

**Université 8 mai 1945 – Guelma**

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département de Génie Mécanique**



**Mémoire de Fin d'Études**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Option : Construction Mécanique**

**Présenté par : Latreche Imed Eddine**

=====

**Effets du carburant sur les performances des moteurs  
à combustion interne étude comparative entre  
l'essence et le GPL**

=====

Sous la Direction de :

**Pr. KRIBS Nabil**

**Année universitaire 2024/2025**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciement

*Je remercie mes chers « parents » pour leur soutien moral et le courage qu'on m'a donné pour surmonter toutes les difficultés durant mes années d'études et de m'avoir aidé à élaborer ce modeste projet.*

*Je voudrais, dans un premier temps, remercier mon encadreur de mémoire, Pr Kribs, professeur de mécanique à l'université de 8 mai 1945 Guelma, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Sans oublier tous mes enseignants du Département des Sciences et Technologies de Guelma qui ont contribué à ma formation. Je voudrais exprimer mes plus vifs remerciements à tout le personnel de l'équipe d'installation kit GPL atelier d'El Guelma, précisément pour M Hichem et M Brahim pour leurs collaborations*

# Dédicaces

*À mes chers parents,*

*pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur Tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*à mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*à mes chers frères pour leur appui et leur encouragement,*

*À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant Allégués, et le fruit de votre soutien infailible.*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

## **sommaire**

Liste des figure.....	4
Liste des tableaux .....	5
Nomenclature.....	6
Introduction générale :.....	9
Chapitre I : Généralité sur les moteurs.....	10
1.Introduction :.....	11
1.1. Le moteur à essence :.....	11
1.1.1. Histoire : .....	11
1.1.2. Définition le moteur à essence.....	11
1.1.3. Les composants d'un moteur à essence :.....	12
1.2. Mode de fonctionnement d'un moteur à 2 temps et à 4 temps :.....	16
1.2.1. Fonctionnement d'un moteur à 2 temps : .....	16
1.2.2. Moteur à quatre temps : .....	16
1.3. Les avantages et inconvénients du moteur à essence :.....	17
1.3.1. Avantages : .....	17
1.3.2. Inconvénients : .....	18
1.4. Moteurs à bicarburation :.....	18
1.5. Le moteur GPL-C :.....	19
1.5.1. Histoire : .....	19
1.6. Définition :.....	21
1.7. Principe de fonctionnement du moteur GPL :.....	21
1.7.1. Fonctionnement du moteur GPL en phase gazeuse :.....	21
1.7.2. Fonctionnement du moteur GPL en phase liquide et injection indirecte : .....	22
1.7.3. Fonctionnement du moteur GPL en phase liquide et injection directe : .....	22
1.8. Le kit d'un moteur GPL :.....	22
1.8.1. Réservoir de GPL :.....	22
1.8.2. Soupape de remplissage :.....	23
1.8.3. Polyvanne : .....	23
1.8.4. Les injecteurs de GPL :.....	24
1.8.5. L'éctrovanne :.....	25
1.8.6. Le calculateur :.....	25
1.8.7. Commutateur : .....	26
1.8.8. Vaporisateur détenteur : .....	26
1.9. Le coût de l'installation du kit GPL en Algérie : .....	27

1.10. Les avantages et inconvénients du GPL/C : .....	27
1.10.1. Les avantages : .....	27
1.10.2. Les inconvénients : .....	27
Conclusion : .....	29
Chapitre II : Calcul thermique d'un moteur à essence .....	30
2.2. Paramètre du moteur : (Fiat Tipo 1.6 110) .....	31
2.3. Paramètres thermodynamiques : .....	31
2.3.1. La quantité stœchiométrique a la combustion de 1kg de combustible : .....	31
2.3.2. Les paramètres du gaz et du combustible : .....	31
2.3.3. Le processus de la combustion : .....	37
2.3.4. Etude de la détente : .....	38
2.3.5. Paramètres de performances du moteur : .....	39
2.3.6. Calcul des dimensions principales du moteur : .....	41
2.4. Bilan thermique du moteur à essence : .....	42
2.5. Bilan thermique en pourcentage : .....	44
2.6. Conclusion : .....	45
Chapitre III: Calcul thermique d'un moteur à gaz (GPL-C) .....	46
3.1. Introduction : .....	47
3.2. Paramètres thermodynamiques : .....	47
3.3. Les paramètres du gaz et du combustible : .....	47
3.4. Paramètre de l'air du gaz d'échappement : .....	48
3.5. Paramètres de l'air ambiant des gaz résiduels : .....	49
3.6. Etude processus de compression : .....	50
3.7. Le processus de la combustion : .....	51
3.8. La détente : .....	53
3.9. Les paramètres indiqués du cycle : .....	53
3.9.1. Paramètres indiqués : .....	53
3.10. Les paramètres effectifs : .....	54
3.11. Calcul des dimensions principal du moteur : .....	55
3.12. Tableau récapitulatif du GPL-C : .....	56
3.13. Bilan thermique du moteur à essence : .....	56
3.14. Bilan thermique en pourcentage : .....	57
Chapitre IV : Comparaison essence / GPL .....	59
4.1. Introduction : .....	60
4.2. Les prix des carburants en Algérie : .....	60
4.3. Tableaux représentatifs des calculs des quatre temps du moteur : .....	61

4.3.1. L'admission :.....	61
4.3.2. La compression :.....	62
4.3.3. La combustion : .....	62
4.3.4. La détente :.....	62
4.3.5. Paramètre indiquer et effectif : .....	63
4.4. Les courbes de fonctionnement du moteur en fonction de la vitesse de rotation du vilebrequin :.....	65
4.4.1. Courbe de la puissance (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :.....	65
4.4.2. Courbe de couple moteur (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation : .....	66
4.4.3. Courbe de puissance moyenne effectif (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation : .....	67
4.4.4. Courbe de consommation spécifique (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :.....	69
4.4.5. Courbe de consommation horaire (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation : .....	70
4.4.6. Courbe de taux de remplissage (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :.....	71
Conclusion .....	73
Conclusion générale .....	74
Conclusion générale : .....	75
Références .....	77

## Liste des figure

Figure 1 :moteur à essence [2] .....	12
Figure 2 : Les composants d'un moteur à essence [13] .....	12
Figure 3: bloc moteur [4] .....	13
Figure 4: La culasse du moteur [7].....	13
Figure 5: Le piston de moteur [9].....	14
Figure 6: La bielle [11].....	15
Figure 7: Le vilebrequin [14] .....	15
Figure 8: Le volant moteur [16] .....	16
Figure 9: Fonctionnement de moteur à quatre temps. [19] .....	17
Figure 10: Représentation d'un schéma du système bicarburant (GPL-C) [22].....	19
Figure 11: Le réservoir cylindrique [26] .....	23
Figure 12: Le réservoir Torique [27] ...	23
Figure 13: Emplacement du dispositif de remplissage.[29].....	23
Figure 14: Polyvanne de GPL.[31] .....	24
Figure 15: La rampe d'injecteur.[33] .....	24
Figure 16: électrovanne.[35] .....	25
Figure 17: Le calculateur.[37] .....	25
Figure 18: Commutateur.[38] .....	26
Figure 19 : vapo détendeur.[40] .....	26
Figure 20 :Courbe de la puissance en fonction vitesse de rotation .....	65
Figure 21: Courbe de couple moteur en fonction vitesse de rotation.....	66
Figure 22:Courbe de puissance moyenne effectif en fonction vitesse de rotation.....	67
Figure 23: Courbe de consommation spécifique en fonction vitesse de rotation.....	69
Figure 24: Courbe de consommation horaire en fonction vitesse de rotation.....	70
Figure 25: Courbe de taux de remplissage en fonction vitesse de rotation.....	71

## Liste des tableaux

Tableau 1:Récapitulatif de l'essence .....	42
Tableau 2:Bilan thermique du moteur à essence .....	44
Tableau 3:Récapitulatif de GPL-C .....	56
Tableau 4: Bilan thermique du moteur à GPL-C.....	58
Tableau 5: Tableau représentatif des prix des carburants de 2020 à 2025.[44].....	60
Tableau 6: Admission .....	61
Tableau 7 : compression .....	62
Tableau 8:combustion.....	62
Tableau 9:détente.....	62
Tableau 10:paramètre indiqué et effectif.....	63

## Nomenclature

$\alpha$  : Coefficient de l'excès d'air. (Sans unité)

$\eta_v$  : Facteur de remplissage. (%)

$\eta_m$  : Efficacité mécanique. (%)

$Q_h$  : Le pouvoir calorifique du combustible. (kJ/kg)

$P_r$  : La pression des gaz résiduels. (MPa)

$T_r$  : La température des gaz résiduels. (°K)

$\rho_0$  : La masse volumique de l'air. (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta P_a$  : Les pertes de charge à l'admission. (MPa)

$P_a$  : La pression à la fin de l'admission. (MPa)

$\gamma_r$  : Le coefficient des gaz résiduels. (Sans unité)

$T_a$  : La température à la fin de l'admission. (°K)

$\zeta$  : Le taux de remplissage. (Sans unité)

$P_c$  : La pression à la fin de la compression. (MPa)

$T_c$  : La température à la fin de la compression. (°K)

$\mu_{v,c}$  : La capacité calorifique moyenne de l'aire à la fin de la compression. (kJ/kmol.°K)

$\mu_{v,z}$  : La capacité calorifique moyenne des gaz résiduels à la fin de la combustion.  
(kJ/kmol.°K)

$Q$  : La quantité de chaleur transmise aux gaz. (kJ/kg)

$\xi$  : Le coefficient d'utilisation de chaleur. (Sans unité)

$\Delta Q_h$  : La quantité de chaleur perdu du aux imbrulés. (kJ/kg)

$T_Z$  : La température à la fin de la combustion. (°K)

$P_z$  : La pression à la fin de la combustion. (MPa)

$P_{zr}$  : La pression réelle à la fin de la combustion. (MPa)

$P_b$  : La pression à la fin de la détente. (MPa)

$T_b$  : La température à la fin de la détente. (°K)

$P'_i$  : La pression moyenne théorique indiqué du cycle. (MPa)

$\eta_i$  : Le rendement indiqué du cycle. (%)

$g_i$  : La consommation spécifique indiqué du combustible. (g/kWh)

$P_m$  : La pression moyenne des pertes mécanique. (MPa)

$P_e$  : La pression moyenne effective. (MPa)

$\eta_m$  : Le rendement mécanique. (%)

$\eta_e$  : Le rendement effectif . (%)

$g_e$  : La consommation spécifique du combustible. (g/kWh)

$V_h$  : La cylindrée unitaire. (l)

$N_e'$  : La puissance effective du moteur. (kW)

$W_{mp}'$  : La vitesse moyenne du piston. (m/s)

$M_e$  : La puissance (couple moteur). (N.m)

$G_T$  : La consommation horaire du combustible. (kg/h)

$n$  : La vitesse de rotation . (tr/min)

$Q_0$  : La quantité totale dégagé par le combustible dans le moteur. (kJ/kg)

$Q_{ref}$  : La quantité de chaleur cédée au système de refroidissement. (kJ/kg)

$Q_g$  : la quantité de chaleur emporté par les gaz d'échappement. (kJ/kg)

$Q_{ci}$  : de la quantité de chaleur non dégagé dans le moteur en raison de la combustion. (kJ/kg)

$Q_{rest}$  : La quantité de chaleur restante. (kJ/kg)

GPL : gaz pétrole liquide.

GNL : gaz naturel liquide.

