 8 en commençant par une étude comparative entre le GNC et les carburants classiques du point de vue caractéristiques, performances, comportement des moteurs thermiques, pollution et effet de serre. Ensuite on parlera des technologies des moteurs GNC et les transformations qui peuvent être réalisées sur les moteurs Diesel ou essence ainsi que les coûts de ces transformations et des stations de service GNC.

Dans le chapitre 8 on exposera le développement du GNC en Algérie à savoir son historique, les différentes phases traversées, les contraintes rencontrées, les projets futurs du GNC et les programmes de son développement en Algérie. Après un calcul économique, on exposera les économies dégagées en remplaçant les carburants classiques par le GNC.

On termine notre travail par une conclusion où seront exposés les atouts que possède l'Algérie grâce au gaz naturel et enfin nos recommandations et suggestions concernant le développement du GNC en Algérie.

Chapitre 2

Généralités

II.1 L'énergie :

L'énergie est l'une des plus importantes propriétés physiques des objets matériels. L'énergie provient du mot grec « energia ». Elle caractérise la capacité à fournir du travail, à donner du mouvement, à modifier la température ou à transformer la matière. Elle est produite à partir de différentes sources que l'on trouve dans la nature : le bois, le charbon, le pétrole, le gaz, le vent ou le rayonnement solaire. Mais en réalité on ne crée pas la moindre quantité d'énergie. On ne fait que transformer l'énergie d'une forme en une autre, tout en augmentant l'entropie de l'Univers.

L'énergie se trouve sous différentes formes : chaleur, énergie mécanique ou énergie électrique, énergie chimique, etc. Ses formes multiples peuvent se transformer l'une en l'autre, par exemple, de chaleur en énergie mécanique, dans un moteur thermique, ou en énergie électrique, dans une centrale électrique au charbon ou au gaz.

Dans la présente étude on va s'intéresser uniquement à la transformation d'énergie calorifique ou chimique d'un carburant en énergie mécanique recueillie au bout d'arbre. Cette transformation se fait au moyen d'une machine appelée « moteur thermique ».

II.2 Le moteur thermique :

Le moteur thermique est une machine qui transforme l'énergie chimique d'un carburant en énergie mécanique en passant par une énergie calorifique.

Le mécanisme de cette transformation est basé sur la récupération de la force de pression générée par l'explosion d'un mélange « carburant, comburant » dans un espace réduit, au moyen d'un piston coulissant à l'intérieur d'un cylindre et d'un système bielle et manivelle ; c'est le moteur à piston alternatif.

Il existe plusieurs types de moteurs thermiques, le schéma ci-dessous résume l'arborescence des différentes familles de moteurs thermiques :

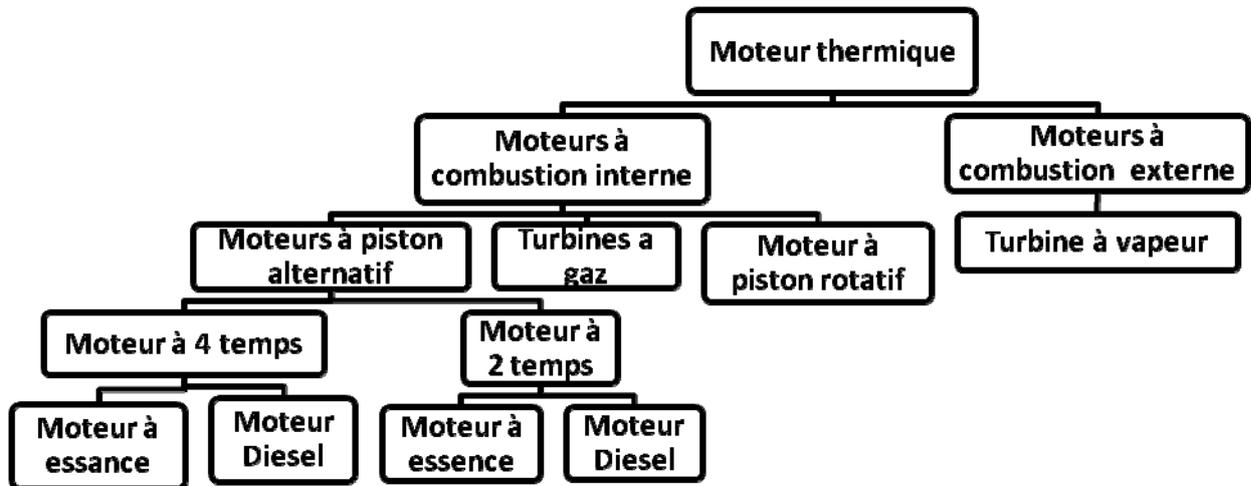


Figure 2.1 : Différents types de moteurs thermiques

Actuellement les moteurs les plus utilisés sont des moteurs à piston alternatif et à quatre temps. Dans ces moteurs au cours de la combustion, l'énergie chimique du carburant se transforme en chaleur. Après cela, *une partie de cette chaleur* se transforme en énergie mécanique.

II.3 Les carburants et combustibles

Dans sa signification ancienne et classique, un carburant est un combustible constitué par des molécules carbonés : On considère plutôt maintenant qu'un carburant est un combustible destiné à l'alimentation d'une machine thermique, qu'il soit ou non carboné, alors qu'un combustible est destiné à un usage domestique.

Comme son nom l'indique, un carburant contient du carbone. C'est une chaîne de carbone et d'hydrogène, d'où le nom hydrocarbure. La création d'hydrocarbure se fait grâce à des liaisons carbone-hydrogène :

L'atome de carbone contient 04 liaisons, tandis que l'atome d'hydrogène ne contient qu'une seule liaison

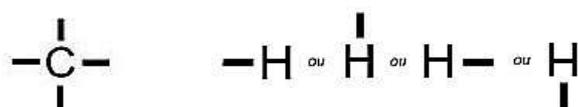


Figure 2.2 : Atome de carbone

L'hydrocarbure le plus simple est le méthane. Sa formule s'écrit : CH_4 . Il est plus léger que l'air car la proportion d'hydrogène y est très importante c'est le constituant de gaz naturel à 90%

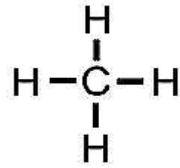


Figure 2.3 : Molécule du méthane

Autres hydrocarbures pouvant être construits à partir de carbone et d'hydrogène :

- L'éthane C_2H_6
 - Le propane C_3H_8
 - Le butane C_4H_{10} ... etc
 - A partir de 5 atomes de carbone, le résultat n'est plus un gaz mais un liquide.
 - Avec 8 atomes de carbone et 18 d'hydrogène, on obtient l'octane, principal composant de l'essence.
 - Avec 10, 11 et 12 atomes de carbone, on obtient respectivement du décane, de l'undécane et du dodécane, qui entrent principalement dans la composition du gazole. [17]
 - A partir de 23 atomes de carbone, le résultat obtenu est un produit non plus liquide, mais solide.
- Les carburants peuvent être classés de différentes manières. On peut distinguer les carburants fossiles des biocarburants.
- Les carburants fossiles sont ceux qui proviennent de la transformation des matières organiques mortes mélangées à divers minéraux à de grandes profondeurs. Cette transformation nécessite plus d'un million d'années et se déroule à des températures et pressions très élevées. Les carburants fossiles sont en quantité limitée sur terre.
 - Les biocarburants eux, proviennent de plantes ou animaux (non fossilisés). Parmi les produits développés commercialement, citons le bioéthanol et le biodiesel. [3]

Chapitre 3

Différents types de carburants

III.1 Les carburants classiques

a) Les essences :

Les essences sont destinées aux moteurs à allumage commandé, moteurs dans lesquels l'explosion du mélange air / essence dans le cylindre est déclenchée par l'étincelle de la bougie. Autrefois, on pouvait distinguer les essences ordinaires des supercarburants.

L'essence s'évapore entre la température ambiante et 215 °C sous pression atmosphérique. La densité des essences liquides est d'environ 0,755 ; soit bien inférieure à celle de l'eau (1,000) ; leurs vapeurs sont trois fois plus lourdes que l'air. Ces hydrocarbures ont des points d'ébullition différents ; la courbe représentée par ces points est appelée courbe de distillation. On caractérise et différencie le plus souvent les essences par leur indice d'octane et leur volatilité.

Le taux de compression détermine le rendement du moteur : c'est le rapport entre le volume du cylindre lorsque le piston a été repoussé vers le bas par la détente des gaz, et le volume lorsque le piston est en haut du cylindre. Plus le taux de compression du moteur est élevé, plus celui-ci est performant. Toutefois, le phénomène de cliquetis ou autoallumage du carburant limite le taux de compression, et sa manifestation peut fortement endommager les différents éléments du moteur. Une solution consiste à augmenter l'indice d'octane du carburant.

L'indice d'octane est déterminé par la composition du mélange d'un produit détonant, le n-heptane (indice 0), et d'isooctane, très résistant à la détonation (indice 100). Un carburant d'indice 95 a le même comportement qu'un mélange à 95% d'isooctane et 5% de n-heptane. Pour accroître l'indice d'octane d'un carburant, on peut utiliser, dans le supercarburant plombé, du plomb tétraméthyl ou du plomb tétraéthyl. Pour les supercarburants sans plomb, on utilise des composés organiques, comme le méthyl tertiobutyl éther.

Un supercarburant est caractérisé par l'indice d'octane recherche (RON), mesuré dans des conditions de vitesse et d'accélération faibles, et l'indice d'octane moteur (MON), déterminé dans des conditions d'essais plus sévères. En Europe, depuis le millésime 91 (production à partir de juillet 1990), tous les véhicules à essence sont conçus pour fonctionner avec le supercarburant sans plomb RON 95-MON 85, appelé aussi eurosuper (« essence sans plomb 95 »). L'« essence sans plomb 98 » a un indice RON 98-MON 88. [4]

b) Le gazole

Le gazole est destiné à être utilisé dans les moteurs Diesel. La densité du gazole est supérieure à celle des essences : 0,845 contre 0,755.

Comme pour les essences, la courbe de distillation est une spécification importante du gazole : elle s'étale de 180 °C à 370 °C. On caractérise et différencie le plus souvent les gazoles par leur indice de cétane et leur tenue au froid. Depuis le 1^{er} octobre 1996, le gazole commercialisé ne peut pas contenir plus de 0,05 % en masse de soufre contre 0,2 % auparavant.

L'indice de cétane caractérise l'aptitude à l'allumage du gazole. On utilise le même principe d'essai que pour mesurer l'indice d'octane d'un carburant : on fait fonctionner un moteur d'essai normalisé avec le gazole étudié, puis avec un mélange de deux carburants de référence, l'hexadécane, qui s'enflamme très rapidement, et l'heptaméthylnonane, paraffine à chaîne ramifiée et à délai d'allumage long.

Le gazole contient des paraffines qui se transforment en cristaux lorsque la température s'abaisse. Tout d'abord le gazole se trouble vers - 5 °C : c'est le point de trouble. Par la suite, si la température s'abaisse encore, les cristaux de paraffine bloquent le filtre empêchant le gazole d'arriver à la pompe d'injection. La température à laquelle se produit ce phénomène est la température limite de filtrabilité (TLF), fixée en hiver à - 15 °C. Puis on atteint la température à laquelle le gazole se fige : c'est le point d'écoulement (- 18 °C). [4]

c) Le kérosène

Également appelé carburéacteur, le kérosène alimente les moteurs à réaction. Il est en particulier caractérisé par sa fluidité aux basses températures (de l'ordre de - 50 °C) et sa capacité à conduire à une combustion rayonnante, ce qui permet de limiter les échanges de chaleur. Il existe quelques types de kérosènes, le plus utilisé étant le TR0, ou JP1 aux États-Unis. Le kérosène a une densité de l'ordre de 0,8 à 15 °C, densité comprise entre celle de l'essence et celle du gazole. [4]

III.2 Les carburants alternatifs

a. Les biocarburants

Il existe aujourd'hui deux grands types de biocarburants, qui devraient fortement se développer dans les prochaines années :

L'éthanol, qui est utilisé dans des moteurs de type « essence ».

Les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV), destinés à un usage dans les moteurs « diesel »

:

– L'éthanol est le biocarburant dont l'usage est le plus répandu, sa production s'élevant à environ 19 Mt en 2003, obtenue pour l'essentiel au Brésil et aux États-Unis.

– La production d'EMHV a été de l'ordre de 1,6 Mt en 2003, réalisée pour l'essentiel en Europe.

L'éthanol, principal biocarburant en termes de consommation, est aujourd'hui le premier carburant alternatif utilisé dans le monde.

L'éthanol a surtout été utilisé à la suite des chocs pétroliers de 1973 et 1979 comme carburant en remplacement du supercarburant au Brésil et dans une moindre mesure aux États-Unis. Dans les pays européens, l'éthanol n'est généralement pas utilisé directement comme carburant mais est plutôt employé sous sa forme éther mélangé à l'essence, jusqu'à 15% (ETBE : produit à partir d'isobutylène et d'éthanol). Jusqu'à 5 %, l'EMHV peut être distribué à la pompe de manière tout à fait transparente pour l'utilisateur. Un des avantages des biocarburants est la possibilité de les distribuer dans le réseau actuel de stations en les incorporant dans les carburants classiques, donc sans changement majeur de technologies des moteurs et des véhicules. En revanche, *leur coût* est un des freins importants à une utilisation plus générale, même si du point de vue environnemental le bilan est plutôt positif, en particulier vis-à-vis du CO₂.

b. Le Gaz de Pétrole Liquéfié carburant (GPLc)

Le GPL est un mélange de butane et de propane qui a deux origines : il peut provenir directement des opérations de dégazolinage sur champs ou du raffinage de pétrole brut.

Ce carburant présente certains avantages en termes d'environnement:

- Indice d'octane élevé qui garantit une bonne résistance aux cliquetis ;
- Pas de rejet de soufre, ni de plomb, ni de benzène et peu d'évaporations ;
- Réduction des émissions de polluants réglementés par rapport à l'essence pour des véhicules dédiés (HC = - 73 %, NO_x = - 79 %, CO = - 87 % par rapport aux normes 2005) ;
- Mais il présente un bilan légèrement supérieur en termes d'émissions de CO₂ par rapport au diesel.

Les inconvénients du GPLc se situent à plusieurs niveaux : la nécessité de développer un réseau de distribution, le surcoût lors de l'achat du véhicule et les disponibilités limitées en produit. Au niveau mondial, le parc de véhicules utilisant du GPL a progressé de 25 % en 3 ans, augmentant de 7,5 millions en 2000 à 9,5 millions en 2003 correspondant à une consommation de 16,5 Mt.

En 2003, la Corée détenait le premier parc mondial de voitures particulières (V.P.) GPL avec 1,7 million d'unités devant l'Italie (1,2 million), la Pologne (1,1 million) et la Turquie (1 million). Au Japon et en Corée, le mélange propane/butane est principalement utilisé par les taxis qui ont bénéficié de subventions pour assurer leur conversion à partir de diesel. En Europe, l'utilisation du GPLc a été introduite dans les années 50, surtout en Italie et aux Pays-Bas et a été rendue plus attractive dans ces pays par des politiques fiscales incitatives : dans ces deux pays, les parcs sont relativement stables sur la période 2000-2003. Il est également important de noter la montée en puissance de ce carburant dans les pays d'Europe de l'Est et plus particulièrement en Pologne, dont le parc de V.P. GPL a été multiplié par 3 sur la période 2000-2003. Enfin, en France depuis 1996,

les défiscalisations successives lui ont permis de devenir moins cher que le gazole mais sans percées réelles, avec un parc en recul en raison de problèmes techniques intervenus à la fin des années 90 et du manque d'offre. Aux États-Unis, l'utilisation de ce carburant pour le transport s'est accrue durant les années 70 et 80, principalement dans des flottes captives comme les taxis, les véhicules postaux, les bus ou les camions de livraisons. [5]

Même si la part du GPL utilisé dans les transports au niveau mondial a légèrement progressé de 6,6 % en 1990 à près de 8 % en 2003, une généralisation de l'utilisation du GPLc comme carburant automobile paraît improbable sur l'ensemble du parc, notamment pour des questions de disponibilités locales/régionales ou des contraintes au niveau des réseaux de distribution.

Toutefois, les volumes mondiaux mobilisables pour des applications au transport pourraient augmenter dans l'avenir. En effet, le GPL peut s'obtenir à la sortie des raffineries mais également lors de la production de gaz sur champ.

De plus, l'utilisation du GPL en tant que carburant permettrait, dans une certaine mesure, une diversification des approvisionnements énergétiques des transports et la valorisation dans un contexte local de ressources qui peuvent être abondantes.

Actuellement, les véhicules fonctionnant avec ce combustible sont majoritairement commercialisés avec des systèmes à bicarburant (essence et GPLc) qui permettent de pallier le manque de stations de ravitaillement (moins de 10 % de stations en France permettent un ravitaillement en GPLc). Il reste que cette solution ne permet pas un fonctionnement optimisé, que ce soit pour l'un ou pour l'autre des carburants. Par conséquent, certains véhicules à bicarburant GPLc, avec la mise en place des normes Euro 4 en 2005, vont nécessiter une adaptation importante.

c. Le Gaz Naturel Véhicule (GNV)

Suite à la croissance importante des utilisations du gaz, principalement dans le domaine de l'électricité, le GNV (essentiellement sous forme comprimée) a fait l'objet depuis le début des années 90 d'un certain intérêt à travers le monde et de nombreux pays ont engagé des programmes ambitieux de développement. Ils ont, à leur échelle, mis en place des incitations fiscales pour l'utilisation de ce carburant. En outre, le GNV permet d'atteindre des objectifs de diversification énergétique et de sécurité d'approvisionnement, les réserves prouvées de gaz naturel étant supérieures à celles du pétrole, exprimées en nombre d'années de production.

Dans le monde, 3,6 millions de véhicules roulaient au GNV en 2003,

En Amérique latine, la croissance du GNV a été rapide en raison d'une législation gouvernementale favorisant le développement de ce carburant, notamment en Argentine, au Venezuela et en Colombie, en raison de leurs importantes réserves gazières.

L'Argentine est le leader mondial de la filière avec plus de 1,2 million d'unités. Avec près du tiers du parc mondial de véhicules fonctionnant au gaz naturel comprimé (GNC) et 1100 stations, l'Argentine est le pays où ce type de véhicules est le plus répandu : les véhicules fonctionnant au GNC représentaient 17,5 % du parc argentin en 2002. L'accent a été mis sur ce carburant au début des années 80, lors de la mise en place d'un plan de développement des véhicules équipés au GNC. À l'époque, ce pays disposait de plusieurs atouts : réserves de gaz naturel importantes et bonne infrastructure de gazoducs. Plus récemment, en 2001, la crise économique et la dévaluation de la monnaie ont accéléré la conversion du parc au GNC en raison de la forte progression des prix des produits pétroliers qui ont doublé.

En Europe, l'Italie a été le premier pays à utiliser de façon significative le GNV dans les années 30 et représente actuellement le marché le plus important d'Europe, avec 400 000 véhicules, mais sans réel développement aujourd'hui. Enfin, aux États-Unis, ce sont près de 130 000 véhicules qui roulent au gaz naturel.

L'utilisation du GNV dans les transports ne représente également qu'une très faible part de la consommation globale de cette source primaire d'énergie (essentiellement utilisée pour la production d'électricité et le chauffage) et du parc automobile mondial. La nécessité d'un stockage à haute pression et la mise en place d'une infrastructure relativement lourde limitent un développement de masse. Son potentiel le plus important porte davantage sur les flottes de véhicules captifs amenées à réaliser de nombreux déplacements dans les centres urbains (bus, camions, etc.). Toutefois certaines expériences de « distribution à domicile pour le particulier » font l'objet de démonstration avec installation et utilisation de petits compresseurs (par exemple GDF en France) mais qui ne suppriment pas vraiment la contrainte de mise en place d'un réseau pour les longs déplacements.

L'impact sur l'environnement de son usage est plus favorable par rapport aux carburants liquides, à condition de disposer d'un moteur optimisé :

- aucune odeur, fumée noire, particule, salissure, perte par évaporation ;
- réduction de 90 % des émissions de CO et de 60 % pour les NOx ;
- sur un moteur optimisé au gaz naturel, une réduction des émissions de CO₂ de 5 à 10 % par rapport au moteur diesel est possible.

Tout comme pour le véhicule GPLc, la commercialisation de véhicule GNV va nécessiter, à l'avenir, des développements technologiques pour des raisons de niveaux d'émissions et de mise en place de normes Euro 4 en 2005. Alors qu'une adaptation sommaire à partir d'un moteur à essence suffisait à un véhicule GNV pour obtenir une amélioration en termes d'émissions de polluants

réglementés, les niveaux exigés en 2005 nécessiteront une optimisation conséquente et une possible remise en cause de la bicarburation. [5]

d. Le "Gas to Liquids" (GTL)

Les technologies GTL (Gas to Liquids), utilisant la synthèse Fischer-Tropsch, offrent de nouvelles voies possibles de valorisation du gaz naturel avec la production de produits pétroliers de très bonne qualité (indice de cétane supérieur à 60-65, pas d'aromatique et pas de soufre).

Le coût de ce type d'installation a été fortement réduit au cours des dernières années : les projets affichaient un montant d'investissement de plus de 50 000 \$/b/j au début des années 90, alors que sur les projets actuels il est évalué entre 20 000 et 35 000 \$/b/j. Des progrès importants en matière de performances des procédés combinés à une augmentation sensible de la taille des projets (12 000 b/j au début des années 90, 30 000 à 75 000 b/j aujourd'hui) ont permis une telle réduction des coûts unitaires d'investissement.

En 2004, la capacité de production des complexes de GTL dans le monde se situait autour de 51 000 b/j qui se répartissaient entre deux unités construites au début des années 90 en Afrique du Sud et en Malaisie.

En 2006, une unité devrait être lancée au Qatar à l'initiative de la compagnie sud-africaine Sasol et de Qatar Petroleum (34 000 b/j).

Dans les futurs projets, le Qatar apparaît comme le pays phare pour le développement de la filière GTL avec des projets d'une capacité totale de 800 000 b/j, dont certains sont mentionnés ci-dessous :

- Shell et Qatar Petroleum ont finalisé leur projet d'unité de conversion de gaz naturel en carburants de synthèse nécessitant des investissements de 5 à 6 G\$ (2 unités de 70 000 b/j prévues en 2009).
- Le consortium Sasol-Chevron a signé un protocole d'accord pour trois projets de GTL d'une valeur totale de 6 G\$ (construction de deux unités de capacités respectives 130 000 et 65 000 b/j) (2009-2010).
- Enfin, ExxonMobil a conclu un accord préliminaire concernant la construction d'une unité de GTL de 154 000 b/j pour un coût de 7 G\$ (2011).

Enfin, au Nigeria, est évoqué un projet d'unité de GTL entre Chevron et la compagnie nationale NNPC devant démarrer en 2007 avec une capacité de 34 000 b/j. Dans ce contexte de multiplication de projets d'unités GTL, il est important de noter la collaboration entre un pétrolier et un constructeur automobile. Dans le cadre d'un programme de recherche, Shell et Volkswagen testent des véhicules mis à la disposition de collectivités et fonctionnant avec des carburants de synthèse issus de la filière GTL. [5]

e. Le "Coal to Liquids" (CTL)

De la même manière, on peut envisager la voie CTL (Coal to Liquids), plus coûteuse, mais réalisable techniquement :

Cette solution est attrayante pour des pays possédant d'importantes ressources de charbon. Ces dernières, qui représentent plus de 200 années de production au rythme actuel, sont concentrées dans des pays tels que la Chine et l'Inde, dont la consommation d'énergie est amenée à progresser fortement

Dans les années à venir, à titre d'exemple, en Chine, avec un coût d'extraction du charbon faible (autour de 12 \$/t), la solution CTL peut s'avérer compétitive par rapport aux filières traditionnelles, dès lors que le prix du baril reste durablement à un niveau supérieur à 40 \$/b. Il est également important de souligner le faible effort de recherche effectué dans ce domaine au cours des 20 dernières années, laissant présager des progrès significatifs dans l'avenir.

La seule unité de liquéfaction du charbon actuellement en fonctionnement se situe en Afrique du Sud dans la ville de Secunda et est opérée par la compagnie sud-africaine Sasol.

La technologie utilisée est la liquéfaction indirecte. À partir de gaz de synthèse, des carburants liquides sont obtenus grâce au procédé Fischer-Tropsch. Il s'agit de 3 unités anciennes 1955/1982 (SASOL I, II et III) pour un total de 175 000 b/j, orientées actuellement vers la production de combustibles et carburants, mais aussi de produits chimiques.

La compagnie sud-africaine travaille également sur deux études de faisabilité en Chine pour développer des unités de liquéfaction du charbon dans deux régions : la province du nord de Shaanxi et la région autonome de Ningxia.

D'autre part, un seul projet en phase de construction existe pour l'instant et se situe en Chine sur le site d'une mine de charbon, avec Shenhua (plus grand producteur de charbon de Chine) utilisant la technologie de liquéfaction directe (slurry HTI, design : Axens). D'un coût prévu de 1 G\$, le démarrage du premier train (2 réacteurs en série) est prévu à la fin 2006/début 2007 : 20 000 b/j essence, kérosène, gazole avec une répartition 1/3 essence - 2/3 kérosène/gazole produits à partir de 6000 t/j de charbon à basse teneur en soufre.

Pour le GTL et le CTL, se pose la problématique des émissions de CO₂ qui sont supérieures à celles des filières traditionnelles. La capture du CO₂ émis par ces unités et leur stockage dans des formations géologiques pourraient être envisagés à terme pour améliorer le bilan « effet de serre » de ces options mais elles devraient entraîner un surcoût de 10 à 20 \$/b. [5]

f. « Biomass to Liquids » (BTL)

La dernière ressource envisageable pour produire des carburants liquides de type pétrolier est la biomasse (BTL).

Cette production sera réalisée en deux étapes comme dans le cas des GTL ou CTL. Dans un premier temps, les matières premières collectées sont transformées en « gaz de synthèse » puis en produits liquides par le procédé Fischer-Tropsch pour obtenir du gazole et du kérosène/jet. Pour ces produits d'origine (végétale, les coûts exprimés en euros par tonne équivalent diesel sont aujourd'hui très élevés, de l'ordre de 700-800 €/tep. Cette filière, qui n'a pas la maturité technologique du GTL ou CTL, en est encore au stade de la recherche et développement : des opérations de démonstration existent, en particulier dans le cadre de projets européens, avec l'objectif d'optimiser l'étape de collecte-gazéification.

Pour l'instant, une unité pilote de production de BTL est en service à Freiberg (Allemagne de l'Est) : il s'agit d'une unité de démonstration dédiée à la production de gazole de synthèse ainsi que de méthanol à partir de sous-produits végétaux et résidus organiques. Ce projet résulte d'un partenariat conclu en 2002 entre Daimler-Chrysler et la société Choren-Industries : le budget global est de 11 M€ dont 5 M€ provenant des autorités fédérales et 1 M€ de Daimler-Chrysler.

Un autre projet est à l'étude en Suède à partir de pâte à papier pour générer des gaz de synthèse que l'on convertit en méthanol et DME (Varnamö). [5]

g. Hydrogène/Électricité

Sur le long terme, l'hydrogène peut être envisagé comme un carburant, utilisé soit directement soit en mélange avec du gaz naturel (dans des proportions pouvant aller jusqu'à 20 %) dans un moteur à combustion interne. Son utilisation pure, via une pile à combustible et un moteur électrique, peut être vue comme une alternative au stockage direct d'électricité dans les batteries, surtout si l'hydrogène a été produit par électrolyse. Aujourd'hui utilisé à 99 % comme gaz industriel, la production d'ammoniac est actuellement le secteur le plus consommateur (50 %) d'hydrogène, devant le raffinage (37 %), la synthèse de méthanol (8 %) et, enfin, la production d'autres spécialités chimiques. Seul 1% du volume mondial est aujourd'hui valorisé à des fins énergétiques dans le secteur spatial.

Les énergies fossiles sont les sources d'énergie les plus utilisées pour produire l'hydrogène : ainsi le vaporéformage du gaz naturel est aujourd'hui la technologie la plus communément employée pour une production en grandes quantités et à moindre coût. La production d'hydrogène par transformation de la biomasse est une voie attrayante, mais qui nécessite des travaux de recherche et développement importants.

Enfin, malgré son coût actuel très élevé et son rendement énergétique médiocre, l'électrolyse de l'eau est la principale voie de production de l'hydrogène à partir de composés non fossiles : toutefois son véritable intérêt « environnemental » dépendra du mode de production d'électricité utilisé.

Il reste à souligner que, pour le long terme, l'usage de l'hydrogène impliquera la mise en place d'une infrastructure lourde (transport par pipe, stockage intermédiaire, stockage à bord du véhicule) qui soulève des difficultés techniques et entraîne des surcoûts importants.

Aujourd'hui, il existe une quarantaine de stations-service distribuant de l'hydrogène au niveau mondial, réparties de manière relativement homogène entre l'Europe, l'Amérique du Nord et le Japon.

Dans un horizon plus proche, l'électricité via les technologies hybrides pourrait jouer un rôle plus important et permettre des réductions de l'ordre de 30 % sur les demandes spécifiques en carburants liquides. Cette option fait l'objet de développement aux États-Unis, ce qui repousse d'autant une éventuelle pénétration du diesel dans cette région.

Actuellement, les carburants alternatifs les plus utilisés au niveau mondial sont les biocarburants (éthanol et EHMV), le GPL (Gaz de pétrole liquéfié) et le GNV (Gaz naturel pour véhicule).

À moyen terme, on devrait assister à la montée en puissance des carburants de synthèse produits à partir du gaz naturel (GTL), du charbon (CTL) et de la biomasse (BTL), pour lesquels il existe des projets industriels ou pilotes. Sur le plus long terme, l'hydrogène pourrait se positionner comme un carburant de substitution si certains obstacles sont levés, notamment en termes de coûts. [5]

Chapitre 4

Le gaz naturel carburant (GNC)

On appelle GNC le carburant gaz naturel. Il est stocké et utilisé sous forme gazeuse. Il est distribué en station-service dédiée ou par le biais d'un compresseur individuel connecté au réseau chez le particulier.

Le GNC n'est jamais que du gaz domestique compressé et stocké à 200 bars. C'est à cette pression qu'il présente le meilleur rapport entre volume occupé et énergie stockée. Ses qualités énergétiques, écologiques ainsi que son abondance le place en tête des carburants qui tendent à concurrencer le diesel ou le super.

IV.1 Généralités

Le gaz naturel est un combustible fossile, il s'agit d'un mélange d'hydrocarbures trouvé naturellement sous forme gazeuse. C'est la deuxième source d'énergie la plus utilisée dans le monde après le pétrole et son usage se développe rapidement.

Il existe plusieurs formes de gaz naturel, se distinguant par leur origine, leur composition et le type de réservoirs dans lesquels ils se trouvent. Néanmoins, le gaz est toujours composé principalement de méthane et issu de la désagrégation d'anciens organismes vivants. Les différents types de gaz naturels qui existent sont cités ci-après : [6]

a. *Gaz conventionnel non associé*

C'est la forme la plus exploitée de gaz naturel. Son processus de formation est similaire à celui du pétrole. On distingue le gaz thermogénique primaire, issu directement de la pyrolyse du kérogène, et le gaz thermogénique secondaire, formé par la pyrolyse du pétrole. Le gaz thermogénique comprend, outre le méthane, un taux variable d'hydrocarbures plus lourds, pouvant aller jusqu'à l'heptane (C₇H₁₆). On peut y trouver aussi du dioxyde de carbone (CO₂), du dioxyde de soufre (SO₂), du sulfure d'hydrogène appelé aussi « gaz acide » (H₂S), et parfois de l'azote (N₂) et de petites quantités d'hélium (He). [6]

b. *Gaz associé*

Il s'agit de gaz présent en solution dans le pétrole. Il est séparé lors de l'extraction de ce dernier. Pendant longtemps, il était considéré comme un déchet et détruit en torchère, ce qui constitue un gaspillage de ressources énergétiques non renouvelables et une pollution inutile. Aujourd'hui, l'essentiel est soit réinjecté dans les gisements de pétrole (contribuant à y maintenir la pression et à maximiser l'extraction du pétrole), soit valorisé. Néanmoins, la destruction en torchère est encore d'actualité dans certaines régions. [6]

c. *Gaz biogénique*

Le gaz biogénique est issu de la fermentation par des bactéries de sédiments organiques. À l'instar de la tourbe, c'est un combustible fossile mais dont le cycle est relativement rapide. Les gisements biogéniques sont en général petits et situés à faible profondeur. Ils représentent environ 20% des réserves connues de gaz conventionnel. Le gaz biogénique a moins de valeur par mètre cube que le gaz thermogénique, car il contient une part non négligeable de gaz non combustibles (notamment du CO₂) et ne fournit pas d'hydrocarbures plus lourds que le méthane. [6]

d. Gaz de charbon

Le charbon contient naturellement du méthane et du CO₂ dans ses pores. Historiquement, ce gaz a surtout été connu pour la menace mortelle qu'il présente sur la sécurité des mineurs - il est alors resté dans la mémoire collective sous le nom de grisou. Cependant, son exploitation est en plein développement, en particulier aux États-Unis. L'exploitation porte sur des strates de charbon riches en gaz et trop profondes pour être exploitées de façon conventionnelle. Il y a eu des essais en Europe également, mais la plupart des charbons européens sont assez pauvres en méthane. La Chine s'intéresse également de plus en plus à l'exploitation de ce type de gaz naturel. [6]

e. Gaz de schiste

Certains schistes contiennent aussi du méthane piégé dans leurs fissurations. Ce gaz est formé par la dégradation du kérogène présent dans le schiste, mais, comme pour le gaz de charbon, il existe deux grandes différences par rapport aux réserves de gaz conventionnel. La première est que le schiste est à la fois la roche source du gaz et son réservoir. La seconde est que l'accumulation n'est pas discrète (beaucoup de gaz réunis en un point) mais continue (le gaz est présent en faible concentration dans un énorme volume de roche), ce qui rend l'exploitation bien plus difficile. [6]

f. Hydrates

Les Hydrates de méthane sont des structures de glace contenant du méthane prisonnier. Ils sont issus de l'accumulation relativement récente de glace contenant des déchets organiques, la dégradation est biogénique. On trouve ces hydrates dans le permafrost ou sur le plancher océanique. Le volume de gaz existant sous cette forme est inconnu, variant de plusieurs ordres de grandeur selon les études. Aucune technologie ne permet actuellement d'exploiter ces ressources. [6]

IV.2 Industrie du gaz

a. Amont : extraction et traitement

Le gaz naturel et le pétrole brut sont souvent associés et extraits simultanément des mêmes gisements, ou encore des mêmes zones de production. Les hydrocarbures liquides proviennent du pétrole brut pour une proportion moyenne de l'ordre de 80 % ; les 20 % restants, parmi les fractions les plus légères, le propane et le butane sont presque toujours liquéfiés pour en faciliter le transport. L'exploration (recherche de gisements) et l'extraction du gaz naturel utilisent des techniques à peu près identiques à celles de l'industrie du pétrole. Une grande partie des gisements de gaz connus à travers le monde a d'ailleurs été trouvé au cours de campagnes d'exploration dont l'objectif était de trouver du pétrole ; lors de l'extraction, la détente à la tête de puits provoque la condensation des hydrocarbures C5 à C8.

Les liquides récupérés, appelés « condensats de gaz naturel » ou « liquide de puits de gaz naturel » correspondent à un pétrole extrêmement léger, de très haute valeur (donnant de l'essence et du naphtha). Tout le reste (hydrocarbures C1 à C4, CO₂, H₂S et He) est gazeux à température ambiante et acheminé par gazoduc vers une usine de traitement de gaz. Il faut donc deux réseaux de collecte, un pour le gaz et un pour les condensats.

Dans cette usine (qui peut être proche des gisements, ou proche des lieux de consommation), le gaz subit ensuite une déshydratation par point de rosée, puis les différents composants sont séparés. Les hydrocarbures C2 à C4 sont vendus sous le nom de gaz de pétrole liquéfié (GPL, et non pas Gaz naturel liquéfié (GNL)). Le CO₂ est le plus souvent simplement rejeté dans l'atmosphère, sauf s'il y a un utilisateur proche. Parfois, on le réinjecte dans une formation souterraine (séquestration du CO₂) pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le gaz acide est vendu à l'industrie chimique ou séquestré. L'hélium est séparé et commercialisé, s'il est présent en quantité suffisante - dans certains cas, il représente une addition très importante aux revenus générés par le gisement.

Les condensats et les GPL ont une telle valeur marchande que certains gisements sont exploités uniquement pour eux, le « gaz pauvre » (méthane) étant réinjecté au fur et à mesure, faute de débouchés locaux. Même lorsque l'essentiel du gaz pauvre est vendu, on en réinjecte souvent une partie dans le gisement, pour ralentir la baisse de pression, et récupérer au final une plus grande partie des condensats et du GPL.

L'autre partie (la plus grande) est transportée par gazoduc ou par méthanier vers les lieux de consommation.

Le transport du gaz traité (gaz pauvre, presque exclusivement du méthane) est par nature beaucoup plus difficile que pour le pétrole. Cela explique que, pendant longtemps, les gisements de gaz n'intéressaient les compagnies que s'ils étaient relativement proches des lieux de consommation,

tandis que les gisements trouvés dans des endroits isolés n'étaient développés que si leur taille justifiait les infrastructures nécessaires. Sachant que la rentabilité des gisements gaziers s'est considérablement améliorée depuis plusieurs années, plusieurs gisements qui étaient vus comme « sub-commerciaux » sont maintenant profitables.

Pour transporter le gaz naturel des gisements vers les lieux de consommation, les gazoducs sont le moyen le plus courant. Mais une part croissante du gaz consommé est transportée sous forme liquide, à -162°C et à pression atmosphérique, dans des méthaniers du lieu de production vers les lieux de consommation : c'est ce que l'on appelle le GNL, ou Gaz Naturel Liquéfié. Sous cette forme liquide, le gaz naturel offre, à volume égal avec le fioul domestique, un pouvoir calorifique qui correspond à plus de la moitié du pouvoir calorifique de celui-ci.

Mais cette solution qui permet de « condenser » l'énergie gazeuse sous un volume réduit exige des investissements très lourds, tant pour la liquéfaction que pour le transport. À titre indicatif, le coût d'une usine de liquéfaction, de taille minimale de l'ordre de 45 Gthermies/an (3,5 millions de tonnes de gaz naturel liquéfié) est de l'ordre de 400 à 500 millions USD et si l'on veut doubler cette capacité, il faut ajouter 85 % de plus à ce coût.

Les navires de transports, qui ont des réservoirs cryogéniques, coûtent également très cher : en 2006, plus de 200 millions d'euros pour une capacité de 100 000 tonnes, soit le prix d'un pétrolier de quelques 300 000 tonnes.

Mais, vue l'augmentation constante des besoins en énergie de toutes sortes et le flambée du prix du pétrole depuis le début du XXI^e siècle, tous ces investissements sont amplement justifiés.

À l'arrivée aux lieux de consommation, le gaz naturel est fractionné, si nécessaire, pour le séparer de l'éthane, du propane et du butane, puis le regazéfier. Ici encore, il faut des investissements énormes pour la réception, le stockage et la regazéification. [6]

b. Aval : Utilisation

Le gaz naturel est l'un des moyens énergétiques les moins polluants. En effet, lorsque sa combustion est complète, il n'émet que de l'eau et du dioxyde de carbone :

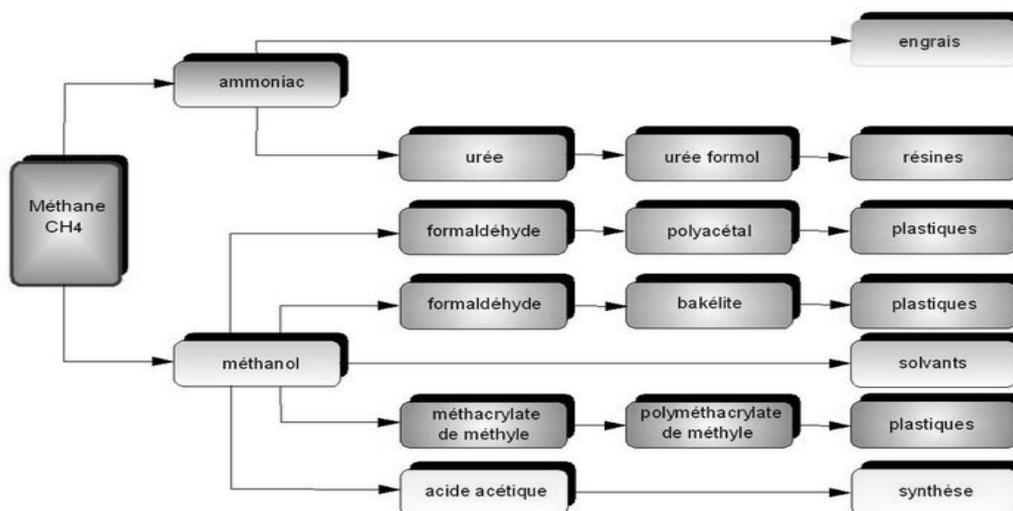


Comme tous les combustibles fossiles, après combustion, il rejette du gaz carbonique, mais seulement 55 kg par giga joule de chaleur produite, contre 75 kg pour le pétrole brut, et 100 kg environ pour le charbon. L'avantage du gaz naturel est encore plus grand si l'on tient compte des émissions sur le cycle complet « du puits au brûleur » et pas seulement de celles résultant de l'usage final du combustible : en effet, l'extraction et le traitement du gaz naturel consomment beaucoup moins d'énergie.