Gaz E : Gaz éthanol

# **Introduction** **générale :**

## **Introduction générale**

---

### **Introduction générale :**

Une voiture est une invention humaine, conçue pour répondre à divers besoins quotidiens comme le déplacement sur de longues distances ou le transport d'objets lourds. Cependant, pour que la voiture fonctionne, elle a besoin d'un moteur, qui est l'élément essentiel permettant de faire fonctionner tout le reste.

Le moteur, comme beaucoup d'autres machines, nécessite une source d'énergie pour fonctionner. Cette énergie provient de carburants, qui sont des substances capables de se combiner avec un comburant, produisant ainsi une combustion rapide du mélange gazeux dans le moteur. Ce processus transforme l'énergie chimique contenue dans le carburant en énergie mécanique ou en poussée, permettant ainsi au véhicule de se déplacer.

Au fil du temps, les carburants ont évolué. L'essence et le gasoil, qui étaient les principaux carburants utilisés pour les voitures, ont vu apparaître d'autres sources d'énergie. Par exemple, le charbon était utilisé dans les trains à vapeur. Ensuite, des carburants gazeux ont été développés, tels que le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié), le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) et même des biocarburants issus de l'alcool (bioéthanol) ou d'huiles végétales (biodiesel). Tous ces carburants ont été introduits pour répondre aux besoins du marché automobile.

Avec l'évolution des carburants, de nouveaux types de véhicules ont été conçus pour s'adapter à ces différentes sources d'énergie. Une des innovations récentes est le concept des véhicules à bicarburation. Mais que signifie exactement un véhicule à bicarburation ? Il s'agit d'un véhicule qui peut fonctionner avec deux carburants différents. L'exemple le plus courant et réussi est l'association de l'essence et du GPL-C (Gaz de Pétrole Liquéfié en Combi).

Cette innovation soulève plusieurs questions : les véhicules à bicarburation sont-ils sans inconvénients ? Est-il possible d'exploiter davantage ces véhicules ? Sont-ils sûrs pour l'homme et pour l'environnement ?

Dans les sections à venir, nous analyserons en détail le fonctionnement d'un moteur, en explorant tous les paramètres nécessaires à un meilleur rendement thermique. Nous verrons aussi comment installer deux carburants différents dans un même véhicule, et comment faire en sorte qu'il fonctionne sans risques. Enfin, nous ferons une comparaison approfondie entre l'essence et le GPL-C sous plusieurs aspects : le coût d'installation, les prix des carburants, l'entretien, la sécurité, le rendement, et d'autres critères importants que nous analyserons.

**Chapitre I :**  
**Généralité sur les**  
**moteurs**

## **1.Introduction :**

Le moteur est un dispositif essentiel qui transforme une forme d'énergie (comme l'énergie thermique, électrique ou chimique) en énergie mécanique. Cette transformation est à la base de nombreuses innovations technologiques qui ont révolutionné le monde industriel et quotidien. De l'ère des premières machines à vapeur aux moteurs modernes utilisés dans les véhicules, les machines industrielles et les appareils électroniques, le moteur a joué un rôle central dans l'évolution des sociétés humaines.

L'histoire du moteur est une histoire d'ingéniosité et de progrès, de l'invention des moteurs à combustion interne à la naissance des moteurs électriques, sans oublier les moteurs hybrides et à hydrogène qui façonnent l'avenir. Chaque étape du développement des moteurs a permis d'améliorer l'efficacité énergétique, de répondre aux besoins de mobilité, et de contribuer à des solutions de plus en plus écologiques.

Que ce soit pour propulser une voiture, faire fonctionner un avion, ou générer de l'électricité, les moteurs ont changé notre manière de travailler, de voyager et de communiquer. Cette introduction aux moteurs nous invite à explorer leur fonctionnement, leurs évolutions, et leurs applications diverses, tout en soulevant des questions sur leur impact environnemental et leur avenir dans un monde en quête de durabilité.

### **1.1. Le moteur à essence :**

#### **1.1.1. Histoire :**

L'histoire du moteur, qui s'étend sur deux siècles, témoigne de l'ingéniosité et de l'innovation humaine. Elle commence avec l'invention de l'éolipile par Héros d'Alexandrie au premier siècle, un appareil utilisant la vapeur pour faire tourner une sphère. Au XVIIIe siècle, James Watt perfectionne la machine à vapeur, marquant le début de la révolution industrielle.

En 1860, Étienne Lenoir crée le premier moteur à combustion interne pratique, suivi par Nikolaus Otto en 1876, qui développe le moteur à quatre temps toujours utilisé dans les voitures aujourd'hui. Le XXe siècle voit l'émergence des moteurs électriques, avec des avancées telles que le moteur à courant alternatif de Nikola Tesla en 1887, qui révolutionne l'efficacité et les applications des moteurs.

Les véhicules électriques ont connu un essor au début du XXe siècle, mais leur popularité a diminué avec le moteur à combustion interne et la disponibilité de pétrole bon marché. Cependant, avec les préoccupations environnementales récentes et les progrès technologiques, les véhicules électriques connaissent un renouveau.

L'avenir des moteurs s'annonce prometteur avec les technologies émergentes, telles que les moteurs électriques et les piles à hydrogène, qui pourraient transformer le secteur du transport, réduire la dépendance aux combustibles fossiles et rendre les déplacements plus durables. L'évolution des moteurs a profondément changé notre mode de vie et continue de progresser vers des solutions plus efficaces et durables

#### **1.1.2. Définition le moteur à essence**

Le moteur essence est un moteur thermique qui fonctionne grâce à la combustion du mélange d'air et d'essence, permise par les étincelles générées par les bougies d'allumage. La plupart

des moteurs essence sont des moteurs à quatre temps et possèdent de nombreux avantages par rapport aux moteurs diesel.[1]

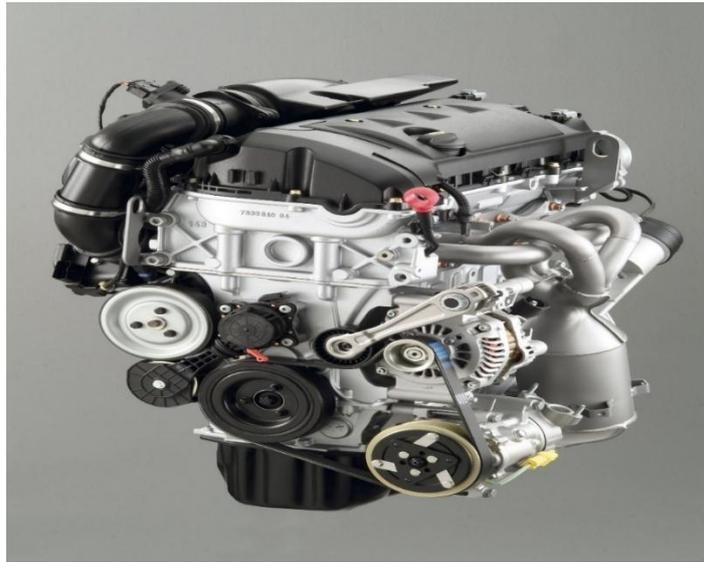


Figure 1 :moteur à essence [2]

### 1.1.3. Les composants d'un moteur à essence :

Étant donné que notre véhicule fonctionne avec un système à bicarburant, cela signifie que le même moteur peut fonctionner à la fois à l'essence et au GPL, ce qui implique que les mêmes composants sont utilisés pour les deux carburants.[3]

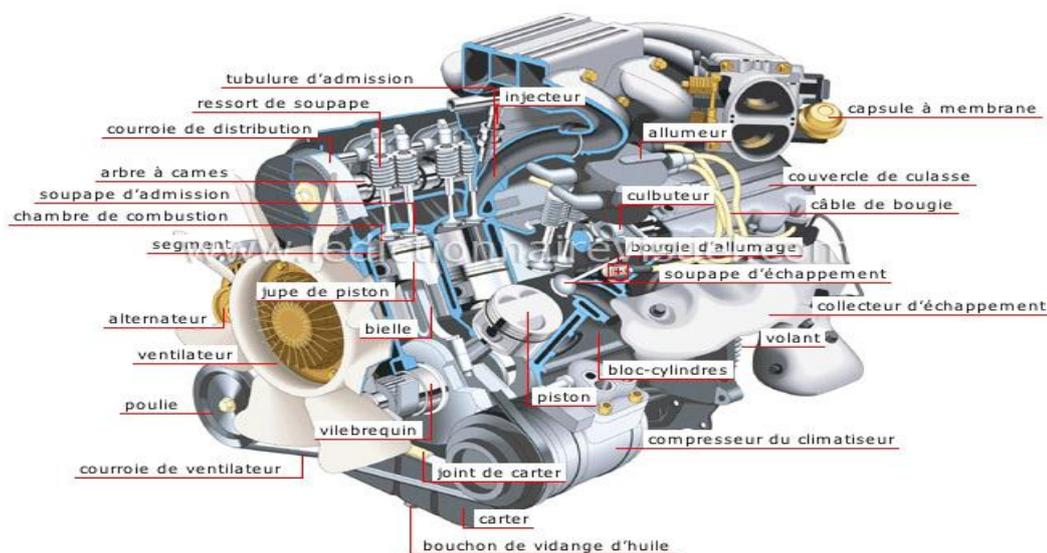


Figure 2 : Les composants d'un moteur à essence [13]

#### 1.1.3.1. Le bloc moteur :

Le bloc est l'élément qui contient les cylindres. A l'intérieur du bloc moteur se trouvent les éléments moteurs (pistons, bielles et vilebrequin), qui servent de support ou de banc. Il est

généralement en fonte grise (alliage de fer avec une teneur en carbone allant de 2 à 4,5%) ou en alliage d'aluminium. La forme et les dimensions dépendent du nombre et de la disposition des cylindres.[3]



Figure 3: bloc moteur [4]

### 1.1.3.2. Le cylindre de moteur :

Le cylindre de moteur est représenté par une cavité en forme de cylindre au sein de laquelle le piston se déplace. Un moteur est doté de plusieurs cylindres. Leur volume appelé cylindrée est ainsi représenté en litres.[5]

- Il sert de glissière au piston.
- Il contient les gaz et permet leur évolution.
- Il détermine la cylindrée unitaire.

### 1.1.3.3. La culasse :

La culasse est une composante essentielle du moteur d'une voiture. Elle est située au sommet du bloc-cylindres et joue un rôle crucial dans le processus de combustion et d'évacuation des gaz d'échappement [6].



Figure 4: La culasse du moteur [7]

Elle remplit plusieurs rôles importants :

- **Chambre de combustion** : La principale fonction de la culasse est de former la chambre de combustion dans laquelle le mélange air-carburant est comprimé et

enflammé. C'est dans cette chambre que se produit la combustion du carburant, générant la force motrice nécessaire pour faire fonctionner le moteur.[6]

- **Support de soupapes** : La culasse abrite les soupapes d'admission et d'échappement. Ces soupapes contrôlent le flux d'air entrant dans la chambre de combustion et permettent l'évacuation des gaz brûlés après la combustion.[6]
- **Distribution des gaz** : La culasse est également responsable de la synchronisation de l'ouverture et de la fermeture des soupapes en fonction du mouvement du piston. Cela assure un flux de gaz efficace à travers le moteur, favorisant la combustion et l'évacuation des gaz d'échappement.[6]
- **Refroidissement** : La culasse est souvent équipée de passages pour le liquide de refroidissement. Elle contribue au refroidissement du moteur en permettant au liquide de circuler autour des zones critiques, notamment les sièges de soupapes et les guides de soupapes.[6]
- **Support pour d'autres composants** : La culasse peut également servir de support pour d'autres composants tels que les arbres à cames, les poussoirs, et parfois les injecteurs de carburant dans le cas des moteurs à injection directe.[6]

#### 1.1.3.4. Le piston :

Le piston est une composante clé du moteur d'un véhicule ou d'une machine. Son rôle principal est de convertir l'énergie générée par la combustion du carburant en énergie mécanique, propulsant ainsi le véhicule ou faisant fonctionner une machine.[8]



**Figure 5:** Le piston de moteur [9]

#### 1.1.3.5. La bielle :

Une bielle est une pièce mécanique reliant deux articulations d'axes mobiles et permettant la transmission d'une force. On l'associe à la manivelle dans le système bielle-manivelle qui

Permet la transformation d'un mouvement de rotation continue en mouvement alternatif de rotation ou translation.[10]



**Figure 6:** La bielle [11]

#### 1.1.3.6. Le vilebrequin :

Le vilebrequin est une pièce de moteur à combustion interne. Il est l'élément principal du dispositif bielle-manivelle. Il permet la transformation du mouvement linéaire alternatif du ou des piston(s) en un mouvement de rotation continu. Le mouvement linéaire alternatif est dû aux déflagrations successives du mélange carburant-comburant dans la chambre de combustion.[12]



**Figure 7:** Le vilebrequin [14]

#### 1.1.3.7. Le volant moteur :

Un volant moteur est un disque métallique lourd fixé à l'extrémité du vilebrequin dans un moteur à combustion interne. Il joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement du système de transmission en permettant une transition fluide entre les cycles de combustion et en réduisant les vibrations. Sa conception permet également de stocker l'énergie cinétique, assurant ainsi la continuité du mouvement du moteur même lorsque celui-ci ne reçoit pas d'impulsions directes des explosions internes.[15]



Figure 8: Le volant moteur [16]

## 1.2. Mode de fonctionnement d'un moteur à 2 temps et à 4 temps :

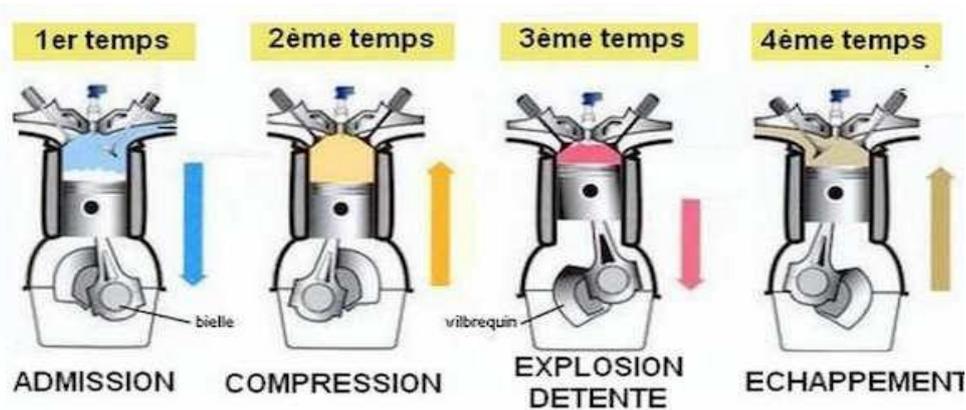
### 1.2.1. Fonctionnement d'un moteur à 2 temps :

- **Étape 1 : Admission et compression** – Le piston descend, créant une dépression qui permet à un mélange d'air et de carburant d'entrer dans le cylindre. Simultanément, le mélange dans la chambre de combustion est comprimé.
- **Étape 2 : Combustion et échappement** – Lorsque le piston atteint le point bas, une étincelle d'allumage provoque la combustion du mélange comprimé. La pression résultante pousse le piston vers le bas, tandis que l'échappement des gaz brûlés se produit par un port d'échappement [17]

### 1.2.2. Moteur à quatre temps :

Les moteurs à combustion interne sont au cœur de nombreux véhicules modernes, et parmi eux, les moteurs 4 temps se distinguent par leur efficacité et leur performance. Cet article explore en détail le fonctionnement des moteurs 4 temps, leurs avantages, ainsi que leur impact sur l'environnement et l'industrie automobile. [18]

Un moteur 4 temps est un type de moteur à combustion interne qui effectue quatre phases distinctes pour convertir l'énergie thermique en énergie mécanique. Ces quatre phases sont :



**Figure 9:** Fonctionnement de moteur à quatre temps. [19]

1. **Admission** : Lors de cette phase, le piston descend dans le cylindre, créant un vide qui aspire un mélange d'air et de carburant à travers la soupape d'admission ouverte.
2. **Compression** : Une fois que le piston atteint le bas du cylindre, la soupape d'admission se ferme. Le piston remonte, comprimant le mélange air-carburant à une pression élevée, ce qui augmente son efficacité lors de la combustion.
3. **Combustion** : Lorsque le piston atteint le point mort haut, une étincelle est produite par la bougie d'allumage, enflammant le mélange comprimé. Cette explosion pousse le piston vers le bas, générant de la puissance.
4. **Échappement** : Après la combustion, le piston remonte à nouveau, poussant les gaz d'échappement hors du cylindre à travers la soupape d'échappement ouverte. [18]

### 1.3. Les avantages et inconvénients du moteur à essence :

#### 1.3.1. Avantages :

1. **Large disponibilité** : Les moteurs à essence sont largement disponibles et sont utilisés dans une grande majorité de véhicules, ce qui facilite la recherche de carburant et les services de réparation.
2. **Technologie établie** : Les moteurs à essence sont utilisés depuis plus d'un siècle et constituent une technologie mature, ce qui signifie qu'il existe de nombreux mécaniciens et techniciens expérimentés qui peuvent les entretenir et les réparer.
3. **Densité de puissance élevée** : Les moteurs à essence ont un rapport puissance/poids élevé, ce qui signifie qu'ils peuvent produire une quantité de puissance relativement importante pour leur taille et leur poids, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans les voitures et les camions.
4. **Accélération réactive** : Les moteurs à essence offrent généralement une bonne réponse et une bonne accélération de l'accélérateur, ce qui les rend agréables à conduire. [20]

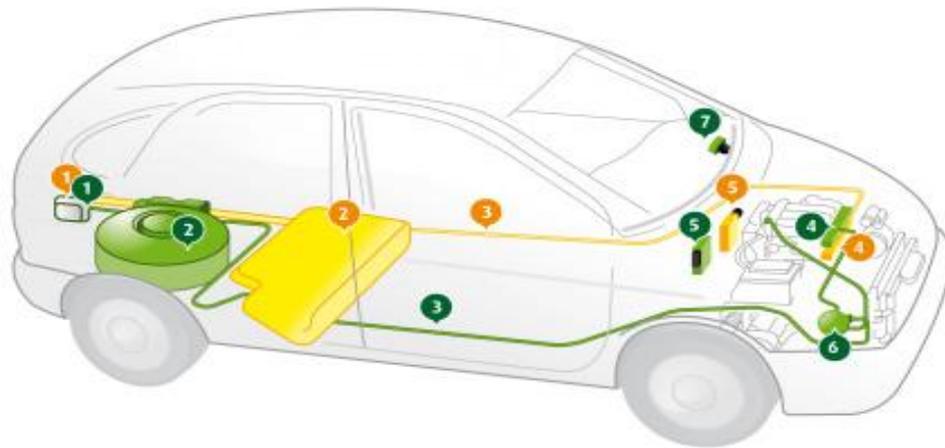
### 1.3.2. Inconvénients :

1. **Efficacité énergétique :** Les moteurs à essence sont moins efficaces que les moteurs diesel et les moteurs électriques pour convertir le carburant en électricité, ce qui entraîne une consommation de carburant plus élevée.
2. **Émissions :** Les moteurs à essence émettent des polluants tels que le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOx) et les hydrocarbures (HC), qui contribuent à la pollution de l'air et au changement climatique.
3. **Bruit :** Les moteurs à essence peuvent être assez bruyants, surtout lors des accélérations ou sous charge.
4. **Exigences de maintenance :** Les moteurs à essence nécessitent un entretien régulier, comme des vidanges d'huile, des remplacements de bougies d'allumage et d'autres entretiens de routine pour assurer leur bon fonctionnement.
5. **Dépendance aux combustibles fossiles :** L'essence est dérivée du pétrole brut, qui est une ressource non renouvelable. La dépendance aux combustibles fossiles rend les moteurs à essence vulnérables aux fluctuations des prix et aux perturbations de la chaîne d'approvisionnement.
6. **Impact environnemental :** La combustion de l'essence libère des gaz à effet de serre, contribuant au réchauffement climatique et au changement climatique.[20]

### 1.4. Moteurs à bicarburation :

Les moteurs à bicarburation sont des moteurs qui utilisent simultanément deux carburants, comme le montre la figure (8), par exemple essence/GPL ou bien essence/GNL pour donner une meilleure approche de ces véhicules, voyons de plus près comment ça marche, et pour ça on va prendre le type essence/GPL. Lorsque le conducteur du véhicule GPL démarre, la voiture est en mode essence. Une fois que la température du moteur dépasse les 40°C, le véhicule passe automatiquement en mode GPL. Les véhicules GPL n'émettent pas de particules polluantes. Par rapport à une voiture essence, la voiture GPL émet 18% de Nox de moins. Le GPL est constitué de 50% de butane et 50% de propane. Il consomme environ 20% de carburant de plus qu'un véhicule essence, en revanche il est vendu deux fois moins cher que l'essence. Les émissions de CO2 d'un véhicule GPL sont inférieures d'environ 18% à celle d'un véhicule essence.[21]

## Fonctionnement d'un véhicule GPL



### LÉGENDE

#### GPL

- 1 Remplissage GPL
- 2 Réservoir GPL  
Sa forme torique lui permet d'être logé à la place de la roue de secours.
- 3 Canalisations GPL
- 4 Injecteurs ou rail d'injecteurs spécifiques aux GPL
- 5 Calculateur GPL  
Il adapte les informations du calculateur essence pour gérer le débit de GPL.
- 6 Vaporiseur-Détendeur  
Pour l'injection gazeuse, il transforme le GPL liquide en GPL gazeux grâce aux calories apportées par la température de l'eau du radiateur. En cas d'injection liquide, le vaporiseur-détendeur n'est pas nécessaire.
- 7 Jauge et Commutateur GPL  
La jauge indique le niveau de GPL restant dans le réservoir et le commutateur permet « de passer » du mode essence au mode GPL.

#### Essence

- 1 Remplissage essence
- 2 Réservoir Essence
- 3 Canalisations essence
- 4 Injecteurs Essence
- 5 Calculateur Essence  
Il reçoit un ensemble d'informations du moteur permettant de gérer l'injection-essence.