L'utilisation du gaz naturel ne produit pratiquement pas d'oxydes d'azote (NOx), et quasiment aucune pollution locale comme les oxydes de soufre, les poussières, etc. Cet intérêt écologique a une conséquence économique directe : une installation (centrale électrique, chaufferie, cimenterie ou autre) brûlant du charbon a besoin de dispositifs de dépollution, pour extraire le soufre, les NOx et les poussières des fumées. Ces installations sont très coûteuses à construire et à entretenir. Avec le gaz naturel, ces appareillages sont inutiles, d'où une économie importante. De plus, le gaz naturel ne laisse pas de cendres.

Il est utilisé comme source d'énergie dans l'industrie afin de produire de la chaleur (chauffage, fours...) et de l'électricité. En 2006, au niveau mondial, plus de 20 % de l'électricité est produite à partir de gaz naturel, et cette part ne cesse d'augmenter. Chez les particuliers, le gaz naturel est utilisé pour le chauffage, l'eau chaude et la cuisson des aliments. Enfin, depuis quelques années, le gaz naturel comprimé en bouteilles est utilisé comme carburant pour les véhicules (GNV). Mais déjà plus d'un million de véhicules au gaz naturel roulent déjà dans le monde, dans des pays comme l'Argentine et l'Italie.

Le gaz naturel est aussi la matière première d'une bonne partie de l'industrie chimique et pétrochimique : à la quasi-totalité de la production d'hydrogène, de méthanol et d'ammoniac, trois produits de base, qui à leur tour servent dans diverses industries : engrais, résines, plastiques, solvants.



source Wikipédia

Figure 4.1 : Chimie du méthane

En 2006, globalement, l'usage du gaz naturel est en expansion, la plupart des pays favorisant son usage accru partout où il peut se substituer au pétrole. Il présente en effet plusieurs avantages en comparaison avec ce dernier : moins cher en général, moins polluant, il permet également une

diversification des approvisionnements énergétiques des pays importateurs (géopolitique), même si la crise entre l'Ukraine et la Russie au début de l'année 2006 montre que ce n'est pas la solution miracle. Dans certains pays, comme la Russie ou l'Argentine, l'usage du gaz naturel a même dépassé celui du pétrole.

Le gaz naturel est devenu une industrie globale, ce qui tranche singulièrement avec l'époque (jusqu'aux années 1950, bien plus tard dans certains pays), où il était avant tout perçu comme un coproduit encombrant et dangereux des puits de pétrole. [6]

IV.3 Utilisation du gaz naturel carburant dans le monde

Le gaz naturel pour véhicules (abrégé en GNV) ou gaz naturel comprimé (GNC) est du gaz naturel, constitué à 97% de méthane « selon la provenance du gaz », le même que celui du réseau Gaz de ville.

En raison de ces conditions de distribution, le GNV a d'abord intéressé les utilisateurs de flottes captives, à savoir des flottes de véhicules rattachées à un site équipé d'un compresseur. Il s'agit prioritairement des autobus et des gros utilitaires urbains (bennes à ordures, par exemple). Pour les particuliers, il existe plusieurs possibilités. Le réseau de stations service GNV permet aux particuliers de faire le plein de GNV ou bien au moyen d'un compresseur domestique installé au garage.

Pour des raisons de sécurité et d'encombrement, la station de remplissage domestique ne comporte pas de réserve de gaz sous pression, mais compresse le gaz directement dans le réservoir de la voiture. Contrairement au plein en station (avec réserves sous pression), le plein à la maison est donc un processus assez long. La station domestique fonctionne sans surveillance et s'arrête quand le réservoir de la voiture est plein. [6]

Dans le monde 3,6 millions de véhicules roulent au GNV selon la répartition donnée par le tableau ci après :

Tableau 4.1 : Parc véhicules et infrastructures mondiale du GNC

Pays	Parc véhicule (milliers)	Consommation (Mtep)	Nombre de stations
Italie	400	0,36	463
Etats-unis	130	0,35	1300
Canada	20	0,04	222
Japon	18	nd	226
Allemagne	19	nd	337
Irlande	10	nd	10
France	7	0,02	102
Argentine	1243	1,7	1105
Brésil	740	0,8	860
Pakistan	540	nd	574
Inde	159	nd	166
Chine	69	0,05	270
Venezuela	50	nd	140
Egypte	52	nd	79
Ukraine	45	nd	130
Russie	36	0,024	218
Bangladech	32	nd	68
TOTAL	3649	3,81	7180

Source : IANGV / AIE

IFP/Direction des études économiques/2004

IV.4 Caractéristiques du gaz naturel

Dans des conditions normales (0°C et 760 mm de Hg), 1 m³ de gaz naturel à un pouvoir calorifique supérieur (PCS) de 8 à 10 thermies suivant son origine (soit 33 à 42 MJ).

Le point critique du méthane est caractérisé par une pression de 45,96 bars et une température de -82,7°C. Pour liquéfier le gaz naturel, dont le point critique est proche de celui du méthane, il faut fournir une température inférieure à cette température.

Le tableau ci-dessous donne quelques caractéristiques du gaz naturel (méthane) comparées à celles de l'essence classique.

Tableau 4.2 : Comparaison des caractéristiques du méthane et de l'essence

Caractéristiques	Méthane	Essence classique
Indice d'octane	130	95
Pouvoir calorifique massique (kJ/kg)	50009	42690
Contenu énergétique du mélange carburé (kJ/l)	3,10	3,46
Limite inférieure d'inflammabilité (φ)	0,50	0,60*
Vitesse laminaire de combustion à richesse 0,8 (cm/s)	30	37,5*
Energie minimale d'allumage (mJ)	0,33	0,26**
Température adiabatique de flamme ($^{\circ}$ K)	2227	2266*

*données relatives à l'iso-octane

**donnée relative au butane

- L'énergie minimale d'allumage du méthane par étincelle est nettement plus élevée que celle des autres hydrocarbures.
- Indices d'octane du méthane de l'ordre de 130 à 140.
- Le méthane se caractérise par une température de flamme assez faible, ce qui contribue à limiter les émissions d'oxydes d'azote.
- Rapport stœchiométrique 17.23
- Températures minimales d'auto-inflammation 580°C.
- Limites d'inflammabilité assez larges.

a. Pouvoir calorifique du gaz naturel

Le pouvoir calorifique d'un combustible est la quantité de chaleur exprimée en kWh ou MJ, qui serait dégagée par la combustion complète de un (1) mètre cube normal ($m^3(n)$) de gaz sec dans l'air à une pression absolue constante et égale à 1,01325 bar, le gaz et l'air étant à une température initiale de 0°C (zéro degré Celsius), tous les produits de combustion étant ramenés à 0°C et une pression de 1,01325 bar.

Le pouvoir calorifique du gaz naturel s'exprime en MJ ou kWh par mètre cube.

On distingue 2 pouvoirs calorifiques.

PCS = PCI + Chaleur latente d'évaporation

PCS = pouvoir calorifique supérieur :

C'est la quantité de chaleur exprimée en kWh ou MJ, qui serait dégagée par la combustion complète de un (1) mètre cube normal de gaz. L'eau formée pendant la combustion étant ramenée à l'état liquide et les autres produits étant à l'état gazeux.

PCI = pouvoir calorifique inférieur :

Il se calcule en déduisant par convention, du PCS la chaleur de condensation (2 511 kJ/kg) de l'eau formée au cours de la combustion et éventuellement de l'eau contenue dans le combustible.

Chaleur latente de vaporisation :

La combustion d'un produit génère, entre autres, de l'eau à l'état de vapeur. Pour la vaporisation de 1 kg d'eau, 2 511 kJ/kg sont nécessaires. Cette énergie se perd avec les gaz de combustion évacués à moins de condenser la vapeur d'eau et d'essayer de récupérer la chaleur s'y étant accumulée.

Certaines techniques permettent de récupérer la quantité de chaleur contenue dans cette eau de combustion en la condensant (chaudières à condensation)

Le gaz naturel contient cependant plus d'hydrogène, par conséquent, la déperdition d'énergie est plus importante lors de la combustion en raison de la formation de vapeur d'eau évacuée par la cheminée. Environ 10 % de l'énergie disponible est perdue dans ce cas.

Rapport PCI/PCS pour le gaz naturel : environ 0,9028 (3,25/3,6)

Tableau 4.3 : Pouvoir calorifique du GNC comparé à d'autres carburants :

carburant	PCI (Mj/Kg)
Essence (automobile)	43,8
Essence (aviation)	44,0
GPL	46,1
Gazole	42,5
Kérosène	43,3
GNV	48,0
Hydrogène	120,0
Isooctane	44,4

source Wikipédia

IV.5 Statistiques sur le gaz naturel

En 2005, selon BP, le monde a produit 2743 milliards de mètres cubes de gaz naturel, en hausse de 2,5% par rapport à 2004. La Russie représente 22% de la production mondiale.

Les chiffres de production de gaz naturel sont assez complexes à interpréter, selon les modes de calcul on peut ou non compter le gaz associé brûlé en torchère, compter les volumes de gaz avant ou après extraction des polluants, etc. Les chiffres de l'AIE sont d'ailleurs différents de ceux de BP, avec une production mondiale de 2871 G(m³) pour la même année, soit près de 5% plus que BP.

Tableau 4.4 : Production du gaz naturel par pays en 2005 selon l'AIE

	pays	Production (Gm³)	Production (Mtep)	Remarques
1	Russie	598	540	Principalement en Sibérie occidentale
2	Etats-Unis	525	573	Rôle croissant
3	Canada	185	167	En déclin probable
4	Algérie	88	79	Plus de 50% de la production africaine
5	Royaume-Uni	88	79	Déclin rapide
6	Iran	87	78	Réserves sous exploitées
7	Norvège	85	76	
8	Indonésie	76	68	Exploitation en déclin
9	Arabie Saoudite	70	62	Réserves sous exploitées
10	Pays-bas	62	57	
11	Malaisie	60	54	
12	Turkménistan	59	53	
13	Ouzbékistan	56	50	
14	Chine	50	45	Croissance très rapide (production doublée en 05 ans)
15	Emirats	47	42	
16	Argentine	46	41	Déplétion rapide des réserves
	Total	2763	2486	

source
Wikipédia

Tableau 4.5 : exportations du gaz naturel par payer et les principaux clients

	pays	Exportation (Gm³)	Exportation (Mtep)	Type d'exportation	Clients principaux
1	Russie	203	183	Gazoduc	Europe, Turquie
2	Canada	106	95	Gazoduc	Etats-Unis
3	Algérie	68	62	Gazoduc + GNL	Europe
4	Norvège	82	74	Gazoduc	
6	Pays-bas	52	47	Gazoduc	Pays voisins
5	Indonésie	36	33	GNL	Japon, Corée du sud
7	Malaisie	32	29	GNL	
8	Turkménistan	49	45	Gazoduc	Injection dans le réseau russe
9	Qatar	28	25	GNL	Europe, Asie

IV.6 Avantages du gaz naturel

- Le gaz naturel ne nécessite pas, après extraction, de traitement lourd comme le pétrole qui doit être distillé dans d'imposantes raffineries,
 - Le transport terrestre du gaz naturel dans des gazoducs nécessite beaucoup moins d'énergie que le transport du pétrole ou celui des carburants liquides qui en sont extraits,
 - Le transport maritime du gaz naturel se fait à bord de navires spéciaux baptisés "méthaniers". En cas d'accident, les plus récents de ces navires ne présentent aucun risque de marée noire puisque même leurs moteurs fonctionnent au gaz naturel.
 - Une inflammabilité difficile : le GNV est le carburant le plus difficilement inflammable. La température nécessaire pour enflammer le gaz naturel se situe à 540°C, soit le double du gazole.
 - Une dilution rapide : le GNC plus léger que l'air se dissipe rapidement en cas de fuite, sans former de nappe explosive ou de flaque inflammable, contrairement aux autres carburants. En atmosphère confinée, la vitesse de dispersion élevée dans l'air permet au gaz naturel de se diluer rapidement.
 - Une plage d'inflammabilité réduite : la plage d'inflammabilité du GNC est comprise entre 5 % et 15 % de concentration dans l'air.
 - Les ressources de gaz naturel dans le monde sont importantes et la recherche pétrolière met à jour chaque année plus réserves de méthane qu'il n'en est actuellement consommé.
 - Le méthane peut être aussi obtenu artificiellement à partir de déchets organiques (c'est le bio-gaz),
 - A température ambiante, le méthane reste à l'état gazeux (il ne se liquéfie qu'à -160°C). A bord des véhicules, il est stocké sous pression dans des bouteilles. Il n'y a donc aucun risque d'explosion par effet "bleve" (explosion provoquée par la brusque évaporation, sous l'effet de la chaleur, d'une masse importante d'hydrocarbure liquide stockée dans un réservoir clos, tel qu'un réservoir de GPL ou d'essence),
 - Les réserves de gaz naturel fossile dans le monde sont importantes, et le biogaz est une source additionnelle.
 - Des émissions réduites : 25% d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) en moins que les autres carburants.
- Amélioration de la qualité de l'air : aucune fumée ni oxydes de soufre, ni plomb, ni particules et pratiquement pas d'oxydes d'azote.
- Le GNC réduit également les vibrations des véhicules, améliorant ainsi le confort des passagers et des conducteurs.
 - Le GNC est excellent pour la durée de vie du moteur qui présente un fonctionnement particulièrement souple qui réduit l'usure des véhicules.
 - Le GNC démarre à toutes les températures sans surconsommation quand il tourne à froid.
 - Les véhicules au GNC sont aussi plus silencieux que les autres (-5 à -8 décibels). [17]

Compte tenu de ces éléments et des caractéristiques du GNC, il n'existe aucune restriction concernant l'accès aux parkings souterrains pour les véhicules fonctionnant au GNC. Tous ces avantages font que le GNC constitue véritablement la solution alternative aux carburants liquides traditionnels issus du pétrole. Immédiatement disponible.

Son utilisation, qui ne nécessite pas de transformation majeure du moteur, présente des avantages pour l'environnement en réduisant les émissions de polluants à la sortie du pot d'échappement, surtout dans le cas d'un véhicule dédié à l'usage de ce carburant. [7]

VI.7 Inconvénients du gaz naturel

- Le problème du stockage et de l'approvisionnement :
- Les problèmes de poids et d'encombrement. Cet handicap ainsi que celui de la perte de puissance (10% en moyenne) par rapport à l'essence pourraient être corrigés à l'avenir par des innovations à l'étude.
- Le problème d'autonomie ; les véhicules avec une motorisation adaptée possèdent des réservoirs gonflés à 200 bars qui leur offrent une autonomie de 400 km
- Le risque qui est dû aux hautes pressions (> 200 bars) du réservoir du véhicule et de la station de remplissage contrairement au GPL qui est stocké entre 2 et 10 bar.
- Les moteurs actuels au GNV utilisent le cycle de Beau de Rochas et non pas le cycle Diesel, ce qui leur est défavorable en terme de rendement, donc en terme d'émission de CO₂. [7]

IV.8 Pollution et effet de serre

Pour répondre rapidement et efficacement aux problèmes de pollution automobile, des hydrocarbures plus propres que les carburants traditionnels existent : parmi eux le gaz naturel est le moins polluant. En effet, sa composition chimique est très simple puisqu'il ne comporte que 7 éléments dont 90% de méthane (selon son origine). A titre indicatif, l'essence est constituée de 150 éléments différents et le gazole de plus de 1000 qui, au cours de leur combustion, émettent des produits toxiques. [3]

Comparaison :

- **Combustion du butane** (composition du GPL) $2 C_4 H_{10} + 13 O_2 \rightarrow 8 CO_2 + 10 H_2O$
- **Combustion du méthane** : $CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$

On voit par ces équations que la quantité de CO₂ (gaz carbonique) rejetée est 4 fois moins importante dans le cas du méthane que dans le cas du butane [16]

De tous les hydrocarbures, le GNV est celui qui contient le moins de carbone et il est donc riche en hydrogène. Cette particularité est favorable en ce qui concerne les émissions de CO₂. L'utilisation de cette énergie contribue à lutter contre l'effet de serre : en moyenne, un véhicule gaz naturel produit :

- **25 % de moins de CO₂ qu'un véhicule équivalent fonctionnant à l'essence**

- **10 %** de moins qu'un véhicule équivalent fonctionnant au **gazole**. [16]

On est en mesure de douter de l'efficacité du GNV en faveur de la lutte contre la pollution mondiale parce qu'un véhicule gaz naturel rejette du méthane imbrûlé. Cependant, si on compare toute la filière du gaz naturel à celle des carburants classiques (extraction, transport, raffinage), la filière gaz naturel dans son ensemble est plus propre et produit moins de CO₂.

Aussi à l'échelle du moteur, les véhicules circulant au GNV présentent de bonnes performances environnementales, Les émissions de substances nocives sont particulièrement faibles à l'exception des émissions de composés organiques volatils qui sont supérieures à celles du diesel. Les émissions de CO₂ sont sensiblement inférieures mais en restent toutefois assez proches. Notons que le GNV comme le GPL pourraient voir leurs performances s'améliorer considérablement avec un moteur spécifiquement conçu pour ces carburants.

Outre cette réduction directe des émissions polluantes, la distribution du GNV entraîne d'autres réductions. Alors que les stations classiques doivent être alimentées régulièrement par voie routière ce qui entraîne l'encombrement des villes et signifie donc encore plus de pollution, une station gaz naturel est directement reliée au réseau de distribution.

Outre ces avantages environnementaux le GNC est également un puissant gaz à effet de serre à vie courte considéré comme étant 63 fois plus nuisible sur 20 ans que le CO₂. Il faudrait donc, pour prendre la mesure de la contribution du GNV à l'augmentation de l'effet de serre, prendre en compte toute la filière, de l'extraction à la combustion et comptabiliser les pertes de gaz. Il est donc possible qu'en termes d'effet de serre et en l'état des techniques et de la filière, le GNV présente des performances inférieures au gazole. [16]

IV.9 Sécurité

La sécurité des véhicules G.N.V : Les éléments de sécurité sont :

Le réservoir:

- le réservoir contient une pression minimum de $3 \cdot 10^5$ Pa(300 bar) et possède une pression maximum supérieure à $7 \cdot 10^6$ Pa (700 bar);
- les fixations du réservoir peuvent résister jusqu'à une décélération de 30G ce qui correspond environ à un choc frontal à la vitesse de 50 km/h ;
- une vanne manuelle d'isolation du réservoir permet de stocker le carburant dans le réservoir en cas de rupture de la canalisation ;
- *Le limiteur de débit:*
- il empêche une fuite importante de carburant en cas de rupture de la canalisation: le limiteur de débit est situé sur la vanne manuelle d'isolation du réservoir.
- *Les deux clapets « anti -retour »:*

- il y a un clapet à l'entrée du réservoir et l'autre sur la canalisation entre le réservoir et la vanne de remplissage.
- *Le gainage ventilé:*
- il entoure toutes les tuyauteries à l'intérieur du véhicule et évite ainsi toute accumulation de gaz dans le véhicule. Enfin, la canalisation reliant le réservoir au moteur est en acier inoxydable et se situe à l'extérieur du véhicule. [16]

Chapitre 5

Etude comparative

L'adaptation optimale d'un véhicule au GN, implique des modifications importantes sur :

- Le moteur lui-même (taux de compression élevé, allumage puissant).
- Le système d'alimentation.
- Le réservoir.

Il reste alors à estimer le comportement du moteur en matière de :

- Combustion.
- Performances.
- Pollution.

V.1 La combustion

La combustion est l'un des processus fondamentaux qui se déroule dans la chambre de combustion du moteur et dont dépend le rendement.

La combustion désigne une réaction chimique évoluant rapidement, réaction chimique accompagnée d'émission lumineuse et d'un important dégagement de chaleur : c'est la flamme. La combustion comprend trois phases :

- l'inflammation,
- la propagation de la flamme
- l'extinction.

C'est pendant la première phase que se développe la combustion.

Pour que la combustion ait lieu, les sources de chaleur, par exemple électriques (bougie d'allumage), produisent des radicaux libres (OH, H...) qui agissent en temps qu'initiateur de la réaction chimique. Par l'intermédiaire de ces réactions en chaîne, une zone brûlée se déplace grâce à des processus de transport tels que la diffusion moléculaire, thermique et la conduction de chaleur.

Lors de ces réactions chimiques successives, l'augmentation de la température introduit un grand nombre d'ordre d'auto-accélération qui fait suivre une explosion. Notamment, dans les phénomènes de combustions 'chaudes', les effets de l'augmentation de température sur l'auto-accélération sont plus ressentis que ceux dus à l'augmentation de la concentration en radicaux libres.

Ordinairement la tendance est de rapprocher le cycle réel dans le moteur alternatif au cycle idéal. Ceci est nécessaire pour que le processus de combustion se produise autant que possible à proximité du PMH. Plus le processus est proche du PMH, plus grand sera le taux de la détente des produits de combustion dans le cylindre et par conséquent plus grand sera le rendement du moteur.

D'autre part, la combustion momentanée du mélange carburé est aussi indésirable puisque, dans ce cas, la pression des gaz croit brusquement et se transmet brutalement (par petits chocs) au piston, à la bielle, au vilebrequin et au coussinet.

Une telle augmentation de la charge exerce des répercussions nuisibles sur le mécanisme bielle-manivelle.

Des études sur le processus de la combustion ont montré que celle-ci pouvait s'effectuer selon deux mécanismes distincts de caractères essentiellement différents :

- Le premier est le plus simple et le plus fréquent de ces modes est la combustion déflagrante qui se rencontre normalement dans presque tout les cas usuels et correspond au fonctionnement normal des moteurs.
- Le deuxième mode est la combustion détonante qui représente un effet anormal du fonctionnement du moteur et provoque une diminution notable du rendement et des désordres mécaniques importants.

La combustion commence à la fin du processus de compression et continue au début du processus de détente. Au cours de la combustion, l'énergie chimique du carburant se transforme en chaleur. Après cela, une partie de cette chaleur se transforme en énergie mécanique.

La courte durée du processus de combustion qui est de l'ordre de $2 \text{ à } 3 \cdot 10^{-3}$ secondes est caractéristique pour cette période de déroulement du cycle.

La puissance du moteur et l'économie en carburant dépendent des facteurs suivants:

- la quantité de chaleur dégagée au cours de la combustion.
- la valeur de la quantité de chaleur convertie en travail utile.
- la vitesse de combustion.
- la durée d'oxydation des produits de combustion au cours de la détente.

Pour utiliser au maximum l'énergie potentielle du combustible, il faut que la combustion du carburant soit complète c'est-à-dire une oxydation complète des molécules du carburant avec le dégagement maximum possible de la quantité de chaleur.

Les grandes températures et les pressions des gaz provoquent un très fort échange de chaleur à travers les parois. Au cours du processus de combustion, on perd dans les parois 4 à 6 % de la chaleur dégagée.

Les produits finaux de la combustion des hydrocarbures qui constituent les éléments du carburant sont l'oxyde carbonique et l'eau (vapeur). Cependant, en réalité, le processus de combinaison chimique des molécules de combustible avec l'oxygène passe par des phases successives au cours desquelles s'effectue l'oxydation progressive et la formation des produits intermédiaires.

La suite de ces réactions qui sont liées avec la transformation des molécules de combustible en produits finaux de combustion s'appelle : mécanisme de la réaction de combustion. [5]

Plusieurs paramètres influent sur le processus de combustion tels :

- La vitesse de la combustion
- Le coefficient d'excès d'air.
- L'inflammation anticipée ou avancée à l'allumage.
- La vitesse de rotation du moteur.
- Le taux de compression

V.1.1 La combustion détonante :

V.1.1.a La détonation dans les moteurs à essence.

Dans certains cas, la combustion peut perdre sa forme normale et prendre un caractère explosif. La partie du mélange carburé qui brûle la dernière est exposée à subir une combustion détonante dont la vitesse est de l'ordre de 2000 à 2500 m/s.

Suite à la grande vitesse de dégagement de chaleur, la pression du gaz augmente brusquement entraînant une combustion explosive. Cette combustion d'une partie du mélange accompagnée d'une augmentation locale anormale de la température et de la pression s'appelle "**détonation**".

L'explication la plus probable de la détonation est la suivante : L'oxydation du combustible par l'oxygène peut se faire à des pressions et températures basses du mélange carburé.

Avant inflammation du mélange par étincelle électrique, il y a amorçage de certaines réactions chimiques à chaînes dépendantes d'oxydation préalables du combustible et apparition de composés instables (principalement peroxydes). Ce phénomène s'appelle préparation chimique.

L'accroissement de l'intensité de ce phénomène fait accroître la vitesse d'inflammation.

Dans le cylindre, la préparation chimique des parties isolées du mélange n'est pas la même. La plus petite compression préalable se produit dans cette partie du mélange qui s'enflamme de l'étincelle électrique pendant la compression. La partie qui brûle la dernière est soumise à la plus grande compression préalable puisque sa pression augmente non seulement pendant l'allure de compression mais pendant le temps de propagation du front de flamme. La pression de cette partie du mélange est légèrement plus petite que la pression maximale de combustion.

Dans les moteurs contemporains, cette pression atteint 40 à 80 bars et la température de compression peut atteindre 1200 K.

Ces conditions de pression et de température intensifient la préparation chimique de la partie qui brûle la dernière qui sera incomparablement plus grande que la partie qui s'enflamme d'étincelle électrique.

En pratique, il est possible que la préparation chimique du mélange soit aussi grande que le mélange peut instantanément s'enflammer même pour une augmentation insignifiante de sa pression et sa température.

Suite à la dilatation rapide de la première partie des gaz brûlés, des ondes de compression prennent naissance dès le début de la combustion et s'étendent du front de flamme jusqu'au mélange non brûlé. Ces ondes élémentaires de compression provoquent une augmentation de la pression dans toute la chambre de combustion.

Pour une préparation chimique suffisante et pour une certaine accumulation des oxydes dans le mélange carburé, la plus petite augmentation de la température et de la pression, au cours du passage de l'onde de compression, peut provoquer une inflammation brusque (instantanée) du mélange à l'intérieur de l'onde même. Une onde explosive surgit ensuite et s'étend avec une vitesse énorme dans le mélange.

La température des gaz dans l'onde de détonation peut atteindre 3000 à 4000°K. la pression devient presque deux fois plus grande. La création de l'onde de détonation est accompagnée de l'apparition d'une autre onde qui se propage dans le mélange carburé dans le sens contraire du mouvement de l'onde de détonation. Au moment des chocs de ces ondes, deux ondes de répercussion surgissent et se réfléchissent sur les parois du cylindre et s'amortissent au cours de la détente.

L'apparition de la détonation influe très fort sur le travail du moteur en provoquant les conséquences suivantes :

a- Au moment des chocs des ondes de détonation, de réaction et de répercussion aux parois du cylindre :

Il apparaît un cliquetis mécanique provoqué par les vibrations des parois.

L'échange de chaleur augmente. La détonation s'accompagne d'une forte augmentation locale de la température des parois de la chambre de combustion qui peut amener à la surchauffe de la culasse, du piston, des soupapes, des électrodes des bougies,

b- Le grand accroissement de température pendant la détonation amène à la dissociation du mélange carburé avec dégagement de carbone pur. L'augmentation de température et la diminution de pression pendant la détente empêchent le carbone de brûler, et il est rejeté sous forme de suie. La détonation se caractérise par des bouffées de fumée noire.

c- Le rendement et la puissance diminuent suite à une mauvaise utilisation de l'énergie de combustible (dissociation et perte par les parois).

d- L'effet des ondes de détonation, de réaction et de répercussion sur les parois provoque une surcharge dynamique sur le mécanisme bielle-manivelle.

Le principal moyen de lutter contre la détonation est l'utilisation des combustibles avec un nombre d'octane élevé.

V.1.1.b La détonation dans les moteurs diesel

La combustion détonante est due aux causes absolument différentes de celles valables pour les moteurs à essence.

La retenue a une influence énorme sur le fonctionnement du moteur. Plus la retenue est longue, plus le combustible non enflammé s'accumule dans le cylindre. Ce combustible ajouté au combustible injecté pendant la deuxième phase brûle brusquement et explosivement. Ainsi, la pression augmente beaucoup plus que les normes admissibles.

Ce sont la combustion explosive et l'augmentation de pression qui provoquent la détonation (cogement) dans les moteurs diesel. Ainsi, la détonation dans les moteurs diesel s'amorce au début de la combustion suite au retard d'auto-allumage. Contrairement au moteur à essence où elle apparaît en fin de combustion suite à une inflammation prématurée.

Tous les facteurs qui contribuent à l'augmentation du délai d'inflammation au moteur diesel amplifient la tendance à la détonation.

V.1.1. c Particularités liées à la combustion sur moteur à gaz naturel

Pour illustrer ce point, nous choisissons délibérément ici de comparer quelques caractéristiques intrinsèques du méthane (principal constituant du gaz naturel) et d'une essence classique (tableau 5.1). Lorsque les données relatives à l'essence ne sont pas disponibles, nous retenons, pour la comparaison, un hydrocarbure liquide, par exemple l'isooctane. [5]

Tableau 5.1 : Caractéristiques comparées du méthane et d'une essence classique [5]

Caractéristiques	Méthane	Essence classique
Indice d'octane	130	95
Pouvoir calorifique massique (kJ /kg)	50 009	42 690
Contenu énergétique du mélange carburé (kJ/dm ³)	3,10	3,46
Limite inférieur d'inflammabilité (ϕ)	0,50	0,60*
Vitesse laminaire de combustion, richesse 0,80(cm/s)	30	37,5*
Energie minimale d'allumage (mJ)	0,33	0,26**
Température adiabatique de flamme	2 227	2 266**

* Donnée relatives a l'isooctane

** Donnée relatives au butane

V.1.2 Indices d'octane

Il n'est pas possible de réaliser sur un moteur CFR, des mesures normalisées d'indice d'octane RON ou MON. Aussi a-t-on proposé, au cours des années 1970, une procédure spécifique conduisant à un "indice de méthane". Aujourd'hui, ces techniques ne sont plus utilisées. On se contente d'estimer, par extrapolation, des indices RON et MON du méthane qui seraient respectivement de l'ordre de 130 et 115.

La très forte résistance à l'auto-inflammation du méthane conduit à orienter, de façon logique, l'usage du GNV vers des moteurs à allumage commandé, avec initiation de la flamme par étincelle. L'adoption du cycle diesel peut certes être envisagée, mais ceci implique une combustion du type dual-fuel, avec injection de gazole dans un mélange préalable air/gaz naturel.

La technique dual-fuel a fait l'objet de nombreuses expérimentations; elle présente un intérêt certain sur des moteurs fixes; cependant, dans le transport routier, elle nécessite une régulation complexe en régime transitoire pour éviter, tantôt une combustion incomplète, tantôt un cliquetis sévère. C'est pour ces raisons que la majorité des véhicules alimentés au GNV fonctionnent aujourd'hui selon le cycle classique du moteur "à essence". [5]

V.1.3 Allumage et propagation de la flamme

L'énergie minimale d'allumage du méthane par étincelle est nettement plus élevée que celle des autres hydrocarbures. L'adaptation d'un moteur au gaz naturel impliquera par conséquent le choix d'un allumage performant (bobine de plus forte capacité).

Par ailleurs, le méthane présente un domaine d'inflammabilité plus large que les autres hydrocarbures; sur moteur, il permettra donc un fonctionnement en mélange plus pauvre, ce qui sera mis à profit dans certaines réalisations, notamment sur des véhicules industriels.

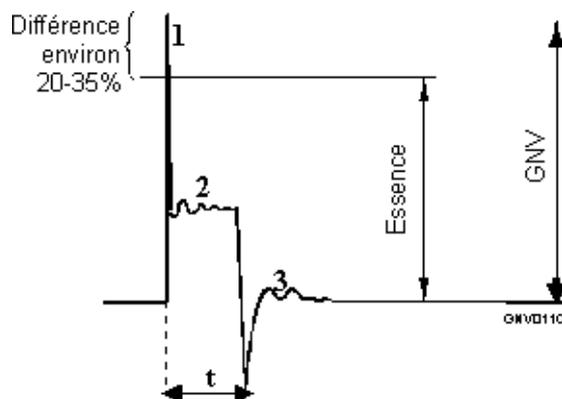


Fig 5.1 Signal de tension à la bougie, comparaison essence/GNV [15]

Le mélange de gaz naturel et d'air étant plus "sec" à une résistance électrique plus élevée, il s'ionise moins bien, l'étincelle entre les électrodes de la bougie devra être assez forte pour vaincre cette résistance. On choisira donc des bobines d'allumage de plus forte capacité capable de produire une énergie de 100 à 110 mJ (contre 30 à 40 pour un moteur à essence classique).

L'étincelle ne peut se propager d'une électrode à l'autre qu'en présence d'une haute tension suffisante. Au point d'allumage, la tension qui règne aux électrodes de la bougie augmente subitement de zéro à la tension d'éclatement (1). Dès que l'étincelle jaillit, la tension à la bougie retombe à la tension de combustion (2). Pendant la durée « t » de combustion de l'étincelle d'allumage, le mélange air-carburant peut s'enflammer. Lorsque l'étincelle s'éteint, la tension s'annule sous forme d'oscillations amorties (3)

L'avance : La combustion du gaz naturel étant plus lente que celle de l'essence, On doit donc anticiper l'avance, afin d'harmoniser le moment de la pression dans le cycle de travail en comparaison avec l'essence.

L'avance à l'allumage par rapport au réglage essence : 0° ralenti à chaud. et +6° à la puissance maxi

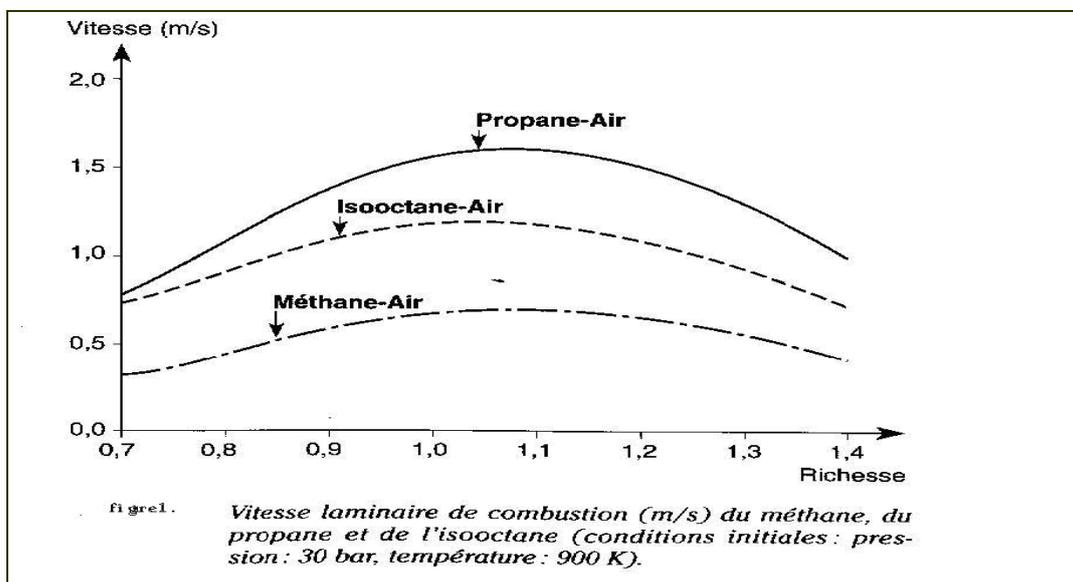


Fig 5.2 Vitesse laminaire de combustion du méthane, du propane et de l'isooctane [19]

La combustion du méthane est relativement lente (figure 5.2); cette particularité peut constituer un facteur de détérioration des performances à cause, par exemple, d'un accroissement des transferts thermiques aux parois. On combattra cette tendance en agissant sur les conditions aérodynamiques (turbulence). Il faut noter enfin que la combustion moins rapide du méthane peut contribuer à une réduction du bruit de combustion, grâce à un gradient de pression moins prononcé.

V.1.4 Composition et température des produits de combustion

Le méthane ne contient que 75% (masse) de carbone contre 87 à 88 % pour les carburants liquides traditionnels. Dans des conditions stœchiométriques, la teneur en CO₂ des produits de combustion n'est que de 11,7% contre 14,5%, par exemple, pour l'isooctane.

De même, en mélange riche, la teneur en CO sera plus faible avec le méthane qu'avec les autres hydrocarbures. Les valeurs calculées, à richesse 1.10, sont, par exemple, de 2.2% avec le méthane et de 3.3% avec le toluène.

Le méthane se caractérise aussi par une température de flamme assez faible, ce qui contribue à limiter les émissions d'oxydes d'azote.

V.1.5 La combustion sous pression dans un moteur à gaz naturel

V.1.5.A Exigences :

Pour que la combustion puisse se déclencher et se propager, il faut que :

- Le carburant et le comburant forment un mélange parfaitement homogène
- Le mélange soit proportionné
- Un point du mélange soit porté à une température supérieure à la température d'inflammation.

V.1.5.B Les différents types de combustion

- Combustion stœchiométrique => si, pour 1m³ de gaz combustible, on fournit la quantité d'air nécessaire et suffisante pour obtenir une combustion complète.
- Combustion en excès d'air.
- Combustion en défaut d'air (utilisation totale de l'oxygène).
- Combustion incomplète. [5]

V.1.5.C Phénomène de la détonation ou du cliquetis :

Dans un moteur à gaz, la combustion n'intervient pas immédiatement dans tout le mélange air/gaz, alors que dans un diesel, toutes les gouttes de carburant s'enflamment en raison de la pression et de la température. La combustion du mélange air/gaz est amorcée par une étincelle, et la flamme met un certain temps pour traverser la chambre de combustion, enflammant le mélange, et augmentant la pression dans la partie non atteinte par le front de flamme.

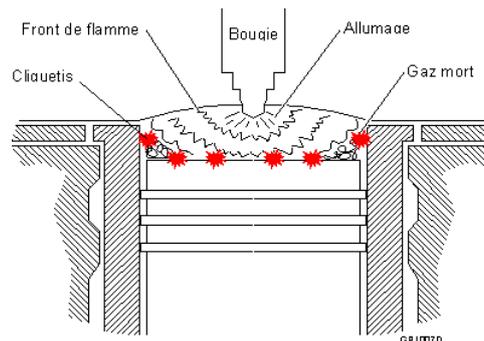


Fig 5.3 phénomène de cliquetis

Pendant le phénomène, une partie du mélange a déjà brûlé, et une partie attend d'être brûlée. La partie non enflammée appelée gaz mort est chauffée par la compression due à l'expansion de la partie du mélange qui brûle, et par les radiations de chaleur du front de flamme lui-même. Si la température et la pression excèdent certaines valeurs critiques, la partie non brûlée s'enflamme spontanément avant que le front de flamme ne l'atteigne. Cet autoallumage provoque des ondes de pressions élevées, se réfléchissant sur les parois, et donnant le bruit caractéristique de la détonation,

cognement ou cliquetis. Lorsqu'il est intense et prolongé, le cliquetis peut conduire à des incidents graves : rupture du joint de culasse, grippage ou fusion du piston, détérioration des parois de la chambre de combustion.

Le mécanisme de ces destructions est maintenant connu et consiste principalement en un accroissement important des contraintes thermiques, qui d'une part augmente le niveau thermique du moteur et peut induire du pré allumage, et d'autre part provoque des dommages locaux qui viennent aggraver les chocs très intenses subis par les parois.

La détonation dépend de la relation entre température, pression et temps que passe le mélange non brûlé avant l'arrivée du front de flamme. Toute condition entraînant une élévation de température au-delà d'une valeur critique (augmentation du taux de compression ou de la température d'air d'admission), et toute condition qui donne au gaz non encore brûlé, un temps plus long pour réagir, favorisent la détonation.

Un moteur détonnera quand le temps de réaction des gaz morts est plus court que le temps mis par le front de flamme pour les atteindre. Le temps de réaction est le temps que le mélange peut supporter dans la chambre de combustion, sous des pressions et températures croissantes données sans s'enflammer automatiquement.

Plusieurs facteurs influencent la détonation :

- Les caractéristiques du gaz,
- Le taux de compression,
- La température d'admission,
- Le calage de l'allumage,
- La charge (PME),
- Le rapport air-gaz.

V.2 Performances du moteur GNC :

V.2.1 La puissance

Particularités du moteur lors du fonctionnement en GNV.

Le carburant stocké sous forme de gaz naturel comprimé occupe une capacité naturellement supérieure à celle d'un carburant liquide, ce qui constitue un handicap réel sur le rayon d'action qui se trouve réduit de manière significative à volume égal embarqué. [14]

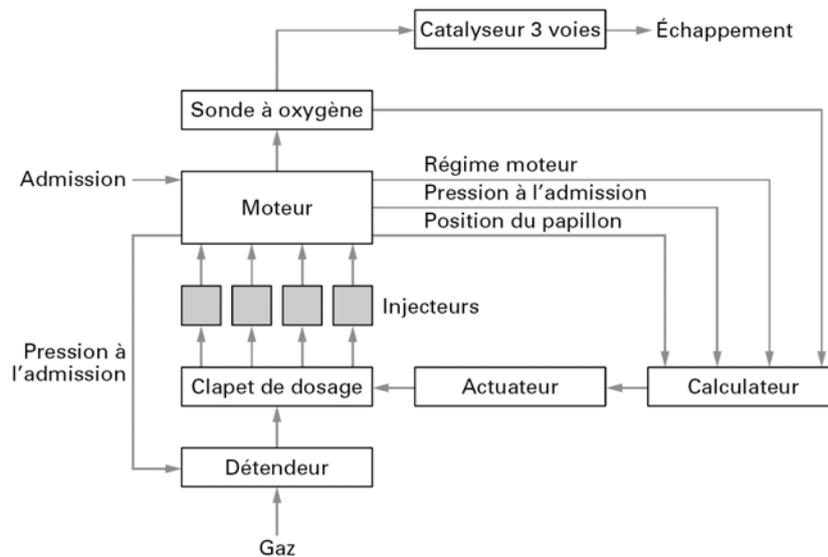


Fig 5.4 synoptique du fonctionnement au gaz naturel

L'inflammation du méthane par étincelle nécessite une énergie d'allumage supérieure à celle requise dans le cas d'un carburant liquide (essence) et sa vitesse de combustion, qui demeure plus faible que celle de l'essence, peut constituer un handicap pour les performances du moteur par suite de l'augmentation des échanges thermiques aux parois.

Le PCI massique du GNC est supérieur de 10 % à celui des carburants liquides conventionnels, mais le moteur à bicarburant n'est pas optimisé pour un fonctionnement au GNC. Il en résulte une chute de puissance de l'ordre de 15 % dans la mesure où le mélange réactif méthane-air injecté sous forme gazeuse présente un pouvoir calorifique volumique inférieur à celui obtenu, dans les mêmes conditions, pour un carburant essence. En revanche, l'état gazeux du GNC neutralise les désagréments éventuels qui sont susceptibles d'apparaître lors du fonctionnement à froid du moteur. De plus, l'indice d'octane élevé du GNC permet d'envisager une augmentation du taux de compression de l'ordre de un à deux points et un accroissement associé du rendement d'un moteur GNC dérivé du moteur à essence qui serait optimisé à ce carburant.

Le rendement du moteur GNC fait, par contre, l'objet d'une chute significative par rapport à celui d'un moteur Diesel turbosuralimenté qui constitue la référence usuelle en matière de rendement.

Ce déficit marqué est, bien entendu, inhérent au mode de combustion amorcée par étincelle dans un cycle à allumage commandé. Le concept de combustion en mélange pauvre avec catalyseur à oxydation peut permettre de remédier en partie à ce handicap en limitant les pertes à un niveau de l'ordre de 10 %.

Cette approche constitue une voie séduisante pour les applications urbaines, dans la mesure où l'objectif vise alors à réduire en premier lieu les émissions de polluants ainsi que les nuisances sonores.

Les études actuelles conduites par Renault Véhicules Industriels sur un moteur de bus six cylindres turbosuralimenté fonctionnant au gaz naturel, après transformation en allumage commandé, montrent que le rendement du moteur est relevé de manière significative en limite pauvre. Le motoriste demeure néanmoins confronté à la difficulté d'allumage et de propagation de la flamme, point sensible de la combustion en mélange pauvre ou hyperpauvre, qui peut conduire de surcroît à des émissions d'hydrocarbures imbrûlés plus élevées

V.2.2 Performances du moteur Diesel gaz

Les performances sont caractérisées par la pression moyenne effective réalisable, le rendement du moteur, le niveau de pression maximale et le taux d'émission de polluants.

Pression moyenne effective

Dans le cas de l'utilisation d'un combustible gazeux d'indice de méthane supérieur à un niveau dépendant du motoriste (70 à 80) et quel que soit le mode d'introduction du gaz dans le cylindre, haute ou basse pression, le même niveau de pression moyenne effective que celui du même moteur brûlant un combustible liquide, peut être réalisé (de l'ordre de 22 bars sur un moteur industriel). Cela implique, dans le cas du moteur Diesel gaz basse pression, le maintien de la richesse du mélange à un niveau constant et donc son contrôle rigoureux.

Rendement et pression maximale de cycle

Au point nominal d'adaptation du moteur, généralement point de pleine charge, les niveaux de rendement atteints sont les mêmes, que le moteur brûle un combustible liquide ou gazeux. A charge partielle, le rendement devient légèrement inférieur en combustion gaz (figure 5.5).

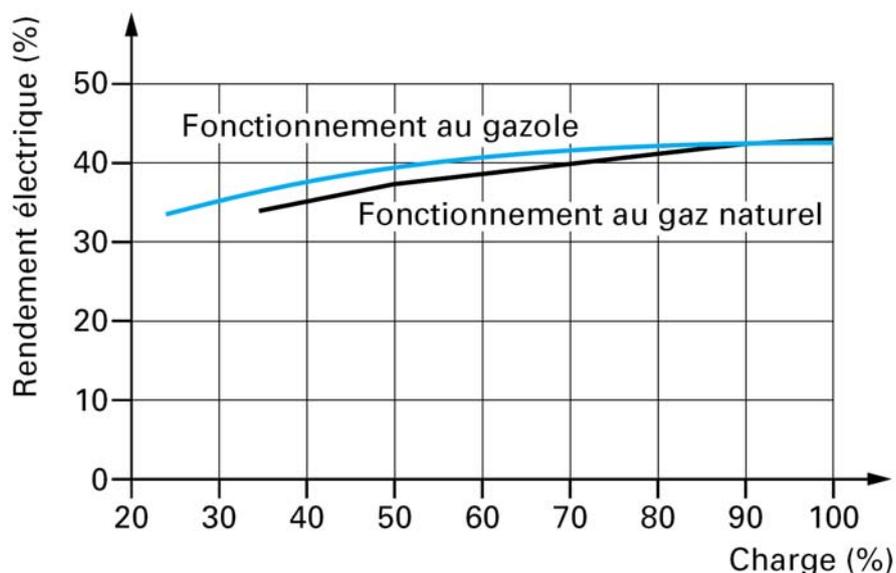


Figure 5.5 – Rendement comparé en fonction de la charge d'un moteur industriel alimenté en combustible liquide ou gazeux

En ce qui concerne le niveau de pression maximale de cycle, on observe, quelle que soit la charge, une réduction de l'ordre de 10 à 20 % pour le moteur Diesel gaz par rapport au même moteur adapté pour fonctionner aux combustibles liquides. On souligne, de plus, la dispersion des valeurs de pression de combustion, cycle à cycle, qui atteint des niveaux comparables à ceux des moteurs à essence.

Couple en fonction de la richesse

Pour le même moteur alimenté au gaz naturel ou à l'essence on enregistre une chute de couple au gaz naturel, $C_{max}=89 \text{ Nm}$ au gaz, $C_{max}=107 \text{ Nm}$ à l'essence. [18]

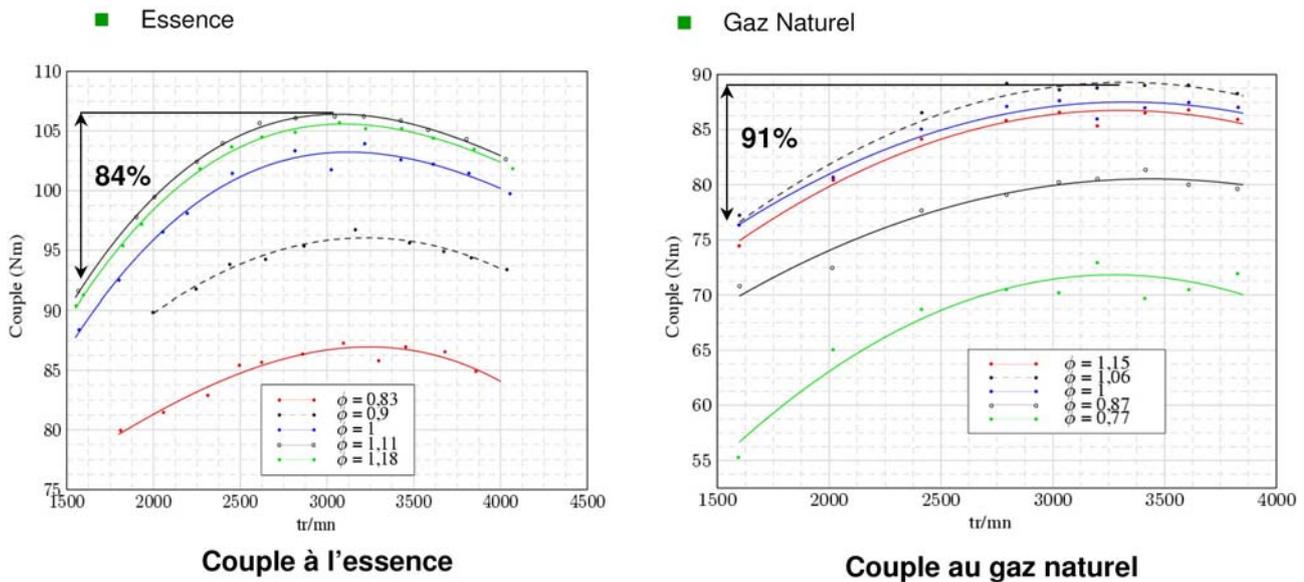


Fig 5.6 Couple en fonction de la richesse (essence et GNC).

Le rendement du moteur GNC fait, par contre, l'objet d'une chute significative par rapport à celui d'un moteur Diesel turbosuralimenté qui constitue la référence usuelle en matière de rendement. Ce déficit marqué est, bien entendu, inhérent au mode de combustion amorcée par étincelle dans un cycle à allumage commandé. Le concept de combustion en mélange pauvre avec catalyseur à oxydation peut permettre de remédier en partie à ce handicap en limitant les pertes à un niveau de l'ordre de 10 %. Cette approche constitue une voie séduisante pour les applications urbaines, dans la mesure où l'objectif vise alors à réduire en premier lieu les émissions de polluants ainsi que les nuisances sonores.

Le couple moteur en fonction de la puissance et du régime moteur :

Pour le graphe 5.7 on peut tirer le tableau 5.2

Tableau 5.2 Couple en fonction du régime

Régime (tr.min ⁻¹)	4000	4500	5000	5500
Couple (N.m)	138 ± 2	134 ± 2	125 ± 2	121 ± 2

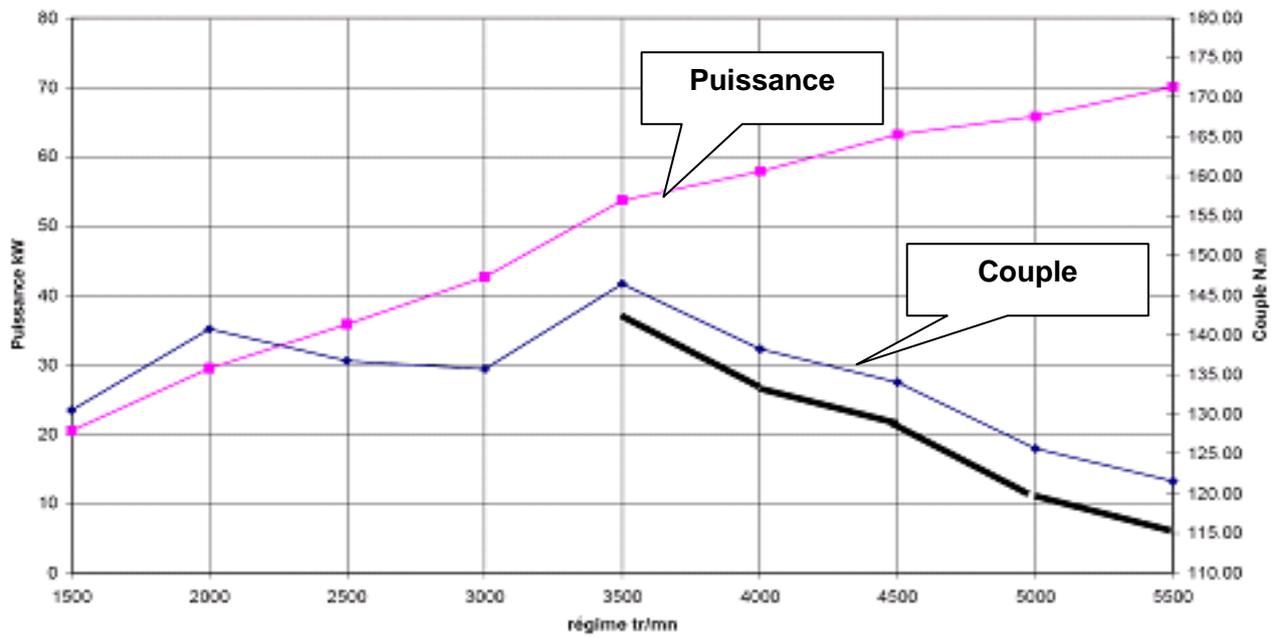


Fig 5.7 Performances du moteur GNC

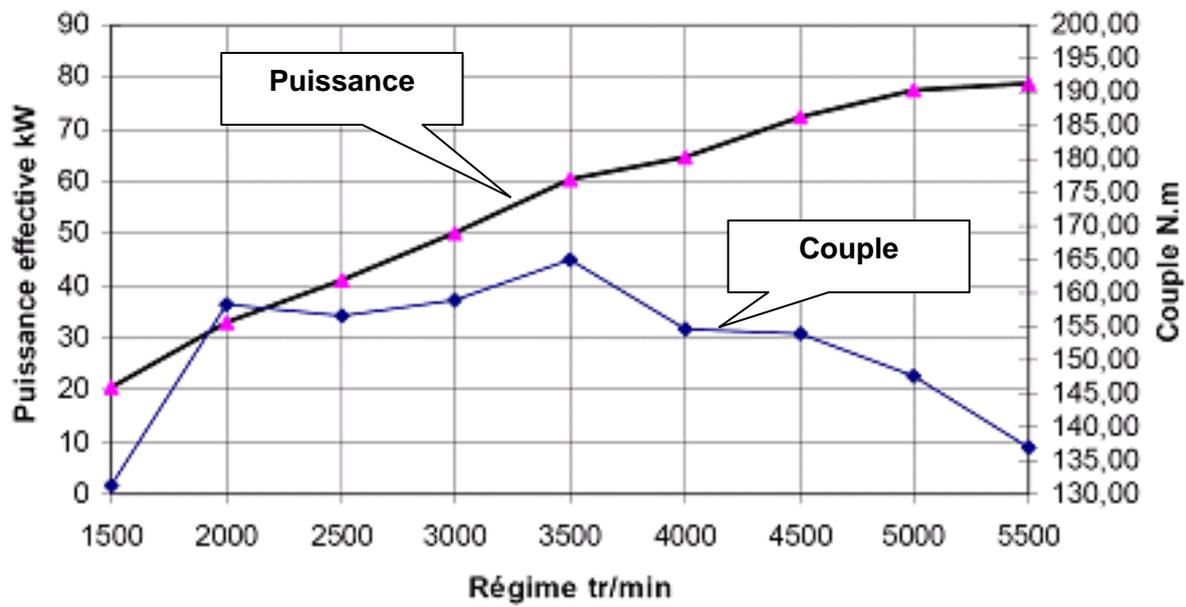


Fig 5.8 Performances du moteur essence

Tableau 5.3 Différence de puissance entre le fonctionnement essence et GNV.

	Moteur essence (kW)	Moteur GNV (kW)	Différence. (kW)	Différence en % par rapport au moteur essence
Puissance au régime de couple maxi.	60	53,7	6,3	10,5%
Puissance maxi	79	70	9	11,4

Puissance fournie par le carburant au moteur en fonction du débit de carburant :

$$\text{Puissance fournie (kW)} = Q_{mc} \text{ (kg/s)} \times \text{PCI (kJ/kg)}$$

$$\text{Puissance fournie (W)} = Q_{mc} \text{ (g/s)} \times \text{PCI (J/g)}$$

Q_{mc} : Débit du carburant « donnée par le constructeur »

Débit de carburant (g.h ⁻¹)	Puissance fournie par le carburant (kW)
15960 (GNV)	$15,96 \times 48000 / 3600 = 212,8 \text{ kW}$
18490 (essence)	$18,49 \times 44000 / 3600 = 225,99 \text{ kW}$

Rendement global du moteur à 3500 tr.min-1:

Carburant	Puissance fournie par le carburant (kW)	Puissance effective	Rendement global	Différence en % par rapport au moteur essence
GNV	213	54	$54/213 \times 100 = 25,35\%$	$(26,77 - 25,35) / 26,77 = 5,3 \%$
Essence	226	60,5	$60,5/226 \times 100 = 26,77\%$	

L'adaptation optimale d'une voiture particulière au GN, implique des modifications importantes sur le moteur lui-même (taux de compression élevé, allumage puissant), le système d'alimentation et le réservoir, Il reste alors à connaître le comportement du moteur en matière de performances.

En ce qui concerne le rendement, il sera très aisé d'atteindre, par rapport à la version essence, des gains de l'ordre de 10%, grâce essentiellement à un taux de compression élevé.

L'alimentation en milieu gazeux est une cause potentielle de perte de puissance (environ 10%). Cependant, une compensation est possible grâce aux gains de rendement évoqués ci-dessus. Finalement, une voiture optimisée pour une utilisation au GNV doit pouvoir atteindre les mêmes performances mécaniques (accélérations, reprise, vitesse de pointe) qu'en version "essence".

Il faut encore ajouter que le GNV, en raison de son caractère gazeux, pose peu de problèmes d'alimentation du moteur en régime transitoire, ce qui procure une incontestable souplesse de conduite et d'utilisation, Enfin, les désagréments possibles liés au fonctionnement à froid (démarrage et mise en action difficiles) ou à chaud (percolation, tampons de vapeur), fréquents sur un moteur à essence, sont ici totalement supprimés.

V.2.3 Performances Poids lourds

Il faut tout d'abord rappeler que la référence — moteur diesel classique, généralement suralimenté se place à un très haut niveau, en matière de rendement et de couple maximal.

Si l'on adopte un fonctionnement avec catalyseur 3 voies et combustion en mélange stoechiométrique, la perte de rendement sera irrémédiablement élevée et atteindra au moins 20%.

En revanche, la filière mélange pauvre, avec suralimentation, permettra d'atteindre un bien meilleur rendement (proche de celui de la version diesel originale) et un couple maximal acceptable. Les performances qu'offrent les véhicules GNV actuellement disponibles à la vente confirment déjà ces assertions (tableau 5.4). Les résultats d'études menées sur prototypes laissent présager des améliorations supplémentaires de rendement, notamment grâce à une diminution de la richesse de combustion.

Tableau 5.4 : Comparaison à couple maximal des rendements globaux de deux moteurs l'un dédié au gazole, l'autre au gaz naturel

Paramètres de fonctionnement	Carburant	
	Gazole	Gaz naturel
PCI(kJ/kg)	42 800	49 100
Régime (tr/mn)	1400	1260
Couple (m.N) max	1180	1000
Puissance (kW)	173	185

V.2.4 Consommation

Les consommations de GNC sont différentes d'un véhicule à l'autre, dans les consommations affichées par les constructeurs pour les deux choix de carburation pour les véhicules GNV qui sont toujours bicarburation, on peut avancer les estimations suivantes, en % par rapport à l'essence :

- VW Touran 2.0 EcoFuel : pas de différence en circuit mixte mais + 20% en circuit urbain et + 6.5% en circuit extra urbain
- Peugeot 207 Station Wagon : +10% en urbain, +11% en extra urbain et 11% en cycle mixte.

Tableau 5.5 : Puissances et consommations pour véhicules légers. [8]

Véhicule	Puissance Maximale kW(ch) à ... tr/mn		Consommations de carburant (suivant la directive 1999/100/UE)					
			GNC en m ³ /100km ; kg / 100 km			Essence en litre		
	GNC	Ess	Urbaine	Extra urbaine	Mixte	Urbaine	Extra urbaine	Mixte
VW Touran 2.0 EcoFuel	80(109) à 5400	75(102) à 5400	12.0 ; 7.8	6.6 ; 4.3	8.6 ; 5.6	10	6.2	8.6
Gaz Naturel Volvo V70 2.4 Bi-Fuel	103(140) à 5800	103(140) à 4500	-	-	9.4 ; 6.1	-	-	9.0
Peugeot 207 Station Wagon	69(94) à 6000	70(95) à 6000	9.1 ; 6.0	5.8 ; 3.8	7 ; 4.6	8.2	5.2	6.3
Peugeot 207 Berline	69(94) à 6000	70(95) à 6000	9.0 ; 5.9	5.6 ; 3.6	6.8 ; 4.4	8.1	5	-
Mercedes Benz Sprinter NGT	115(156) à 5000	115(156) à 5000	- ; 11.8	- ; 6.9	- ; 8.7	15.8	10.5	12.3
Ford Transit 2.3i	106(143) à 5500	107(145) à 5500	-	-	15.2 ; 10.0	-	-	13.7
Fiat Panda Panda Natural Power	38(52) à 5000	44(60) à 5000	8.1/5.3	5.4/3.5	6.4/4.2	7.9	5.2	6.2
Fiat Multipla 1.6 Natural Power	68(92) à 5750	76(103) à 5750	12.2/8.0	8.1/5.3	9.6/6.3	11.9	7.5	9.1
Fiat Doblò 1.6 Natural Power	68(92) à 5750	76(103) à 5750	12.5/8.2	8.0/5.2	9.6/6.3	11.9	7.7	9.2
Citroën C3 1.4 GNV	50(68) à 5500	54(73) à 5500	8.7 / 5.7	5.3 / 3.5	6.6 / 4.3	8.9	5.3	6.5
Citroën Berlingo First X 1.4 GNV	50(68) à 5500	55(75) à 5500	11.3 / 7.4	6.7 / 4.4	8.3 / 5.4	10.0	6.4	7.8
Citroën Berlingo First 800 1.4 GNV	50(68) à 5500	55(75) à 5500	11.3 / 7.4	6.7 / 4.4	8.3 / 5.4	10.3	6.3	7.8
Chevrolet Nubira SW CNG	76(103) à 5940	89(121) à 5800	10.9 / 7.1	6.5 / 4.2	8.1 / 5.3	9.9	5.9	7.4
Chevrolet Lacetti CNG	76(103) à 5940	89(121) à 5800	10.9 / 7.1	6.5 / 4.2	8.1 / 5.3	9.9	5.9	7.4
Chevrolet Captiva 4x4 CNG	155(210) à 6600	169(230) à 6600	-	-	12.0 / 7.8	16.2	8.7	11.5

Ces consommations sont calculées sans équivalence énergétique entre GNC et essence, une comparaison plus judicieuse serait de comparer le coût au 100 km entre les deux carburations GNC et essence

Aussi le surplus de poids lié au réservoir supplémentaire de GNC n'est pas pris en compte dans les calculs de consommation, il faut noter aussi que la provenance du gaz n'est pas citée, ce qui influe sur les consommations d'une façon significative.

Tableau 5.6 : Coûts aux 100 km (calcul d'après les coûts actuels) [8]

Véhicule	Coût au 100 km						GNC rentable à partir de : ... km Sur la base de la consommation mixte et 65 000 DA le kit GNC
	GNC en m ³ /100km ; DA pour 100km			Essence en litre DA pour 100km			
	Urbaine	Extra urbaine	Mixte	Urbaine	Extra urbaine	Mixte	
VW Touran 2.0 EcoFuel	12.0 188,64	6.6 103,7	8.6 135,2	10 230	6.2 142,6	8.6 197,8	103 833 km
Gaz Naturel Volvo V70 2.4 Bi-Fuel	-	-	9.4 147,8	-	-	9.0 207	109 797 km
Peugeot 207 Station Wagon	9.1 143,052	5.8 91,176	7 110,04	8.2 188,6	5.2 119,6	6.3 144,9	186 460 km
Ford Transit 2.3i	-	-	15.2 239	-	-	13.7 315	85 526 km
Fiat Panda Panda Natural Power	8.1 127,3	5.4 84,9	6.4 100,6	7.9 181,7	5.2 119,6	6.2 142,6	154 761 km
Fiat Multipla 1.6 Natural Power	12.2 191,8	8.1 127,3	9.6 150,9	11 253	7.5 172,5	9.1 209,3	111 301 km
Fiat Doblò 1.6 Natural Power	12.5 196,5	8.0 125,7	9.6 150,9	11.9 273,7	7.7 177,1	9.2 211,6	107 084 km
Citroën C3 1.4 GNV	8.7 136,7	5.3 83,3	6.6 103,7	8.9 204,7	5.3 121,9	6.5 149,5	141 921 km
Citroën Berlingo First X 1.4 GNV	11.3 177,6	6.7 105,3	8.3 130,5	10.0 230	6.4 147,2	7.8 179,4	132 924 km

Moyenne de distance de rentabilité 131 000 km

Donc pour un conducteur moyen, effectuant 20 000 km par an, la durée de rentabilité serait de 6,5 ans

Les constructeurs affichent aussi une consommation supplémentaire de 1,5 à 2 litres d'essence en utilisation exclusive du GNC lié aux démarrages qui s'effectuent en mode essence. Ceci a pour conséquence de rallonger le seuil de rentabilité.

Un autre facteur est l'autonomie du véhicule qui est en moyenne de 230 km en effet la masse de carburant contenue dans le réservoir est donnée par : [10]

Equation des gaz parfaits : $P \cdot V = m \cdot r \cdot T$

Masse de carburant m (kg) = P (Pa) * V (m³) / (r (J .kg⁻¹.K⁻¹) * T (K))

Pour un réservoir ayant pour volume 0,150 m³ sous 200 bar et 20°C on a :

m (kg) = $200 \cdot 10^5$ (Pa) * 0,150 (m³) / (517 (J .kg⁻¹.K⁻¹) * (273+20) (K)) = 19,8 kg

L'énergie disponible dans le réservoir est donnée par :

Énergie (kJ) = Masse (kg) * PCI (kJ.kg⁻¹) = 19.8 * 48 000 = 950400 kJ

Autonomie du véhicule à vitesse stabilisée.

Données : - Puissance effective moteur : 25 kW

- Rendement effectif du moteur : 25%

- Energie disponible dans le réservoir : 950 000 kJ

- Vitesse véhicule : 90 km.h⁻¹.

Détermination de l'énergie pour effectuer 90 km durant une heure.

Energie = Puissance * 3600 / rendement effectif = 25 * 3600 / 0,25 = 360 000 kJ

Nombre de kilomètres = 90 * 950 000/ 360 000 = **237 km.**

Quelques véhicules du tableau 1 sont équipés de 2 voir 3 réservoir GNC intégré au châssis ce qui augmente leur autonomie globale.

Pour les poids lourds équipés de GNC la consommation moyenne est de 87 Nm³ / 100 km [11] contre 70l de gazole [12] pour un engin équivalent en terme de coûts cela représente 1368 DA/100km pour le GNC contre 1032 DA/100 km pour le diesel.

V.2.5 Comparaison diesel, GPL et GNV. [12]

Le tableau 5.7 compare les consommations de différentes technologies de chaque filière à savoir :

- pour le diesel un bus Euro 3
- pour le GPL un bus Euro 2
- pour le GNV un bus Euro 3

Tableau 5.7 consommations selon les normes antipollution

Technologie	Consommation
Bus Euro 3	60,3
GPL Euro 2	116,5
GNV Euro 2	78,62
GNV Euro 3	74,4

Les technologies Euro 2 et 3 représentent les niveaux d'émissions pour chaque technologie.

Tableau 5.8: Normes européennes d'émissions des moteurs de poids lourds et de bus[21]

Étapes	Dates	Polluants en g/kWh sur cycle normalisé					
		CO	HC	NOx	HC+NOx	Particules	Fumées
EURO 0	avant 1992	11,20	2,40	14,40	16,80	-	
EURO 1	01/10/1993	4,50	1,10	8,00	9,10	0,360	
EURO 2	01/10/1996	4,00	1,10	7,00	8,10	0,150	
EURO 3	01/10/2001	2,10	0,66	5,00	5,66	0,100	0,50
EURO 4	01/10/2006	1,50	0,46	3,50	3,96	0,020	0,50
EURO 5	01/10/2009	1,50	0,46	2,00	2,46	0,020	0,50

Sur une étude réalisée sur plus de 4000 bus [13]

Les comparaisons suivantes sont données dans le tableau 5.9 :

Consommations en l/100 km ou en Nm³/100 km (GNV)

Tous les moteurs diesel sont alimentés avec du gazole à très basse teneur en soufre (50 p.p.m.)

Tableau 5.9 Comparaison de consommation des bus Diesel et GNV[Sources : RATP, ADEME]

Technologies testées	consommation
Diesel Euro 1	65,9
Diesel Euro 1 + FAP	66
Diesel Euro 2	54,3
Diesel Euro 2 + FAP	57,1
Diesel Euro 2 + B 30%	63,3
Diesel Euro 2+ B 30%+ FAP	63,7
Diesel Euro 3	60,3
Diesel Euro 3 + FAP	60,9
Diesel Euro 3 + B 30%	63,7
Diesel Euro 3 + B 30% + FAP	64,2
GPL Euro 2	116,5
GNV Euro 2	78,62
GNV Euro 3	74,4

V.2.6 Les évolutions possibles des motorisations thermiques diesel et GNV

Au vu des résultats précédents on se rend compte que la concurrence sur les motorisations thermiques bus se fera entre le diesel et le GNV.

Ces 10 dernières années le bus diesel a quasiment rejoint le bus GNV pour la qualité de ses émissions polluantes tout en étant meilleur pour les émissions de gaz à effet de serre « du puits à la roue » et en étant sensiblement moins onéreux tant en investissement qu'en fonctionnement.

Cependant, les moteurs de bus actuels ne sont aucunement conçus selon le fonctionnement de ces véhicules pour la raison simple que le marché bus est limité. Le moteur bus diesel est un moteur conçu pour des camions essentiellement destinés à faire de longs trajets en interurbain ; le moteur bus GNV, lui, est un moteur diesel « bricolé » pour le transformer en moteur à allumage commandé. On ne sait pas si un jour on réalisera des moteurs spécifiques bus.

Les tableaux 5.10 représentent les évolutions futures en terme de bilan énergétique du puits à la roue.

L'ETUDE AFGNV

Tableau 5.10 Voitures particulières. Bilan des consommations d'énergie non renouvelable du puits à la roue

Technologie	Consommation (MJ/100km)
Diesel 2003	242
Diesel 2010	225
Diesel 2020	225
GNV bi-carburant 2003	295
GNV dédié 2003	262
GNV dédié 2010	262
GNV dédié 2020	262
GNV hybride (2010-2020)	195

Actuellement (2003), du puits à la roue, le GNV consomme 22% de plus d'énergie que son homologue diesel mais émet 14% de moins de gaz à effet de serre. En 2020 le GNV dédié consommerait 17% de plus d'énergie que le diesel 2020 mais émettrait 7% de moins de gaz à effet de serre. Seul le GNV hybride 2020 est indubitablement meilleur que le diesel 2020 : -13% de consommation énergétique et - 31% d'émissions de gaz à effet de serre.

L'ETUDE JRC-CONCAWE-EUCAR

L'étude JRC-CONCAWE-EUCAR est plus pessimiste en ce qui concerne le GNV ou plutôt plus optimiste sur le diesel. Ainsi la consommation d'énergie du puits à la roue pour le diesel est 12% moindre en 2002 et 11% moindre en 2010 que dans l'étude AFGNV.

La grande différence est la prise en compte du diesel hybride et de la pile à combustible dans l'étude JRC-CONCAWE-EUCAR. Hors prise en compte des biocarburants la comparaison du diesel et du GNV aboutit plutôt à l'avantage de ce dernier : à l'horizon 2010 le diesel est moins consommateur d'énergie (-25%) du puits à la roue mais émet 13% de plus de gaz à effet de serre. Si on compare les technologies hybrides diesel et GNV, l'avantage GNV se réduit très sensiblement : leur consommation d'énergie du puits à la roue est la même.

Tableau 5.11 Bilan des consommations d'énergie non renouvelable du puits à la roue

Technologie	Consommation (MJ/100km)
Diesel 2002	212
Diesel 2010 sans FAP	200
Diesel 2010 avec FAP	205
Diesel (2010+) hybride sans FAP	164
Diesel (2010+) hybride avec FAP	169
Diesel (2010+) avec reformeur et PAC	188
GNV bi-carburant 2002	270
GNV dédié 2002	265
GNV bi-carburant 2010	224
GNV dédié 2010	223
GNV (2010+) hybride	166

V.2.7 Comparaison essence / GNC

Comparaison des performances et des émissions d'un véhicule Toyota **Prius** II bicarburation ; fonctionnant à l'essence et au GNC

Caractéristiques du véhicule

- **Dimension**

- Longueur en mm: 4450
- Largeur en mm: 1725
- Hauteur en mm: 1490
- Réservoirs de gaz naturel: dans le coffre

- **Poids**

- Poids à vide en kg 1450
- Poids de charge en kg 275
- Poids total autorisé en kg 1725

- **Moteur**

- Nombre de cylindres 4
- Alésage x course en mm 75,0 x 84,7
- Cylindrée en cm³ 1497

Tableau 5.12 : Caractéristiques du véhicule Toyota Prius II bicarburation Source ADME

	Capacité du réservoir	Puissance maxi à 5000 tr/min en kw (cv)	Couple max à 4000 tr/min en Nm	Consommation	Autonomie	Emissions de CO ₂
Essence	45 l	57 (78)	115	4,3 l / 100 Km	1000 km	104 g/ km
GNC	44 l / 9kg	52 (70)	100	3,4 kg /100 Km	300 km	92 g/ km

V.2.8 Comparaison des carburants pour moteurs à allumage commandé:

a) Le pouvoir énergétique.

Tableau 5.13 : Comparaison des carburants Source ADME

Carburant	Masse volumique	Energie calorifique massique	Energie calorifique volumique
Essence	750 kg/m ³	43,5 MJ/kg	32,6 MJ/litre
GPL	540 kg/m ³	46,1 MJ/kg	22,5 MJ/litre
Méthane (GNV/GNC)	0,714 kg/m ³	50,0 MJ/kg	0,036 MJ/litre

L'essence est donc de loin le carburant ayant la plus forte « densité énergétique ».

b) Le prix énergétique.

Compte tenu de leur pouvoir énergétique différent et du fait qu'ils sont vendus au litre (pas au kg ni au

KWh), il faut comparer 1 litre d'essence à:

- 1,45 litre de GPL liquide,
- 905 litres de méthane (4,5 litres à 200 bars)

c) L'émission de CO₂ par litre consommé.

Compte tenu de leur masse volumique différente:

- Essence: 750 kg/m³ : 2 365 g de CO₂/litre, 86% de carbone en masse, 72,5 g de CO₂/MJ
- GPL: 540 kg/m³ : 1 465 g de CO₂/litre, 82% de carbone en masse, 65,2 g de CO₂/MJ
- (GNV/GNC): 0,714 kg/m³ : 1,98 g de CO₂/litre*, 75% de carbone en masse, 55,0 g de CO₂/MJ *(à pression atmosphérique)

d) Besoin en volume de carburant pour « maintenir » l'autonomie:

Pour emporter l'équivalent énergétique de 50 litres d'essence soit 1 631MJ, il faut :

- 65 litres de GPL
- 45 305 litres de méthane gazeux

e) Influence du carburant sur la masse du réservoir et celle du véhicule.

Pour transporter l'équivalent énergétique de 50 litres d'essence, soit 1 631MJ, qui pèsent 37,5kg, + 10kg de réservoir, il va falloir:

- 65 litres de GPL (+ 20% de volume d'expansion) qui pèsent 33kg + 33kg de réservoir.

Soit +28 litres et + 28,5 kg de réservoir - 4,5 kg (de carburant).

- 45 305 litres de méthane (ou 180 litres à 250bars) qui pèsent 33kg + 180kg de bouteilles en acier ou 55kg de bouteilles en carbone bobiné.

Soit +130 litres et + 170 (ou +50) kg de réservoir - 4,5kg de carburant.

f) Influence du carburant et du réservoir sur la masse du véhicule.

Pour porter, pousser, freiner, refroidir, choquer... 1kg supplémentaire, il faut 300g supplémentaires dans les fonctions de plate-forme (roues, pneus, freins, refroidissement, trains, direction, circuit carburant, suspension GMP, échappement, commandes...) et de GMP (moteur, embrayage, BV, transmissions, moyeux).

Nos « sur masses » (carburant+réservoir) suscitées deviennent donc pour la voiture complète:

-GPL : + 31 kg

-Méthane : +215 kg (acier) ou + 65 kg (carbone)

g) Les conséquences sur le moteur du véhicule utilisateur :

- Au premier niveau de motorisation, la masse requiert 600cc de cylindrée moteur par tonne de masse véhicule.
- Au niveau de motorisation maximal, la masse requiert 1200cc de cylindrée moteur par tonne de masse véhicule.

Pour maintenir la performance : les carburants (GPLc et GNC) vont donc se traduire par des augmentations de cylindrée de l'ordre de :

- +18cc à + 37cc pour le GPLc
- +129cc (+39cc si Carb) à +258cc (+78cc si C) pour le GNC

h) Les conséquences sur la consommation du véhicule utilisateur:

Un moteur à essence consomme: 2,5l aux 100km par litre de cylindrée.

En plus de la consommation nécessaire à l'entraînement de la voiture. La masse, au travers d'un coefficient de roulement de 1% qui génère un effort de 98N/tonne représente une énergie à fournir de 9,8MJ pour 100km, soit 2,72 kW.h soit une consommation (à 205g/kW.h) de 558g soit avec une masse volumique de 750g/l: 0,74l/100km d'essence pour 1 tonne.

La masse, au travers des accélérations du cycle, représente une énergie à fournir de 794kJ tous les 11km soit 7,2 MJ/100km soit 2kW.h/100km soit une consommation (à 205g/kW.h) de 410g soit avec une masse volumique de 750g/l: 0,55l/100km d'essence pour 1 tonne.

i) Les conséquences sur la consommation du véhicule utilisateur:

Pour un véhicule GPL(+18cc à +37cc et +37kg): $+0,045 + 0,048 = + 0,093/100\text{km}$ (d'équivalent essence) soit en M1: $+0,135/100\text{km}$ de GPL pour cause de masse. $+0,092 + 0,048 = + 0,14/100\text{km}$ (d'équivalent essence) soit en M4: $+0,20/100\text{km}$ de GPL pour cause de masse.

j) Les conséquences sur la consommation du véhicule utilisateur:

Pour un véhicule Méthane réservoir acier (+129cc à +258cc et +215kg): $+0,32 + 0,28 = + 0,60/100\text{km}$ (d'équivalent essence) soit: $+543/100\text{km}$ de méthane.

$+0,64 + 0,28 = + 0,92/100\text{km}$ (d'équivalent essence) soit en M4: $+833/100\text{km}$ de méthane

Pour un véhicule Méthane réservoir carbone (+39cc à +78cc et +65kg): $+0,10 + 0,08 = + 0,18/100\text{km}$ (d'équivalent essence)

Soit: $+163/100\text{km}$ de méthane. $+0,20 + 0,08 = + 0,28/100\text{km}$ (d'équivalent essence)

Soit: $+254/100\text{km}$ de méthane

k) Le ravitaillement: Pour ravitailler dans le même délai:

Si une pompe à essence débite de l'ordre de 60l/mn, soit 50 secondes pour 50litres:

Il faudrait débiter:

- 88 litres/mn de GPL,
- 60 000 litres/mn de méthane (ou 240 l/mn à 250 bars),

Comparaison Diesel / GNC

Le tableau 5.14 Comparaison entre deux moteurs, l'un dédié au gazole, l'autre au GNC.

(Source Renault VI)

Caractéristiques du carburants et paramètres de fonctionnement	Carburants	
	Gazole	Gaz Naturel
PCI (Kj/kg)	42800	49100
Régime (tr/min)	1400	1260
Couple max (N.m)	1180	1000
Puissance (kw)	173	185
Richesse	0,56	0,61
GES (g/kwh)	204	186
Rendement global %	41,2	39,4

V.3 Les émissions de polluants

Pendant la combustion se forment des composés qui polluent l'environnement, et dont les quantités émises doivent donc être réduites. Ces polluants principaux sont de 4 types :

- Oxydes d'azote : NO_x
- Monoxyde de carbone : CO
- Hydrocarbures imbrûlés : HC
- Particules

➤ Les oxydes d'azote

La combustion crée à partir de l'azote et de l'oxygène de l'air de l'oxyde d'azote NO. Ce gaz, instable, s'oxyde en NO₂ dans l'atmosphère, et crée en présence d'hydrocarbures et de soleil un brouillard corrosif et dangereux pour la respiration.

Comme plusieurs combinaisons d'azote et d'oxygène coexistent pendant et après la combustion, on les désigne d'un terme générique : NO_x.

La quantité de NO_x formée pendant la combustion dépend de deux facteurs principaux :

- Le niveau de température
- Le temps que passe le mélange à cette température pendant la combustion.

La formation de NO_x est maximum lorsque la température de combustion est maximale. Si on fonctionne avec un rapport stœchiométrique et que l'on enrichit le mélange (plus de gaz, moins d'air), la quantité de NO_x diminue. En effet, il y a moins d'oxygène disponible, des températures plus faibles, donc moins d'oxydation de l'azote. Si on appauvrit le mélange (plus d'air et moins de gaz), la teneur en NO_x augmente au départ. Ensuite, elle diminue car l'excès d'air fait chuter la température de combustion.

➤ Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz inodore et incolore produit par une combustion incomplète. Même en faible concentration, il prend la place de l'oxygène dans le processus de la respiration, et crée des asphyxies pouvant être mortelles. Ce dernier sera oxydé dans l'air en CO₂.

La création de monoxyde de carbone est causée par les facteurs suivants :

- Air de combustion insuffisant (mélange riche)
- Mauvais mélange air gaz (hétérogénéité)
- Temps d'oxydation du carbone insuffisant
- Refroidissement de la combustion avant qu'elle soit complète.

Il faut donc éviter les mélanges riches et hétérogènes, ainsi que le refroidissement brusque qui peut intervenir au contact des parois de cylindres, si le refroidissement est assuré à une température trop basse (moteur froid).