Figure 10: Représentation d'un schéma du système bicarburant (GPL-C) [22]

## 1.5. Le moteur GPL-C :

### 1.5.1. Histoire :

Depuis la démocratisation de la voiture au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, la question de l'énergie qui devait lui permettre de rouler a été au centre des préoccupations des constructeurs et des ingénieurs. L'énergie servant à faire fonctionner l'automobile est passée par plusieurs événements qui parfois favorisaient l'énergie fossile et parfois l'énergie électrique. Les guerres, les chocs pétroliers, les crises politiques, etc. ont déterminé de façon durable la supériorité de l'énergie fossile dans l'approvisionnement des réservoirs des voitures. Les temps changent, les technologies évoluent et la nécessité de s'adapter à la nouvelle donne écologique est devenue impérieuse. Il existe plusieurs énergies capables non seulement de

remplacer l'essence, mais aussi polluer moins. Le moteur électrique, le biocarburant, le moteur hybride sont autant de solutions envisagées par les chercheurs pour pallier à la fin du pétrole mais aussi réduire les émissions de polluants à effet de serre. Il existe aussi une énergie dont on ne parle pas beaucoup. C'est le GPL (gaz de pétrole liquéfié). Ce GPL utilisé dans les voitures est un mélange de butane et de propane inventé par l'ingénieur H. STUKMAN aux Etats Unis au milieu du 19ème siècle. C'est en 1979 que le GPL eut l'autorisation de servir de carburant pour les voitures. Un moteur fonctionnant au GPL produit 25% de moins de CO<sub>2</sub> et il ne produit que très peu de NO<sub>x</sub> et aucune particule comme c'est le cas dans un moteur essence ou diesel. Les technologies automobiles ont beaucoup évolué durant le 20ème siècle. D'énormes moyens ont été investis pour faire avancer la recherche d'un nouveau carburant « propre ». Le GPL a lui aussi beaucoup évolué. Le GPL est installé sur une voiture fonctionnant à l'essence. Le véhicule démarre toujours avec le moteur essence, lorsque la température du moteur thermique augmente, c'est le GPL qui prend le relai. La dernière trouvaille dans le domaine de la technologie GPL est l'injection liquide. Contrairement au fonctionnement précédent du GPL comme l'injection séquentielle, l'injection en phase gazeuse ou la technique par aspiration, l'injection liquide permet d'introduire le gaz directement sous sa forme liquide et sous très haute pression dans la pipe d'admission de l'essence. Cette technologie est plus coûteuse que les précédentes mais elle présente des avantages considérables en termes d'écologie, de puissance et de consommation. Le bilan écologique du GPL est plutôt bon. Les émissions de CO restent proches de celles d'un moteur diesel. Pour le reste, le GPL émet moins de CO<sub>2</sub>, de particules, d'oxyde d'azote, de benzène et de formaldéhyde. Le constructeur Renault a mis sur le marché en 1996 la CLIO GPL. Les résultats sont sans équivoque. Cette voiture se révèle aussi propre qu'une voiture électrique. La technologie GPL va sans doute encore progresser lors des prochaines années. Il présente des avantages que nous ne pouvons pas ignorer. Respectueux de la nature et du moteur, offre beaucoup de confort et de souplesse dans la conduite en réduisant les bruits. Il faudra sans doute plus de volonté politique pour permettre à cette technologie de prendre plus d'espace dans la fabrication de voitures GPL. Dans le cas de la France, des avantages fiscaux pourraient inciter les constructeurs mais aussi les acheteurs à se tourner vers le GPL ce qui n'est pas le cas en ce moment.[23]

## **I.6. Définition :**

Ce mélange de gaz butane et propane à parts égales, ayant un indice d'octane élevé, possède des propriétés proches de celles de l'essence. Malgré un pouvoir calorifique supérieur à la même masse d'essence, le moteur alimenté en GPL devient plus gourmand et légèrement moins tonique, sauf s'il s'agit d'une injection GPL en phase liquide. L'agrément de conduite, la souplesse du moteur et l'économie supérieure à l'essence compensent toutefois cette légère perte de puissance maximale (2 à 5%).[24]

## **1.7. Principe de fonctionnement du moteur GPL :**

On retrouve donc le cycle à 4 temps des moteurs à essence, mais ce carburant est remplacé par le GPL-C.

### **1.7.1. Fonctionnement du moteur GPL en phase gazeuse :**

Pour assurer la bicarburant essence GPL, le constructeur ou l'installateur agréé doublera le système d'alimentation en ajoutant des éléments spécifiques :

- Un réservoir GPL avec soupape de sécurité ;
- Un orifice de remplissage spécifique avec clapet ;
- Des canalisations GPL ;
- Des injecteurs ou un rail d'injecteurs spécifiques (une simple venturi aspirée par l'admission était utilisé pour les moteurs à carburateurs) ;
- Un second calculateur électronique GPL récupérant les informations des capteurs déjà en place pour gérer le débit de GPL ;
- Un système vaporisateur détenteur qui transforme le GPL liquide en GPL gazeux grâce aux calories récupérées dans le liquide de refroidissement moteur ;
- Un commutateur de carburant et une jauge GPL.

Dans ce cas, le moteur démarre en utilisant l'essence jusqu'à une certaine température du liquide de refroidissement moteur. Arrivée à cette valeur, l'alimentation bascule automatiquement sur les injecteurs supplémentaires dédiés au gaz GPL. La transition est invisible pour le conducteur. À tout moment, ce dernier peut choisir son carburant selon les indications des 2 jauges des 2 réservoirs respectifs.[24]

### **1.7.2. Fonctionnement du moteur GPL en phase liquide et injection**

#### **indirecte :**

Techniquement, tous les éléments précédents sont repris, sauf bien sûr le vaporisateur détendeur devenu inutile, tandis que les injecteurs, le calculateur dédié et leurs débits sont adaptés au GPL liquide.

À l'instar de l'injection indirecte d'essence, la version GPL possède sa propre pompe intégrée au réservoir de carburant, ainsi qu'un régulateur de pression avec son circuit de retour.

Grâce à l'injection indirecte en phase liquide, on peut donc démarrer directement sur le carburant GPL. Ce système réduit à néant l'écart de performance entre les 2 carburants. Ce système est plus connu sous les initiales LPI pour *liquid propane injection* chez le spécialiste allemand des carburants alternatifs Vialle.[24]

### **1.7.3. Fonctionnement du moteur GPL en phase liquide et injection directe :**

La dernière évolution en date des systèmes de bicarburant essence GPL est adaptée aux récents moteurs à injection directe d'essence. Les plus connus sont le LPDi de Vialle et le Direct Liqui Max chez Prinz qui donnent de meilleurs résultats qu'avec l'essence.

Ici, un sélecteur de carburant, appelé FSU chez Vialle, commandé par un bouton depuis le tableau de bord permet de choisir entre l'essence et le GPL. Dans ce dernier cas, le GPL en phase liquide remplace l'essence à partir du sélecteur FSU. De cette façon, on réutilise la pompe haute pression et les injecteurs directs du moteur d'origine afin de réduire la complexité du système et son coût final.

Bien sûr, avec un tel système on peut également démarrer directement avec du GPL et profiter des avantages de l'injection directe classique en réduction de la consommation en particulier à froid et durant la montée en température du moteur (cas typique en ville).[24]

## **1.8. Le kit d'un moteur GPL :**

### **1.8.1. Réservoir de GPL :**

Les réservoirs GPL sont des réservoirs de carburant spécialement conçus pour stocker du GPL dans les véhicules. Ils sont généralement en acier ou en aluminium et sont conçus pour résister à la pression élevée du GPL. Le GPL est stocké dans le réservoir sous forme liquide à une pression d'environ 7,5 bars à température ambiante.[25]



**Figure 11:** Le réservoir cylindrique [26]



**Figure 12:** Le réservoir Torique [27]

### 1.8.2. Soupape de remplissage :

Pour remplir le réservoir GPL, une coupelle de remplissage intégrée à la carrosserie ou au pare chocs permet de recevoir le pistolet GPL de la station-service et d'effectuer ainsi le ravitaillement en carburant GPL.[28]



**Figure 13:** Emplacement du dispositif de remplissage.[29]

### 1.8.3. Polyvanne :

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

une position de mise en place du réservoir en relation avec l'angle d'inclinaison de la polyvanne.[30]



**Figure 14:** Polyvanne de GPL.[31]

#### 1.8.4. Les injecteurs de GPL :

Le gaz de pétrole liquéfié étant un carburant, on comprend donc ainsi qu'un injecteur GPL est tout simplement la pièce qui est chargée d'accomplir cette tâche d'acheminement du GPL afin que le moteur de la voiture puisse le brûler et l'utiliser.[32]



**Figure 15:** La rampe d'injecteur.[33]

### 1.8.5. L'électrovanne :

Une électrovanne est un dispositif électromécanique utilisé pour contrôler le débit de fluide à travers un système. Le mécanisme repose sur un signal électrique qui commande l'ouverture ou la fermeture de la vanne, permettant ainsi la modulation précise du flux.[34]



Figure 16: électrovanne.[35]

### 1.8.6. Le calculateur :

Le calculateur 1 ordonne au boîtier de distribution l'augmentation de débit de gaz vers les valves d'injection puis le calculateur décide de ce débit en fonction de deux paramètres principaux le régime du moteur et la charge, il compare ces informations à un diagramme caractéristique qui est programmé pour un grand nombre de régimes du moteur et de charges (pressions collecteur). A chaque modification du régime du moteur et/ou de la charge du moteur,

calculateur cherche, dans le diagramme caractéristique, le nombre de pas correspondant à la nouvelle combinaison régime/charge et règle le moteur pas à pas en conséquence, après ce choix lu sur le diagramme et ordonné au moteur pas à pas, la sonde Lambda analyse les gaz brûlés et envoie à son tour un signal au calculateur. Le calculateur donne l'ajout ou le retrait d'un certain nombre de pas au moteur pas à pas afin d'optimiser le fonctionnement du véhicule et cela comme pour une carburation à essence.[36]



Figure 17: Le calculateur.[37]

### 1.8.7. Commutateur :

Le commutateur carré Landi Renzo comprend les fonctions suivantes : •Sélecteur de gaz/essence pour le changement manuel de carburant •Affichage de la quantité de gaz à 5 DEL dans le réservoir •Indicateur de carburant à 2 DEL qui indiquent quel carburant est actuellement utilisé. La commutation entre le gaz et l'essence s'effectue automatiquement. Si la pression du gaz est trop basse (réservoir vide), le système repasse automatiquement à l'essence et émet un signal sonore. Le système détecte automatiquement la pression de gaz la plus élevée (réservoir plein) lors du processus de ravitaillement suivant et repasse automatiquement au

GPL.[36]



Figure 18: Commutateur.[38]

### 1.8.8. Vaporisateur détenteur :

Un vapo détenteur transforme le GPL de son état liquide et l'état gazeux. . Il a deux fonctions principales :

1. **Vaporisation (évaporation)** : Le GPL est stocké dans le réservoir à l'état liquide sous pression. Lorsque le véhicule fonctionne, le GPL liquide est envoyé vers le vapo-détendeur. Ce dernier utilise la chaleur du liquide de refroidissement du moteur (par un circuit de chauffage intégré) pour transformer le GPL de l'état liquide à l'état gazeux.
2. **Détente (réduction de pression)** : En plus de la vaporisation, le vapo-détendeur réduit la pression du GPL gazeux pour l'amener à une pression adaptée à l'injection dans le moteur. Cette étape est cruciale pour assurer une

combustion correcte et sécurisée du gaz.[39]



Figure 19 : vapo détenteur.[40]

### **1.9. Le coût de l'installation du kit GPL en Algérie :**

Le PDG de la Société nationale de commercialisation et de distribution des produits pétroliers (Naftal), Rachid Nadil, a indiqué à la presse en marge d'une cérémonie de réception par sa société de 40 camions fournis par la Société Algerian motors services Mercedes-Benz (SPA AMS-MB), que la promotion du GPL figure parmi les priorités de Naftal qui est en train de procéder à la généralisation de l'installation du kit Sirghaz à travers la mise en place de centres de conversion de véhicules, ajoutant que les prix de ces kits tels qu'appliqués par cette société sont relativement bas comparativement aux autres opérateurs. L'installation du kit Sirghaz coûte 55 000 DA chez Naftal, contre 70 000 DA chez d'autres opérateurs, alors que les taxieurs bénéficient d'une réduction de 50%. [41]

### **1.10. Les avantages et inconvénients du GPL/C :**

#### **1.10.1. Les avantages :**

Les voitures à essence fonctionnant au GPL émettent moins de CO<sub>2</sub> que les moteurs à essence comparables, c'est-à-dire en moyenne 18 % de CO<sub>2</sub> en moins et 10 fois moins de particules par kilomètre et beaucoup moins que le diesel. C'est pourquoi le gouvernement en France considère le GPL comme un carburant « propre » et autorise certaines incitations fiscales pour les véhicules qui peuvent fonctionner avec ce carburant tout comme pour les voitures électriques. Parmi ces aides, on compte par exemple l'exonération totale ou partielle de la taxe d'immatriculation. En outre, comme il n'y a pas de résidus de la combustion du GPL (pas de pollution au gaz comme la voiture électrique, pas de suie), il a une longue durée de vie technique et permet même à la voiture de rouler plus tout en réduisant l'intervalle entre les vidanges d'huile en usage quotidien et les visites aux stations. [42]

#### **1.10.2. Les inconvénients :**

Si les avantages des moteurs à double carburateur avec essence et GPL sont nombreux, il existe également un certain nombre d'inconvénients. Tout d'abord, la conversion d'une voiture au GPL nécessite des ajustements techniques au niveau du moteur, ce qui peut s'avérer assez coûteux ; le GPL est rempli de manière moins optimale dans les cylindres que l'essence, de sorte que les utilisateurs subissent une légère perte de la puissance maximale du moteur. Cette perte est à peine perceptible sur les modèles à haute performance, mais peut être plus importante sur les véhicules modernes à essence moins performants. Il convient également de rappeler que rouler en GPL, dans une Dacia par exemple, on peut s'attendre à une consommation de carburant est en moyenne 20 % plus élevée avec le GPL. Par exemple,

dans un véhicule utilisant de l'essence sans plomb à 95 % à environ 5 litres/100 km, la consommation passe à environ 6 litres/100 km.

Le stockage du carburant à haute pression nécessite l'utilisation de pompes et de buses spéciales. Par exemple, il n'est évidemment pas possible de remplir les réservoirs de GPL. En outre, un adaptateur est souvent nécessaire pour alimenter le GPL à l'extérieur. Enfin, certains installateurs professionnels choisissent de réduire le volume en installant un réservoir de GPL supplémentaire dans le compartiment à bagages du véhicule. Dans ce cas, cependant, l'autonomie peut être considérablement augmentée si le réservoir d'essence d'origine reste en place. Nombre de ces inconvénients peuvent donc être évités en optant pour un nouveau véhicule à essence, au GPL ou à bicarburant, mais le choix est très limité et le prix un peu plus élevé.[42]

**Conclusion :**

La bicarburation dans un véhicule présente de nombreux avantages, aussi bien pour le véhicule lui-même que pour le conducteur et l'environnement. En effet, ce système permet une plus grande autonomie grâce à l'ajout des réservoirs de gaz. De plus, un véhicule fonctionnant au GPL, par exemple, se revend généralement à un prix supérieur à celui d'un véhicule essence. Il est également moins polluant que les véhicules à carburant unique. Tous ces éléments nous invitent à repenser notre rapport au confort de conduite.

# **Chapitre II : Calcul thermique d'un moteur à essence**

## 2.2. Paramètre du moteur : (Fiat Tipo 1.6 110)

Type de carburant : essence

$M_e = 152 \text{ Nm}$  ;  $V_{\max} = 192 \text{ km/h}$  ;  $D = 77 \text{ mm}$  ;  $S = 85.8 \text{ mm}$  ;  $\xi = 11$

$n = 5500 \text{ tr/min}$  ;  $N_e = 81 \text{ kW}$  ; Nombre de cylindres = 4

## 2.3. Paramètres thermodynamiques :

Les paramètres thermodynamiques d'un moteur sont des variables physiques et techniques qui décrivent les conditions de fonctionnement du moteur à différents stades du cycle de 0. et les émissions du moteur

### 2.3.1. La quantité stœchiométrique a la combustion de 1kg de combustible :

La combustion est une réaction chimique exothermique où un combustible (souvent organique et contenant du carbone) réagit avec un oxydant (généralement l'oxygène de l'air), produisant de l'énergie sous forme de chaleur et de lumière, ainsi que des produits tels que le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} C + 8H - O \right)$$

Avec :  $C = 0.855$  ;  $H = 0.145$  ;  $O = (\text{négligeable})$

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} \times 0.855 + 8 \times 0.145 \right) = 14.956 \text{ kg d'air / kg combustible}$$

**Calcul la quantité de comburant en kmol/kg carburant**

On a masse molaire de l'air :  $\mu_{\text{air}} = 29 \text{ g / mol}$

$$L_0 = l_0 / \mu_{\text{air}} = \left( \frac{14.956}{29} \right) = 0.515 \text{ kmol / kg combustible}$$

### 2.3.2. Les paramètres du gaz et du combustible :

- **Le pouvoir calorifique du combustible :**

Le pouvoir calorifique du combustible est la quantité d'énergie thermique libérée lors de la combustion complète d'une unité de masse ou de volume d'un combustible. Il mesure la capacité du combustible à produire de la chaleur.

$$Q_H = 33.91C + 125.6H - 10.89(O - S) - 2.51(9H + W)$$

La composition chimique du carburant (essence) :

**Carbone**  $C \approx 85\%$ . **Hydrogène**  $H \approx 14\%$ . **Oxygène**  $O \approx 0\%$ . **Soufre**  $S \approx 0.1\%$ . **Eau**  $W \approx 0.5\%$

$$Q_H = 33.91(0.85) + 125.6(0.14) - 10.89(0 - 0.001) - 2.51(9 \times 0.14 + 0.005)$$

$$Q_H = 43.2544 \text{ MJ / Kg} = 43254.4 \text{ KJ / Kg}$$

- **La quantité réelle a la charge fraîche :**

La charge fraîche se réfère généralement à la quantité de combustible, de carburant ou de matière première qui est ajoutée dans un système (comme une chaudière, un moteur, un four, etc.) pour être transformée ou utilisée dans un processus de production d'énergie, de chaleur, ou de toute autre application industrielle.

Il est calculé par l'équation suivante :

$$M_1 = \alpha \times L_0 + \left(\frac{1}{\mu_t}\right)$$

L'excès d'air est caractérisé par un coefficient  $\alpha$  qui est le rapport entre la quantité d'air disponible et la quantité théoriquement nécessaire pour la combustion.

On a dans le moteur essence  $0.75 \leq \alpha \leq 1.25$

Supposons ( $\alpha = 0.9$ )

On a :  $M_1 = \alpha \times L_0 + \left(\frac{1}{\mu_t}\right)$  ;  $110 \leq \mu_t \leq 120\text{kg}$  ; prenons ( $\mu_t = 115 \text{ kg}$ )

$\mu_t$  : le poids moléculaire de la vapeur du carburant

$$M_1 = (0.9 \times 0.515) + \left(\frac{1}{115}\right) = 0.472 \text{ kmol}$$

On remarque que la quantité  $M$  est inférieure, car un excès d'air est utilisé afin d'assurer une combustion complète.

- **La quantité total des produits du combustible  $M_2$  :**

Il s'agit d'un nombre total de mole des gaz produits après la combustion complète du carburant dans le moteur.

Dans un moteur à essence, le carburant (essence) réagit avec l'oxygène de l'air pour produire principalement : du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), l'azote ( $\text{N}_2$ ) (provenant de l'air utilisé pour la combustion).

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12} - 2 \times \frac{1-\alpha}{1+K} \times 0.21 \times L_0$$

$$= \frac{0.855}{12} - 2 \times \frac{1-0.9}{1+0.5} \times 0.21 \times 0.515 = 0.0568 \text{ Kmol CO}_2 / \text{kg essence}$$

$$M_{\text{CO}} = 2 \times \frac{1-\alpha}{1+K} \times 0.21 \times L_0$$

$$= 2 \times \frac{1-0.9}{1+0.5} \times 0.21 \times 0.515 = 0.0144 \text{ Kmol CO} / \text{kg essence}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2} - 2 \times K \times \frac{1-\alpha}{1+K} \times 0.21 \times L_0$$

$$= \frac{0.145}{2} - 2 \times 0.5 \times \frac{1-0.9}{1+0.5} \times 0.21 \times 0.515 = 0.0652 \text{ Kmol H}_2\text{O} / \text{kg essence}$$

$$M_{\text{H}_2} = 2 \times K \times \frac{1-\alpha}{1+K} \times 0.21 \times L_0$$

$$= 2 \times 0.5 \times \frac{1-0.9}{1+0.5} \times 0.21 \times 0.515 = 0.00721 \text{ Kmol H}_2 / \text{kg essence}$$

$$M_{\text{N}_2} = 0.79 \times \alpha \times L_0$$

$$= 0.79 \times 0.9 \times 0.515 = 0.366 \text{ Kmol N}_2 / \text{kg essence}$$

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{CO}} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{H}_2} + M_{\text{N}_2}$$

$$= 0.0568 + 0.0144 + 0.0652 + 0.00721 + 0.366$$

$$= 0.509 \text{ Kmol de produit de combustion} / \text{kg essence}$$

Il est clair que la quantité augmentera, car la prise en compte de la quantité de carburant injecté influe sur le calcul.

- **Le coefficient du changement moléculaire chimique :**

Est définie comme le rapport entre le nombre total des produits issue de la combustion et le nombre total des substances initialement présentes dans le cylindre du moteur.

$$\beta_0 = \left( \frac{M_2}{M_1} \right) = \frac{0.509}{0.472} = 1.078$$

- **La pression et la température des gaz résiduels :**

Les températures  $T_0$ ,  $T_r$  et les pressions  $P_0$ ,  $P_r$  peuvent être calculer précisément via des équations thermodynamiques, les résultats théoriques s'éloignent souvent des valeur réelles observées expérimentalement.

$T_r$  : la plage possible de températures résiduelle des gaz

$P_r$  : pression résiduelle des gaz

Dans un moteur à essence les températures :

$$900^{\circ}\text{K} \leq T_r \leq 1100^{\circ}\text{K} \quad T_r = 1050^{\circ}\text{K} \quad \text{et} \quad T_0 = 288^{\circ}\text{K}$$

Pour nos deux pressions on a :  $P_0 = 0.1 \text{ Mpa}$

$$D'où : P_r = P_0 \times (1.05 \dots 1.25) = 0.1 \times 1.20 = 0.12 \text{ Mpa}$$

- **Processus d'admission d'un moteur à essence :**

Le choix de la différence de température  $\Delta T$  dépend de la conception et l'installation

De la conduite d'admission du moteur.

$$\text{On a :} \quad 5^{\circ} \leq \Delta T \leq 25^{\circ} \quad \text{prenons : } \Delta T = 15^{\circ}$$

- **Calcul de la masse volumique de l'air :**

La masse volumique de l'air caractérise la masse d'air qui est contenue dans un mètre cube. Elle se mesure en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg/m}^3$ )

$$\text{On a :} \quad \rho_0 = \frac{P_0 \times \mu_{air}}{R \times T_0} = \frac{28.97 \times 0.1 \times 10^6}{8314 \times 288} = 1.209 \text{ kg/m}^3$$

- **Calcul des pertes de charge à l'admission :**

Les pertes de charge dans un fluide (liquide ou gaz) en mouvement proviennent essentiellement de la transformation irréversible de l'énergie mécanique en chaleur en raison des frottements internes au fluide et de la résistance au passage du fluide à travers un conduit ou une surface.

$$\text{On a :} \quad \Delta P_a = (\beta^2 + \xi_a) \times \left( \frac{W_a^2}{2} \right) \times (\rho_0 \times 10^{-6})$$

$$\text{Dans le moteur à essence on a :} \quad 50 \text{ m/s} \leq W_a \leq 130 \text{ m/s} \quad \text{et :} \quad 2.5 \leq \beta^2 + \xi_a \leq 4$$

$W_a$  : vitesse de charge moyenne.

$\beta$  : coefficient d'amortissement de la vitesse.