➤ Hydrocarbures imbrûlés

Les imbrûlés HC se forment dans les mêmes conditions que le monoxyde de carbone (CO).

➤ Particules

Les particules sont créées par la combustion incomplète de gazole et fioul lourds. Elles sont négligeables et pratiquement inexistantes dans un moteur à gaz utilisant le gaz du réseau.

Les émissions de particules réglementaires sont nulles dans le cas des moteurs à gaz naturel. [5]

Richesse = $1/\lambda$

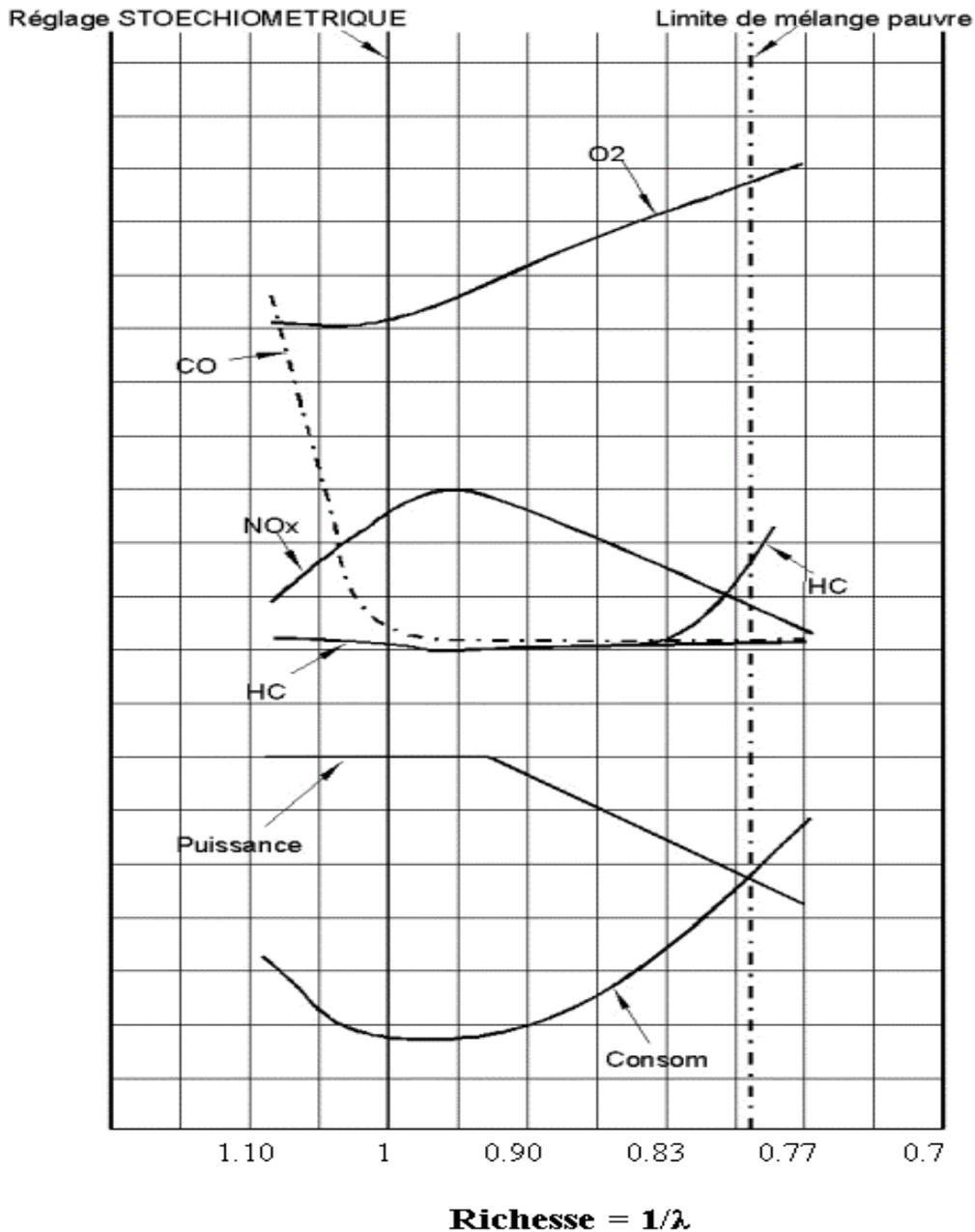


Figure 5.9 : Emissions en fonction de la richesse

Au plan des polluants, on observe que les émissions de fumées et de particules inhérentes à un moteur Diesel disparaissent en combustion GNC, tandis que les nuisances acoustiques sont fortement réduites.

Les émissions d'oxyde d'azote, qui sont très basses dans le cas d'un catalyseur trifonctionnel, demeurent à un niveau inférieur à celui fixé par les normes dans le cas d'une combustion en mélange pauvre.

La composition des hydrocarbures imbrûlés est d'au moins 90 % de méthane et ils ne comportent pas de composés aromatiques contrairement à l'essence. Le méthane est, par contre, un gaz à effet de serre direct au même titre que les dioxydes de carbone et d'azote qui sont responsables du réchauffement de l'atmosphère. Toutefois, si les moteurs alimentés au GNC émettent davantage de méthane, la production associée de dioxyde de carbone est moindre que dans le cas d'un carburant conventionnel et le rapport CO₂/CH₄ à l'échappement demeure favorable au GNC.

La figure 5.10 qui reflète les niveaux comparés d'émissions de gaz à effet de serre en fonction du carburant, montre que le GNC conserve un avantage net sur l'essence et moindre sur le gazole. [14]

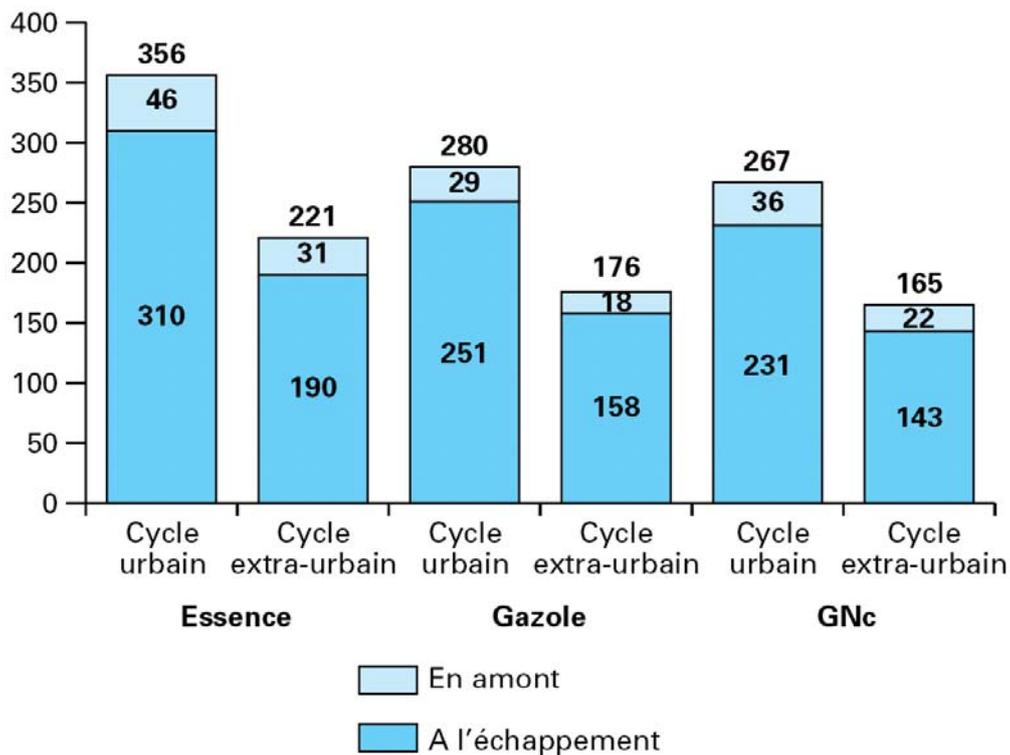


Fig 5.10 Émissions comparées de gaz à effet de serre en fonction du carburant du puits à la roue

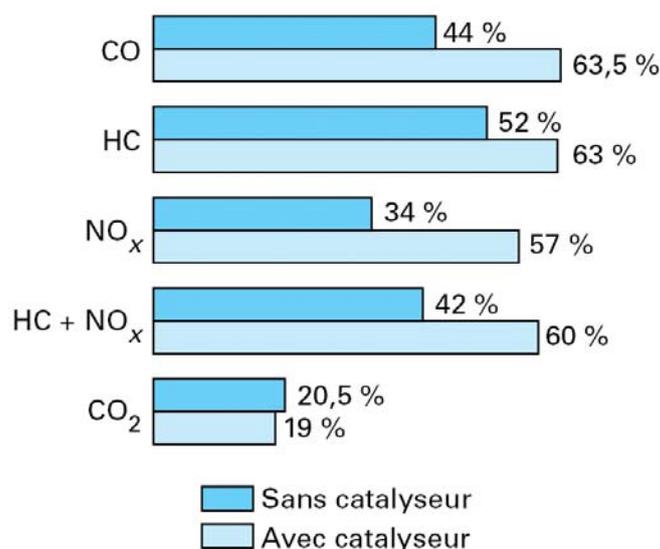


Fig 5.11 – Réduction des émissions de polluants d’un moteur GNC à bicarburation par rapport à la filière essence

Tableau 5.15 – Émissions mesurées d’un moteur optimisé GNC (Honda 1997)

Polluants	Niveau (g/km)
CO	0,407
HC totaux (THC)	0,151
HC non méthaniques (NMHC)	0,0105
NO _x	0,0734
CO ₂	148,42

La figure 5.11 illustre les écarts sensibles d’émissions de polluants en faveur du GNC à l’échappement d’un moteur bicarburation non optimisé et l’on constate une diminution marquée de l’ensemble des émissions.

Le tableau 5.15 est relatif aux performances d’un moteur optimisé GNC qui a fait l’objet d’une adaptation spécifique du taux de compression, de la cartographie d’allumage, du système d’alimentation et d’un post-traitement par catalyseur trifonctionnel. Les résultats obtenus, avec des niveaux de puissance et de couple comparables à ceux enregistrés en version essence, se traduisent par des niveaux d’émission remarquablement bas de type Ultra Low Emissions Vehicle (ULEV).

Le tableau 5.16 illustre les émissions comparées d’un moteur six cylindres en ligne, en fonction du carburant utilisé et de la stratégie de combustion retenue. On constate sans équivoque la supériorité intrinsèque des carburants gazeux sur le gazole.[14]

Tableau 5.16 – Émissions comparées d'un moteur 6 cylindres en fonction du carburant

Type de carburant	NOx (g/kWh)	Particules (g/kWh)	HCNM* (g/kWh)	SO2 (g/kWh)	CO (g/kWh)	CO2 (g/kWh)	CH4 (g/kWh)
Gazole	9,00	0,25	0,25	0,98	0,9	699,8	0,00
Gaz naturel en mélange pauvre	3,5	< 0,05	0,20	0,01	0,2	569,9	2,30
Gaz naturel en mélange stoechiométrique	2,00	< 0,05	0,05	< 0,01	0,7	578,3	0,55
GPL en mélange pauvre	3,5	< 0,05	1,00	< 0,01	0,2	707,1	ε
GPL en mélange stoechiométrique	2,00	< 0,05	0,05	< 0,01	0,7	717,4	ε

Taux d'émission de polluants

Pour les oxydes d'azote, le taux d'émission du moteur utilisant l'injection gaz sous haute pression est réduit de l'ordre de 20 à 30 % par rapport au même moteur brûlant un hydrocarbure liquide. Cela provient de ce que l'injection d'un gaz plutôt que d'un liquide dans l'air autorise un mélange moins hétérogène de l'air et du combustible.

Dans le cas de l'introduction du gaz sous basse pression, le prémélange avec l'air est homogène. Les températures locales de combustion sont plus faibles que précédemment et les niveaux d'émission de NOx se trouvent réduits de l'ordre de 50 % par rapport à un combustible liquide. Dans le cas particulier de la solution à cellule d'énergie qui permet la combustion en mélange pauvre, des réductions d'un facteur 10 par rapport aux solutions Diesel classiques sont obtenues.

Du fait des rapports C/H favorables des combustibles gazeux et des niveaux comparables des rendements, on obtient une réduction de l'ordre de 10 % des taux d'émission de CO2 avec le moteur alimenté en gaz par rapport à celui alimenté en hydrocarbure liquide (Diesel Oil ; Heavy Fioul Oil).[14]

a. Exemples pratiques des émissions des polluants

L'exemple cité ci-dessous donne une comparaison des émissions et de la consommation des bus diesel et GNC, les mesures ont été effectuées (à 30 km/h) sur des modèles semblables :

- Bus diesel Volvo B10LE modèle 95,
- Bus GNC Volvo B10LE modèle 95.

Les résultats ont été les suivants :

Les deux types de bus ont une consommation équivalente (entre 29,4 et 29,8 l/100 km) et leurs émissions d'hydrocarbures (HC) sont comparables. Par contre, concernant les oxydes d'azote (NOx) et le monoxyde de carbone (CO), ils sont nettement plus importants pour les bus diesel.

Tableau 5.17 : Emissions comparées Diesel - GNC

	NOX	HC	CO
DIESEL	7,49	1,18	1,64
GNC	1,43	1,06	0,18

Le but initialement poursuivi par l'introduction de bus GNC, c'est-à-dire améliorer la qualité de l'air, est donc atteint. Cependant, d'autres résultats positifs, plus difficilement mesurables, et qui n'étaient pas pressentis au départ, sont apparus avec les bus GNC :

- Diminution des émissions sonores de 50 %,
- Forte baisse des vibrations (pour les passagers et les piétons),
- Réduction importante des émissions olfactives.

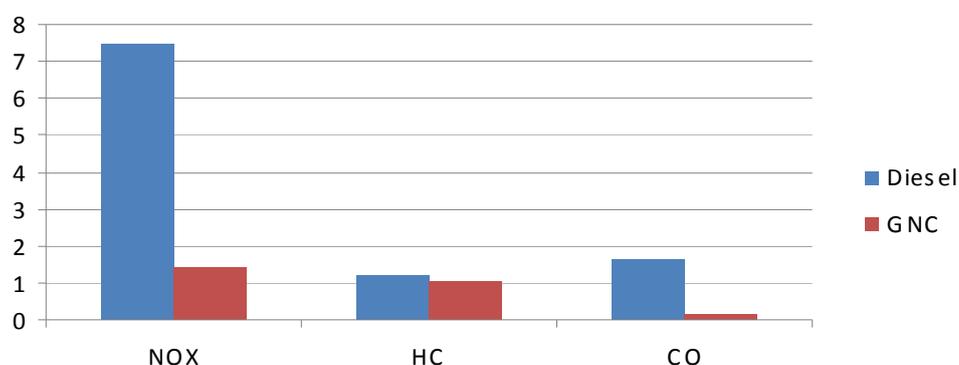


Fig 5.12 Comparaison GNC Diesel [20]

Avec l'utilisation du GNC on peut obtenir d'importants résultats comme :

- L'économie : Le gaz naturel offre des économies considérables dans le coût de carburant car il est moins cher que le Diesel et l'Essence.
- La sécurité : Le gaz naturel est, en soi, plus sûr que d'autres combustibles.
- L'abondance : Les réserves prouvées de gaz naturel sont très importantes.
- La maintenance : Basse et simple nécessité de maintenance en comparaison avec celle des moteurs Diesel.

Pollution

Contrairement à l'essence et au diesel, le moteur GNV n'émet pratiquement pas d'hydrocarbures à plus de 4 atomes de carbone; en particulier, on ne détecte pas de composés aromatiques à l'échappement.

En ce qui concerne la formation d'ozone troposphérique, les effluents du moteur GNV se montreront en moyenne deux fois moins réactifs que ceux issus des moteurs à essence. Cette

situation est liée essentiellement à la prédominance du méthane et à une présence en plus faible concentration (voire une absence totale) de composés très réactifs (butènes, buta-1,3-diène, xylènes).

En cas d'utilisation du GNV, le fonctionnement du catalyseur 3 voies n'est jamais perturbé par la présence de soufre, comme dans le cas des essences. Par contre, l'oxydation du méthane est difficile et peut exiger, si l'on souhaite absolument la réaliser, une formulation particulière du catalyseur.

L'effet de serre

Le fait que le méthane soit, comme le CO₂ et le N₂O un gaz à effet de serre direct, conduit à examiner attentivement l'impact du développement de la filière GNV sur le réchauffement de l'atmosphère.

En réalité, les véhicules alimentés au GNV émettent plus de méthane, mais moins de CO₂ que ceux consommant des carburants classiques. Compte tenu du rapport CO₂/CH₄ à l'échappement, supérieur

à 200, il n'est pas surprenant que les bilans effectués dans ce domaine donnent un avantage certain au gaz naturel sur l'essence, que l'on peut estimer à environ 25 %. [9]

Chapitre 6

Technologie du GNC

Introduction :

Compte tenu de l'indice d'octane élevé du GNC sa combustion est réalisée généralement par une bougie sur les moteurs à allumage commandé ou par une injection pilote de gazole sur les moteurs à allumage par compression c'est le *dual fuel* Actuellement cette technologie n'est pas utilisée pour les applications de transport mais utilisée pour certaines applications fixes.

- Les véhicules légers adoptent des moteurs à essence modifiés (système d'admission de gaz par détentes successives et électrovanne). Le rapport volumétrique n'est que faiblement augmenté par rapport à l'essence et ce pour permettre le fonctionnement avec les deux carburants.
- Les véhicules lourds sont équipés de moteurs diesel modifiés : Systèmes d'allumage et d'admission modifiés.
- Pour les véhicules à essences la bicarburation est possible et généralement réalisée
- Pour les véhicules diesel la bicarburation est impossible.

Il n'existe pas à ce jour de moteurs GNC conçus uniquement pour ce carburant, l'utilisation du GNC comme carburant moteurs nécessite donc des modifications lourdes telles que :

- Mise en place de bougie d'allumage dans la chambre de combustion, généralement à la place de l'injecteur, et des bobines d'allumage. (voir figure 6.1).
- Changement ou modification du répartiteur d'admission pour placer les injecteurs de gaz (ou carburateur) et du boîtier papillon qui va régler la charge.
- Modification du piston au niveau de sa tête pour augmenter la turbulence et pour réduire le taux de compression (par rapport à un Diesel).
- Changement de tout le circuit carburant : pompe, mise en place d'un détendeur, filtre à huile sur le circuit gaz.

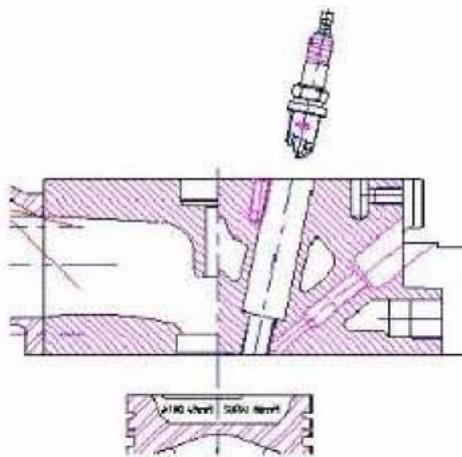
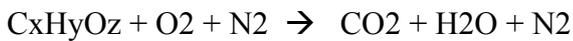


Figure 6.1- Mise en place d'une bougie dans une culasse Diesel à la place de l'injecteur gazole - (Source : ADEME)

VI.1 Définitions :

Stœchiométrie et mélange pauvre

Le rapport stœchiométrique est le rapport des masses **air/carburant** pour avoir une combustion complète idéale selon l'équation classique de la combustion :



Ce rapport est de 14 à 14,5 pour les hydrocarbures liquides (essence, gazole) et de 13,8 à 17 pour le GNC.

On appelle mélange stœchiométrique un mélange dont la quantité d'air est exactement nécessaire à la combustion (pas d'excès)

On dit qu'un mélange est pauvre quand la quantité d'air admise dépasse celle nécessaire à la combustion (excès d'air).

Les moteurs stœchiométriques :

Ces moteurs ont un fonctionnement qui permet l'utilisation d'un catalyseur dit à 3 voies associé à une sonde Lambda qui effectue une réduction des NO_x et une oxydation des HC et CO. Cette sonde mesure la quantité d'oxygène dans l'échappement. Le signal est transmis au calculateur électronique qui agit sur le système d'injection pour ajuster le dosage **air/gaz** et conserver en permanence les conditions idéales pour un bon fonctionnement du catalyseur.

Cette technologie conduit à des émissions polluantes très faibles mais demande un contrôle précis de la richesse et conduit à des consommations élevées à des faibles charges, surtout en comparaison à un Diesel.

Les moteurs à mélange pauvre :

Ces moteurs permettent de réduire la quantité de carburant injecté, donc moins de consommation. Le moteur émet moins de polluants mais le catalyse n'est pas efficace sur les NO_x en présence d'excès d'air. Au bilan les émissions peuvent être supérieures à un moteur stœchiométrique notamment au niveau des NO_x.

Nous allons voir dans ce chapitre les techniques de conversion des moteurs essence, diesel, la conversion totale et les techniques d'alimentation ; ainsi qu'un exemple de réalisation du système METAFUEL

VI.2 Les techniques d'alimentation

Les techniques d'alimentation paraissent a priori plus aisées à mettre en oeuvre avec un carburant gazeux comme le GNV qu'avec l'essence à l'état liquide. En réalité, l'introduction d'une quantité précise de carburant, adaptée à chaque point de fonctionnement et ceci quelle que soit l'origine du gaz, est parfois difficile à réaliser problèmes de contrôle de richesse, de fiabilité du doseur et du

détendeur, compte tenu des grandes variations de débit...). En outre, des contraintes importantes sont imposées par le maintien d'une faible dispersion de richesse entre les cylindres, la minimisation des pertes au remplissage... Les dispositifs d'alimentation exigent donc la mise en oeuvre de technologies complexes que nous décrirons très sommairement ici.

a. Les carburateurs

Les carburateurs sont encore fréquemment utilisés pour des adaptations au GNV de véhicules initialement conçus pour un fonctionnement à l'essence. Parmi plusieurs technologies disponibles (Klimstra, 1990), nous présentons ici, sur la figure 6, l'une des plus évoluées, développée par la firme Deltec. Dans ce système, le gaz est dosé, non pas classiquement par dépression du Venturi, mais par calibrage de la section de passage. Le réglage est piloté par un moteur pas à pas, lui-même commandé par un calculateur relié à des capteurs qui lui fournissent des données appropriées. Si le dispositif fonctionne en boucle ouverte, ces informations concernent les pressions et température d'admission, le régime moteur, la position du papillon; dans le cas d'une régulation en boucle fermée, les signaux de la sonde lambda sont aussi pris en compte.

Sur des véhicules dédiés au GNV, la technique de carburation, qui présente des limites lors des phases transitoires et provoque des pertes de charge à l'admission, devient difficile à mettre en oeuvre; aussi, lui préfère-t-on les procédés d'injection indirecte ou directe. [23]

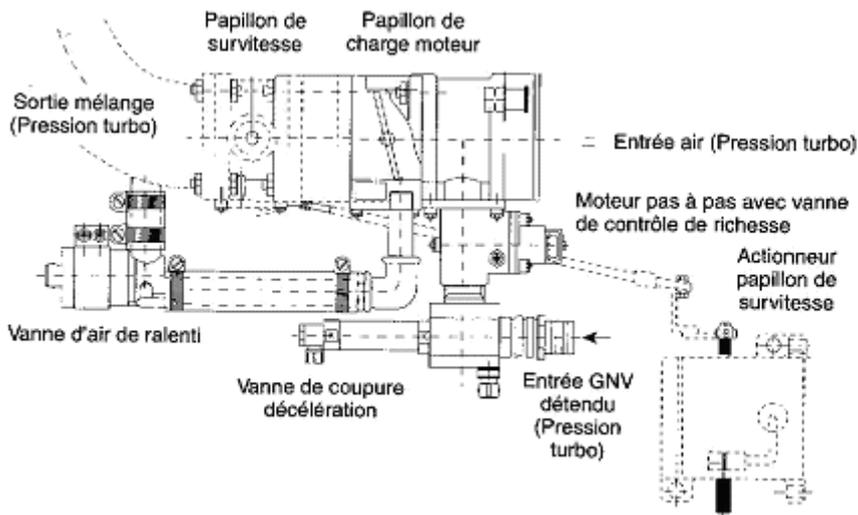


Figure 6.2 : Carburateur DELTEC Source RVI

b L'injection électronique

Ce système se généralise pour sa robustesse, sa précision, le bouclage possible avec une sonde lambda. Un progrès important est à attendre de l'avènement de l'injection multipoints pour améliorer le dosage par cylindre ; puis l'injection directe.

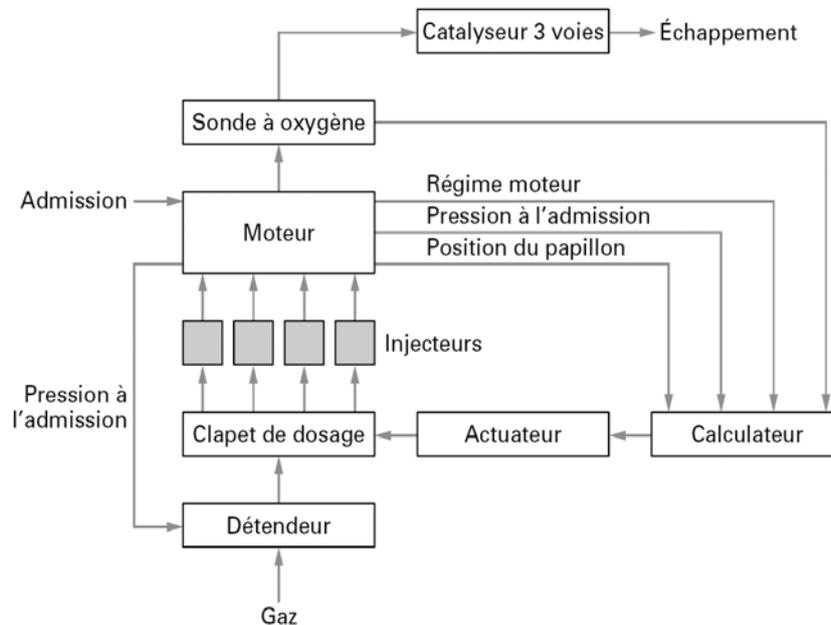


Figure 6.3 : Synoptique générale en fonctionnement GNC

b1 L'injection indirecte

Contrairement aux carburateurs, ces systèmes introduisent le carburant sous pression, ce qui permet un dosage plus précis de la quantité à injecter. En outre, la suppression du Venturi entraîne une diminution des pertes de charges à l'admission.

Bien sûr, comme sur les moteurs à essence, l'injection peut être réalisée soit de manière centralisée (monopoint), soit en amont de chaque cylindre (multipoint).

Parmi les techniques monopoint, l'une des plus utilisées sur les véhicules de tourisme est désignée par le sigle GFI (Gaseous Fuel Injection). Le principe utilisé est un peu particulier : le carburant, détendu à environ 7 bar, est dosé à l'aide de 7 injecteurs soniques, puis introduit dans le collecteur d'admission par le biais d'un seul "gicleur-injecteur".

Les systèmes monopoint équipant les véhicules industriels sont plutôt du type Tecjet de Deltec. De technologie plus classique, ils ne comprennent qu'un seul clapet doseur introduisant le gaz sous pression dans un mélangeur. La régulation du flux de gaz (figure 6.4) est gérée par le calculateur, d'après les données fournies par des capteurs et suivant les stratégies de contrôle développées sur le carburateur Deltec.

Les dispositifs d'injection multipoint présentent plusieurs avantages qui n'existent pas en monopoint. Ils minimisent, en effet, les risques de retour de flamme à l'admission, de même qu'ils

améliorent la répartition du carburant entre les cylindres. Dans le procédé développé par Koltec et Necman, le gaz, dont la pression est contrôlée par un détendeur à deux étages, est dosé, puis distribué à chaque injecteur (figure 6.5). La gestion du flux de gaz introduit peut être effectuée en boucle ouverte ou fermée, suivant le calculateur utilisé. [23]

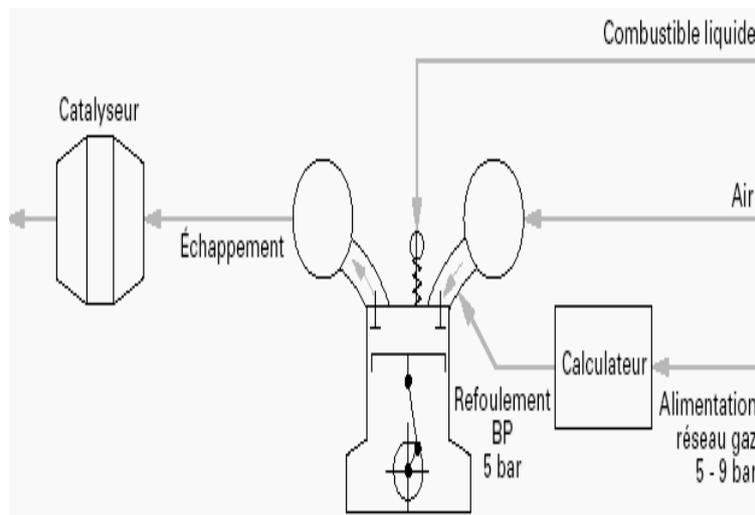


Figure 6.4 : Alimentation d'un moteur au GNV . Système d'injection monopoint

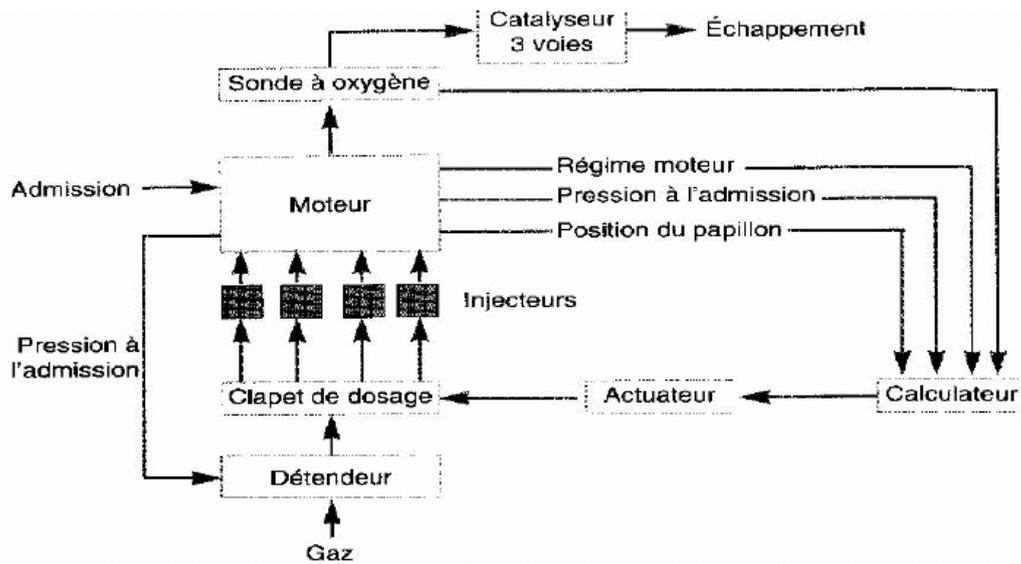


Figure 6.5 : Alimentation d'un moteur GNV. Système d'injection multipoint

b2 L'injection directe

Cette technique est très attrayante, mais n'a pas encore fait l'objet, à notre connaissance, de réalisation industrielle.

Elle permettrait d'associer les avantages intrinsèques du gaz naturel et ceux d'une combustion en milieu stratifié, en profitant en outre de la disponibilité d'un carburant initialement sous haute pression. Le moteur pourrait fonctionner sans perte de charge à l'admission et en mélange pauvre, ces deux conditions favorisant l'obtention d'un rendement élevé. Cette technique exige cependant une réalisation et un réglage précis et soignés du système d'injection; si elle se développe, elle sera nécessairement coûteuse.

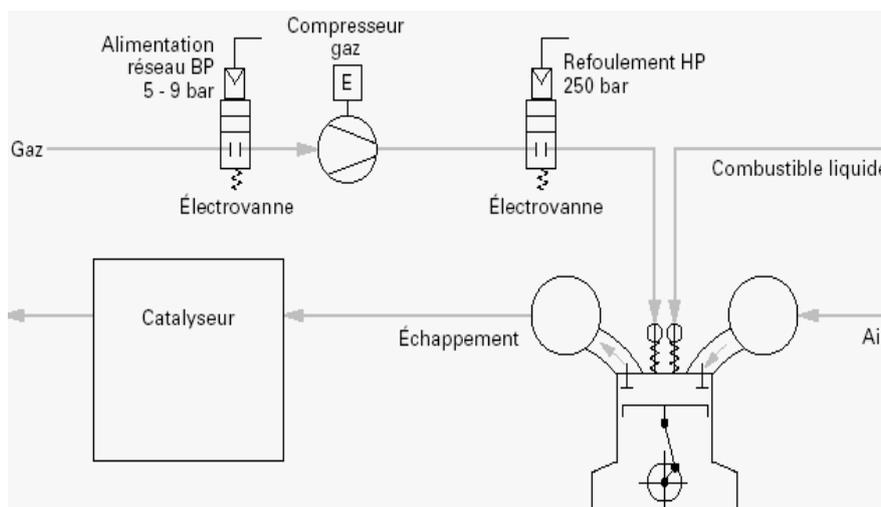


Figure 6.6 Schéma de l'injection directe

D Comparaison des différents systèmes

Le tableau VI.1 montre une vue synoptique des différents procédés possibles d'alimentation des moteurs au GNV, avec leurs avantages et inconvénients respectifs. Il apparaît clairement que la carburation ne possède que peu d'atouts, surtout dans l'optique d'une réduction de plus en plus

marquée, à moyen terme, des émissions de polluants. En revanche, l'injection multi point, ou monopoint séquentielle devrait logiquement se développer.

Tableau 6.1. Comparaison des différents systèmes d'alimentation d'un moteur GNV

	Carburateur		Injection monopoint		Injection multipoint	Injection directe
	Mécanique	Electronique variable	continue	Séquentielle		
Coûts	++	+	+	-	-	--
Fonctionnement Transitoire	--	-	-	+	+	++
Répartition entre cylindres	--	--	--	--	++	++
Perte de charge	--	--	-	-	+	--
Risques de retour de flamme	--	--	--	--	+	--

* Signe + favorable, signe – défavorable.

VI.3 Conversion des moteurs à essence

La conversion des moteurs à essence s'avère assez simple. En plus du réservoir de GNC, les éléments suivants sont installés :

- Soupape de sécurité (surchauffe)

Cette soupape protège le système d'alimentation en GNC en laissant automatiquement s'échapper à l'air libre le gaz naturel du réservoir de GNC au cas où celui-ci serait exposé à des chaleurs dépassant 100 °C.

- Électrovalve de coupure haute pression (dans le réservoir)

Électrovalve haute pression intégrée au réservoir, qui coupe automatiquement l'arrivée du gaz naturel si le moteur ne fonctionne pas au gaz, ou en cas de fuite importante dans le système.

- Détendeur haute pression

Ce composant abaisse la pression d'alimentation du GNC. Le détendeur est conçu pour maximiser le débit et le rendement thermique afin d'assurer des performances optimales

- Détendeur basse pression

Ce composant à deux étages réduit la pression d'alimentation, en aval du détendeur haute pression, jusqu'à l'équivalent de 10,16 centimètres de colonne d'eau.

- Débitmètre de gaz et robinet de dosage

Un débitmètre (anémomètre à fil chaud) mesure avec exactitude le débit de gaz tandis que le robinet dose avec précision le carburant envoyé au moteur afin de maximiser les performances antipollution du véhicule.

- Électrovalve de coupure basse pression

Cette soupape de sûreté supplémentaire coupe automatiquement l'arrivée du gaz au compartiment moteur si le moteur ne fonctionne pas au GNC.

- Transducteur de jauge de carburant

Ce transmetteur de pression, corrigé en température, convertit avec exactitude la pression du réservoir en quantité de carburant dans le système GNC et l'affiche sur la jauge de carburant du tableau de bord.

- Changement de mode automatique

Le véhicule passe automatiquement à l'alimentation en essence, mais seulement lorsque la réserve de gaz est épuisée.

- Commutateur gaz-essence

Permet au conducteur de passer de l'essence au gaz et inversement.

- Mélangeur air-gaz

Placé sur la conduite d'admission il mélange de la façon la plus homogène possible le gaz et l'air. Le mélangeur peut être de type venturi. Dans le cas de moteur à carburateur, le mélangeur s'adapte au carburateur, les papillons du carburateur et du mélangeur sont alors solidaires.

En régime établi aussi bien qu'en mode transitoire les moteurs au gaz naturel sont très sensibles aux changements des réglages de l'injection.

Dans les moteurs à essence, il est bien connu que l'écoulement du combustible à l'admission est plus lent que celui de l'air à cause de l'inertie du combustible qui est en partie à l'état gazeux. Cependant, dans les moteurs au gaz le combustible est gazeux. La vitesse du mélange à l'injection atteint la vitesse sonique de 450m/s : 3 fois plus rapide qu'un combustible liquide. Cela est à prendre en compte pour le réglage du retard à la fermeture de la soupape d'admission.

VI.4 Conversion des moteurs Diesel

VI.4.a Le système Dual-fuel (Diesel –gaz)

Ce système de conversion est similaire à celui de la conversion des moteurs essence, cependant l'allumage se fait par injection Diesel Pilote, c'est-à-dire que le mélange gaz-air est injecté lors de l'admission dans le cylindre puis comprimé la combustion est alors amorcée par l'injection pilote de Diesel (micro-injection) qui permet l'inflammation du gaz. Peu de modifications sont nécessaires sur le moteur et le taux de compression est conservé ainsi que la possibilité de fonctionner en mode diesel uniquement.

Remarque

Comme l'air et le combustible sont déjà pré mélangés avant l'activation de l'injecteur diesel, le mode combustion diffère légèrement de la combustion diesel classique à "charge stratifiée".

Ce système équipe déjà beaucoup de véhicule (en Amérique, Canada...)

Une demi journée est nécessaire pour un technicien et un ingénieur pour convertir un autobus au gaz.

Un mélange de 85% de gaz naturel et 15% de combustible diesel est requis à pleine charge. Les utilisateurs de moteur Diesel convertis au GNC indiquent une réduction de la maintenance et de la fréquence des vidanges.

Les systèmes de conversion bi-carburant ne peuvent pas être appliqués aux moteurs à précombustion.

La première génération de système de conversion du bi-carburant était à boucle ouverte sans gestion par ordinateur. La quantité de gaz introduite dans le moteur était constante, ce qui conduisait à une surconsommation et des vibrations.

Il y a actuellement trois systèmes électroniques de conversion bi-carburant. Deux systèmes pour moteur particulier à injection directe et indirecte, et un système électronique à boucle fermée et connu sous le nom de système générique car compatible avec plusieurs moteurs. C'est le système produit par EFC. Le cycle entier suit les courbes de puissance et de couple préprogrammées du fabricant du moteur original.

Le système électronique à boucle fermée permet de gérer l'injection de gaz et de gazole selon un algorithme défini et selon les données des différents capteurs de température, pression et débit, rotation, charge. L'injection de Diesel est réduite au minimum.

Matériel du système de conversion générique EFC

Les éléments principaux du système de conversion sont :

- Le contrôleur de l'ordinateur central,
- Les injecteurs gaz naturel,
- Le mélangeur de gaz (homogénéise le mélange air-gaz),
- Le collecteur (valve) de gaz,
- Le régulateur de pression,
- Une sonde magnétique montée à proximité du volant moteur
- Les solénoïdes de coupure du gaz,
- Le capteur de positionnement de la pédale d'accélération,
- Thermocouple des gaz d'échappement,
- L'actionneur (actuateur) pilote diesel, Câblage,
- Le commutateur de combustible du tableau de bord.

Le contrôleur de l'ordinateur central est le cerveau du système de la conversion. Il reçoit des signaux électroniques du capteur de positionnement de la pédale, des thermocouples et ajuste le rapport gas/diesel injecté. Les courbes de régime moteur sont enregistrées dans la mémoire type PROM et correspondent aux courbes du fabricant. Des systèmes de sécurité sont aussi présents dans

le contrôleur qui passera en mode Diesel si les températures des gaz d'échappement dépassent les niveaux recommandés. Cela élimine la possibilité d'endommagement du moteur causé par le gaz naturel.

Le matériel supplémentaire inclut une régulation de pression pour réduire la pression du réservoir du gaz naturel comprimé de 200-240 bars à une pression dictée par le programme du moteur. Un actionneur pilote diesel est installé sur la pompe diesel.