$\xi_a$  : coefficient de résistance.

$$\text{Prenons :} \quad W_a = 110 \text{ m/s} \quad \beta^2 + \xi_a = 2.8$$

$$\Delta P_a = 2.8 \times 1.209 \times (110^2 / 2) = 20480.46 \text{ pa} = 0.02 \text{ Mpa}$$

Ces pertes de charge à l'entrée tubulaire résultent des frottements intermoléculaires de l'air lors de l'admission.

- **Calcul de la pression à la fin de l'admission :**

La pression à la fin de l'entrée  $P_a$  est le facteur principal qui détermine la quantité de fluide de travail entrant dans le cylindre du moteur. Celle-ci dépend de la pression d'entrée (avant le conduit d'admission),  $p_0$ , ainsi que des pertes de charge générées par les résistances dans le système d'admission  $\Delta p_a$ .

$$\begin{aligned} \text{On a : } P_a &= P_0 - \Delta p_a \\ &= 0.1 - 0.02 = 0.08 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

La pression à la fin d'admission est inférieure à la pression atmosphérique, cette chute de pression est due aux pertes de charge durant l'admission.

- **Calcul du coefficient des gaz résiduels :**

La quantité de gaz résiduels est habituellement évaluée en utilisant le coefficient  $\gamma_r$  des gaz résiduels, qui représente le rapport entre la masse des gaz résiduels  $M_r$  et la masse de la charge fraîche.

$$\begin{aligned} \text{On a : } \gamma_r &= \left( \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \right) \times \left( \frac{P_r}{\xi \cdot P_a - P_r} \right) \\ &= \left( \frac{288+15}{1050} \right) \times \left( \frac{0.12}{11 \times 0.08 - 0.12} \right) \\ \gamma_r &= 0.045 \end{aligned}$$

- **Calcul de la température à la fin de l'admission :**

La température à la fin de l'admission est calculée avec une précision adéquate en utilisant l'équation d'équilibre thermique entre les gaz résiduels et la charge fraîche, en tenant compte de l'augmentation de température de cette dernière.

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{(T_0 + \Delta T + (\gamma_r \times T_r))}{(1 + \gamma_r)} \\ &= \frac{(288+15+(0.045 \times 1050))}{(1+0.045)} = 335.16 \text{ K} \end{aligned}$$

Le volume de l'é cylindre a été préalablement chauffé en raison des frottements intermoléculaires, il est donc logique que la température augmente légèrement.

- **Calcul du taux de remplissage :**

Le taux de remplissage des bouteilles avec une charge fraîche est un indicateur important caractérisant la qualité du processus d'admission. Le type d'équation utilisée pour son calcul dépend du nombre de facteurs considérés, des formules thermodynamiques appliquées et des dépendances empiriques intégrées.

$$\Pi_v = \left(\frac{1}{\xi-1}\right) \times \left(\frac{T_0}{(T_0 + \Delta T)}\right) \times \left(\frac{1}{P_0}\right) \times (\xi P_a - P_r)$$

Avec  $\xi$  : le taux de compression

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{1}{11-1}\right) \times \left(\frac{288}{288+15}\right) \times \left(\frac{1}{0.1}\right) \times (11 \times 0.08 - 0.12) \\ &= 0.7223 \end{aligned}$$

- **Etude processus de compression :**

Le but du processus de compression est d'élever la pression et la température du fluide de travail afin de garantir un allumage fiable et une combustion optimale du mélange combustible.

$$P_c = P_a \times \xi^{n_1}$$

$$T_c = T_a \times \xi^{n_1 - 1}$$

Pour un moteur essence :  $1.34 \leq n_1 \leq 1.37$

Prenons :  $n_1 = 1.37$

Donc :  $P_c = 0.08 \times 11^{1.37} = 2.13 \text{ Mpa}$

$$T_c = 335.16 \times 11^{1.37-1} = 813.89 \text{ K}$$

Le phénomène de la compression engendre des frottements qui varient avec la variation de la pression.

- **La capacité calorifique moyenne de l'aire à la fin de la compression :**

$$\mu_{c_v} = 20.6 + 0.002638 \times (T_c - 273)$$

$$= 20.6 + 0.002638 \times (813.89 - 273) = 22.02 \text{ kJ / kmol. K}$$

- **La quantité molaire des gaz résiduels :**

$$\begin{aligned} \text{On a : } \quad M_r &= \alpha \times L_0 \times \gamma_r \\ &= 0.9 \times 0.515 \times 0.045 = 0.0208 \text{ kmol} \end{aligned}$$

Elle respecte la quantité des gaz restant dans le cylindre après l'échappement.

- **La quantité molaire des gaz à la fin de la compression :**

$$\begin{aligned} M_c &= M_1 + M_r \\ &= 0.472 + 0.0208 \end{aligned}$$

$$M_c = 0.4928 \text{ kmol}$$

### 2.3.3. Le processus de la combustion :

- **La capacité calorifique moyenne des gaz résiduels à la fin de la combustion :**

$$\begin{aligned} \mu_{cvz} &= (18.4 + 2.6\alpha) + (15.5\alpha + 13.8\alpha) \times 10^{-4} \times T_z \\ &= 20.74 + 26.37 \times 10^{-4} \times T_z \end{aligned}$$

- **La quantité molaire des gaz à la fin de la combustion :**

$$\begin{aligned} \text{On a : } \quad M_z &= M_2 + M_r \\ &= 0.509 + 0.0208 \end{aligned}$$

$$M_z = 0.5298 \text{ kmol}$$

Il est clair que la quantité va augmenter, car il est nécessaire de prendre en compte la quantité de combustible injecté.

- **Calcul du coefficient du changement molaire après la combustion :**

C'est la relation entre la quantité molaire à la fin de la combustion et de la compression

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{M_z}{M_c} \\ &= \frac{0.5298}{0.4928} = 1.075 \end{aligned}$$

- **La quantité de chaleur perdu du aux imbrulés :**

$$\Delta Q_H = 119 \times 950 \times (1-\alpha) \times L_0$$

$$= 113050 \times (1-0.9) \times 0.515 = 5822.075 \text{ kJ / kg}$$

- **Le pouvoir calorifique de la charge fraiche :**

$$H_{C.F} = \frac{QH - \Delta QH}{M1 (1+\gamma r)} = \frac{43254.4 - 5822.075}{0.472 (1+0.045)}$$

$$= 75890.69 \text{ kJ / kmol}$$

- **La température à la fin de la combustion :**

$$\beta \times \mu_{cvz} \times T_z = \mu_{cv} \times T_c + \frac{q \times (QH - \Delta QH)}{\alpha - L0 (1+\gamma r)}$$

$$1.075 \times (20.74 + 26.37 \times 10^{-4} \times T_z) \times T_z = 22.02 \times 813.89 + \frac{0.88 (43254.4 - 5822.075)}{0.9 - 0.515 \times (1+0.045)}$$

$$22.29.T_z + 2.83 \times 10^{-3}.T_z^2 - 108961.57 = 0$$

$$T_z = 3411.08 \text{ °K}$$

- **Calcul de la pression à la fin de la combustion :**

$$P_z = P_c \times \beta_0 \times \frac{T_z}{T_c}$$

$$= 2.13 \times 1.078 \times \frac{3411.08}{813.89}$$

$$= 9.62 \text{ Mpa}$$

- **Calcul de la pression réelle à la fin de la combustion :**

$$P_{zr} = 0.85 \times P_z$$

$$= 0.85 \times 9.62 = 8.177 \text{ Mpa}$$

- **Calcul du taux de croissance de pression :**

$$\lambda = \left( \frac{P_z}{P_c} \right)$$

$$= \left( \frac{9.62}{2.13} \right) = 4.51$$

### 2.3.4. Etude de la détente :

- **Calcul de la pression et la température à la fin de la détente :**

$$P_b = \left( \frac{P_z}{\xi^{n2}} \right)$$

$$T_b = \left( \frac{T_z}{\xi^{n_2-1}} \right)$$

Dans un moteur essence on a :  $1.23 \leq n_2 \leq 1.3$

Prenons :  $n_2 = 1.25$

Donc :  $P_b = \left( \frac{9.62}{11^{1.25}} \right) = 0.48 \text{ Mpa}$

$$T_b = \frac{3411.08}{11^{0.25}} = 1873.02 \text{ } ^\circ K$$

- **La vérification de la température des gaz résiduels prise auparavant :**

On a :

$$T_r' = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}}$$

$$= \frac{1873.02}{\sqrt[3]{\frac{0.48}{0.12}}} = 1179.92 \text{ } ^\circ K$$

### 2.3.5. Paramètres de performances du moteur :

#### 2.3.5.1. Les paramètres indiqués du cycle :

- **Calcul de la pression moyenne théorique indiqué du cycle :**

$$P_i' = \left( \frac{P_c}{\xi-1} \right) \times \left[ \left( \frac{\lambda}{n_2-1} \right) \times \left( 1 - \frac{1}{\xi^{n_2-1}} \right) - \left( \frac{1}{n_1-1} \right) \times \left( 1 - \frac{1}{\xi^{n_1-1}} \right) \right]$$

$$= \left( \frac{2.13}{11-1} \right) \times \left[ \left( \frac{4.51}{1.25-1} \right) \times \left( 1 - \frac{1}{11^{0.25}} \right) - \left( \frac{1}{1.37-1} \right) \times \left( 1 - \frac{1}{11^{0.37}} \right) \right]$$

$$= 1.39 \text{ Mpa}$$

- **Calcul de la pression moyenne indiqué :**

Dans un moteur essence :  $0.94 \leq \upsilon \leq 0.97$

Avec  $\upsilon$  est : le taux de complétude

Prenons :  $\upsilon = 0.95$

On a :  $P_i = \upsilon \times P_i'$

$$= 0.95 \times 1.39 = 1.32 \text{ Mpa}$$

- Calcul du rendement indiqué du cycle :

$$\eta_i = \frac{P_i \times \alpha \times L_0 \times \mu_{air}}{Q_H \times \rho_0 \times \eta_v}$$

$$= \frac{1.32 \times 0.9 \times 0.515 \times 28.97}{43.2544 \times 1.2 \times 0.7223} = 0.47$$

- Calcul de la consommation spécifique indiquée du combustible :

$$g_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i}$$

$$= \frac{3600}{43.2544 \times 0.47} = 177.08 \text{ g/kwh}$$

### 2.3.5.2. Les paramètres effectifs :

- Calcul de la pression moyenne des pertes mécaniques :

$$P_m = a + b \times W_{mp}$$

Dans moteur essence on a :  $12 \leq W_{mp} \leq 20 \text{ m/s}$

Avec  $W_{mp}$  est : vitesse de charge moyenne

Prenons :  $W_{mp} = 12 \text{ m/s}$

$$P_m = 0.034 + 0.0113 \times 12 = 0.17 \text{ Mpa}$$

- Calcul de la pression moyenne effective :

$$P_e = P_i - P_m$$

$$= 1.32 - 0.17 = 1.15 \text{ Mpa}$$

- Calcul du rendement mécanique :

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

$$= \frac{1.15}{1.32} = 0.87$$

- Calcul du rendement effectif :

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m$$

$$= 0.47 \times 0.87 = 0.408$$

- Calcul de la consommation spécifique du combustible :

$$g_e = \frac{3600}{\eta_e \times Q_H}$$

$$= \frac{3600}{0.408 \times 43.2544} = 204 \text{ g/kwh}$$

### 2.3.6. Calcul des dimensions principales du moteur :

- La cylindrée unitaire :

$$V_{\text{total}} = \frac{30 \times \tau \times N_e}{P_e \times n} = \frac{30 \times 4 \times 81}{1.15 \times 5500} = 1.53 \text{ l}$$

$$V_h = \frac{V_t}{4} = 0.38 \text{ l}$$

- Calcul du diamètre du piston :

$$R = \frac{S}{D} = 1.114 \quad S = R \cdot D$$

$$\text{Donc :} \quad S \times \pi \times D^2 = 4 \times V_h \quad R \times \pi \times D^3 = 4 \times V_h$$

$$D = 3 \sqrt{\frac{4V_h}{R \times \pi}} \quad D = 75.74 \text{ mm} = 76 \text{ mm}$$

- Calcul la course de piston :

$$S = D \times \frac{S}{D} = 76 \times 1.114 = 84.66 \text{ mm} = 85 \text{ mm}$$

- La cylindrée totale :

$$V_t = \frac{\pi \times D^2 \times S \times i}{4 \times 10^6} = \frac{3.14 \times 76 \times 76 \times 85 \times 4}{4000000}$$

$$= 1.54 \text{ l}$$

- Calcul de la puissance effective du moteur :

$$N'_e = \frac{V_t \times P_e \times n}{30 \times 4} = \frac{1.54 \times 1.15 \times 5500}{30 \times 4}$$

$$= 81.17 \text{ kw}$$

- Calcul de la vitesse moyenne du piston :

$$\text{On a :} \quad w'_{mp} = \left( \frac{S \times n}{3 \times 10000} \right) = 15 \text{ m/s}$$

- Calcul du couple moteur a puissance maximale :

$$M_e = \frac{9550 \times N_{max}}{n} = \frac{9550 \times 81.17}{5500} = 141 \text{ Nm}$$

Calcul de la consommation horaire du combustible :

$$\begin{aligned} G_T &= N_e \times g_e \\ &= 81.17 \times 0.204 \\ &= 16.55 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

- Tableau récapitulatif de l'essence :

Les paramètres principaux du moteur	Les paramètres calculés	Fiche technique
Couple moteur	141 Nm	152 Nm
La vitesse de rotation	5500 tr/min	5500 tr/min
La cylindrée unitaire	0.38 l	0.4 l
La vitesse moyenne du piston	15 m/s	12 m/s
Les consommation spécifique des combustibles	204 g / kwh	250-300 g/kwh
Diamètre du piston	76 mm	77 mm
La consommation horaire	16.55 kg/h	21 kg/h
La course de piston	85 mm	85.8 mm

Tableau 1:Récapitulatif de l'essence

#### 2.4. Bilan thermique du moteur à essence :

$$Q_0 = Q_e + Q_{ref} + Q_m + Q_{CI} + Q_{rest}$$

- Calcul de la quantité total dégagé par le combustible dans le moteur :

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{Q_H \times GT}{3.6} \\ &= \frac{43254.4 \times 16.55}{3.6} = 198850.08 \text{ J/s} \end{aligned}$$

- La quantité de chaleur cédée au système de refroidissement :

$$Q_{ref} = C \times i \times D^{1+2M} \times n^M \times \left( \frac{Q_H - \Delta Q_H}{\alpha \times Q_H} \right)$$

Avec C : Facteur proportionnel adopté pour les moteurs à quatre temps

M : exposant pour un moteur a quatre temps

On a  $0.45 \leq C \leq 0.53$

Prenons :  $C = 0.5$

Et :  $0.6 \leq M \leq 0.7$

Prenons :  $M = 0.6$

$$Q_{ref} = 0.45 \times 4 \times 7.6^{1+2 \times 0.6} \times 5500^{0.6} \times \frac{43254.4 - 5822.075}{0.9 \times 43254.4}$$

$$= 26318.06 \text{ J/s}$$

• **Calcul de la quantité de chaleur emporté par les gaz d'échappement :**

On a :  $Q_g = \frac{GT}{3.6} \times [M_2 \times [\mu c_{p_2}]_0^{Tr} \times T_r - M_1 \times [\mu c_{p_1}]_0^{t_0} \times T_0]$

On a aussi :  $T_r = 1050 \text{ °K}$        $T_0 = 288 \text{ °K}$

D'après le tableau de la capacité calorifique moyenne des produits de combustion de l'essence on trouve :

$\mu c_{p_1}$  (air frais) = 29.67 kJ/kmol.K

$\mu c_{p_2}$  (gaz brûlés) = 31.68 kJ/kmol.

Donc :

$$Q_g = \frac{16.55}{3.6} \times [0.509 \times 31.68 \times (1050-273) - 0.472 \times 29.67 \times (288-273)]$$

$Q_g = 56633.89 \text{ J/s}$

• **Calcul de la quantité de chaleur restante :**

$Q_{rest} = Q_0 - (Q_e + Q_{ref} + Q_g + Q_{Cl})$

•  $Q_{Cl} = \frac{\Delta QH \times GT}{3.6} = \frac{5822.075 \times 16.55}{3.6}$   
 $= 26765.37 \text{ J/s}$

•  $Q_e = 1000 \times N_e$   
 $= 1000 \times 81.17 = 81170 \text{ J/s}$

Donc :  $Q_{rest} = 198850.08 - (81170 + 26318.06 + 56633.89 + 26765.37)$

$$= 7962.76 \text{ J/s}$$

### 2.5. Bilan thermique en pourcentage :

$$q_e = \frac{Q_e \times 100}{Q_0} = 40.81\% \quad q_{ref} = \frac{Q_{ref} \times 100}{Q_0} = 13.23\%$$

$$q_{gaz} = \frac{Q_g \times 100}{Q_0} = 28.48\% \quad q_{rest} = \frac{Q_{rest} \times 100}{Q_0} = 4\%$$

$$q_{CI} = \frac{Q_{CI} \times 100}{Q_0} = 13.46\%$$

La composition du bilan thermique	Q[J/s]	q[%]
La quantité de chaleur équivalente au travail effectif	81170	40.81%
La quantité de chaleur cédée au système de refroidissement	26318.06	13.23%
La quantité de chaleur emporté par les gaz d'échappement	56633.89	28.48%
La quantité de chaleur restante	7962.76	4%
La quantité de chaleur non dégagé au niveau de la chambre de combustion	26765.37	13.46
La quantité de chaleur total dégagé par le combustible	282234.96	100%

Tableau 2: Bilan thermique du moteur à essence

**2.6. Conclusion :**

L'analyse du moteur à essence nous a permis de cerner les différents paramètres intervenant dans l'élaboration d'un bilan thermique rigoureux, garant de la performance et du bon fonctionnement de la machine.

**Chapitre III: Calcul  
thermique d'un  
moteur à gaz (GPL-  
C)**

**3.1. Introduction :**

"Le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) peut être utilisé grâce à une adaptation du moteur à essence, qui devient alors un moteur à bicarburant, capable de fonctionner aussi bien à l'essence qu'au gaz. En plus de son coût réduit, le GPL présente l'avantage d'être plus respectueux de l'environnement, avec un niveau de pollution nettement inférieur."

**3.2. Paramètres thermodynamiques :**

Type de carburant : GPL

$M_e = 152 \text{ Nm}$  ;  $V_{\max} = 192 \text{ km/h}$  ;  $D = 77 \text{ mm}$  ;  $S = 85.8 \text{ mm}$  ;  $\xi = 11$  ;

$n = 5500 \text{ tr/min}$  ;  $N_e = 81 \text{ Kw}$  Nombre de cylindres = 4

**3.3. Les paramètres du gaz et du combustible :**

$$Q_H = 33.91C + 125.6H - 10.89(O - S) - 2.51(9H + W)$$

Le GPL contient 60% de  $C_3H_8$  (propane) et 40 % de  $C_4H_{10}$  (butane) :

Propane :  $M = 3 \times 12 + 8 = 44 \text{ g/mol}$

$$C = \frac{3 \times 12}{44} = 0.818$$

$$H = \frac{8}{44} = 0.182$$

Butane :  $M = 4 \times 12 + 10 = 58 \text{ g/mol}$

$$C = \frac{4 \times 12}{58} = 0.828$$

$$H = \frac{10}{58} = 0.172$$

$$C_{\text{GPL}} = 0.6 \times 0.818 + 0.4 \times 0.828 = 0.822$$

$$H_{\text{GPL}} = 0.6 \times 0.182 + 0.4 \times 0.172 = 0.178$$

Donc :

$$Q_H = 33.91 \times 0.822 + 125.6 \times 0.178 - 2.51(9 \times 0.178)$$

$$= 46.21 \text{ MJ / kg} = 46210 \text{ KJ / kg}$$

### 3.4. Paramètre de l'air du gaz d'échappement :

$$\begin{aligned} \text{On a : } L_0 &= \frac{1}{0.208} \sum \left[ \left( n + \frac{m}{4} + \frac{r}{2} \right) \times C_n H_m O_r \right] \\ &= 27.644 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ comb} \end{aligned}$$

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} C + 8H - O \right)$$

$$l_{0 \text{ propane}} = 15.81 \text{ kg air / kg}$$

$$L_{0 \text{ propane}} = 0.545 \text{ kmol air / kg}$$

$$l_{0 \text{ butane}} = 15.58 \text{ kg air / kg}$$

$$L_{0 \text{ butane}} = 0.537 \text{ kmol air / kg}$$

$$L_0 = 0.545 \times 0.6 + 0.537 \times 0.4 = 0.542 \text{ kmol air / kg}$$

- **La quantité réelle a la charge fraiche :**

$$M_1 = \alpha L_0 + 1$$

$$\text{Avec : } 0.85 \leq \alpha \leq 1.30$$

$$\text{Prenons : } \alpha = 0.98$$

$$M_1 = 28.091 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ comb}$$

- **La quantité totale des produits du combustible  $M_2$  :**

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2}$$

$$M_{CO_2} = \sum n C_n H_m O_r = (3+4) \times 0.5 = 3.5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ carb}$$

$$M_{H_2O} = \sum \frac{m}{2} C_n H_m O_r = \left( \frac{8}{2} + \frac{10}{2} \right) \times 0.5 = 4.5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ carb}$$

$$M_{N_2} = 0.792 \times \alpha \times L_0 = 0.792 \times 0.98 \times 27.644 = 21.456 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ carb}$$

$$M_2 = 3.5 + 4.5 + 21.456 = 29.456 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ carb}$$

$$\Delta M = M_2 - M_1$$

$$= 29.456 - 28.091 = 1.365$$

- **Le coefficient du changement moléculaire chimique :**

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1}$$

$$= \frac{29.456}{28.091} = 1.049$$

### 3.5. Paramètres de l'air ambiant des gaz résiduels :

- La pression et la température des gaz résiduels :

$$750^{\circ}\text{K} \leq T_r \leq 850^{\circ}\text{K} \quad \text{prenons : } T_r = 790^{\circ}\text{K} \quad \text{et} \quad T_0 = 298^{\circ}\text{K}$$

$$P_0 = 0.1 \text{ Mpa}$$

$$P_r = (1.05 : 1.25) \times P_0 = 1.2 \times 0.1 = 0.12 \text{ Mpa}$$

- Le processus d'admission d'un moteur GPL :

$$\text{On a :} \quad 0^{\circ} \leq \Delta T \leq 20^{\circ}$$

$$\text{Prenons :} \quad \Delta T = 15$$

- Calcul de la masse volumique de l'air :

$$\begin{aligned} \text{On a :} \quad \rho_0 &= \frac{P_0 \times \mu_{\text{air}} \times 10^6}{R_e \times T_0} = \frac{0.1 \times 28.97 \times 10^6}{8314 \times 298} \\ &= 1.1692 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Calcul des pertes de charge à l'admission :

$$\text{On a :} \quad \Delta P_a = 0.5 \times (\beta^2 + \xi_a) \times \rho_0 \times \vartheta^2 \times 10^{-6}$$

$$\text{Dans le moteur GPL :} \quad 50 \text{ m/s} \leq \vartheta \leq 130 \text{ m/s}$$