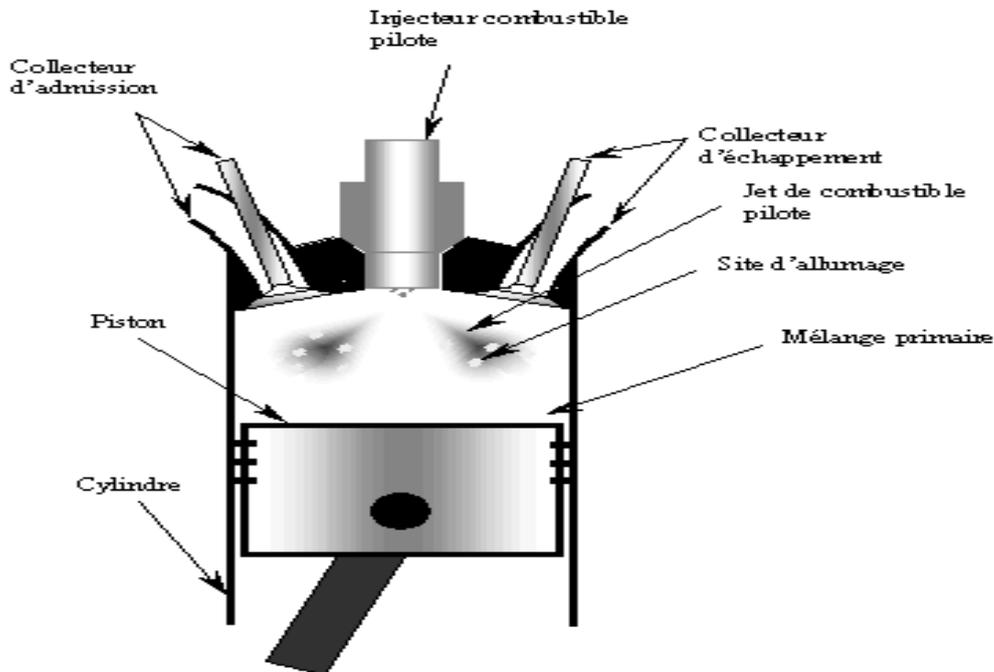


Figure 6.7 : système dual fuel

Restrictions

Actuellement, il y a seulement deux conditions physiques qui empêchent un véhicule diesel d'être converti avec l'EFC. Avant que toute information soit rassemblée au sujet du véhicule, il doit être confirmé que le véhicule a un moteur à injection directe (aucun prémélange de combustible diesel). Il doit aussi être confirmé que la pompe du combustible diesel n'a pas de clapets qui interdisent le contrôle du débit de combustible diesel.

VI.4.b Conversion des moteurs diesel au gaz naturel à l'aide de la technologie d'injection directe à haute pression (HPDI).

La société Westport Innovations Inc. développe actuellement trois produits - les injecteurs, les pièces de compression des carburants, et les commandes électroniques – qui, ensemble, forment des systèmes complets d'alimentation en gaz naturel pour les applications mobiles et industrielles, incluant la production stationnaire du courant électrique. La technologie de HPDI maintient la haute efficacité et performance des diesels, en réduisant de façon importante la production de particules, les émissions d'oxydes d'azote responsables des brouillards de fumée et les émissions de gaz à effet de serre. La technologie de HPDI comprend l'injection directe de gaz naturel en fin de cycle à la fin de la course de compression au moyen d'un système d'injection unique.

Les injecteurs brevetés de la société Westport peuvent être introduits à l'intérieur de l'enveloppe de l'injecteur diesel d'origine, sans qu'il soit nécessaire de modifier le moteur ou la tête du moteur. Ces injecteurs permettent l'utilisation du gaz naturel comme carburant principal dans le moteur, en employant une injection micro-pilote de carburant diesel pour amorcer la combustion. La société Westport a également développé des pompes à essence à haute pression qui assurent l'alimentation des injecteurs avec du gaz à haute pression (GNL ou GNC). La HPDI a été essayée avec succès dans des autobus de transport en commun au Canada et en Californie.

VI.4.c La conversion totale

Moteur au gaz naturel à injection directe (DING)

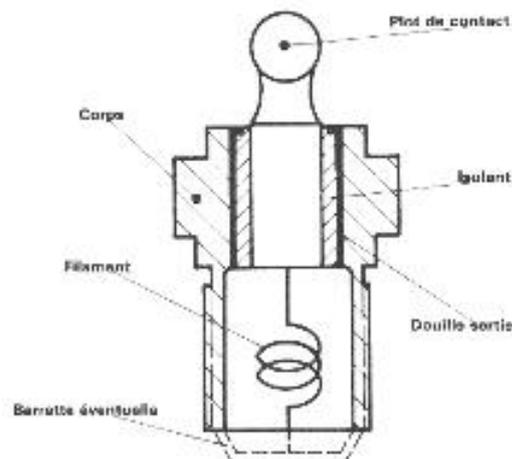
Le moteur gaz à injection directe est un moteur à carburant unique (gaz naturel). Profitant de la pression élevée du gaz et de son indice d'octane élevé, le gaz est injecté directement dans la chambre de combustion. Les injecteurs diesel sont remplacés par des injecteurs à gaz et on introduit à la place des bougies de préchauffage des bougies « luisantes » (glow plug). Le taux de compression du moteur est conservé (entre 11.5 et 15.5). Associé à un système de recyclage des gaz de combustion (EGR) et à un système de refroidissement, on obtient des performances aussi élevées que celle du moteur original tout en diminuant les émissions polluantes. Des études sont en cours pour optimiser cette technologie

Bougies Glow Plug

Le corps d'une bougie glow-plug est usiné dans une barre d'acier puis les divers éléments y sont assemblés.

Le filetage est maintenant standardisé, il a un diamètre de 1/4 de pouce au pas de 32/pouces ; il se fait en 2 longueurs, la plus courte étant nécessaire pour quelques moteurs de faible cylindrée.

Si les corps se ressemblent tous, il n'en est pas de même du filament, des matériaux d'isolation et des dimensions du logement du filament.



Fonctionnement :

Le filament est chauffé par un courant électrique, prévu de construction pour être 1,5V ou 2V. Même lorsque l'alimentation électrique cesse, le filament reste rouge de par la chaleur des explosions et il apporte la chaleur nécessaire à l'inflammation du mélange air/gaz naturel.

Disons tout de suite que si l'on augmente la température du filament, le carburant s'enflamme plus tôt, (l'avance à l'allumage augmente) et le moteur tourne plus vite.

Le chauffage initial du filament nécessite un courant dont l'intensité dépend de la résistance du filament et du voltage de la batterie (Volts = Résistance X intensité). Le filament est réchauffé par l'explosion et refroidi durant les phases d'admission du mélange et durant la compression. Il est durement traité, et ceci 200fois par seconde à 12 000 tours/minute, il doit avoir la résistance électrique nécessaire pour le chauffage du départ et la résistance mécanique pour durer longtemps.

Il est, en général, fait en platine ou en alliage platine - iridium (90 - 10 %). Sa température de fusion est de 1540° C.

VI.5 Stockage et distribution du GNV

Il faut ici faire face aux contraintes de poids, d'encombrement et de sécurité inhérentes à l'emploi d'un carburant gazeux maintenu sous haute pression.

VI.5.1 Réservoirs sur véhicules

La solution la plus classique consiste à utiliser des réservoirs en acier sous une pression de 200 bars (20 MPa). Les réglementations imposent que ceux-ci puissent résister à une pression de 600 bar en cas d'échauffement accidentel provoqué, par exemple, par un incendie. Ces contraintes imposent des capacités maximales de stockage de l'ordre de 0,15 m³ (n) de gaz par kg de réservoir.

D'autres matériaux sont préférés à l'acier. Ce sont l'aluminium seul ou freiné avec des fibres de verre, les composites résines- fibres de verre ou résines-fibres de carbone, ces enveloppes permettent, par rapport aux réservoirs en acier, de multiplier par quatre les capacités de stockage, à poids égal.

Mais Quelle que soit la technologie retenue, il apparaît qu'une pression de stockage de 200 bars constitue une valeur optimale. En effet, en dessous de ce seuil, la quantité d'énergie embarquée est trop faible; au-dessus, l'augmentation d'épaisseur des parois, imposée pour des questions de sécurité, entraîne un trop fort accroissement de poids.

Les réservoirs doivent respecter un certain nombre de réglementations, en ce qui concerne leur implantation et leur arrimage dans le véhicule. Dans les autobus à gaz, ils sont généralement

disposés sur le toit (figure 6.8), fixés de façon à résister à des décélérations égales à 9 fois celle de la pesanteur et insérés dans un carénage spécial.

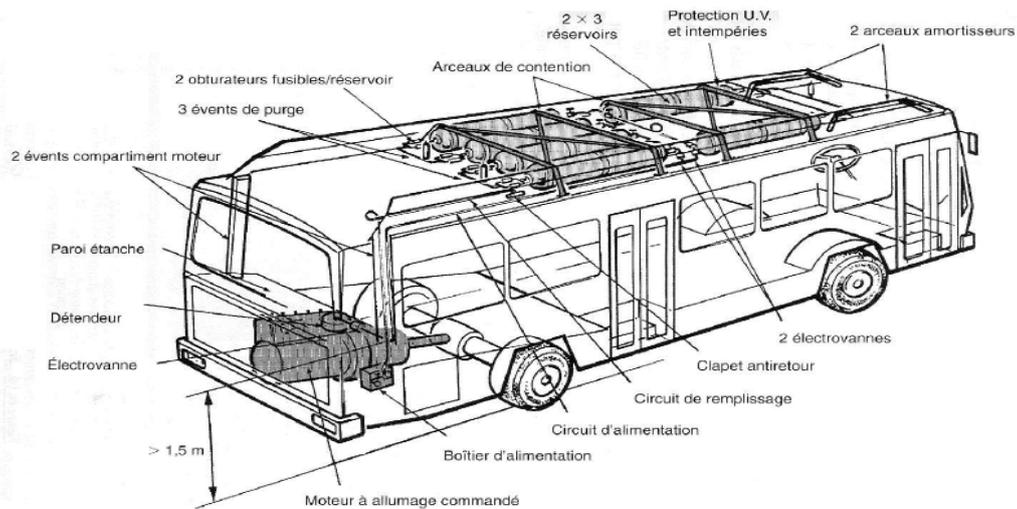


Fig 6.8 : Schéma général d'un autobus au gaz naturel « Source Gaz d'aujourd'hui »

Le dispositif de sécurité est constitué par une soupape qui s'ouvre sous une pression de 350 bars, cette pression pouvant être atteinte en cas d'incendie du véhicule. Le fait que le réservoir puisse résister à une pression de 600 bars prémunit ainsi contre le risque de rupture des parois. Des tests d'incendie volontaire de véhicules ont confirmé que le gaz peut s'échapper et s'enflammer sans explosion.

VI.5.2 Les systèmes de distribution

Nous distinguerons ici deux installations possibles : la station-service assurant une distribution centralisée et le compresseur domestique qui permet tant à un utilisateur d'alimenter son véhicule dans son garage.

A. La station-service GN

Il s'agit d'une réalisation qui a déjà atteint le stade de la banalisation, puis qu'il en existe, en 1996, plus de 1000 exemplaires dans le monde.

Une station-service GNV doit assurer trois fonctions :

- Un raccordement au réseau de transport et de distribution de gaz naturel déjà mis en place pour d'autres usages;
- Une compression du gaz à une pression supérieure à 200 bar, avec un stockage intermédiaire, pour faire face à une demande fluctuante des véhicules qui viennent s'approvisionner;
- Une distribution du gaz aux véhicules, au moyen de flexibles assurant la jonction entre les bornes de distribution et les réservoirs.

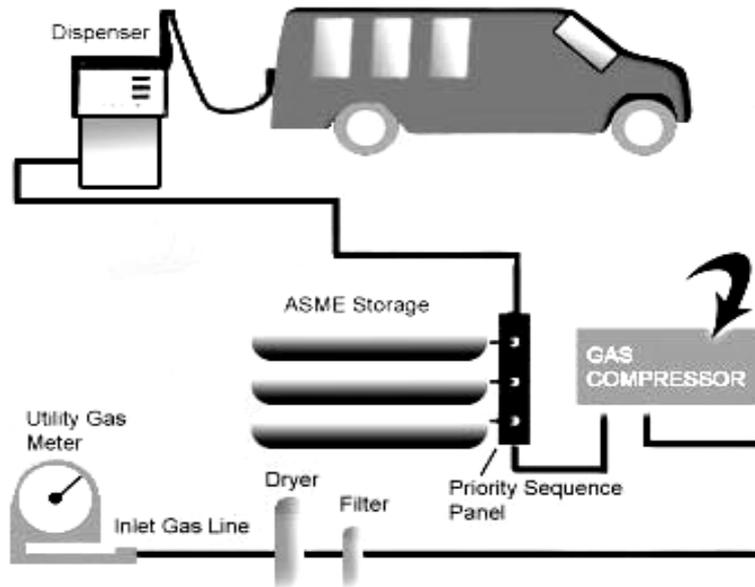


Fig 6.9: Station de compression et distribution GNC (source :mkenziecorp).

Il convient d'assurer une durée de remplissage aussi courte que possible, comprise entre 2 et 10 minutes. Ceci implique un stockage tampon sous une pression nettement supérieure à celle requise dans le réservoir; généralement, les compresseurs délivrent une pression de 250 bar pour ce stockage intermédiaire.

Dans une station-service susceptible d'alimenter 1000 véhicules par jour, la puissance des compresseurs est de l'ordre de 100 kw.

B. Le compresseur domestique

Cette technique est utilisée en particulier au Canada. Elle assure un remplissage lent, d'environ 4 litres par heure, sous une pression de 200 bar. Elle suppose évidemment la mise en place de compteurs permettant de distinguer les deux modes de consommation du gaz (combustible et carburant).



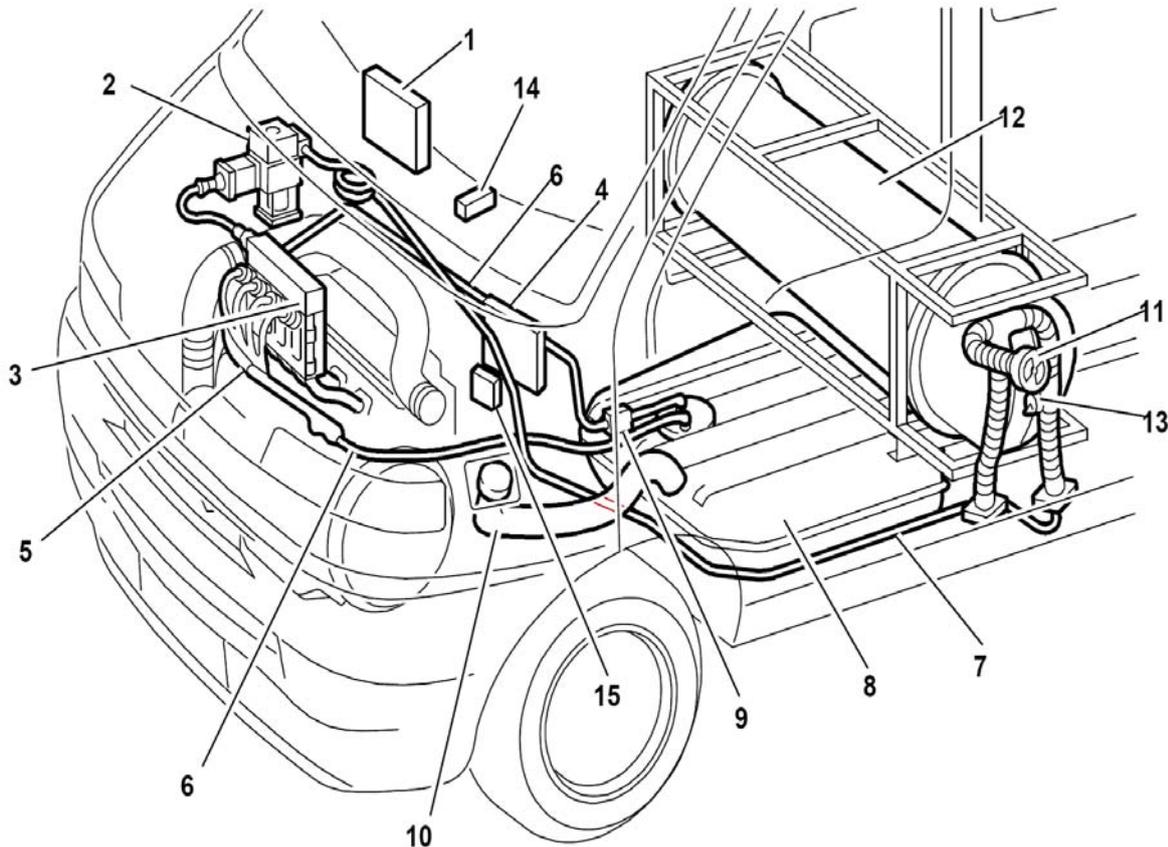
Figure 6.10 : Compresseur domestique.

VI.6 Exemple d'un système GNV « METAFUEL. »

VI.6.1 Généralités.

Le véhicule JUMPER, fonctionnant en bi-carburant est équipé d'un moteur essence sur lequel on monte un kit de transformation pour permettre un fonctionnement soit à l'essence, soit au GNV. L'alimentation en essence ne comporte aucune modification par rapport au dispositif traditionnel. L'alimentation GNV est contrôlée par un calculateur spécifique.

VI.6.2 Synoptique général du système.



- | | |
|---|---|
| 1 - Calculateur d'injection GNV | 2 - Groupe détenteur de pression |
| 3 - Rampe d'injecteurs GNV | 4 - Calculateur d'injection essence |
| 5 - Rampe d'injecteurs essence | 6 - Conduite essence |
| 7 - Conduite GNV à haute pression | 8 - Réservoir d'essence |
| 9 - Filtre à essence | 10 - Orifice de remplissage essence |
| 11 - Orifice de remplissage GNV | 12 - Réservoir de GNV |
| 13 - Vanne de sécurité manuelle | 14 - Commutateur essence/GNV |
| 15 - Emulateur injecteurs essence | 16 - Tubes injection GNV |
| 17 - Injecteurs GNV | 18 - Rail GNV |
| 19 - Sonde de température eau détenteur | 20 - Tube basse pression |
| 21 - Capteur de pression GNV | 22 - Bobine |
| 23 - Bougie | 24 - Capteur de phase |
| 25 - Sonde de température eau moteur | 26 - Capteur de régime et de position |
| 27 - Sonde à oxygène | 28 - Potentiomètre de position papillon |
| 29 - Capteur de pression absolue | 30 - Boîtier de gestion témoin GNV |
| 31 - Témoin GNV | |

qui actionne toutes ses commandes classiques à l'exception des injecteurs essence. Lors du passage de l'alimentation essence à l'alimentation GNV, il faut éviter que le calculateur d'injection essence:

- continue à commander le fonctionnement des injecteurs essence,
- applique la procédure d'auto adaptation,
- applique la procédure de diagnostic des injecteurs essence.

Le système a donc été doté d'un émulateur d'injecteurs essence. Activé au moment de la commutation, il sert :

- à couper l'alimentation des injecteurs essence,
- à simuler la résistance des injecteurs,

Le système d'allumage est toujours géré par le calculateur d'injection essence. Une correction spécifique au GNV est adoptée pour l'avance.

Lorsque la pression du GNV descend en dessous de 40 bars, le témoin GNV clignote pour signaler la condition de réserve : autonomie de 30 à 40 km. Si elle descend en dessous de 15 bars, le calculateur d'injection GNV commute automatiquement en mode essence.

Le fonctionnement en GNV est interdit pour une température eau moteur inférieure à -30°C.

VI.6.4 Commutation entre les deux modes de fonctionnement

Le fonctionnement est réglé par le calculateur GNV via le commutateur (14):

- commutateur enfoncé → choix de l'utilisateur pour le fonctionnement essence,
- commutateur sorti → choix de l'utilisateur pour le fonctionnement GNV.

VI.6.4.1 Commutation essence / GNV.

Commutation automatique (après démarrage du moteur).

Conditions initiales :

- Commutateur sorti, témoin GNV allumé.
- La commutation vers le GNV se fait automatiquement soit :
- Après un laps de temps de 5 secondes,
- Quand on dépasse le régime de 1500 tr/min.
- La commutation automatique est interdite si :
- La pression GNV dans le réservoir est inférieure à 15 bars,
- Le calculateur d'injection GNV a diagnostiqué une panne sur un ou plusieurs éléments (capteur de pression absolue, capteur de position papillon, capteur de pression GNV et injecteurs GNV).

Commutation manuelle par l'utilisateur (moteur en marche).

Conditions initiales :

- Commutateur enfoncé, témoin GNV allumé.
- Quand l'utilisateur appuie sur le commutateur :
- Le témoin GNV s'éteint,
- La fonction de commutation est activée.
- La commutation se produit uniquement si :
- La pression GNV dans la bouteille est supérieure à 15 bars,
- Le régime moteur est supérieur à 1500 tr/min,
- Le calculateur d'injection GNV ne détecte pas de panne.

VI.6.4.2 Commutation GNV / essence.

Commutation automatique (moteur en marche)

Conditions initiales :

- Commutateur sorti, témoin GNV éteint.
- La commutation se produit si une des conditions suivantes est remplie :
- Pression GNV dans la bouteille inférieure au seuil fixé (15 bars),
- Détection d'une panne par le calculateur GNV.

Après commutation, le fonctionnement au GNV est interdit tant que la condition qui a entraîné la commutation automatique n'est pas levée. Le témoin GNV est alors allumé.

Commutation manuelle par l'utilisateur (moteur en marche)

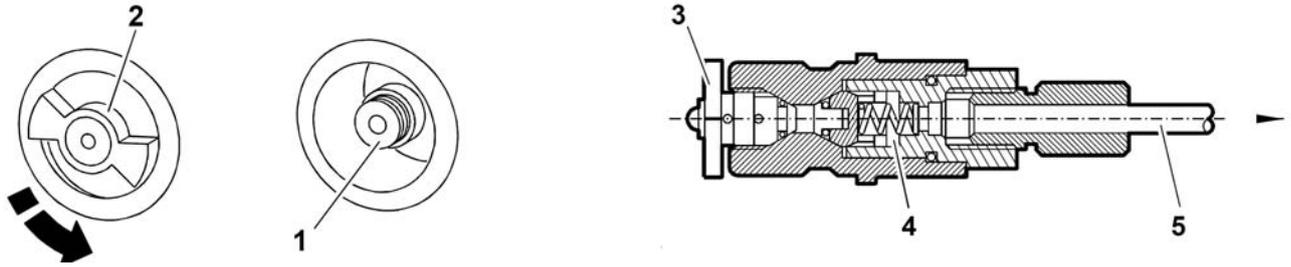
Conditions initiales :

- Commutateur sorti, témoin GNV éteint.
- Quand l'utilisateur appuie sur le commutateur :

- Le témoin GNV s'allume,
 - La fonction de commutation est activée.
- En cas d'anomalies, le calculateur GNV gère les modes dégradés.

VI.6.5 - Circuit GNV.

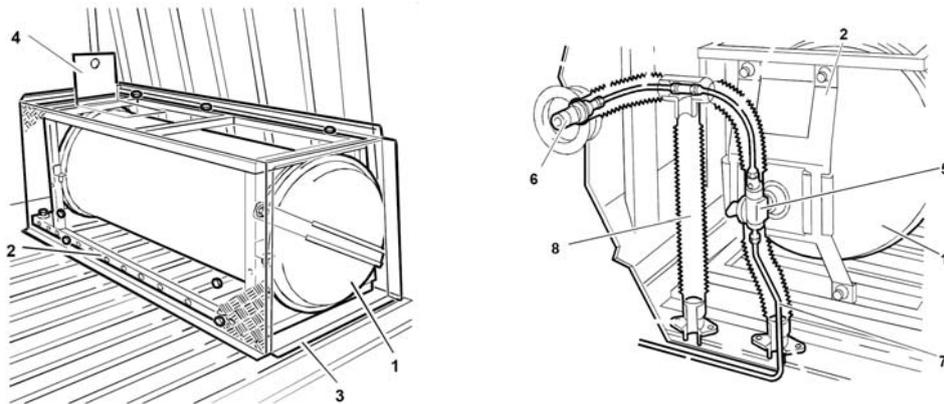
VI.6.5.1 Orifice de remplissage du GNV.



1 -Orifice de remplissage 2 –Bouchon 3 -Corps extérieur de l'orifice 4 -Clapet anti-retour 5 - Tuyauterie haute pression

VI.6.5.2 Réservoir GNV.

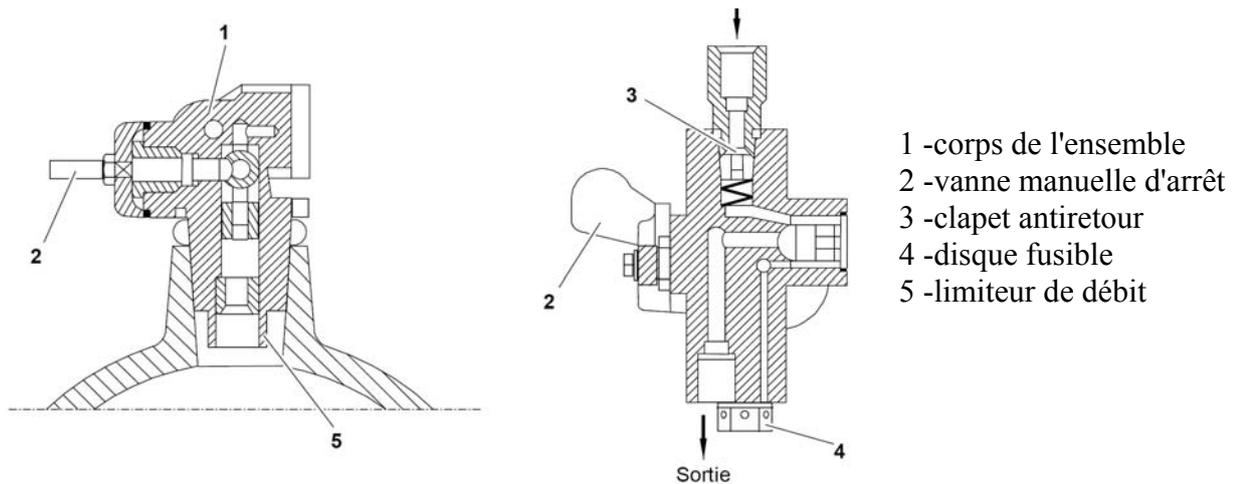
Le GNV à l'état gazeux est comprimé à une pression nominale d'exploitation de 200 bars à 15°C dans le réservoir. En fin de remplissage, il est toujours à l'état gazeux. Le réservoir d'une capacité de 150 dm³ autorise une autonomie d'environ 250 km.



1-Réservoir GNV 2-Berceau de fixation. 3-Carter de protection
4-Volet d'inspection 5-Valve manuelle d'arrêt GNV 6-Orifice de remplissage
7-Tuyauterie haute pression 8-Tuyau strié de ventilation

VI.6.5.3 Ensemble sur réservoir GNV.

- Il assure les fonctions suivantes :
- remplissage du réservoir GNV,
 - alimentation en GNV du moteur.



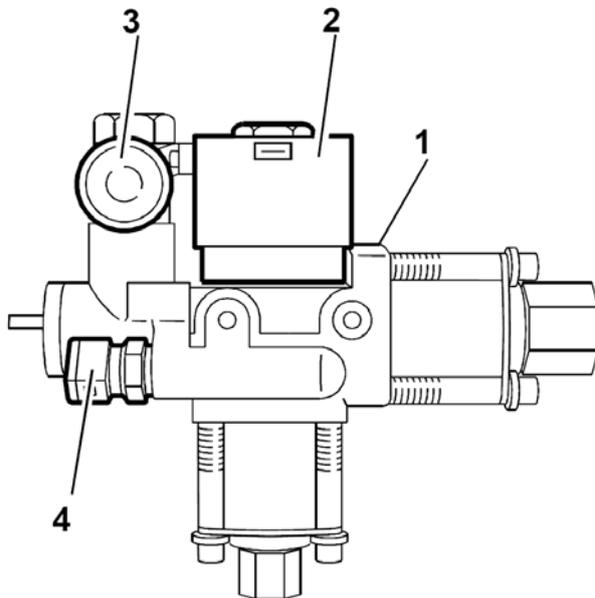
1 -corps de l'ensemble
2 -vanne manuelle d'arrêt
3 -clapet antiretour
4 -disque fusible
5 -limiteur de débit

En cas de rupture d'une tuyauterie ou de l'ensemble, le limiteur de débit (5) intervient en limitant le débit de gaz à une valeur d'environ 0,5 % du débit de fonctionnement normal.

VI.6.5.4 Tuyauteries GNV haute pression.

Les tuyauteries sont en inox recouvertes de matière plastique.

VI.6.5.5 Groupe détenteur de pression GNV.



- 1 -corps du détenteur
- 2 -électrovanne d'arrêt
- 3 -capteur pression GNV
- 4 -sonde de température eau détenteur

Le détenteur de pression est destiné à réduire la pression du GNV de la valeur existant dans le réservoir à la valeur d'alimentation des injecteurs GNV (9 ± 1 bar).

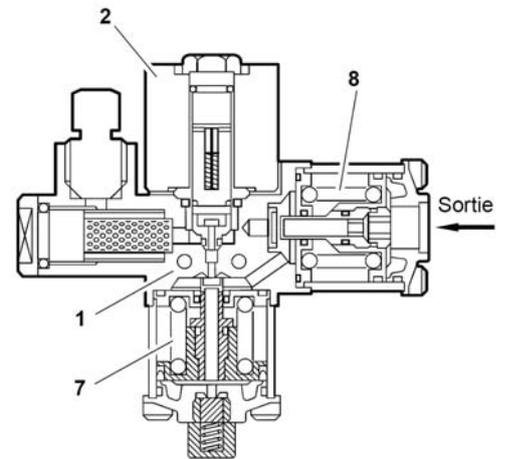
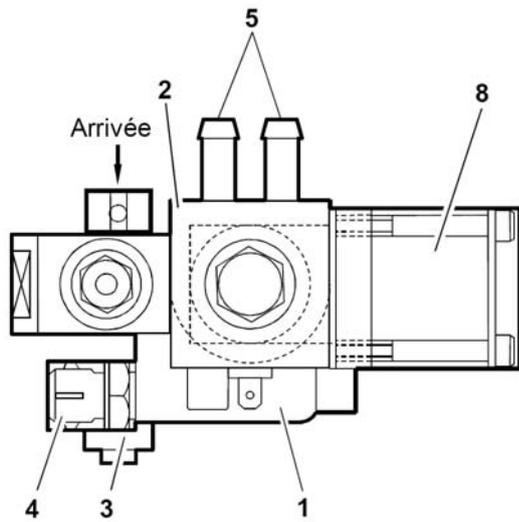
La réduction de pression se fait sur deux étages :

- le premier étage (7) réduit la pression à une valeur d'environ 13 bars,
- le second étage (8) réduit la pression à une valeur de 9 bars.

Caractéristiques capteur pression GNV.	
Plage de mesure	20 à 250 bars
Tension d'alimentation	4.5 à 5.5 volts
Réponse (pression mini sous 5 volts)	0.25 volt
Réponse (pression maxi sous 5 volts)	4.75 volts
Sensibilité (sous 5 volts)	19.6 mV/bar

Comme le GNV est soumis à une forte détente, on dérive une partie du circuit de refroidissement eau moteur (5) pour réchauffer le groupe détenteur.

Pendant les phases de fonctionnement GNV, la sonde de température (4) fournit au calculateur d'injection essence un signal de température eau inférieur à 70°C. Ceci a pour effet d'inhiber la fonction auto adaptation du calculateur. Le signal de la sonde à oxygène est ainsi négligé.



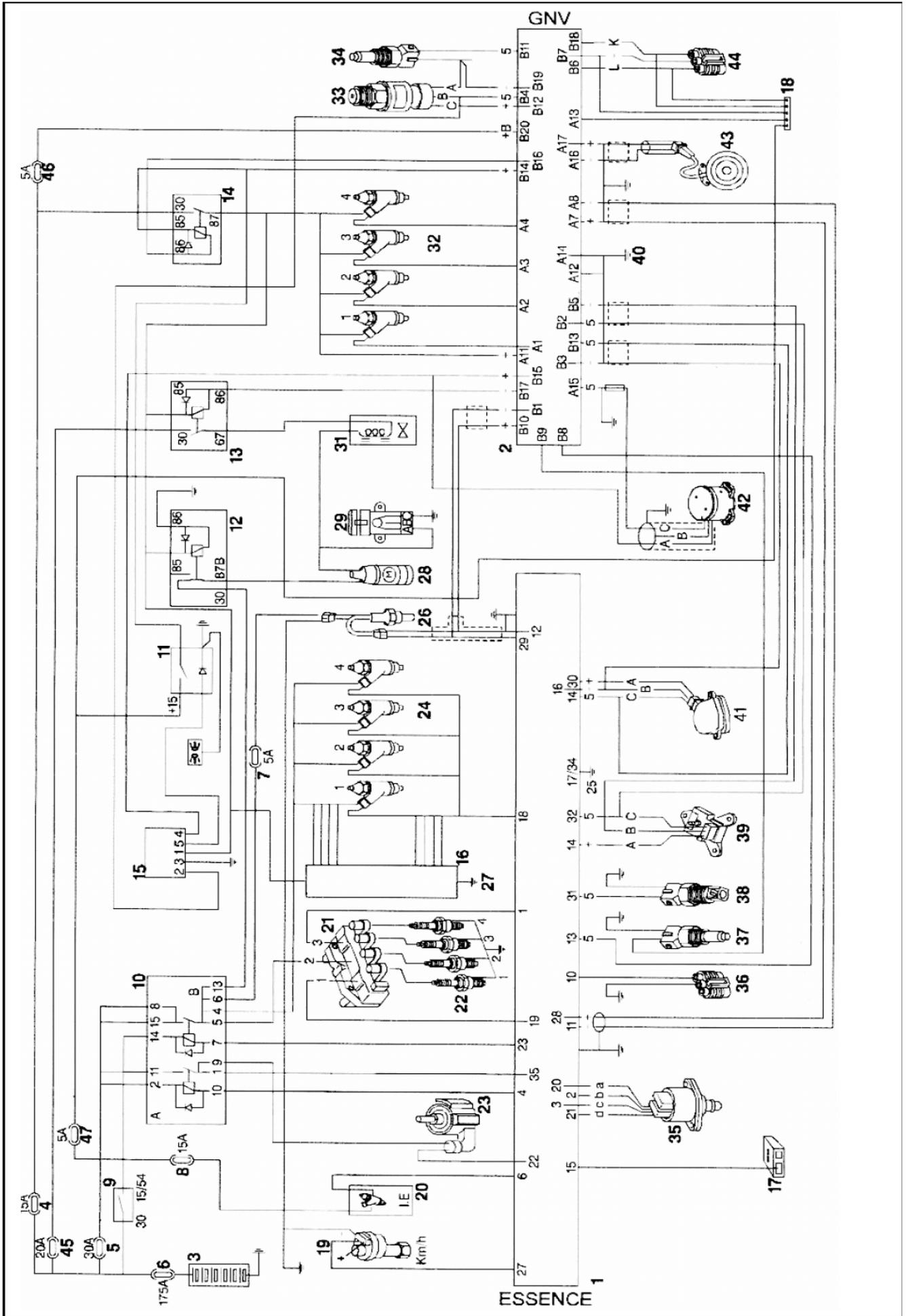
Caractéristique sonde de température eau détendeur.	
Température (°C)	Sonde eau détendeur (Ω)
-40	100000
-20	30000
0	10000
20	3200
60	0

VI.6.5.6 Rampe d'injection GNV.

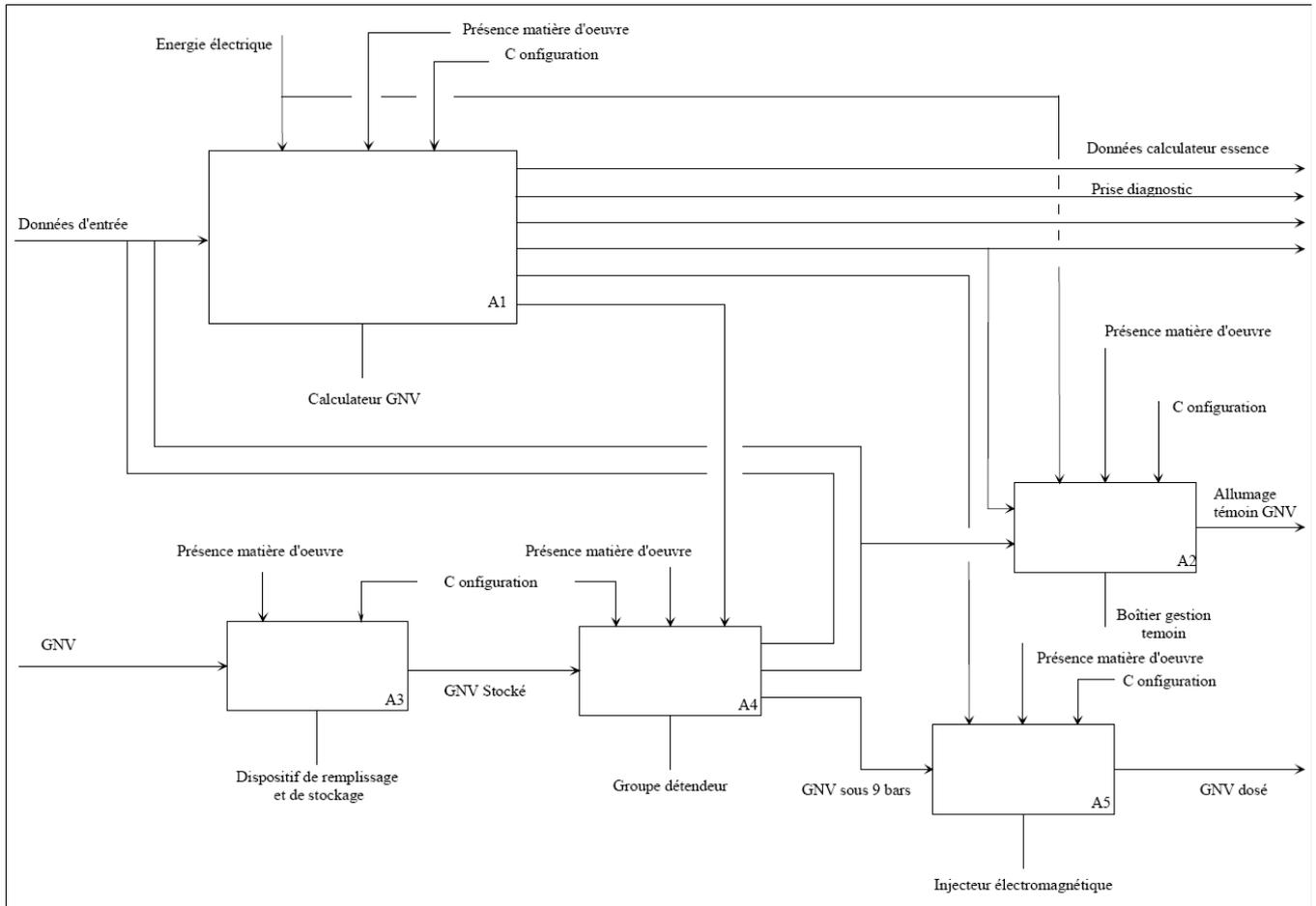
Cet ensemble est constitué d'un support de 4 injecteurs spécifiques au fonctionnement GNV. Il distribue le gaz dans chaque cylindre par l'intermédiaire de tubes souples.

Schématisation électrique.

- 1 -Calculateur essence
- 2 -Calculateur GNV
- 3 –Batterie
- 4 à 8 –Fusibles
- 9 -Contacteur de démarrage
- 10 -Relais double
- 11 -Commutateur essence / GNV
- 12 -Relais pompe à essence
- 13 -Relais d'alimentation électrovanne sur groupe détenteur
- 14 -Relais d'alimentation injecteurs GNV
- 15 –Boîtier de gestion témoin GNV
- 16 -Emulateur injecteurs essence
- 17 -Prise programmation calculateur essence
- 18 -Prise programmation calculateur GNV
- 19 -Signal tachymètre
- 20 -Témoin diagnostic essence
- 21 -Bobine d'allumage
- 22 –Bougies
- 23 -Electrovanne purge canister
- 24 -Injecteurs essence
- 25 -Masse signal
- 26 -Sonde à oxygène
- 27 -Masse blindage
- 28 -Pompe essence
- 29 -Contacteur d'inertie
- 31 -Electrovanne GNV
- 32 -Injecteurs GNV
- 33 -Capteur de pression GNV
- 34 -Sonde température eau groupe détenteur
- 35 -Actuateur ralenti moteur
- 36 -Prise diagnostic essence
- 37 -Sonde température eau moteur
- 38 -Sonde température air
- 39 -Capteur de pression collecteur
- 40 -Masse de puissance
- 41 –Potentiomètre de position papillon
- 42 -Capteur de phase
- 43 -Capteur position et régime moteur
- 44 -Prise diagnostic GNV
- 45 à 47 –Fusibles



Grphe fonctionnel A0 du systme METAFUEL.



Chapitre VII

Coûts

Au début, cette technologie sera destinée aux transports publics urbains (bus), ainsi qu'à une flotte de véhicules légers (Taxis) qui reviennent chaque soir à leur lieu de stationnement, avec possibilité d'y faire le plein.

VII.1 Coût de transformation d'un véhicule

Le cout d'un kit de conversion d'un véhicule léger est estimé à **60 000 DA**

Le kit de conversion comprend les pièces indiquées ci-dessous

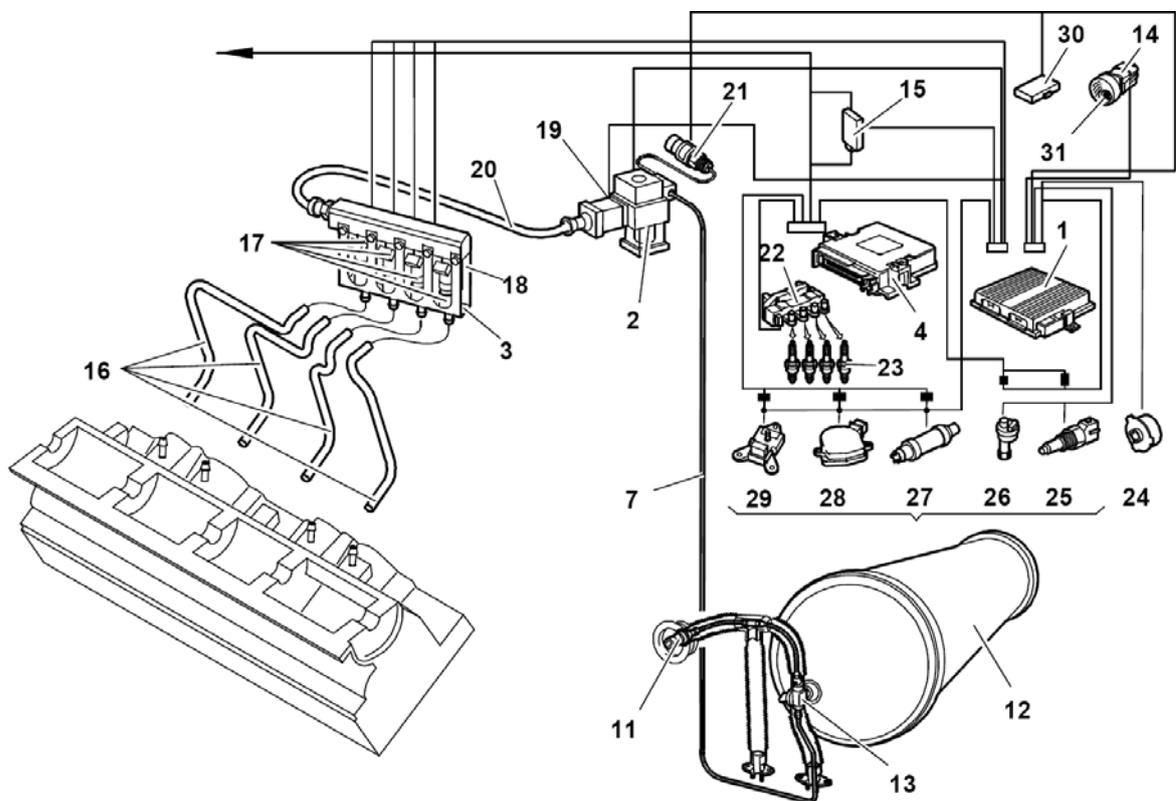


Figure 7.1 : composition du kit GNC

VII.2 Coût d'acquisition d'un bus dédié GNC

L'acquisition d'un bus dédié au GNC revient à **320 000 Euros**

VII.3 Coût d'une station de compression

Le développement de la technologie du moteur à GNC est actuellement freiné : il faut tout d'abord créer un réseau de stations de compression de gaz, dont le prix unitaire se situe entre 50 000 et 500 000 Euros (4 000 0000 et 40 000 000 DA). Il est donc nécessaire de convertir quelques dizaines de bus au GNC afin d'amortir le coût d'une station.

La station de compression comprend essentiellement :[18]

- **2 groupes moteurs-compresseurs,**
- **1 ballon de stockage de gaz à 275 bars environ,**
- **2 colonnes pour faire le plein rapide des autobus et des camions,**
- **Une colonne pour faire le plein rapide des voitures,**
- **Les armoires de commande et la tuyauterie d'interconnexion,**
- **Les divers travaux d'aménagement des locaux existants (génie-civil, éclairage, détection incendie, etc.),**
- **Le raccordement électrique à partir de la sous-station existante,**
- **Le branchement de gaz à partir du réseau existant.**

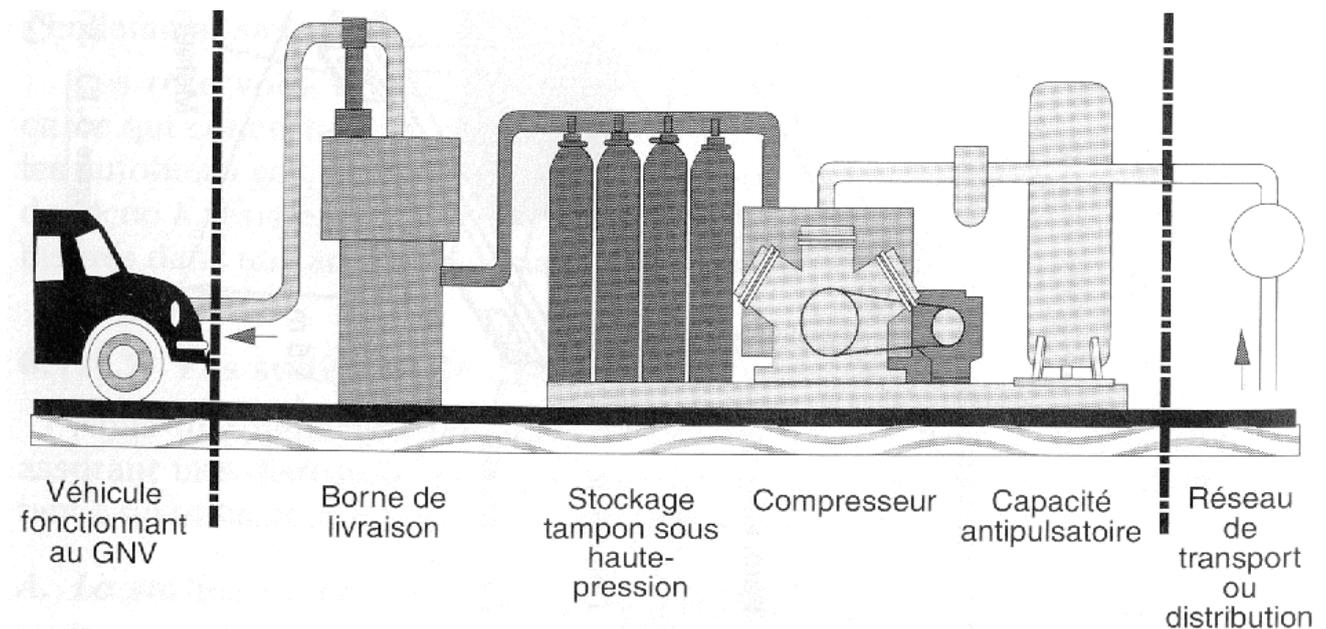


Figure 7.2 : Schéma d'une station de service GNC

Chapitre 8

Cas de l'Algérie

VIII.1 Facteur écologique

La pollution par les émissions automobiles dans le monde devient de plus en plus inquiétante particulièrement dans les grandes villes où on constate déjà depuis plusieurs décennies des épisodes de pollution par smog dont les effets néfastes sur tous les êtres vivants ainsi que sur la végétation sont démontrés.

La recherche du véhicule propre fait de nos jours l'objet de nombreux travaux. L'objectif principal consiste à réduire les émissions polluantes en améliorant la combustion des moteurs et en utilisant des carburants (alternatifs) moins polluants. L'utilisation du gaz naturel carburant (GNC) est l'une des options utilisées depuis les années soixante-dix. Cependant et pour des raisons diverses l'utilisation du GNC n'a pas connu de percée et ce même au niveau des pays grands producteurs d'énergie gazière. Les émissions polluantes dépendent non seulement des caractéristiques propres des véhicules en circulation mais aussi de l'usage des véhicules.

Les gaz d'échappement contiennent des substances polluantes et à effet de serre telles que monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures réactifs (NMHC), dioxyde de soufre (SO₂), particules de suie, oxydes d'azote (NO_x), dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄).

Localement, les gaz d'échappement polluent l'air au niveau du sol: dès que l'ensoleillement augmente, les oxydes d'azote (NO_x) et les hydrocarbures réactifs notamment accroissent considérablement la concentration d'ozone, provoquant le smog estival qui affecte directement la santé des êtres humains et des animaux. [20]

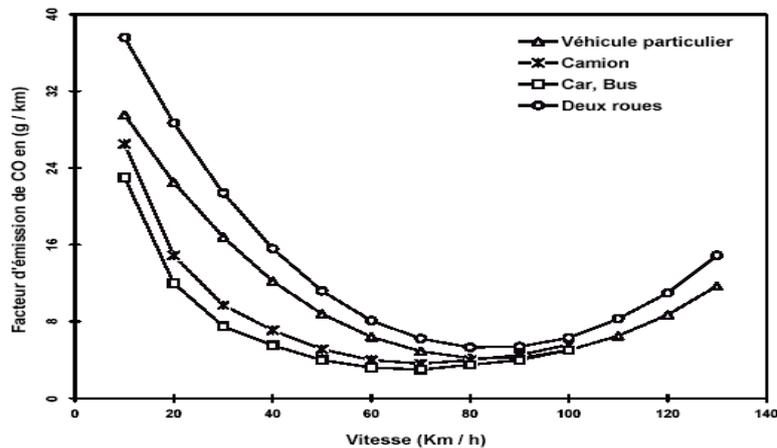
En haute atmosphère (stratosphère), les émissions polluantes influent sur le climat et, d'une manière générale, contribuent à l'accroissement de l'effet de serre.

Or, il est possible de remplacer les moteurs Diesel par des moteurs fonctionnant au GNC dont les émissions sont considérablement réduites :

- * NO_x - 80%
- * CO - 50%
- * NMHC - 80%
- * Particules (suies) - 100%
- * SO₂ - 99%

A titre indicatif, on diminuerait de 40% la pollution de l'air si l'on pouvait remplacer tous les véhicules Diesel par des véhicules GNC.

Actuellement 5 Millions de véhicules GNC circulent déjà dans le monde, ce qui prouve que cette technologie n'est pas nouvelle. Aussi, les recherches se poursuivent afin d'améliorer constamment les performances de ces véhicules.



F

Figure 8.1 : Evolution des émissions en fonction de la vitesse du véhicule : [20]

En utilisation réelle du véhicule, la combustion idéale n'est jamais réalisée. La mauvaise combustion liée d'une part au rapport air/carburant (mélange riche ou pauvre) et au régime de fonctionnement (départ à froid ou à chaud, ralenti, accéléré, croisière, etc.) est la principale cause de ces émissions.

On remarque que les émissions sont plus intenses à des vitesses inférieures à 40 km /h qui sont les vitesses de circulation en ville.

En moyenne, dans les rues des grandes villes le trafic routier est responsable des taux d'émissions suivants [20]

Tableau 8.1 : Contribution du trafic dans la pollution urbaine de quelques villes

Polluants Villes	CO	HC	NOX	Particules	SO2
Mexico	97%	52%	74%	2%	20%
Santiago	81%	48%	90%	6%	13%
Sao Paulo	94%	76%	89%	22%	59%
Bombay	86%	20%	44%	3%	
Koweït	96%	76%	26%	3%	11%
Manille	93%	82%	73%	60%	12%
Séoul	15%	40%	60%	35%	7%
Ankara	77%	62%	44%	2%	3%

VIII.1.1 Part de pollution automobile en milieu urbain

Tableau 8.2 : Polluants en milieu urbain

	Taux (%)
CO	90
NO _x	60-70
HC	50-60
SO ₂	10-20
PARTICULES	10-20
PLOMB	90
BENZENE	90
CO ₂	30-40

Quotidiennement, l'homme est agressé par les émissions polluantes dues au trafic routier. Les personnes les plus exposées sont d'abord les conducteurs, passagers de véhicules, puis les piétons circulant à proximité immédiate des chaussées, et enfin les riverains. Les effets de ces polluants sur l'environnement et la santé publique des populations sont bien connus dont les plus importants sont :

CO: carboxyhémoglobine.

NO₂: effets irritants.

HC: Contiennent les composés aromatiques cancérigènes tel que le benzène.

NO_x, HC: Constituent les précurseurs de la pollution photochimique (smog). Production d'ozone et autres oxydants.

CO₂, CH₄: gaz à effet de serre.

CO, NO_x, SO₂: participent à la formation des pluies acides.

Plomb: effet sur le système nerveux, retard psychique chez les enfants.

Particules: elles véhiculent les métaux lourds (Zn, Fe, Cd, etc.) et les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), benzopyrene qui sont cancérigènes. Les particules fines sont retenues dans les alvéoles de l'appareil respiratoire.

VIII.1.2 Qualité de l'air de la ville d'Alger [20]

L'agglomération d'Alger qui est dotée d'un important trafic routier et dont la situation géographique (36° 43' Latitude Nord) est favorable aux processus photochimiques (forte insolation) peut être le siège d'une intense pollution oxydante.

Les NO_x sont des polluants du monde urbain. Environ 70% des NO_x émis dans l'atmosphère des grandes villes sont imputables au trafic routier. Dans la basse troposphère, l'ozone anthropogénique résulte des réactions photochimiques complexes qui mettent en jeu, principalement les hydrocarbures (HC) et les oxydes d'Azote (NO_x). En vertu des nuisances multiples qu'il engendre, l'ozone fait de nos jours l'objet d'une surveillance particulière.

La figure 8.2 montre un profil journalier moyen du centre ville d'Alger ; Ce cycle moyen reflète l'ampleur et l'évolution des émissions issues du trafic routier de la majorité des artères algéroises. [20]

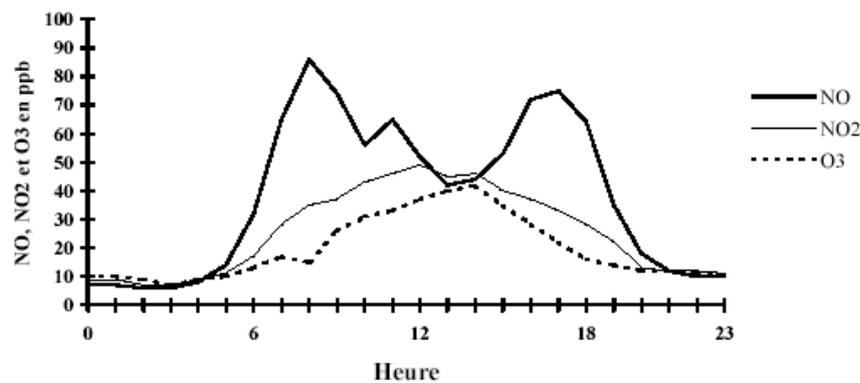


Figure 8.2 : Cycle journalier moyen du NO, NO2 et O3 à Alger

Le profil journalier montre que le NO accuse 3 pics importants. Ces maxima sont liés étroitement à l'intensification du trafic routier durant les heures de pointes. En moyenne la teneur en NO reste inférieure à 100 ppb (*part per billion*, partie par milliard) mais on observe parfois des teneurs horaires ponctuelles supérieures à 200 ppb.

Aussi les hydrocarbures aromatiques polynucléaires (HAP) sont présents dans l'air d'Alger et sont dus au trafic routier. [20]

Un grand nombre de composés organiques de poids moléculaire élevé sont adsorbés sur les particules en suspension dans l'air. Il s'agit entre autres d'alcane lourds et de composés très toxiques comme les HAP. Cette dernière classe de polluants fait l'objet de nos jours d'une attention particulière, en raison de l'intensification du trafic routier qui en est la principale source.

Les H.A.P. sont formés par décomposition thermique de composés organiques. Cette formation est basée sur deux processus :

- Pyrolyse ou combustion incomplète
- Carbonisation

Les H.A.P. sont formés de deux ou plusieurs noyaux benzéniques arrangés linéairement, angulairement ou forme de clusters.

Les sources des H.A.P. dans l'environnement sont aussi bien naturelles qu'anthropiques mais ils sont principalement émis par des processus de combustion, donc par des activités humaines.

L'émission automobile constitue une source moyenne de particules en atmosphère urbaine.

La nature des émissions en H.A.P. d'origine automobile varie en fonction du moteur et des conditions de fonctionnement. Pour les véhicules essence, les émissions de H.A.P. en phase gazeuse est beaucoup plus importante qu'en phase particulaire. Les H.A.P. prédominants sont le naphthalène, le fluorène, l'acénaphthylène, l'acénaphtène en phase gazeuse essentiellement et le pyrène, le benzo(e) pyrène en phase particulaire.

La combustion diesel est une des principales sources d'émission de particules en milieu urbain. Les voitures diesel émettent environ 10 fois plus de H.A.P. que les voitures essences.

A Alger, l'évaluation de la pollution par les HAP a été effectuée au niveau de l'Ecole Nationale Polytechnique du côté de la route nationale N° 5 à environ 9m du trottoir et à 4 m d'altitude.

Tableau 8.3 : Principaux HAP identifiés et leur teneur atmosphérique. [20]

HAP	Teneur (ng/m3)
Anthracène	0,167
Phénylène	0,021
Pyrène	0,302
Fluoranthène	0,439
Benzo(a)anthracène	0,215
Chrysène	0,043
Benzo(b)fluoranthène	0,254
Benzo(k)fluoranthène	0,135
Dibenzo(a,h)anthracène	0,126
Benzo(g,h,i)pérylène	0,097
Benzo(a)pyrène	0,162
Indo-pyrène	0,147

Comparons ces résultats avec ceux d'autres villes de même ou de plus grande envergure qu'Alger, on constate que le parc automobile algérien engendre de fortes émissions de HAP.

L'âge très élevé du parc automobile, l'absence de contrôle et de systèmes de dépollution, font en sorte que les particules collectées sont des suies noires riches en HAP.

En milieu urbain, à proximité des artères et particulièrement dans les rues de types canyon bordées de bâtiments où la ventilation naturelle est moins bonne, il faut s'attendre à des teneurs encore plus importantes en HAP. [20]

VIII.2 Le parc automobile

La croissance démographique, l'urbanisation et l'amélioration de la conjoncture économique sont les grands moteurs de la croissance du parc automobile mondial. Selon des chiffres publiés par les Nations unies, la population mondiale est passée d'environ 2,5 milliards à 6 milliards d'individus fin 1999 et devrait enregistrer une croissance supplémentaire de 50 % d'ici 2050, pour atteindre 9 milliards d'individus. Cette croissance ne sera pas répartie équitablement, puisqu'elle touchera surtout les pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique n'appartenant pas à la zone OCDE.

VIII.2.1 Production mondiale d'automobile

L'Union européenne est le marché le plus concurrentiel du monde, avec la particularité d'être le seul marché développé sur lequel tous les constructeurs automobiles sont présents. Le marché japonais est très fermé aux constructeurs étrangers. Le marché américain est, lui, largement dominé par les constructeurs nationaux.

Production mondiale de véhicules (1999)

Total : 54 954 000 [Source CCFA] Comité des Constructeurs Français d'Automobiles

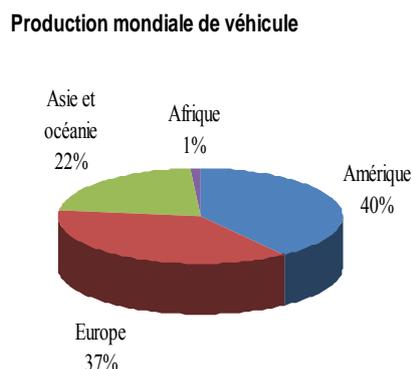


Figure 8.3 : Production mondiale de véhicules

VIII.2.2 Le parc automobile Algérien

L'Algérie a connu cette dernière décennie une nette augmentation du nombre de marques d'automobile qui se sont implantées chez nous et qui vendent leurs produits par le biais des concessionnaires. Le parc automobile algérien a atteint le total de 26 900 véhicules par an, suivies des Japonaises 26.000 unités.

Le parc automobile en Algérie est en constante progression. Selon l'Office national des statistiques (ONS), il s'est enrichi de près de 188.475 véhicules neufs importés sur l'année 2006. Il s'est enrichi de près de 200.000 véhicules ces dernières années. Rien que pour l'année 2005, le parc automobile a connu une hausse de 20.000 unités par rapport à l'année 2004, pour atteindre quelque 3,2 millions de véhicules en 2006. Ce qui représente, un véritable boom de 10%. En 2006, par exemple, les concessionnaires ont importé 188.000 véhicules neufs dont 120.000 de tourisme et 68.000 utilitaires.

Tableau 8.4 : Nombre de véhicules importés par années

ANNEE	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
NOMBRE	23 890	38 895	48 531	78 281	101 802	188 475	

Tableau 8.5 : Nombre de véhicules importés par années (par type d'énergie)

Source d'Énergie	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Véhicules Essences	2 059 370	2 066 345	2 089 283	2 097 515	2 134 413	2 183 879	2 265 898	
Véhicules Gazole	760 522	776 937	792 894	833 193	874 576	926 912	1 033 368	
Total véhicule	2 819 892	2 843 282	2 882 177	2 930 708	3 008 989	3 110 791	3 299 266	

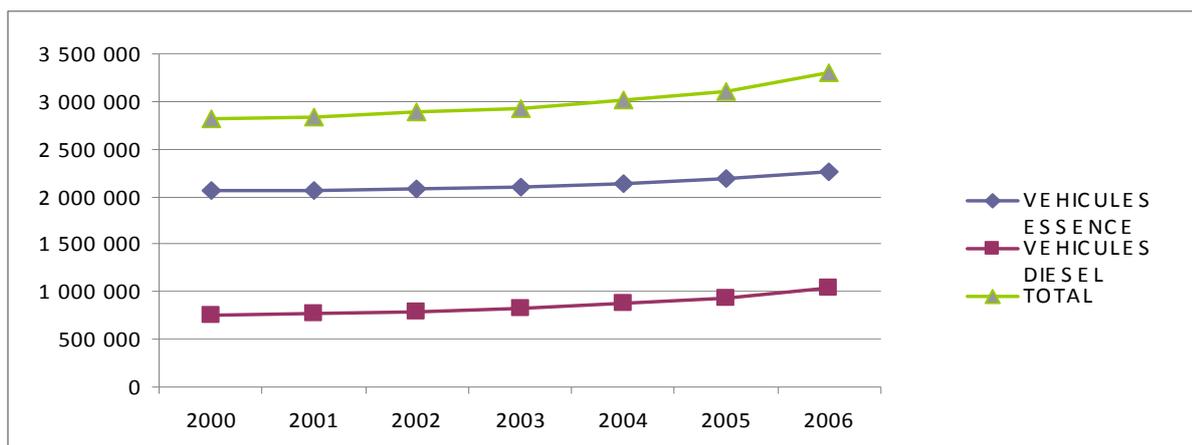
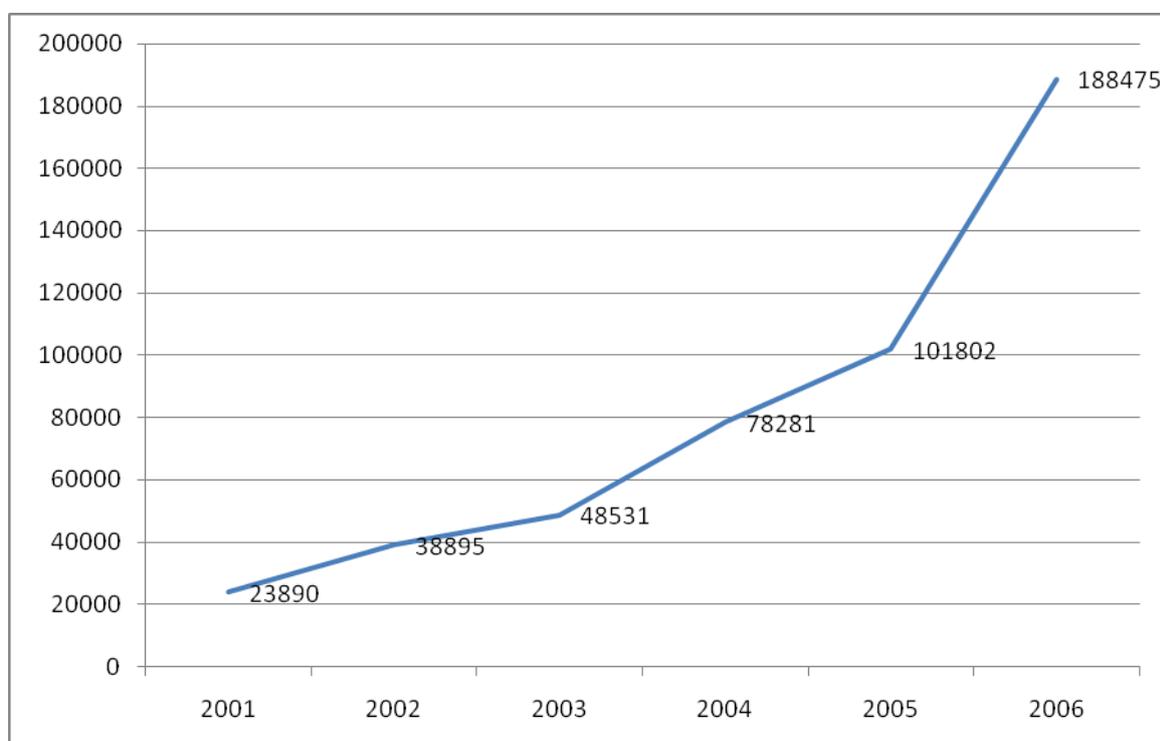


Figure 8.4 Evolution du parc automobile Algérien [source l'ONS]



[source l'ONS]

Figure 8.5 Nombre de véhicule importé par année

La figure 8.4 montre l'évolution du parc automobile Algérien entre 2000 et 2006. On remarque une croissance rapide à partir de l'année 2003 ceci est dû au nombre croissant de nouvelles marques de véhicule notamment d'origine asiatique qui se sont implantées chez nous et qui vendent leurs véhicules par le biais des concessionnaires.

Aussi on remarque que le nombre de véhicule diesel a connu une croissance rapide par rapport aux véhicules à essence.

Le graphe 8.6 montre l'évolution des importations diesel par rapport à l'essence. Le parc automobile Algérien tend vers la diésélisation on remarque qu'en 2003 le nombre de véhicule diesel importés est 05 fois celui des véhicules à essence ce qui explique la demande croissante de carburant notamment le gazole.

ANNEE	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Essence	6 975	22 938	8 232	36 898	49 466	82 019	
Diesel	16 415	15 957	40 299	41 383	52 336	106 456	

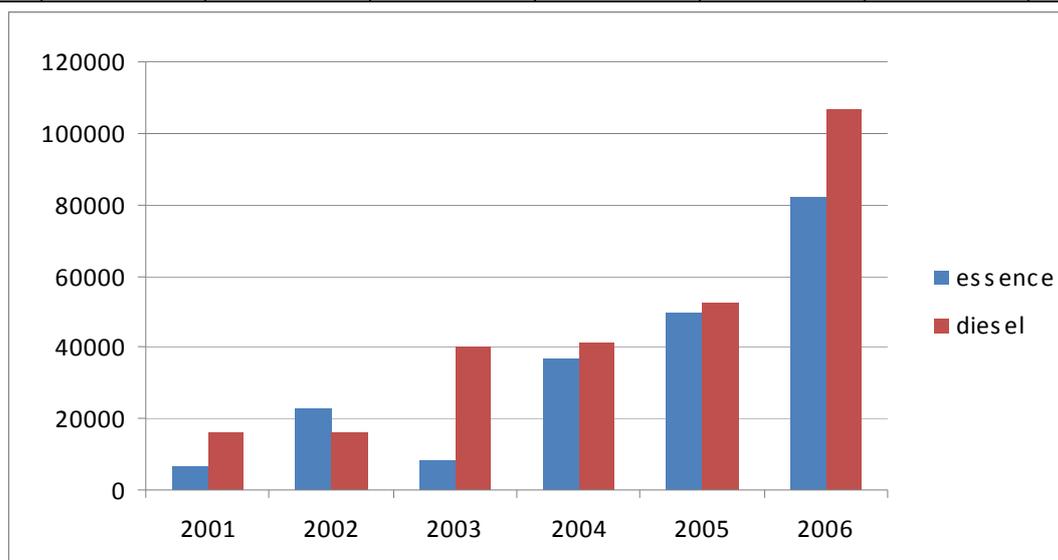


Figure 8.6: Comparaison du nombre de véhicule importé diesel et essence (selon l'ONS)

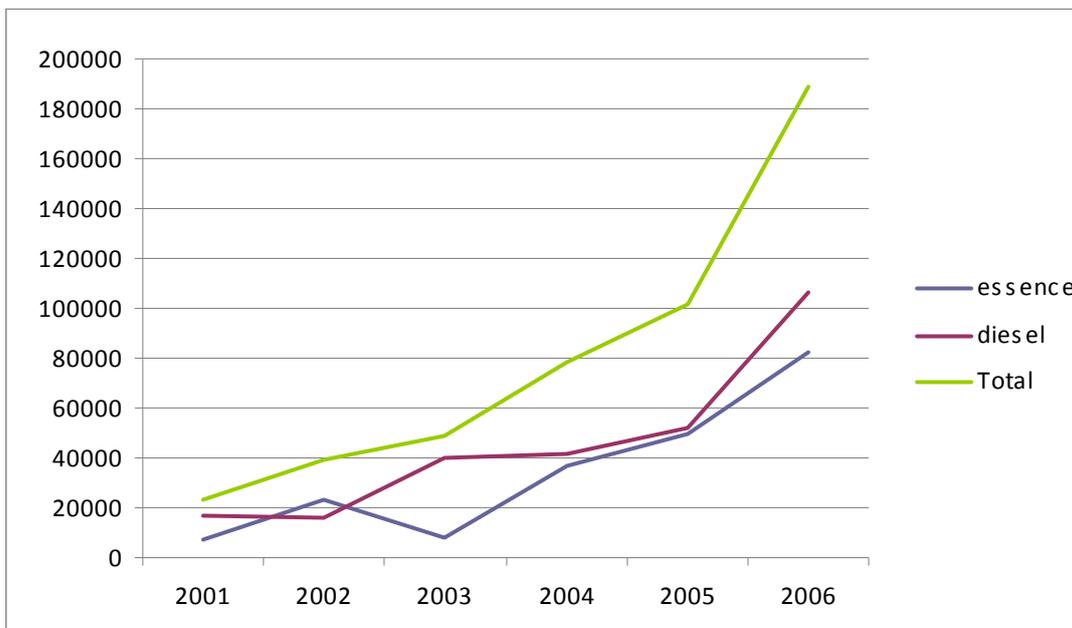


Figure 8.7: Comparaison du nombre de véhicule importé diesel et essence (selon l'ONS)

On remarque que le parc automobile algérien tend vers la diésélisation et c'est au milieu de l'année 2002 que le nombre de véhicule diesel vendu a dépassé celui des véhicules à essence.

VIII.3 Consommation des carburants en Algérie

VIII.3.1 Consommations actuels

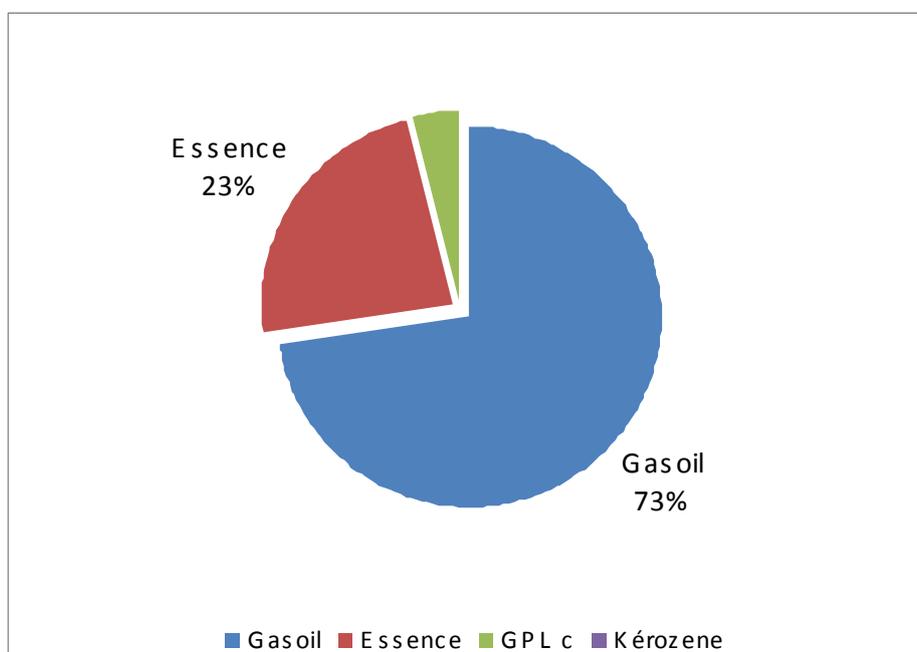


Figure 8.8: Part de la consommation des carburants par produit en 2006

Tableau 8.6 : Evolution de la consommation des carburants en Algérie (tonnes)

Produit	2 000	2 001	2 002	2 003	2 004	2 005	2 006
Essence normale	1 487 372	1 433 098	1 388 006	1 357 410	1 319 143	1 241 486	1 119 310
Essence super	408 294	418 617	438 576	462 595	504 871	534 430	599 026
Essence S/Plomb	8 280	12 781	21 067	30 057	48 328	104 319	152 779
S/Total Essences	1 903 946	1 864 496	1 847 649	1 850 062	1 872 342	1 880 235	1 871 115
Part %	34%	32%	29%	28%	27%	26%	25%
Gazole	3 629 530	3 907 285	4 431 121	4 705 538	5 059 409	5 376 560	5 755 049
Part %	66%	68%	71%	72%	73%	74%	75%
TOTAL	5533476	5771781	6278770	6555600	6931751	7256795	7626164

(Source Naftal)

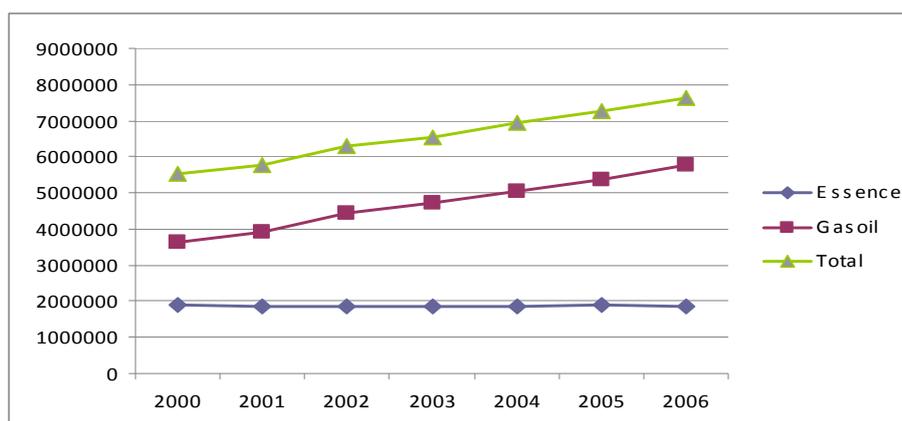


Figure 8.9 : Evolution des consommations Essence et diesel (2000-2008) (Source Naftal)

On remarque que la consommation d'essence augmente légèrement entre 2000 et 2006, tandis que la consommation de gazole augmente rapidement. Cette évolution est similaire à celle du parc automobile.

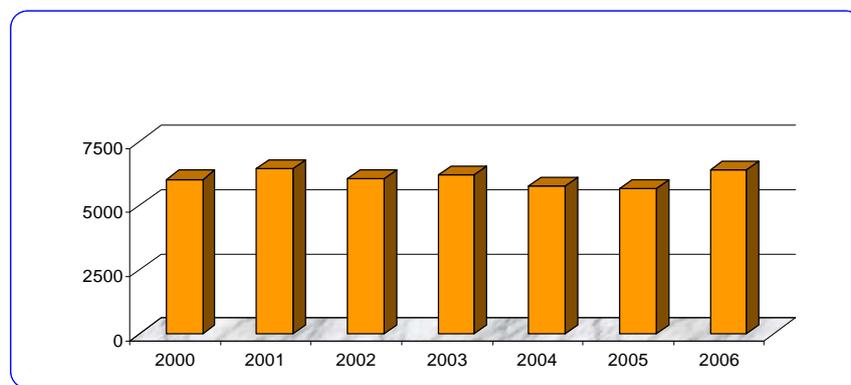


Figure 8.10 : Evolution de l'offre nationale en gazole période 2000-2006 en milliers de tonnes

L'offre nationale est caractérisée par une stabilité autour de la capacité design,

- La production moyenne du gazole a été de l'ordre 6,1 millions de tonnes, soit 28% de la production totale.

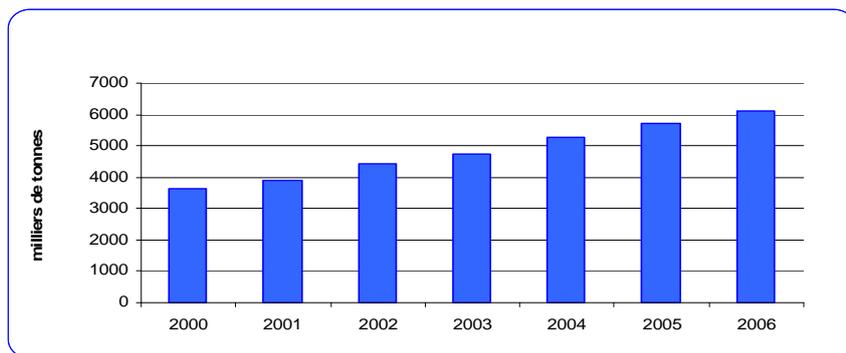


Figure 8.11 : Evolution de la demande nationale en gazole période 2000-2006

- La demande nationale en gazole est passée de 3,6 MT en 2000 à 6,1MT en 2006 (70%) soit un taux de croissance annuel moyen de plus de 9%.

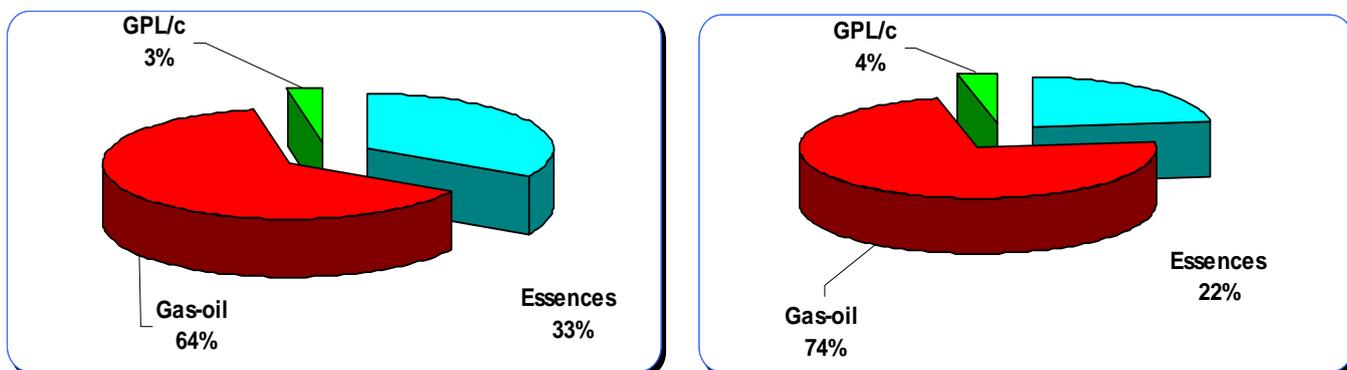


Figure 8.12 : Evolution de la part de la consommation du gazole dans les carburants terres

On constate que la part de la consommation en gazole est passée de 64% en 2000 à 74% en 2006.

L'augmentation rapide de la consommation de Gazole est due à:

- La relance économique.
- La diésélisation du parc national automobile.
- Aux facilités accordées pour l'achat de véhicules.
- L'utilisation du Gazole dans les opérations de forage (boues de forages).
- Aux concessionnaires qui mettent sur le marché de plus en plus de véhicules diesel, afin de répondre à la demande due à la faible différence de prix par rapport aux véhicules essences.
- Au prix du gazole bas par rapport aux prix des essences.

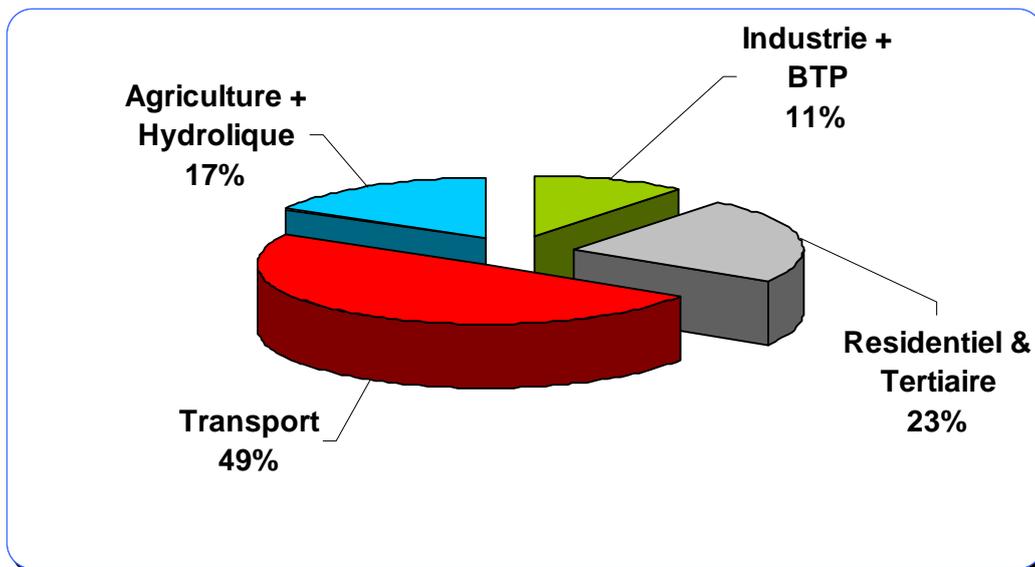


Figure 8.13 : Répartition de la consommation finale du gazole par secteur d'activités en 2005

- Le secteur de transport représente la part la plus importante (49%), suivi par le secteur résidentiel & Tertiaire (23%), l'agriculture (17%) et l'industrie et BTP 11%.

Augmentation de la consommation de Gazole par les différents secteurs :

Secteur pétrolier :

- Développement des opérations de prospection pétrolières et de la production au niveau des nouveaux champs gaziers et pétroliers,
- Production d'électricité.

Transport :

- ❖ Hausse du transport des biens et des équipements suite à l'augmentation des importations
- ❖ Augmentation de déplacement des personnes du fait d'une offre toujours plus importante en services de transports voyageurs.
- ❖ Accroissement des opérateurs activant dans le domaine du transport routier.

Agriculture :

- ❖ Développement de l'activité agricole, du fait notamment de la poursuite de la mise en œuvre des différents mécanismes d'aide et de soutien.

VIII.3.2 Perspectives des consommations

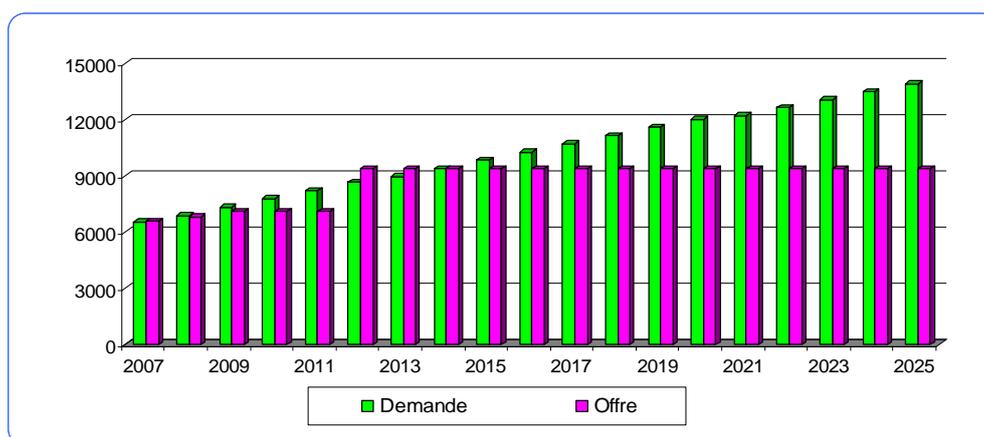


Figure 8.14 : Evolutions de l'offre et de la demande en gazole à l'horizon 2025

Un déficit est enregistré à partir de l'année 2006 (Sonatrach a déjà importé plus de 100 000 tonnes pour 52 millions\$), (Source Naftal)

- Il sera couvert temporairement en 2012 par le programme de réhabilitation des raffineries jusqu'à 2014 de 2015 à 2025 (un déficit structurel)

Tableau 8.7 : Perspective de production du Gazole à court terme

	2009 – 2011	2012 norme européenne
RA1K RAFF. CONDENSATS	4 715 000	5 575 000
RA1Z	1 030 000	1 500 000
RA1G	693 000	1 600 000
RHM 1 et 2	380 000	456 000
RAFF. ADRAR (*)	240 000	240 000
TOTAL	7 058 000	9 371 000

(Source Naftal)

- A partir de 2012, on enregistrera une augmentation de près de 35 % de la production nationale en Gazole, et qui sera aux spécifications européennes (sauf pour Adrar)
- A la raffinerie d'Alger, en plus de l'augmentation de la capacité du topping, il y aura la conversion du fuel (résidu atmosphérique) par hydrocracking pour la production de gazole.

Comparaison de l'offre de Naftal par rapport à la demande nationale en Gazole

Cette comparaison a été faite sur la base de deux scénarios:

- **Scénario 1** : demande basée sur les prévisions établies par la Commission Nationale de l'Élaboration du Programme Indicatif des Produits Pétroliers (document du MEM de Juin 2007 portant sur «demande nationale des produits pétroliers à l'horizon 2027»)
- **Scénario 2** : demande basée sur l'étude d'Axens réalisée en 2005 pour le compte de SH-Aval.

Scénario 1: prévoit une forte augmentation de la demande

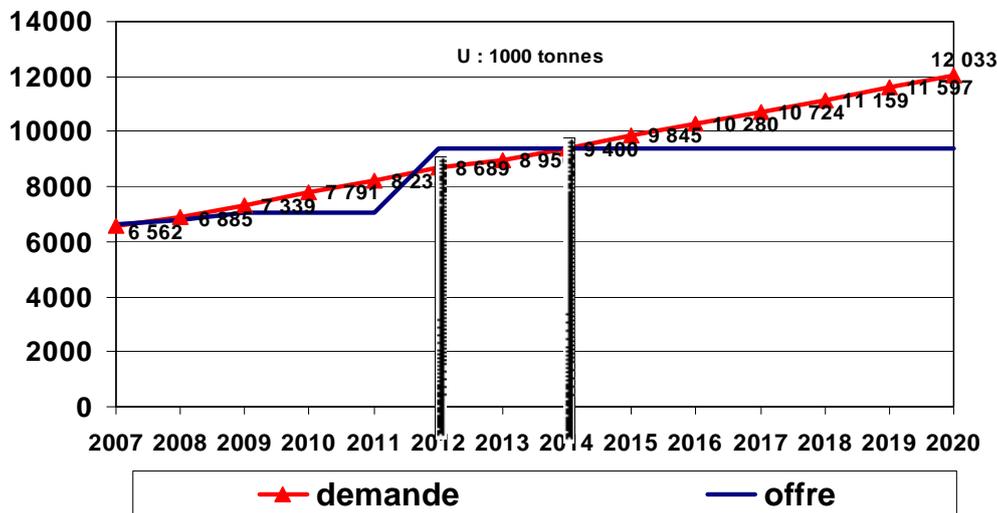


Figure 8.15 : Estimation de l'offre et de la demande à l'horizon 2020 (Source Naftec)

Selon cette courbe, on enregistre un déficit de 2008 jusqu'à fin 2011. A partir de 2012 date d'achèvement du programme de réhabilitation et d'adaptation un excédent en gazole sera enregistré jusqu'en 2014, si rien ne sera fait un nouveau point de rupture apparaît à partir de 2014.

Scénario 2: Demande en Gazole à l'horizon 2020

Selon une étude faite par Axens pour Sonatrach aval en 2005, les besoins en Gazole par région à l'horizon 2020 seront comme suit :

- Ouest (1 861 000 Tonnes),
- Centre (2 686 000 Tonnes),
- Est (2 942 000 Tonnes)
- Sud (1 477 000 Tonnes)

Soit une demande nationale de **8 966 000 tonnes**.

Donc Selon les prévisions de la Commission Nationale de l'Élaboration du Programme Indicatif des produits pétroliers, nous enregistrons deux points de rupture en 2008 et en 2014 avec une couverture de la demande en gazole entre 2012 et 2014. A l'horizon 2020 l'écart entre l'offre et la demande serait de 2 660 000 tonnes/an (demande > à l'offre).

Selon l'étude d'Axens de 2005, la demande en Gazole du marché national sera à l'horizon 2020 de 8 966 000 tonnes /an

L'offre à partir de 2012 sera de 9 371 000 tonnes/an

Au vu de ces résultats, les besoins en Gazole jusqu'en 2020 seront couverts par la production de nos raffineries.

VIII.4 Etude économique

Introduction

Le développement de l'utilisation du gaz naturel comme carburant automobile est devenu impératif au regard des atouts qu'il offre.

Outre la disponibilité de grandes réserves de cette ressource, la présence d'un réseau de transport et de distribution dense qui met ce produit à la disposition de l'utilisateur ainsi que la possibilité de son utilisation directe sans besoin de transformation, le gaz naturel offre de très bonnes qualités intrinsèques en matière de protection de l'environnement et de la santé. C'est au regard de tous ces avantages que la généralisation de l'utilisation du gaz naturel comme combustible pour les véhicules s'avère primordiale.

D'autant plus que l'Algérie s'achemine vers l'importation du gazole, un carburant cher. D'où la nécessité d'engager des réflexions sur son remplacement par le gaz naturel comprimé du moins pour les véhicules des transports publics tels que les bus et les taxis.

D'ores et déjà, des expérimentations réussies sur l'utilisation du gaz naturel dans les transports publics ont été réalisées en Algérie. Elles ont été possibles grâce notamment à la mise en place d'un cadre réglementaire pour le développement de cette activité.

Deux décrets et sept arrêtés interministériels qui constituent la base pour le lancement de cette activité ont été publiés. Reste donc le passage à une phase industrielle qui nécessite l'élaboration d'une stratégie nationale de développement du GNC avec des objectifs à moyen et long terme.

Dans cette perspective, deux programmes à court et moyen terme sont en cours :

VIII.4.1 Développement du GNC en Algérie

La première expérience d'utilisation du GNC en Algérie a été lancée par Naftal et Sonatrach vers la fin des années 80 mais n'a pas abouti du fait d'absence de mesures d'accompagnement pour son encouragement.

En 1998, Sonelgaz en sa qualité de distributeur de gaz naturel et propriétaire du réseau du GN, a été chargée de lancer une opération pilote coordonnée par le Ministre de l'Energie et des Mines:

Cette première phase avait comme objectif la création des conditions qui serviront de base au développement du marché du GNC/carburant à savoir:

- Mise en place de la réglementation,
- Mise en place d'une tarification,
- Réalisation d'une infrastructure minimum de distribution,

- conversion d'une flotte de véhicules légers
- acquisition de quelques bus dédiés au GNC à titre expérimental.

Le programme de développement du GNC en Algérie comporte les étapes suivantes :

- Une expérience pilote
- Un programme à court terme
- Un programme à moyen terme

VIII.4.1.1 Expérience pilote

La Sonelgaz en sa qualité de distributeur de gaz naturel a été chargée par le ministère de l'énergie et des mines, de lancer cette expérience pilote au niveau d'Alger. Cette expérience consistait à :

- La réalisation de deux stations de compression ;
 - Une station de compression au niveau de l'ETUSA (H. Dey) réalisée en 1999
 - Une station de compression au niveau du Gué de Constantine réalisée en 2001.
- L'acquisition de dix (10) bus dédiés GNC dont :
 - 05 sont acquis par Sonelgaz en 2004.
 - 05 sont acquis par l'ETUSA fin 2006.
- La conversion au GNC de 85 véhicules légers de Sonelgaz et mis en circulation depuis 2002

VIII.4.1.2 Le programme à court terme (2007- 2011) :

Concernera exclusivement les entreprises publiques de transport et des taxis.

- Consistance du programme

- Acquisition de 175 bus dédiés au gaz naturel dont :
 - 100 pour la capitale
 - 25 pour Oran,
 - 25 pour Constantine
 - 25 pour Annaba,
- Réalisation de 40 stations de compression dont 15 pour Alger,
- Conversion de 14 000 véhicules taxis dont 3400 pour Alger.
- Réalisation de 4 terrains de stationnement et de maintenance pour la flotte de transport urbain.

Ce programme cible en premier lieu l'installation des infrastructures de distribution du GNC au niveau des stations-service existantes répondant aux dispositions de l'arrêté interministériel du 10 avril 2005, fixant les règles d'aménagement et d'exploitation des infrastructures de distribution de GNC/carburant.

- *Evaluation financière du programme :*

L'évaluation financière de ce programme à court terme est d'environ **7,2 milliards de dinars** dont **60 millions d'euros**. L'Etat supportera **2,65 milliards de dinars**.

Tableau 8.8 : Consistance du programme à court terme

Consistance	Nombre	Coût unitaire	Montant de l'investissement
Stations de compression	40	100 000 €	4 000 000 € → 422 213 333 DA
Raccordement	4,8 Km	5257 (DA/ML)	25 233 600 DA
Remisage	4		1600 000 DA
Bus (euro)	175	320 000 €	56 000 000 € → 5 910 986 666 DA
Kit pour Taxi	14 000	60 000 DA	840 000 000 DA
Total			7 200 033 599 DA

- *Economies dégagées :*

- substitution d'environ 96.113 tonnes d'essence et de gazole évaluées à 55,5 millions de dollars pour la période 2007-2011.[25]
- Bien qu'en 2006, l'écart de prix à l'exportation était en faveur du gaz naturel, le gain environnemental est important
- L'opération est rentable pour Sonelgaz. Elle permet de commercialiser une quantité supplémentaire de 118.157 millions de NM³ soit une valeur ajoutée de 1.8 Milliard de DA.
- La marge de distribution de détail est plus avantageuse par rapport à celles des essences et du gazole.

VIII.4.1.3. *Le programme à moyen terme (2012-2025) :*

- la réalisation de 112 stations- services GNC, réparties à travers l'ensemble des grandes villes du territoire national.
 - l'acquisition de 500 bus dédiés au GNC.
 - Raccordement de ces stations services GNC au réseau Gaz Naturel.
- Le coût global du programme national à moyen terme est estimé à environ **20,3 milliards de dinars** dont **168 millions d'euros**.
 - Le Montant global à supporter par l'Etat sera de 7,8 milliards de dinars, dans le cas où l'Etat supportera :
 - Le coût des stations de compression et leurs raccordements,

- Le coût des terrains de remisage
- Le différentiel du prix d'achat des bus GNC / à ceux du diesel.

Cette enveloppe financière sera répartie, sur la période 2012-2025, à raison de 0,6 Milliard DA/an.

Les acteurs impliqués pour la réalisation de ces programmes sont:

- **Sonatrach** en sa qualité de producteur dont le rôle est de valoriser ses produits.
- **Sonelgaz** en sa qualité de distributeur du gaz naturel pour rentabiliser son réseau
- **Naftal** en sa qualité de distributeur final.
- **Les importateurs de véhicules** et d'équipements de GNC pour dynamiser le programme.

VIII.4..2. Consommation et coûts :

VIII.4.2.1. Hypothèses de calcul économique:

Tableau 8.9 : Estimation des consommations moyennes

Produits	Prix à la pompe (DA/l) (DA/Nm ³)	Consommation (litre/100km)	Prix au 100 Km (DA)
Essence super	23	10	230
Gazole**	13,7	55**	753,5
GPL/C	9	12	108
GNC/C	15,72	10,5* 62**	165,06* 974,64**

*Véhicule légers

** Bus

Distances parcourues :

- Bus urbain : 60 000 km/an
- Taxi urbain : 110 000 km/an

VIII.4.2.2 Economie dégagée par l'application du programme à court terme : (2007 – 2011)

- Nombre de bus : 175
- Nombre de taxis : 14000
- Nombre d'années : 05 ans

Le kilométrage réalisé par les 175 bus pendant 5 ans est de :

$$175 \times 60\,000 \times 5 = 52\,500\,000 \text{ km}$$

Le kilométrage réalisé par les 14 000 Taxis pendant 5 ans est de :

$$14\,000 \times 110\,000 \times 5 = 7\,700\,000\,000 \text{ km soit } 7,7 \text{ milliards de km}$$

❖ **Coûts de gazole et d'essence consommés pour la réalisation de ces kilométrages sont :**

- Pour les autobus : 753,5 DA/100km \implies coût = 52 500 000 x 753,5 /100
Soit : 395 587 500 DA
- Pour les taxis : 230 DA/100km \implies coût = 7 700 000 000 x 230/100
Soit : 17 710 000 000 DA
- COUT TOTAL GAZOLE +ESSENCE :
395 587 500 + 17 710 000 000 = 18 105 587 500DA

❖ **Coûts de gaz naturel consommés pour la réalisation de ces mêmes kilométrages sont :**

Moyenne consommation bus GNV = 62 Nm³/ 100km

Moyenne consommation véhicule GNV = 10,5 Nm³/ 100km + (1,2 l/100km essence pour les démarrages).

Prix pour 100 km bus GNV = 62 x 15,72 DA = 974,64DA

Prix pour 100 km véhicule GNV = 165,06 DA

- Pour les autobus : 974,64DA/100km : cout = 52 500 000 x 974,64/100
Soit : 511 686 000DA
- Pour les taxis : 192,66 DA/100km : cout = 7 700 000 000 x 192,66 /100
Soit : 14 834 820 000DA
- COUT TOTAL EN FONCTIONNEMENT GAZ NATUREL :
511 686 000 + 14 834 820 000 = 15 346 506 000DA

L'économie dégagée est donc : 18 105 587 500-15 346 506 000 soit :

2 759 081 500 DA

VIII.4.2.3 Gains du programme à moyen terme 2012- 2025 soit 14 ans :

Pour cette période on ne pourra pas estimer le prix du gazole et de l'essence on se contentera donc de calculer les quantités du carburant consommées

Pour 500 bus GNV

- Consommation gaz :

500 bus x 0,62 Nm³/km x 60 000 km/an x 14 ans = 260 400 000 Nm³

Estimation de la durée de vie des 175 bus précédents est de 15 ans, donc à partir de 2011 on a 175 bus durant 10 ans lesquels consommeront :

175 bus x 0, 62 Nm³/km x 60 000 km/an x 10 ans = 65 100 000 Nm³

De même pour les véhicules

14 000 Véhicules x 0,105 Nm³/km x 110 000 km/an x 10 ans = 1 617 000 000 Nm³

Soit au total 260 400 000+ 65 100 000 + 1 617 000 000 = 1 708 140 000 Nm³

Consommation équivalente de gazole et essence

500 bus x 0,55 l/km x 60 000 km/an x 14 ans = 231 000 000 l gazole

175 bus x 0,55 l/km x 60 000 km/an x 10 ans = 57 750 000 l gazole

Soit au total 231 000 000 + 57 750 000 = 288 750 000 l gazole

14 000 Véhicules x 0,1 l/km x 110 000 km/an x 10 ans = 1 540 000 000 l essence

Donc pour la période 2007-2025 on aura économisé :

- **288 750 000 l gazole**
- **2 310 000 000 l essence**

L'économie dégagée par la conversion au GNC de l'ensemble du parc autobus national

Le parc automobile Algérien comprend 54 753 bus (source ONS)

Bus roulant au GNC				
Nombre de bus	Km /bus/an	Kilométrage total (Km)	Consommation (Nm ³ /Km) ou l/ Km	Consommation total (Nm ³) litre
54 753	60 000	3 285 180 000	0,62 Nm ³ /Km	20 36 811 600
Bus roulant au gazole				
54 753	60 000	3 285 180 000	0,55 l/Km	1 806 849 000

La conversion au GNC de l'ensemble du parc autobus national nous permet d'économiser :

1 806 849 m³ de gazole par an.

Soit: 1 445 479,2 tonnes par ans.

Ceci évite le rejet de 300 000 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère par an.

La combustion de 1,5 Millions de tonnes de GNC → 2,5 Million de tonne de CO₂

La combustion de 1,45 Millions de tonnes de gazole → 2,8 Million de tonne de CO₂

Conclusion et recommandations

Le parc automobile national tend à la « diésélisation », notamment durant la période 2000 / 2007 avec un important accroissement du nombre de véhicules diesel passant de 27% à 31%, durant cette période.

Par conséquent, la consommation du gasoil a également augmenté, passant de 3,6 millions de tonnes en 2000 à 6,1 millions de tonnes en 2006. Soit un taux de croissance moyen de 11.5% par an ceci s'est traduit par un déficit en gazole qui a été enregistré en 2006 et qui va se propager jusqu'à l'année 2012. Ce déficit est couvert par l'importation car les 22,2 millions de tonnes produites par les cinq raffineries du pays ne pourront plus satisfaire la demande, qui est en nette croissance. D'autre part cette augmentation de la consommation de gazole s'est traduite par une baisse des revenus de l'exportation de près de 22 milliards de dinars.

Pour satisfaire la demande croissante des carburants en Algérie, notamment le gazole, il est nécessaire de faire des investissements coûteux tels que la construction des raffineries ou bien le recours à l'importation (solution actuelle).

L'Algérie est un pays à vocation gazière et présente plusieurs atouts au regard du gaz naturel ; d'où la nécessité de l'utilisation du gaz naturel comme carburant, notamment dans le domaine de transport et plus particulièrement par les taxis et les autobus de transport urbain.

Parmi les atouts de l'Algérie vis-à-vis du gaz naturel nous citons :

- Des réserves gazières importantes représentant 56 % du total des réserves en hydrocarbures.
- Une production brute de 150 milliards de m³ de GN/an
- Un vaste réseau de gazoducs alimentant les centres de consommation nationaux, les complexes de liquéfaction et les clients internationaux
- Des capacités d'exportation de l'ordre de 38 milliards de m³ par gazoducs et près de 27 milliards de m³ sous forme liquéfiée (GNL).
- L'utilisation directe de ce produit naturel sans besoin de raffinage ni transformation.

Malgré tous ses atouts le développement du GNC en Algérie est soumis à plusieurs contraintes parmi lesquelles nous citons :

- Coûts élevés des investissements (Bus, stations de compression et équipements de conversion):
 - Coût d'acquisition d'un bus est d'environ 320.000 euros.
 - Le coût d'une station de distribution varie entre 50.000 à 500.000 euros selon le type de chargement (lent ou rapide).
 - Le coût d'un kit de conversion est de 60.000 DA.
- Absence totale de mesures incitatives.

- Programme du GPL/C en développement rapide qui prend l'aspect de concurrent.
- Prix à la pompe non incitatif par rapport au prix du gazole
- L'entretien nécessite des compétences techniques avérées.
- Absence de formation du personnel dans le domaine pour sa prise en charge.

Pour faire face à la hausse continue de la demande pour les autres carburants en Algérie, notamment le gazole, l'utilisation du gaz naturel comme carburant automobile est devenu donc un impératif pour les pouvoirs publics, et l'Etat doit encourager l'utilisation du (GNC). Les recommandations que nous proposons sont :

Des mesures incitatives devraient accompagner la promotion de l'utilisation du gaz naturel comme carburant telles que l'exemption de la vignette automobile et la réduction des taxes sur les équipements.

Le développement de l'utilisation du GNC nécessite une implication totale des pouvoirs publics, à savoir, à l'instar de l'expérience des autres pays,

- Mise en œuvre de moyens financiers.
- Octroi d'avantages fiscaux.

Le développement de l'utilisation du GNC est articulé autour de ces deux grands axes cités ci-dessus et sera réalisé par la mise en œuvre des mesures incitatives citées ci-dessous :

- Exonération des droits de douanes pour les kits de conversion.
- Exonération des droits de douanes pour les équipements de la station de distribution.
- Suppression des droits de timbre sur l'assurance pour les véhicules GNC.
- Facilitation d'acquisition de terrain pour la réalisation de station de compression/distribution à proximité du réseau de transport gaz
- Financement partiel par l'Etat de la station de compression et du raccordement au réseau.
- Réduction de la TVA sur les activités d'installation et de maintenance du kit de conversion et des équipements affectés à la distribution du GNC.
- Augmentation de la marge bénéficiaire pour les distributeurs de GNC.
- Maintenir un différentiel de prix entre le GNC et les autres carburants conventionnels pour permettre un retour d'investissement rapide.
- Bonification des taux d'intérêts pour les crédits d'investissement.
- Faciliter la mise en place de crédits pour la conversion des véhicules au GNC.
- Prise en charge par l'Etat du différentiel entre le coût d'acquisition de bus GNC par rapport au bus diesel.

- Décourager l'importation des véhicules légers Diesel et encourager l'importation des véhicules légers GNC par la prise en charge du différentiel entre le prix du véhicule Diesel/Essence et le véhicule GNC.
- Allègement des pressions fiscales et douanières sur les équipements conversion, de distribution du GNC et sur les véhicules dédiés au GNC.
- Exonération de la vignette et de la taxe sur la carte grise.
- Prêts bancaires avantageux.
- Élaborer un schéma national d'implantation des stations GNC, conformément à la configuration du réseau transport et distribution Gaz.
- Établir une convention avec les concessionnaires pour l'importation des véhicules GNC (propres) moyennant incitations fiscales
- Financement par les Pouvoirs Publics de campagnes de sensibilisation et de vulgarisation à l'utilisation du GNC à travers les médias.

Pour le développement du GNC en Algérie d'autres investissements sont nécessaires et parmi lesquels nous citons :

- Établissement et adoption de normes Algériennes, en matière de contrôle de kits GNC (carburant et dispositif)
- Codifier et réglementer l'homologation des kits par des organismes agréés
- Mettre en place un système d'audit et de contrôle de la qualité et de la conformité du GNC, lors de sa distribution et de son transport
- Renforcer les mesures de sécurité des parkings afin d'accueillir les véhicules équipés GNC
- Réglementer les modalités de contrôle et de surveillance administrative des installations de distribution et des centres de conversion des véhicules en GNC
- Améliorer, en matière de réglementation, l'aspect disposition des réservoirs GNC, pour les véhicules de transport de personnes
- Élaborer une réglementation sur l'aspect sécurité et confort des passagers des véhicules au GNC
- Organiser des journées de sensibilisation grand public (portes ouvertes)
- Vulgariser aux différentes administrations et opérateurs la réglementation en vigueur
- Établir des programmes de formation
- Mettre en place des textes réglementaires pour la création des centres de formation d'installateurs et de contrôleurs
- Valoriser la formation des Ressources Humaines en matière d'utilisation du GNC

BIBLIOGRAPHIE

- [1] IFP/Direction des études économiques/2004
- [2] Le soir d'Algérie du samedi 21 juillet 2007, par Saïd « Le prix du gasoil va augmenter en Algérie »
- [3] La Municipalité de Lausanne du 14 mai 1998; construction d'une station de compression
- [4] Gaz de France <http://lmoisy.free.fr/GNV.html>
- [5] Microsoft Encarta 2007
- [6] WLPGA IFP/Direction des études économiques/2004
- [7] Observatoire de l'économie de l'énergie et des matières premières et DIDEME, novembre 2006
- [8] wikipedia
- [9] Compilation <http://www.vehiculegaz.ch/161.html>
- [10] ADME/DIREM « Bilans énergétiques et gaz à effet de serre » (décembre 2002)
- [11] ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/siac/siac2/jury/2006/caplp_int/vehi3.pdf
- [12] <http://www2.ademe.fr/servlet>
- [13] http://www.iau-idf.fr/fileadmin/Etudes/etude_82/dti_Bus_propres.pdf
- [14] http://www.iaurif.org/exl-doc/IA48611_OUV00004915.pdf
- [15] Techniques de l'Ingénieur BM 2 594, MAGNET & DESCOMBES
- [16] <http://lmoisy.free.fr/GNV.html>
- [17] <http://www.citeweb.net/carbu/G.N.V.html>
- [18] <http://www.roulezgnv.com>
- [19] http://www.sft.asso.fr/DOCUMENTS/journees_SFT/Optimisation_Moteurs_Thermiques-30-03-2006/Pr%20E9sentations%20et%20vid%20E9os/Mercier_SFT300306.pdf
- [20] <http://lmoisy.free.fr/GNV.html>
- [21] Source Energie-Cités/Ademe
- [22] http://www.iaurif.org/exl-doc/IA48611_OUV00004915.pdf
- [23] <http://www.lausanne.ch/Tools/GetImage.asp?Id=1710&RetDesc=N&Type=DocObj>
- [24] M.BENBRAIKA : Economie d'énergie. Application aux moteurs thermiques alternatifs.
- [25] M. BOUGHEDAOU, S. CHIKHI, N. BERROUANE, I. BACHA, R. KERBACHI Université de Blida, École Nationale Polytechnique.
- [26] [stratégie du développement national du gaz naturel carburant GNC N.SLIMANI (Direction des Produits Pétroliers)]

Annexe 1

Arrêté interministériel du 13 Dhou El Hidja 1425 correspondant au 23 janvier 2005 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé-carburant (GNC) par les véhicules automobiles.

Le ministre de l'énergie et des mines, Le ministre des transports,

Vu le décret présidentiel n° 04-138 du 6 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 26 avril 2004 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation de kits de conversion sur les véhicules, notamment son article 20 ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 20 du décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé carburant (GNC) par les véhicules automobiles.

Article 2eme. — L'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé carburant (GNC) est délivrée par les services des mines sur la base d'un certificat de montage établi par l'installateur du kit gaz naturel comprimé carburant (GNC) agréé et après contrôle de l'installation par lesdits services.

Le certificat de montage et l'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé carburant (GNC) doivent être conformes aux modèles prévus aux annexes 1 et 2 du présent arrêté.

Article 3eme. — Toute installation de kit de conversion permettant l'utilisation du gaz naturel comprimé carburant (GNC) sur les véhicules automobiles doit, avant sa mise en service, être contrôlée par les services du ministère chargé des mines.

Article 4eme. — L'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé carburant (GNC) doit être reconduite tous les deux (2) ans. Après que les services des mines se soient assurés que l'installation est bon état d'entretien et conforme aux prescriptions réglementaires, l'ingénieur des mines appose le visa de reconduction sur "l'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé carburant (GNC)".

Article 5eme. — Tout véhicule ayant fait l'objet d'une modification notable ou ayant subi à la suite d'un accident des détériorations affectant l'installation du gaz naturel comprimé carburant (GNC) doit être présenté à un contrôle avant sa remise en service.

Article 6eme. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 13 Dhou El Hidja 1425 correspondant au 23 janvier 2005.

Le ministre de l'énergie et des mines

Chakib KHELIL

Le ministre des transports

Mohamed MAGHLAOU

CERTIFICAT DE MONTAGE:

Nous, soussignés :

Certifions que le véhicule décrit ci-dessous a été équipé conformément aux prescriptions de l'arrêté interministériel

du correspondant au , fixant les conditions d'installation de kits de conversion au gaz naturel comprimé-carburant sur les véhicules automobiles.

L'installation GNC a subi avec succès l'essai d'étanchéité à la pression 210 bars, soit une pression supérieure de service (200 bars).

Nom et prénom du propriétaire du véhicule converti.....

Marque.....

Type de véhicule

Numéro d'immatriculation du véhicule

Numéro de châssis du véhicule

Numéro d'immatriculation du réservoir GNC

Date de fabrication du réservoir

Date d'épreuve

Installateur :

Raison sociale

Adresse.....

Fait à :

le :

L'installateur.

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE:

Ministère de l'énergie et des mines

Direction de l'énergie et des mines

Autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé - carburant (décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003).

Numéro d'immatriculation du véhicule

.....

Nom et prénom du propriétaire du véhicule converti

.....

VÉHICULE	RÉSERVOIR GNC	BUREAU DES MINES DE.....
MARQUE..... TYPE.....	N°..... FABRIQUE EN..... (DATE DE FABRICATION)..... REPROUVE.....	CONTRÔLE TECHNIQUE DU..... L'EXPERT.....
ANNÉE.....	AVANT LE.....	CACHET ET SIGNATURE
VÉHICULE A PRÉSENTER AU CONTRÔLE TECHNIQUE AVANT.....		

Toute modification ou réparation intervenant sur une installation au GNC équipant un véhicule automobile doit faire l'objet d'un agrément conformément aux prescriptions du décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution de gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation des kits de conversion sur les véhicules.

CONSIGNES PARTICULIERS:

A l'issue de chaque chargement, il importe d'aérer suffisamment et efficacement aussi bien le coffre que l'habitacle.

Durant cette opération, les passagers et le conducteur devront s'abstenir d'utiliser ou de provoquer toute flamme ou étincelle pour quelque motif que ce soit.

Annexe 2

Décret exécutif n° 05-313 du 6 Chaâbane 1426 correspondant au 10 septembre 2005 fixant la marge de distribution de détail et le prix de vente du gaz naturel comprimé (GNC)-carburant.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport conjoint des ministres de l'énergie et des mines, du commerce et des finances,
Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2);

Vu l'ordonnance n° 03-03 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la concurrence, notamment son article 5;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du Chef du Gouvernement; Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement;

Vu le décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation des kits de conversion sur les véhicules;

Vu le décret exécutif n° 05-128 du 15 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 24 avril 2005 portant fixation des prix de cession interne du gaz naturel;
Après avis du conseil de la concurrence;

Décète :

Article 1: En application de l'article 5 de l'ordonnance n° 03-03 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer la marge de distribution de détail et le prix de vente du gaz naturel comprimé (GNC)-carburant.

Article 2: La marge de distribution de détail du gaz naturel comprimé (GNC)-carburant, est fixée à 8,49 DA/Nm3, hors taxes.

Article 3: Le prix de vente toutes taxes comprises du gaz naturel comprimé (GNC)-carburant à la pompe est fixé à 15,72 DA/Nm3.

Article 4: Les prix fixés par le présent décret s'appliquent à compter de la date de sa publication.

Article 5: Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 6 Chaâbane 1426 correspondant au 10 septembre 2005.

Ahmed OUYAHIA.

Annexe 3

Arrêté interministériel du Aouel Rabie El Aouel 1426 correspondant au 10 avril 2005 fixant les règles de sécurité relatives à l'implantation, à l'aménagement et à l'exploitation des infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé - carburant.

Le ministre d'État, ministre de l'intérieur et des collectivités locales,

Le ministre de l'énergie et des mines,

Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Le ministre de l'industrie,

Vu le décret n° 85-231 du 25 août 1985 fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et secours en cas de catastrophes;

Vu le décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophes;

Vu le décret présidentiel n° 04-138 du 6 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 26 avril 2004 portant nomination des membres du Gouvernement;

Vu le décret exécutif n° 90-245 du 18 août 1990 portant réglementation des appareils à pression de gaz;

Vu le décret exécutif n° 91-538 du 25 décembre 1991 relatif au contrôle et aux vérifications de conformité des instruments de mesure;

Vu le décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits;

Vu le décret exécutif n° 98-339 du 13 Rajab 1419 correspondant au 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature;

Vu le décret exécutif n° 03-451 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 définissant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi que les récipients de gaz sous pression;

Vu le décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobile et d'installation de kits de conversion sur les véhicules, notamment son article 11;

Arrêtent :

Article 1 : En application des dispositions de l'article 11 du décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les règles de sécurité relatives à l'implantation, à l'aménagement et à l'exploitation des infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant.

Article 2 : Au sens du présent arrêté on entend par :

- L'aire de compression : le périmètre enveloppant le ou les modules de compression et les batteries de bouteilles de stockage de gaz naturel comprimé.
- L'aire de remplissage : le périmètre enveloppant le volucompteur.
- Le volucompteur : l'appareil de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant aux véhicules.
- La borne distributrice : l'équipement assurant le raccordement entre le volucompteur et le véhicule lors de l'opération de remplissage.

Article 3 : Les infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant sont classées en deux catégories :

- En première catégorie, avec une capacité totale supérieure à 1.100 Nm³;
- En deuxième catégorie, avec une capacité totale inférieure ou égale à 1.100 Nm³;

Article 4 : Une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant comprend essentiellement les éléments suivants :

- un ou plusieurs modules de stockage,
- un ou plusieurs groupes de compression,
- un ou plusieurs volucompteurs simples ou jumelés munis de leurs flexibles,
- une cabine d'alimentation électrique,
- un poste d'alimentation de gaz naturel,
- un ou plusieurs modules d'utilités.

Article 5 : Dans une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant, on définit :

- une aire de compression contenant les modules de compression avec leur batterie de bouteilles de stockage du gaz naturel tampon. Les modules de compression doivent être séparés d'au moins deux (2) mètres. Le bloc de compression doit être séparé de l'aire de remplissage d'au moins cinq (5) mètres.
- une aire de remplissage d'au moins 3 m x 4 m par volucompteur qui doit être distant d'au moins trois (3) mètres du réservoir du véhicule,
- une zone de sécurité déterminée par l'enveloppe entourant l'aire de compression se situant à trois (3) mètres du périmètre de celle-ci. La hauteur de cette zone est de 2,5 mètres,
- une zone de sécurité déterminée par l'enveloppe entourant l'aire de remplissage et se situant à sept (7) mètres du périmètre de celle-ci. La hauteur de cette zone est de 2,5 mètres.

Les aires de compression, de remplissage et les zones de sécurité doivent être matérialisées par des moyens adéquats les délimitant de façon apparente.

Article 6 : Les bouteilles, les compresseurs, les soupapes, les vannes, la tuyauterie, le volucompteur et les flexibles sont soumis aux prescriptions du règlement des appareils à pression de gaz.

Article 7 : Les modules de stockage sont composés de plusieurs bouteilles et doivent comporter :

- un double clapet anti-retour,
- une soupape de sécurité lorsque la capacité du module de stockage est inférieure ou égale à 1.100 Nm³.
- deux soupapes de sécurité lorsque la capacité du module de stockage est comprise entre 1.100 et 2.450 Nm³.
- trois soupapes de sécurité lorsque la capacité du module de stockage est supérieure à 2.450 Nm³.

Ces soupapes doivent être dotées d'un dispositif de contrôle de la pression maximale avec des indications sonores et lumineuses. Elles doivent être également de conception prouvée et sont dimensionnées de manière à atténuer spontanément les surpressions pouvant survenir lors de l'exploitation.

Chaque bouteille de stockage utilisée doit être équipée d'une soupape de sécurité, d'un système de vanne d'isolement qui peut être manipulé à tout moment et facilement accessible.

La pression d'ouverture des soupapes doit être égale à la pression de calcul avec une tolérance de plus de vingt pour cent (20 %). Les orifices d'échappement des soupapes du module de stockage doivent être reliés à un collecteur se déchargeant vers l'extérieur à la partie supérieure du module.

Les bouteilles doivent être efficacement protégées contre la corrosion extérieure et leur peinture doit avoir un faible pouvoir absorbant.

Article 8: Les compresseurs doivent être conformes aux normes en vigueur, à la réglementation relative aux bruits et aux vibrations et aux règles de protection de l'environnement en vigueur.

Article 9: Les compresseurs à plusieurs étages utilisés pour le chargement des véhicules GNC peuvent être entraînés par des moteurs électriques ou des moteurs à combustion interne.

- Les données techniques qui doivent être fournies par le fournisseur sont :
- le débit de refoulement,
- la pression de refoulement,
- le voltage,
- la pression d'aspiration,
- la courbe de température de gaz au refoulement en fonction du débit,
- l'intensité de démarrage.

Ils doivent être dotés de moyens de sécurité en matière de surpression et de survitesse éventuellement.

Article 10: Le volucompteur et ses équipements doivent être du type homologué par le ministre chargé de la métrologie légale.

Un clapet de fermeture automatique, en cas d'excès de débit, doit être installé entre le volucompteur et le flexible de la borne distributrice.

La longueur du flexible ne doit pas excéder six (6) mètres et la capacité de la tuyauterie en aval de la borne distributrice se trouvant au bout du flexible ne doit pas excéder 1 Nm³.

Le robinet d'extrémité du flexible est muni d'un dispositif automatique qui empêche le débit si le robinet n'est pas raccordé à l'orifice de remplissage du réservoir du véhicule.

La carrosserie du volucompteur doit comporter des orifices de ventilation haute et basse.

Article 11: Le volucompteur doit comporter :

- un pressostat qui, à la pression de tarage coupe l'alimentation électrique et ferme les électrovannes.
- une vanne de contrôle de pression,
- une soupape de sécurité tarée à une pression de 220 bars,
- une vanne de sectionnement électrique ou une électrovanne commandée par un bouton marche/arrêt,
- un raccord cassant anti-arrachement du flexible,
- un flexible à haute pression équipé d'un pistolet à robinet tout ou rien dépressurisant le flexible de raccordement au véhicule après remplissage,
- un raccord rapide spécial à double enclenchement assurant la dépressurisation en secours de l'équipement,
- un voyant rouge sur le distributeur pour « occupé »,
- un voyant vert sur le distributeur pour « libre »,

- un manomètre installé sur le distributeur pour contrôler le remplissage.

Le volucompteur doit avoir une vanne de fermeture automatique et une alarme sonore et lumineuse de haute pression.

Cette alarme doit être interrompue par fermeture manuelle de la vanne de distribution.

L'équipement électrique de tout le distributeur doit être du type antidéflagrant, ou à sécurité intrinsèque conforme à la norme en vigueur.

La mise sous tension du poste de distribution doit être faite par la vanne de distribution à commande de fin de course.

La dépressurisation du flexible du pistolet de distribution doit se faire automatiquement par la vanne à 3 voies sous l'effet de la déconnexion du flexible et l'événement doit se faire au delà de 3m de la partie externe supérieure de l'auvent.

La limitation de l'accroissement de la pression dans le véhicule doit se faire par réglage au moyen micrométrique.

Chaque poste de distribution doit être protégé par un îlot surélevé et par des plots de défense anti-collision.

Les postes de distribution doivent être protégés contre le rayonnement solaire par un auvent réalisé en matériaux légers incombustibles.

Article 12: Les tubes rigides de liaison entre les diverses parties de l'installation ainsi que les vannes, soupapes et clapets y afférents doivent être en acier approprié à l'utilisation du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant et susceptibles d'être soudés.

Ils doivent être conçus et réalisés en tenant compte des dilatations, contractions, tassements et vibrations.

Les tubes et les jointures doivent être dotés d'un revêtement de protection contre la corrosion extérieure.

Les tubes flexibles destinés à véhiculer le gaz comportent un conducteur métallique à fibre ou tressé assurant le même potentiel entre les deux extrémités. Tous les tubes flexibles doivent être normalisés.

Article 13: L'accès aux vannes d'alimentation doit être facile.

Article 14: Les volucompteurs doivent être installés à l'air libre.

Ils doivent être ancrés et protégés contre les heurts des véhicules par un îlot d'au moins 20 cm de hauteur et par des bornes ou butoirs de roue disposés à au moins 50 cm de l'appareil.

A la base du volucompteur, les canalisations de liaison avec le réservoir doivent comporter un point faible destiné à ne rompre qu'en cas d'arrachement accidentel de l'appareil.

En amont et en aval de ce point faible, la canalisation doit comporter un dispositif d'arrêt de débit automatique en cas de rupture.

Article 15: Lorsque les tubes rigides sont placés dans les caniveaux en maçonnerie, ces derniers doivent être :

- intérieurement revêtus de mortier de ciment ou d'autres matériaux assurant une imperméabilité équivalente,
- remplis de sable sec,
- dotés d'un couvercle résistant aux sollicitations du trafic passant par dessus,
- susceptibles d'être inspectés.

Les tubes d'adduction et de renvoi de gaz naturel comprimé-carburant reliés aux appareils de distribution doivent être fixés à la base de ces derniers.

Les jointures, lorsqu'elles ne sont pas effectuées au moyen de la soudure bout à bout des tubes, doivent être réalisées au moyen de raccords spécialement adaptés pour la haute pression.

Les garnitures d'étanchéité et les boulons doivent répondre aux spécifications d'emploi pour les tuyauteries destinées au passage du gaz naturel comprimé-carburant.

Article 16: Après le montage, l'ensemble de la tuyauterie doit subir une épreuve de résistance mécanique et d'étanchéité conformément aux prescriptions du règlement des appareils à pression de gaz.

Article 17: Dans les infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant les installations électriques doivent répondre aux dispositions suivantes :

- l'alimentation doit être en basse tension,
- les prises de courant et les lampes baladeuses ne doivent pas être employées sur l'aire de remplissage;
- tous les appareils électriques utilisés à l'intérieur de la zone de sécurité doivent être du type antidéflagrant
- toutes les parois métalliques de l'installation doivent être raccordées électriquement entre elles et mises à la terre, la résistance ne devant pas excéder 20 Ohms;
- un interrupteur général multipolaire, toujours accessible, visible et placé en dehors de la zone de sécurité;
- une plaque indicatrice portant l'inscription "coupez ici" doit être fixée près de l'interrupteur général multipolaire.

Les installations électriques doivent être entretenues en bon état et elles doivent faire l'objet de contrôles périodiques par un opérateur agréé par le ministère chargé des mines.

Article 18: Les modules de compression et de stockage doivent être protégés par une clôture grillagée d'une hauteur minimale de deux (2) mètres et située à trois (3) mètres de ceux-ci. Cette clôture doit comporter une porte s'ouvrant dans le sens de la sortie et doit rester fermée à clef en dehors des besoins du service.

Article 19: La station de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant devra être pourvue d'une sirène d'alarme et le personnel devra être majeur, responsable et informé sur :

- les dangers du gaz naturel;
- les pressions des bouteilles;
- les mesures à prendre en cas d'incendie.

Les accumulateurs de gaz, lorsqu'ils sont séparés de l'abri du compresseur, doivent être placés dans un endroit aéré et à l'abri du soleil. Ils doivent être installés de telle manière qu'ils puissent être facilement purgés.

Lorsque le chargement d'une bouteille est interrompu ou le courant est coupé, une vanne doit fermer l'alimentation entre la bouteille et la distribution.

La circulation du personnel sur l'aire de distribution devra être interdite durant le processus de chargement des véhicules.

A l'intérieur de la zone de sécurité, il est interdit de fumer, de pénétrer ou d'approcher avec des feux nus ou des objets en ignition et d'y laisser séjourner des dépôts de matières combustibles.

L'emplacement de l'infrastructure de distribution doit être maintenu en état de propreté, de façon à éliminer toute accumulation de déchets combustibles. Il doit être, en outre, soigneusement désaffecté.

Le désaffectage à base de produits herbicides chlorates est interdit.

Article 20: Le personnel affecté à la gestion de l'installation doit :

- être initié aux règles de sécurité, aux manœuvres à accomplir pour prévenir des accidents et les circonscrire;
- être en mesure d'utiliser les moyens anti-incendie.

Article 21: Dans l'enceinte de l'infrastructure de distribution, un tableau placé bien en évidence doit porter, en caractères bien lisibles, les consignes d'exploitation et de sécurité.

Des écriteaux, avec l'inscription ou la signalisation "défense de fumer" en arabe et en français, de couleur rouge sur fond blanc, doivent être placés à l'entrée des zones de sécurité.

A proximité des appareils de distribution, un écriteau portant les inscriptions ci-après doit être fixé bien en évidence :

- arrêter le moteur;
- serrer le frein;
- défense de fumer;
- pas de feux nus.

Un plan de l'infrastructure doit être disponible dans la loge du chef de l'installation de distribution.

Article 22: La conduite de l'infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant doit être confiée à un préposé qualifié, parfaitement au courant de l'exploitation de l'installation et des mesures à prendre en cas d'incident ou d'accident. Il est tenu de faire observer l'application des règles d'exploitation de l'installation de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant aux personnes concernées.

Article 23: Quand l'infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant n'est pas en service, l'interrupteur général cité à l'article 17 du présent arrêté doit être verrouillé en position "ouvert".

Tous les robinets doivent être verrouillés en position "fermé".

Article 24: L'infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant doit être dotée d'une ligne téléphonique.

Article 25: L'infrastructure de distribution de gaz naturel comprimé (GNC) - carburant doit comporter notamment les moyens de secours et de lutte contre l'incendie ci-après : Les moyens d'extinction doivent être conformes aux normes en vigueur et doivent comporter :

- un robinet d'incendie armé de $\varnothing = 40$ mm;
- un extincteur à poudre sèche de 50 kg monté sur chariot;
- trois (3) extincteurs à poudre sèche de 9 kg chacun pour chaque distributeur;
- un extincteur à neige carbonique (CO₂) de 6 kg;
- un bac de sable avec pelle de projection. Les moyens de secours doivent comporter :
- une boîte à pharmacie de premiers soins;
- une couverture anti-feu;

Le matériel ci-dessus doit être tenu en bon état de fonctionnement et périodiquement contrôlé.

Article 26: Le module de compression et de stockage de l'infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant de 1ère catégorie doit être situé à :

- soixante (60) mètres au moins des établissements recevant du public de 1ère catégorie dont l'effectif global est supérieur à 5000 personnes;
- quarante (40) mètres de toute installation classée de 1ère catégorie et de tout établissement de 1ère catégorie dont l'effectif du public est inférieur ou égal à 5000 personnes et tout établissement ou installation relevant de la défense nationale;
- trente (30) mètres de tout établissement n'appartenant pas à la 1ère catégorie des installations classées ou de la 1ère catégorie des établissements recevant du public;
- vingt (20) mètres de tout autre bâtiment d'habitation et bâtiment non classé;
- quinze (15) mètres des autoroutes, routes nationales et voies ferrées;
- douze (12) mètres de toutes autres routes;
- douze (12) mètres de toute projection horizontale de lignes électriques et de postes de transformation électrique. Pour une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant de 2ème catégorie, les distances citées ci-dessus sont ramenées aux deux tiers.

Article 27: Dans la zone d'une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant de 1ère catégorie, entre chaque point dangereux de celle-ci (module de compression et de stockage et les volucompteurs) et d'éventuels accessoires (kiosques du gérant, local pour le lavage, dépôts des ingrédients sanitaires), la distance ne peut être inférieure à dix (10) mètres.

Pour l'habitation du gérant, la distance ne peut être inférieure à vingt (20) mètres.

Entre les modules de compression et de stockage, les volucompteurs et d'éventuels points de repos et de stationnement (parkings), la distance ne peut être inférieure à vingt (20) mètres.

La distance mentionnée aux paragraphes précédents est calculée à partir du point le plus proche des modules de compression et de stockage ou des volucompteurs.

Pour une installation de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant de 2ème catégorie, ces distances sont ramenées aux deux tiers.

Article 28: Dans le cas d'infrastructure de distribution routière de gaz naturel comprimé comme carburant, située dans le cadre de station de distribution routière d'autres carburants, il faut observer, en plus des autres règles du présent arrêté, une distance de dix (10) mètres au moins entre les éléments suivants de l'une et de l'autre installation :

- entre les modules de compression respectifs;
- entre les appareils de distribution respectifs.

Pour une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant de 2ème catégorie, ces distances sont ramenées aux deux tiers.

Article 29: Les distances fixées par le présent arrêté peuvent faire l'objet de décisions dérogatoires prises

conjointement par le ministre chargé des hydrocarbures et le ministre chargé de la protection civile.

Lorsqu'il s'agit d'une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant située près d'un établissement relevant de l'autorité du ministre de la défense nationale, cette dérogation est accordée par ce ministre, après avis techniques du ministre chargé des hydrocarbures et du ministre chargé de la protection civile.

Article 30: Pour les infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) - carburant ouvertes au public, en dehors des heures de service, elles doivent être gardées. En outre, le gardien doit être informé des consignes à suivre en cas d'incident.

Article 31: Les infrastructures actuellement existantes, non conformes aux présentes dispositions, devront s'y adapter dans un délai maximal de deux (2) ans à compter de la date d'entrée en vigueur du présent arrêté.

Article 32: Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire. Fait à Alger, le Aouel Rabie El Aouel 1426 correspondant au 10 avril 2005.

Le ministre d'Etat, ministre de l'intérieur et des collectivités locales,

Noureddine ZERHOUNI dit Yazid

Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement

Cherif RAHMANI

Le ministre de l'énergie et des mines

Chakib KHELIL

Le ministre de l'industrie

Lachemi DJAABOUBE

Annexe 4

Arrêté interministériel du 13 Moharram 1426 correspondant au 22 février 2005 fixant les spécifications du gaz naturel comprimé - carburant automobiles.

Le ministre de l'énergie et des mines, Le ministre de l'industrie,

Vu le décret présidentiel n° 04-138 du 6 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 26 avril 2004 portant nomination des membres du Gouvernement ;

et décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation de kits de conversion sur les véhicules, notamment son article 3 ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application de l'article 3 du décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003, susvisé, le présent arrêté a pour objet de

fixer les spécifications du gaz naturel comprimé-carburant automobiles.

Article 2eme.— Le gaz naturel comprimé-carburant utilisé par les véhicules doit répondre aux spécifications suivantes :

SPÉCIFICATIONS	GN à haut pouvoir calorifique	GN à bas pouvoir calorifique
Pouvoir calorifique supérieur (PCS)	Entre 9,3 et 10 th/m3	Entre 8 et 9 th/m3
Indice de Wobbe	Entre 11,2 et 12,2 th/m3	Entre 10 et 11 th/m3
Point de rose eau	Inférieur à - 10°C à 80 bars	Inférieur à - 8°C à 80 bars
Point de rose hydrocarbure	- 6°C de 1 à 80 bars	- 6°C de 1 à 80 bars
Teneur en H2S	Traces	Traces
Teneur en soufre total	Traces	Traces
Dioxyde de carbone (CO2)	Inférieur à 3% molaire	Inférieur à 3% molaire

Annexe 5

Arrêté interministériel du Aouel Rabie El Aouel 1426 correspondant au 10 avril 2005 fixant les modalités d'établissement et de délivrance descertificats de conformité pour les infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé-carburant et les centres de conversion.

Le ministre d'Etat, ministre de l'intérieur et des collectivités locales, Le ministre de l'énergie et des mines, Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Le ministre de l'industrie,

Vu le décret présidentiel n° 04-138 du 6 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 26 avril 2004 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 98-339 du 13 Rajab 1419 correspondant au 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leurs nomenclature ;

Vu le décret exécutif n° 99-253 du 28 Rajab 1420 correspondant au 7 novembre 1999 portant composition, organisation et fonctionnement de la commission de surveillance et de contrôle des installations classées ;

Vu décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation de kits de conversion sur les véhicules, notamment son article 26 ;

Arrêtent :

Article 1er.— En application des dispositions de l'article 26 du décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les modalités d'établissement et de délivrance du certificat de conformité pour les infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé (GNC)-carburant et les centres de conversion.

Article 2eme.— Le certificat de conformité est établi conformément à la réglementation relative aux installations classées pour l'infrastructure de distribution et délivré par les services de la protection civile. Pour le centre de conversion, il est établi et délivré par les services des mines sur la base d'un procès-verbal de visite de l'expert qui a effectué la visite.

Article 3eme.— Les visites d'inspection des infrastructures citées à l'article 2 ci-dessus ont pour objet d'évaluer l'aptitude technique du personnel ainsi que la vérification du respect des règles de protection de l'environnement et les exigences de sécurité pour les matériel et équipement considérés.

Article 4eme.— Les inspections sont effectuées selon un programme établi en coordination avec les différents organismes représentés dans la commission de surveillance et de contrôle conformément au décret exécutif n° 98-339 du 13 Rajab 1419 correspondant au 3 novembre 1998, susvisé, pour les infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé (GNC)-carburant et par le directeur des mines et de l'industrie pour les centres de conversion. Les visites doivent être effectuées par des inspecteurs qualifiés dans le domaine.

Article 5eme.— En cas de non-conformité des infrastructures de distribution du gaz naturel comprimé-carburant et/ou des centres de conversion aux prescriptions édictées par la législation et la réglementation en vigueur, le président de la commission et/ou le directeur des mines et de l'industrie de la wilaya saisissent l'exploitant pour la levée des réserves.

Article 6eme.— Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire. Fait à Alger, le Aouel Rabie El Aouel 1426 correspondant au 10 avril 2005.

Le ministre d'Etat, ministre de l'intérieur et des collectivités locales

Noureddine ZERHOUNI dit Yazid

Le ministre de l'énergie et des mines

Chakib KHELIL

Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement

Chérif RAHMANI

Le ministre de l'industrie

Lachemi DJAABOUBE

Annexe 6

Décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel

comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation des kits de conversion sur les véhicules.

Le Chef du Gouvernement, Sur le rapport du ministre de l'énergie et des mines; Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2); Vu l'ordonnance n° 76-04 du 20 février 1976 relative aux règles applicables en matière de sécurité contre les risques d'incendie et de panique et à la création de commissions de prévention et de protection civile; Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;

Vu la loi n°89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de protection du consommateur;

Vu la loi n°89-23 du 19 décembre 1989 relative à la normalisation;

Vu la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie;

Vu la loi n°01-14 du 29 Joumada El Oula 1422 correspondant au 19 août 2001 relative à l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière;

Vu le décret n° 76-36 du 20 février 1976 relatif à la protection contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public;

Vu le décret n° 84-105 du 12 mai 1984 portant institution d'un périmètre de protection des installations et infrastructures;

Vu le décret présidentiel n°03-208 du 3 Rabie El Aouel 1424 correspondant au 5 mai 2003 portant nomination du Chef du Gouvernement;

Vu le décret présidentiel n° 03-215 du 7 Rabie El Aouel 1424 correspondant au 9 mai 2003, modifié, portant nomination des membres du Gouvernement;

Vu le décret exécutif n° 90-245 du 18 août 1990 portant réglementation des appareils à pression de gaz;

Vu le décret exécutif n°97-39 du 9 Ramadhan 1417 correspondant au 18 janvier 1997, modifié et complété, relatif à la nomenclature des activités économiques soumises à inscription au registre du commerce;

Vu le décret exécutif n°97-40 du 9 Ramadhan 1417 correspondant au 18 janvier 1997, modifié et complété, relatif aux critères de détermination et d'encadrement des activités et professions réglementées soumises à inscription au registre du commerce, notamment ses articles 4 et 7;

Vu le décret exécutif n°97-435 du 16 Rajab 1418 correspondant au 17 novembre 1997 portant réglementation du stockage et de la distribution des produits pétroliers;

Vu le décret exécutif n° 98-339 du 13 Rajab 1419 correspondant au 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature;

Décète :

Article 1er — Le présent décret a pour objet de réglementer l'exercice des activités suivantes :

— la distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles,

— l'installation de kits de conversion GNC sur les véhicules automobiles.

Article 2. — Au sens du présent décret on entend par :

— **GNC** : le gaz appelé gaz naturel constitué principalement de méthane, comprimé à 200 bars, et destiné à l'utilisation comme carburant automobiles.

— **Distributeur de GNC** : toute personne physique ou morale, disposant en propriété, en copropriété ou en location d'une infrastructure de distribution de GNC, et dont l'activité principale est la vente du gaz naturel comprimé comme carburant.

— **Infrastructure de distribution de GNC** : Ensemble composé d'un ou de plusieurs modules de compression, de bouteilles de stockage d'un ou de plusieurs volucompteurs GNC avec des voies de circulation et des aires de service.

— **Installateur de kit de conversion** : toute personne physique ou morale, disposant en propriété, copropriété ou en location d'un centre de conversion et dont l'activité principale est l'installation de kits de conversion des véhicules au GNC-carburant.

— **Centre de conversion** : local où s'effectue l'installation des kits de conversion des véhicules pour fonctionner au GNC-carburant.

* **Kit de conversion** : ensemble d'équipements permettant l'utilisation du GNC-carburant. On distingue deux sortes de kits, l'un pour les véhicules diesel et l'autre pour les véhicules essence.

* Le kit de conversion pour les véhicules diesel comprend essentiellement :

— 4 à 8 réservoirs et accessoires.

— Un système de vannes GNC avec soupapes.

— Une électrovanne gas-oil et un inverseur.

— Une vanne de GNC linéaire et une électrovanne.

— Une tuyauterie pour haute pression.

— Des flexibles pour basse pression.

— Un ou deux détenteurs.

— Un mélangeur.

— Un système de pilotage et de contrôle électronique.

— Un limiteur de débit gas-oil.

— Des tuyaux haute pression pour air.

* Le kit de conversion pour les véhicules essence comprend essentiellement:

— Un réservoir et accessoires.

— Un système de vannes GNC avec soupapes.

— Une électrovanne essence et un inverseur.

— Une électrovanne gaz naturel.

— Un ou deux détenteurs.

— Un mélangeur.

— Des éléments de fixation.

Article 3. — Les spécifications du GNC-carburant sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des hydrocarbures et de la normalisation.

Article 4. — Toute personne physique ou morale remplissant les conditions fixées par le présent décret peut exercer l'une ou les deux activités mentionnées à l'article 1er ci-dessus.

L'inscription au registre de commerce, pour l'exercice de ces activités, est tributaire de l'obtention de l'autorisation préalable du ministre chargé des hydrocarbures pour l'exercice de l'activité de distribution de GNC-carburant et du ministre chargé des mines pour l'exercice de l'activité de conversion des véhicules.

Article 5. — Les demandes d'autorisation d'exercice de l'activité de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles sont adressées, par lettre recommandée avec accusé de réception, au ministre chargé des hydrocarbures qui statue, dans un délai d'un (1) mois à compter de la date de réception du dossier complet.

Les demandes d'autorisation sont accompagnées :

— des statuts juridiques, pour les sociétés (personnes morales),

— d'un plan descriptif des infrastructures accompagné des fiches signalétiques des différentes installations et équipements, notamment les aires de stockage et de remplissage, les aires de circulation, les voies d'accès et les dispositifs de sécurité.

Tout refus doit être motivé et notifié au promoteur par écrit.

Article 6. — Pour l'exercice de son activité, le distributeur de GNC-carburant doit disposer d'un personnel qualifié et d'une infrastructure de distribution conforme aux prescriptions réglementaires en vigueur.

Article 7. — La création, l'extension et la délocalisation d'une infrastructure de distribution de GNC-Carburant, sont soumises à l'autorisation préalable du ministre chargé des hydrocarbures.

Article 8. — La demande d'autorisation de création, d'extension et de délocalisation des infrastructures de distribution de GNC-carburant, est adressée, par lettre recommandée avec accusé de réception, au ministre chargé des hydrocarbures qui statue, dans un délai d'un (1) mois à compter de la date de réception du dossier complet.

Les demandes d'autorisation sont accompagnées des documents suivants :

— une copie de l'acte de propriété ou du contrat de location du terrain d'assiette ou tout titre de mise à disposition du terrain (concession , legs , décision d'attribution, etc.....),

— un plan de situation au 1/1000 des infrastructures à réaliser,

— un plan descriptif des infrastructures accompagné des fiches signalétiques des différentes installations et équipements, notamment les aires de stockage et de remplissage, les aires de circulation, voies d'accès et les dispositifs de sécurité,

— l'avis favorable du wali territorialement compétent.

Tout refus doit être motivé et notifié au promoteur par écrit.

Article 9. — La cession des infrastructures de distribution de GNC-carburant, au profit d'autres personnes physiques ou morales, doit être notifiée, par lettre recommandée avec accusé de réception, au ministre chargé des hydrocarbures. La lettre de notification doit être accompagnée de l'acte de transfert de propriété.

Article 10. — La mise en exploitation d'une infrastructure de distribution de GNC-carburant, est soumise à une autorisation délivrée conformément aux dispositions réglementaires régissant les installations classées.

Article 11. — Les règles de sécurité relatives à l'implantation, à l'aménagement et à l'exploitation des infrastructures de distribution de GNC-carburant sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des hydrocarbures, de la protection civile, de la normalisation et de l'environnement.

Article 12. — Les demandes d'autorisation d'exercice de l'activité d'installation de kits de conversion permettant l'utilisation du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles sont adressées par lettre recommandée au ministre chargé des mines qui statue dans un délai d'un (1) mois à compter de la date de réception du dossier complet.

Les demandes d'autorisation sont accompagnées des documents suivants :

— les statuts juridiques, pour les sociétés (personnes morales),

— l'extrait du casier judiciaire (bulletin n°3) daté de moins de trois (3) mois de l'installateur de kits de conversion, pour les personnes physiques ou du gérant pour les personnes morales,

— l'attestation de qualification du personnel ayant la charge de la conversion des véhicules au GNC, délivrée par un organisme dûment habilité par le ministre chargé des mines ou par le ministre chargé de la formation professionnelle .

Tout refus doit être motivé et notifié au promoteur par écrit.

Article 13. — Pour l'exercice de son activité, l'installateur de kits de conversion doit disposer d'un personnel qualifié en la matière, d'un centre de conversion répondant aux règles d'hygiène et de sécurité exigées par la réglementation en vigueur ainsi que des équipements et matériels nécessaires pour cette activité.

Article 14. — Les règles d'aménagement et d'exploitation d'un centre de conversion de véhicules automobiles au GNC sont définies par arrêté conjoint des ministres chargés des mines, de la protection civile, de la normalisation et de l'environnement.

Article 15.— Avant de commencer l'exercice de son activité, l'installateur doit informer les services chargés des mines de la wilaya dont il relève qui devront lui délivrer, après visite de son centre, un certificat de conformité.

Article 16. — Il est tenu, à la direction chargée des mines de la wilaya, un registre sur lequel sont inscrites les informations suivantes:

— Nom et prénom du propriétaire du véhicule converti,

— Type de véhicule,

— Numéro d'immatriculation du véhicule,

— Numéro de châssis du véhicule,

— Numéro d'immatriculation du réservoir GNC.

Article 17.— Pour un même véhicule l'utilisation du GNC-carburant n'exclut pas la carburation à essence ou au gas-oil.

Article 18. — L'installation du kit de conversion permettant l'utilisation du GNC-carburant sur les véhicules automobiles ne peut être réalisée que par des installateurs autorisés par le ministre chargé des mines.

Article 19. — Les conditions d'installation de kit de conversion sur les véhicules automobiles pour leur fonctionnement au GNC-carburant sont définies par arrêté conjoint des ministres chargés des mines, des transports et de la normalisation.

Article 20. — Toute installation de kit de conversion permettant l'utilisation du GNC-carburant sur les véhicules automobiles doit, avant sa mise en service, être contrôlée par les services du ministre chargé des mines.

Lorsque l'installation de kit de conversion est reconnue conforme aux prescriptions réglementaires, les services du ministère chargé des mines délivrent une « autorisation d'utilisation du GNC-carburant ».

Les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation du GNC-carburant automobiles sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des mines et des transports.

Article 21. — Outre le contrôle technique de véhicules prévu par la réglementation en vigueur, l'installation de kit de conversion permettant l'utilisation du GNC-carburant est soumise à un contrôle par les services du ministère chargé des mines, conformément à la réglementation régissant les appareils à pression à gaz.

Article 22. — Toute modification ou réparation intervenant sur l'installation du kit de conversion au GNC-carburant et non prévue dans les autorisations édictées par un texte réglementaire du ministre chargé des mines doit faire l'objet d'une autorisation dans les mêmes conditions que celles prévues aux articles 18 et 19 du présent décret.

Article 23. — Tout véhicule équipé au GNC-carburant doit être signalé par une plaque métallique fournie et fixée par l'installateur, sur la face arrière du véhicule de sorte à être visible, et portant l'inscription « GNC "DZ" ».

Les véhicules de transport en commun et les véhicules d'un poids en charge supérieur à 5.500 kg doivent en outre porter sur leurs faces latérales bien en évidence la plaque « GNC "DZ" » sus-indiquée.

Les caractéristiques et les dimensions de cette plaque sont définies par arrêté conjoint des ministres chargés des mines, des transports et de la normalisation.

Article 24. — L'approvisionnement des véhicules équipés au GNC-carburant ne peut être réalisé que si ces véhicules répondent aux prescriptions des articles 20 et 23 du présent décret.

Le chargement du GNC-carburant est limité à la pression de 220 bars.

Article 25. — Les distributeurs de GNC-carburant et les installateurs de kits de conversion de véhicules automobiles au GNC, sont tenus de justifier, préalablement à la mise en service de leurs installations, puis périodiquement, d'un certificat de conformité aux règles de sécurité et de protection de l'environnement, délivré par les services de la protection civile pour les infrastructures de distribution de GNC-carburant et les services des mines pour les centres de conversion.

Article 26. — Les modalités d'établissement et de délivrance des certificats de conformité sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des hydrocarbures, des mines, de la normalisation, de l'environnement et de la protection civile.

Article 27. — Les distributeurs de GNC-carburant et les installateurs de kits de conversion au GNC, sont tenus de fournir, trimestriellement ou à leur demande, aux ministres chargés des hydrocarbures et des mines les informations nécessaires à l'établissement des statistiques.

Article 28. — En cas de défaillance dûment constatée dans l'état des infrastructures de distribution et/ou de conversion, ou en cas de non-conformité aux règlements en matière de sécurité et de protection de l'environnement, les ministres chargés des hydrocarbures et des mines peuvent, sur proposition du wali territorialement compétent, après mise en demeure, prononcer l'arrêt de

l'exploitation de l'infrastructure incriminée, pour une période déterminée.

En cas de persistance de la défaillance, à l'expiration du délai fixé par les ministres chargés des hydrocarbures et des mines pour la mise en conformité, l'autorisation d'exploitation sera retirée de plein droit.

Pour l'infrastructure de distribution du GNC-carburant, présentant une défaillance de nature à constituer un danger imminent, l'autorisation d'exploitation peut être retirée sans mise en demeure.

Article 29. — Le non-respect des dispositions du présent décret ainsi que les normes techniques prévues dans les textes pris pour son application entraînent le retrait de l'autorisation d'exercice sans préjudice des poursuites judiciaires.

Article 30. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003.

Ahmed OUYAHIA.

Annexe 7

Arrêté interministériel du 3 Moharram 1426 correspondant au 12 février 2005 fixant les caractéristiques et les dimensions de la plaque signalant l'utilisation du gaz naturel comprimé-carburant (GNC) par les véhicules automobiles.

Le ministre de l'énergie et des mines, Le ministre des transports, Le ministre de l'industrie,

Vu le décret présidentiel n°04-138 du 6 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 26 avril 2004 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n°03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution de gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation des kits de conversion sur les véhicules, notamment son article 23 ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 23 du décret exécutif n°03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les caractéristiques et les dimensions de la plaque signalant l'utilisation du gaz naturel comprimé-carburant (GNC) par les véhicules automobiles.

Article 2ème. — La plaque signalétique "GNC" est de forme rectangulaire, avec angles arrondis, de 100 mm de longueur et de 80 mm de largeur. Elle doit être résistante à la corrosion.

Une deuxième plaque d'identification doit être placée de manière à être visible sur la face latérale des véhicules lourds.

Elle doit porter la désignation gaz naturel comprimé-carburant en français "GNC" et en arabe "Užç".

Article 3eme. — Les caractéristiques et les dimensions de la plaque d'identification sont les suivantes :

- fond de la plaque de couleur bleue ;
- l'inscription " GNC " :
 - * couleur blanche ;
 - * hauteur du caractère 20 mm ;
 - * largeur du caractère 20 mm.
- l'inscription
- * couleur blanche ;
- * hauteur du caractère 20 mm ;
- * largeur du caractère 20 mm.

Article 4eme. — Le défaut de signalisation du véhicule équipé du gaz naturel comprimé-carburant (GNC) par la plaque sus-indiquée et le non-respect des caractéristiques et des dimensions fixées ci-dessus expose le propriétaire du véhicule aux sanctions prévues par la législation en vigueur.

Article 5eme. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 3 Moharram 1426 correspondant au 12 février 2005.

Le ministre de l'énergie et des mines

Chakib KHELIL

Le ministre des transports

Mohamed MAGHLAOU

Le ministre de l'industrie

Lachemi DJAABOUBE

Annexe 8

MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES MINES

Arrêté interministériel du 30 Rabie Ethani 1426 correspondant au 8 juin 2005 portant conditions d'installation de kits de conversion sur les véhicules automobiles pour leur fonctionnement au gaz naturel comprimé-carburant.

Le ministre de l'énergie et des mines,

Le ministre des transports,

Le ministre de l'industrie,

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 90-245 du 18 août 1990 portant réglementation des appareils à pression de gaz ;

Vu le décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003 fixant les conditions d'exercice des activités de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant automobiles et d'installation de kits de conversion sur les véhicules, notamment son article 19 ;

Vu l'arrêté interministériel du 13 Dhou El Hidja 1425 correspondant au 23 janvier 2005 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé-carburant (GNC) par les véhicules automobiles ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 19 du décret exécutif n° 03-473 du 8 Chaoual 1424 correspondant au 2 décembre 2003, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les conditions d'installation de kits de conversion sur les véhicules automobiles pour leur fonctionnement au gaz naturel comprimé-carburant.

Article 2. — Les réservoirs de gaz naturel comprimé-carburant sont soumis aux prescriptions de la réglementation relative aux appareils à pression de gaz susvisée.

Des prescriptions relatives au montage du réservoir.

Article 3. — Le réservoir doit être conçu pour recevoir les équipements suivants :

- le dispositif d'alimentation du moteur ;
- le dispositif de chargement ;
- les soupapes de sécurité et
- l'indicateur de pression (le manomètre).

Article 4. — Les axes des réservoirs, une fois montés, doivent être horizontaux. Les positions dans lesquelles les réservoirs doivent être installés sont déterminées par le constructeur, au moyen d'un repérage clair matérialisé par l'utilisation d'un système approprié. Ce repérage ne doit, en aucun cas, présenter de risque de rupture des corps des réservoirs ni provoquer une diminution de leurs parois.

Le montage des réservoirs à axes verticaux est soumis à autorisation préalable des services chargés des mines territorialement compétents.

Article 5. — Les dispositifs de chargement et d'alimentation en gaz naturel comprimé (GNC)-carburant doivent permettre une isolation manuelle ou automatique du réservoir à chacune de ses entrées ou sorties.

Article 6. — Le réservoir ne doit, en aucun cas, être installé dans la même enceinte que le moteur ou se trouver en contact avec des pièces ou des tuyauteries pouvant atteindre des températures supérieures à la température ambiante.

L'emplacement du réservoir doit être tel qu'aucun échappement de gaz consécutif à une fuite ne puisse pénétrer à l'intérieur de la partie fermée de la carrosserie du véhicule automobile.

L'emplacement du réservoir doit être tel qu'il ne risque pas de déplacer, de façon dangereuse, le centre de gravité du véhicule automobile.

Article 7. — Le réservoir ne doit pas être exposé dangereusement à des collisions frontales. A ce titre, le réservoir ne peut, en aucun cas, être situé à l'avant de l'axe de l'essieu-avant, mais en retrait par rapport à celui-ci.

Il ne doit pas présenter de saillies en dehors du gabarit du véhicule automobile.

La distance minimale entre les accessoires du réservoir, non compris l'orifice d'emplissage et le contour extérieur du véhicule automobile, doit être en projection horizontale de 0,45 mètre vers l'avant, de 0,35 mètre vers l'arrière et de 0,15 mètre dans les autres directions.

Pour les parois des réservoirs, ces distances sont ramenées à 0,15 mètre vers l'arrière et 0,10 mètre vers les parties latérales du véhicule automobile.

Cette dernière valeur peut être réduite à 0,05 mètre pour les véhicules automobiles dont le poids total autorisé en charge est supérieur à 3.500 Kg.

La distance de 0,35 mètre vers l'arrière peut être réduite, sans être inférieure à 0,15 mètre, si les accessoires se trouvent au moins à 0,05 mètre en avant ou en arrière du réservoir.

Article 8. — Le réservoir doit être monté sur le véhicule automobile de façon telle qu'il ne soit pas exposé à la corrosion.

Il doit être disposé de manière à permettre une vérification facile de sa fixation et une lecture aisée des indications portées sur la plaque signalétique.

Le réservoir doit être fixé par un dispositif répondant aux prescriptions de l'article 3 ci-dessus et les points de fixation à la carrosserie doivent être renforcés pour en éviter la déchirure.

Les supports et les dispositifs d'arrimage doivent être isolés du corps du réservoir par une matière élastique (feutre, cuir, caoutchouc, plastique).

Des différents cas d'emplacement du réservoir

Article 9. — Pour les véhicules automobiles équipés d'origine d'un coffre séparé de l'habitacle et lorsque le réservoir est installé dans ce coffre, celui-ci doit être équipé d'un dispositif de drainage des éventuelles fuites vers l'extérieur du véhicule automobile.

Le dispositif prévu à l'alinéa précédent devra être protégé par un élément rigide lors de son passage au travers de la carrosserie.

Lorsque le réservoir n'est pas enfermé dans un compartiment étanche, un tube d'au moins 20 mm de diamètre intérieur sera mis au plus bas point du coffre. Le tube doit être disposé et fixé au plancher du véhicule automobile de telle façon que le déplacement en avant du véhicule automobile crée une aspiration et son orifice intérieur sera placé de façon telle à ne pas être obturé par des objets pouvant y être déposés.

Le tube doit déboucher à l'air libre sous le véhicule automobile et à, au moins, 300 mm de la conduite d'échappement.

Le réservoir, ses accessoires ainsi que les tuyauteries doivent être protégés par un moyen approprié contre tout choc direct.

Article 10. — Pour les véhicules de transport de marchandises dont le coffre n'est pas séparé de l'habitacle, le réservoir doit être placé avec ses accessoires dans un compartiment l'isolant de la partie restante du véhicule automobile dans le but de le protéger.

L'emplacement du tube prévu à l'article 9 du présent arrêté se fera à l'intérieur du compartiment.

Article 11. — L'emplacement du réservoir sur le toit du véhicule automobile est admis lorsque son architecture le permet; dans ce cas, il sera utilisé un berceau spécialement conçu à cet usage.

La fixation du berceau à la carrosserie doit être réalisée par l'intermédiaire de serrures allant jusqu'aux corniches du toit et offrant une garantie suffisante.

L'installation du réservoir sur le toit doit être conforme aux dispositions suivantes :

— le réservoir et ses accessoires ne doivent, en aucun cas, dépasser les parties latérales des véhicules automobiles, et

— les canalisations de gaz doivent être protégées par la carrosserie.

Article 12. — Dans le cas d'emplacement du réservoir sous le véhicule automobile, des dispositifs adéquats de sa protection efficace contre les jets de pierres doivent être prévus.

La hauteur libre au dessus du sol doit être au moins égale à 200 mm en charge et en dessus des essieux.

Du remplissage du réservoir

Article 13. — Le remplissage du réservoir peut être réalisé de l'extérieur ou sous le capot du véhicule automobile et par l'intermédiaire d'une conduite enfermée dans une gaine étanche constituée par un tube rigide résistant aux hautes pressions.

Pour les cas prévus aux articles 9 et 10, le clapet de remplissage peut être fixé directement sur le robinet de chargement.

Le clapet de remplissage ne peut être fixé que sur les parties latérales du véhicule automobile à au moins 40 mm en retrait par rapport au point de la carrosserie où il est fixé et à, au moins, 350 mm de la partie externe du véhicule automobile.

De la canalisation

Article 14. — Aucune canalisation parcourue par le gaz naturel comprimé-carburant ne peut passer à l'intérieur de la cabine du conducteur et dans le compartiment non ventilé du véhicule automobile.

Lorsque la canalisation se trouve sous le véhicule automobile, celle-ci doit être protégée par le châssis ou par la coque. Elle doit être couverte par un renfort métallique dans le cas de passage chevauchant le châssis.

L'ensemble des canalisations sera placé à l'intérieur d'une gaine plastique.

Article 15. — Lors du passage de la canalisation au travers de la carrosserie, la tuyauterie doit être protégée par une bague métallique. La canalisation doit passer à plus de 200 mm de toute conduite d'échappement sauf si elle est protégée contre le rayonnement thermique par un système approprié. Elle doit être fixée à la carrosserie au moyen d'attaches espacées de moins de 300 mm.

Chaque canalisation métallique sous pression doit comprendre quatre (4) boucles d'un diamètre minimal de 50 mm, pris suivant l'axe neutre.

Article 16. — Les raccordements doivent être réalisés par raccords filetés ou autres types de raccords haute pression conçus pour le gaz naturel comprimé-carburant. Il seront aussi réduits autant que possible et placés à des endroits accessibles. La conduite du gaz naturel comprimé-carburant allant du détendeur au carburateur doit être flexible, armée et serrée par des colliers.

Article 17. — La canalisation sous pression doit être commandée par une vanne actionnée à partir du tableau de bord du véhicule automobile et placée entre le réservoir et le détendeur.

Toute canalisation endommagée doit être remplacée.

La réparation de la canalisation endommagée est strictement interdite.

De la vanne du gaz naturel comprimé-carburant

Article 18. — La vanne du gaz naturel comprimé-carburant doit être fixée à la carrosserie à au moins 200 mm de toute conduite d'échappement et orientée de telle façon que l'entrée ou la sortie du gaz, en cas de fuites ne soit pas dirigée vers le moteur ou vers la conduite d'échappement.

La vanne du gaz naturel comprimé-carburant doit pouvoir se fermer automatiquement en cas de court-circuit de l'installation électrique du système gaz naturel comprimé-carburant et doit être, également, indépendante des autres circuits électriques.

Article 19. — Tout installateur est tenu de tester la vanne du gaz naturel comprimé-carburant montée, en mettant le contact en position d'allumage avec l'inverseur sur la position du carburant d'origine.

La sortie de la vanne du gaz naturel comprimé-carburant démontée doit être testée au moyen d'un produit moussant pour s'assurer qu'aucun gaz ne s'en échappe.

Du détendeur

Article 20. — Le détendeur doit être fixé de façon rigide à la carrosserie avec des renforts et à plus de 100 mm de tout conduit d'échappement.

Le mélangeur air/gaz naturel comprimé-carburant doit être installé de façon telle que le jet de gaz à l'intérieur du carburateur suit la même direction que le jet du carburant d'origine. Il doit être de conception propre garantissant un non retour de flamme.

Article 21. — L'assemblage des éléments constitutifs du détendeur doit être tel que l'étanchéité ne soit pas compromise par les vibrations du moteur du véhicule automobile.

Du manomètre

Art. 22. — Le manomètre doit indiquer avec précision la pression des réservoirs.

Le robinet de vérification du niveau maximal du gaz naturel comprimé-carburant doit être conçu de façon à ce que l'ouverture maximale de rejet n'excède pas 14 mm de diamètre.

Il doit être conçu de façon telle que l'arrêt du moteur commande l'arrêt du débit vers le carburateur et être pourvu d'un système de réglage du débit.

De l'installation électrique du kit de conversion

Article 23. — L'installation électrique du kit de conversion doit être telle que la rupture du courant d'allumage au tableau de bord commande la fermeture de la vanne du gaz naturel comprimé-carburant.

Un fusible doit être intercalé entre l'alimentation électrique et la vanne du gaz naturel comprimé-carburant, lequel doit se fermer automatiquement en cas de court-circuit électrique.

De la sécurité du véhicule automobile

Article 24. — Tout véhicule automobile équipé pour fonctionner au gaz naturel comprimé-carburant (GNC) doit être doté d'au moins un (1) extincteur à poudre de 2 Kg lorsqu'il s'agit d'un véhicule automobile particulier ou de 6 Kg lorsqu'il s'agit de tout autre véhicule automobile.

Du contrôle du kit de conversion

Article 25. — L'installateur du kit de conversion au gaz naturel comprimé-carburant sur un véhicule automobile est tenu de faire subir à l'ensemble de l'installation, robinetterie et vanne en position ouverte, un contrôle d'étanchéité à double étape :

— à l'air comprimé à 10 bars, pour s'assurer de l'étanchéité générale ;

— au gaz, en effectuant, chez l'installateur, le test d'étanchéité au gaz naturel comprimé-carburant à la pression de 200 bars (pression de service) après remplissage du réservoir dans une station de distribution du gaz naturel comprimé-carburant.

Le déplacement du véhicule automobile entre la station de distribution et le local de l'installateur se fera au moyen de la carburation d'origine après fermeture du réservoir.

La recherche des fuites se fera à l'aide d'un produit moussant.

Article 26. — Les contrôles prévus ci-dessus s'effectuent en présence des représentants du service des mines de la wilaya territorialement compétent pour s'assurer de la conformité de l'installation aux dispositions du présent arrêté. Lorsque le contrôle de l'installation du kit de conversion ne présente aucune anomalie, les services chargés des mines précités délivrent l'autorisation d'utilisation du gaz naturel comprimé-carburant.

Article 27. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 30 Rabie Ethani 1426 correspondant au 8 juin 2005.

Le ministre de l'énergie et des mines Chakib KHELIL

Le ministre des transports
Mohamed MAGHLAOUI

Le ministre de l'industrie
Mahmoud KHEDRI

**16 Rajab 1426 JOURNAL OFFICIEL DE LA
REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 57 23 21 août 2005**