$$2.5 \leq \beta^2 + \xi_a \leq 4$$

$$\text{Prenons :} \quad \beta^2 + \xi_a = 2.8 \quad \text{et} \quad \vartheta = 110 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_a &= 0.5 \times 2.8 \times 1.1692 \times (110)^2 \times 10^{-6} \\ &= 0.0198 \text{ Mpa} = 0.02 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Calcul de la pression à la fin de l'admission :

$$\begin{aligned} \text{On a :} \quad P_a &= P_0 - \Delta P_a \\ &= 0.1 - 0.02 = 0.08 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Calcul du coefficient des gaz résiduels :

$$\text{On a :} \quad \gamma_r = \left( \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \right) \times \left( \frac{P_r}{\xi P_a - P_r} \right)$$

$$= \frac{298+15}{790} \times \frac{0.12}{11 \times 0.08 - 0.12}$$

$$= 0.062$$

- **Calcul de la température à la fin de l'admission :**

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + (\gamma_r \times T_r)}{(1 + \gamma_r)}$$

$$= \frac{(298+15 + (0.062 \times 790))}{1.062} = 340.84 \text{ °K}$$

- **Calcul du taux de remplissage :**

$$\eta_v = \left(\frac{1}{\xi - 1}\right) \times \left(\frac{T_0}{T_0 + \Delta T}\right) \times \left(\frac{1}{P_0}\right) \times (\xi P_a - P_r)$$

$$= \frac{1}{11 - 1} \times \frac{298}{298 + 15} \times \frac{1}{0.1} \times (11 \times 0.08 - 0.12)$$

$$= 0.723$$

### 3.6. Etude processus de compression :

- **Calcul de pression et la température à la fin de la compression :**

$$P_c = P_a \times \xi^{n_1}$$

$$T_c = T_a \times \xi^{n_1 - 1}$$

Dans moteur GPL :

$$n_1 = K_1 - (0 \dots\dots\dots 0.02) \qquad n_1 = K_1 - 0.01$$

$$K_1 = 1.4359 - 0.132 \times 10^{-3} \times T_a - 0.1643 \times 10^{-2} \times \xi$$

$$= 1.4359 - 0.132 \times 10^{-3} \times 340.84 - 0.1643 \times 10^{-2} \times 11$$

$$= 1.372$$

$$n_1 = 1.36$$

Donc :  $P_c = 0.08 \times 11^{1.36} = 2.08 \text{ Mpa}$

$$T_c = 340.84 \times 11^{1.36 - 1} = 808.075 \text{ °K}$$

- **La capacité calorifique moyenne de l'air à la fin de la compression :**

$$\begin{aligned}\mu_{vc} &= 20.6 + 2.638 \times 10^{-3} \times T_c \\ &= 20.6 + 2.638 \times 10^{-3} \times 808.075 = 22.73 \text{ kJ / kmol. } ^\circ\text{K}\end{aligned}$$

- **La quantité molaire des gaz résiduels :**

$$\begin{aligned}M_r &= \alpha \times L_0 \times \gamma_r \\ &= 0.98 \times 27.644 \times 0.062 = 1.68 \text{ kg / m}^3\end{aligned}$$

### 3.7. Le processus de la combustion :

- **La capacité calorifique moyenne des gaz résiduels à la fin de la combustion :**

$$\begin{aligned}\mu_{vc}' &= \frac{1}{1+\gamma_r} [\mu_{vc} + \gamma_r \times \mu_{vc}'] \\ \mu_{vc}'' &= 19.19165 + 0.003556 \times 808.075 + 3.225 \times 0.98 = 25.22 \text{ kJ / kmol. } ^\circ\text{K} \\ \mu_{vc}' &= \frac{1}{1+0.062} [22.73 + 0.062 \times 25.22] \\ &= 22.87 \text{ kJ / kmol. } ^\circ\text{K}\end{aligned}$$

- **Calcul du coefficient du changement molaire après la combustion :**

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1.049 + 0.062}{1 + 0.062} \\ &= 1.0461\end{aligned}$$

- **La température à la fin de la combustion :**

Dans le cas d'un combustible gazeux, on suppose que la combustion a lieu à volume constant. Le rapport d'air excédentaire peut être supérieur ou inférieur à 1, tout en prenant en compte la conversion de l'énergie thermique en kilojoules par mole (kJ/mol).

On a :

$$\mu_{vcz}'' = \frac{1}{M_z} \times [M_{CO_2} \times m_{vcCO_2} + M_{H_2O} \times m_{vcH_2O} + M_{N_2} \times m_{vcN_2} + M_{CO} \times m_{vcCO}]$$

$$m_{vcCO_2} = 39.123 + 0.003349 T_z$$

$$m_{vcH_2O} = 26.67 + 0.004438 T_z$$

$$m_{vcN_2} = 21.951 + 0.001457 T_z$$

$$m_{vcCO} = 22.490 + 0.00143 T_z$$

Calcul  $M_{co}$  : 
$$M_{co} = \frac{C-A}{12}$$

Avec : 
$$A = 0.174 \times (1 - \alpha) \times l_0$$

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \times \left[ 0.5 \times \left( \frac{8}{3 \times 12 + 8} \right) + 0.5 \times \left( \frac{10}{4 \times 12 + 8} \right) \right] = 0.783 \text{ kmol / kgcomb}$$

$$p_{gaz} = 0.5 \times (3 \times 12 + 8) + 0.5 \times (4 \times 12 + 10) = 51 \text{ kg / m}^3$$

$$A = 0.174 \times (1 - 0.98) \times 0.783$$

$$= 0.00272 \text{ kmol / kgcomb} = 0.1387 \text{ kmol / m}^3 \text{ comb}$$

Donc : 
$$M_{co} = 0.0112$$

$$\mu_{vcz}'' = \frac{1}{29.456} \times [3.5 \times (39.123 + 0.003349 T_z) + 4.5 \times (26.67 + 0.004438 T_z) + 21.456 \times (21.951 + 0.001457 T_z) + 0.0112 \times (22.490 + 0.00143 T_z)]$$

$$\mu_{vcz}'' = 0.00213 T_z + 24.72$$

On remplace dans cette loi :

$$\beta \times \mu_{vcz} \times T_z = \mu_{cv} \times T_c + \frac{q \times (QH - \Delta QH)}{\alpha - L_0 (1 + \gamma r)}$$

$$1.0461 \times (0.00213 T_z + 24.72) T_z = 22.73 \times 808.075 + \frac{0.88 \times (46210 - 1225.462)}{0.98 - 0.542 \times 1.062}$$

$$0.00222 T_z^2 + 25.85 T_z - 116257.71 = 0$$

$$T_z = 3465.81 \text{ }^\circ\text{K}$$

- **Calcul du taux de croissance de pression :**

$$\lambda = \frac{\beta \times T_z}{T_c}$$

$$= \frac{1.04619 \times 3465.81}{808.075} = 4.48$$

- **Calcul de la pression à la fin de la combustion :**

$$P_z = \lambda \times P_c$$

$$= 4.48 \times 2.08 = 9.31 \text{ Mpa}$$

### 3.8. La détente :

- Calcul de la pression et la température à la fin de la détente :

$$P_b = \frac{P_z}{\xi^{n_2}} \quad T_b = \frac{T_z}{\xi^{n_2-1}}$$

On a :  $n_2 = k_2$

$$K_2 = 1.33 + 0.00076 \times \xi - 0.000014T_z - 0.0462\alpha = 1.33 + 0.00076 \times 11 - 0.000014 \times 2201.86 - 0.0462 \times 0.98$$

$$K_2 = 1.26$$

$$\text{D'où : } P_b = \frac{9.31}{11^{1.26}} = 0.45 \text{ Mpa}$$

$$T_b = \frac{2201.86}{11^{0.26}} = 1857.98 \text{ °K}$$

La vérification de la température des gaz résiduels prise auparavant:

On a :

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}}$$

$$= \frac{1857.98}{\sqrt[3]{\frac{0.45}{0.12}}} = 1207.49 \text{ °K}$$

### 3.9. Les paramètres indiqués du cycle :

#### 3.9.1. Paramètres indiqués :

- Calcul de la pression moyenne théorique indiqué du cycle :

$$P'_i = \left(\frac{P_c}{\xi-1}\right) \times \left[\left(\frac{\lambda}{n_2-1}\right) \times \left(1 - \frac{1}{\xi^{n_2-1}}\right) - \left(\frac{1}{n_1-1}\right) \times \left(1 - \frac{1}{\xi^{n_1-1}}\right)\right]$$

$$= \left(\frac{2.08}{11-1}\right) \times \left[\left(\frac{4.48}{1.26-1}\right) \times \left(1 - \frac{1}{11^{0.26}}\right) - \left(\frac{1}{1.36-1}\right) \times \left(1 - \frac{1}{11^{0.36}}\right)\right]$$

$$= 1.33 \text{ Mpa}$$

- Calcul de la pression moyenne indiqué :

Dans un moteur GPL on a :  $0.94 \leq \upsilon \leq 0.97$  prenons :  $\upsilon = 0.95$

$$P_i = \upsilon \times P'_i$$

$$P_i = 0.95 \times 1.33 = 1.26 \text{ Mpa}$$

- Calcul du rendement indiqué du cycle :

$$\eta_i = \frac{\alpha \times P_1 \times L_0 \times \mu_{air}}{Q_H \times p_0 \times \eta_v}$$

$$= \frac{1.26 \times 0.542 \times 28.97}{46.210 \times 1.19 \times 0.723} = 0.49$$

- Calcul de la consommation spécifique indiquée du combustible :

$$g_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i} = \frac{3600}{46.21 \times 0.49}$$

$$= 159 \text{ g / kwh}$$

### 3.10. Les paramètres effectifs :

- Calcul de la pression moyenne des pertes mécaniques :

$$P_m = a + b \times W_{mp}$$

Dans moteur essence on a :  $12 \leq W_{mp} \leq 20 \text{ m/s}$

Avec  $W_{mp}$  est : vitesse de charge moyenne

Prenons :  $W_{mp} = 12 \text{ m/s}$

$$P_m = 0.034 + 0.0113 \times 12 = 0.17 \text{ Mpa}$$

- Calcul de la pression moyenne effective :

$$P_e = P_i - P_m$$

$$= 1.26 - 0.17 = 1.09 \text{ Mpa}$$

- Calcul du rendement mécanique :

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{1.09}{1.26} = 0.86$$

- Calcul du rendement effectif :

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m$$

$$= 0.49 \times 0.86 = 0.42$$

- Calcul de la consommation spécifique du combustible :

$$g_e = \frac{3600}{\eta_e \times Q_H}$$

$$= \frac{3600}{0.42 \times 46.21} = 185.48 \text{ g / kwh}$$

### 3.11. Calcul des dimensions principal du moteur :

- La cylindrée unitaire :

$$V_h = \frac{30 \times \tau \times N_e}{P_e \times i \times n} = \frac{30 \times 4 \times 81}{1.09 \times 4 \times 5500} = 0.405 \text{ l}$$

- Calcul du diamètre du piston :

$$R = \frac{S}{D} = 1.114 \quad S = R \cdot D$$

$$\text{Donc :} \quad S \times \pi \times D^2 = 4 \times V_h \quad R \times \pi \times D^3 = 4 \times V_h$$

$$D = 3 \sqrt{\frac{4V_h}{R \times \pi}} \quad D = 77 \text{ mm}$$

- Calcul du course :

$$S = D \times \frac{S}{D} = 77 \times 1.114 = 85.77 \text{ mm}$$

- Calcul La cylindrée total :

$$V_t = \frac{\pi \times D^2 \times S \times i}{4 \times 10^6} = \frac{3.14 \times 77 \times 77 \times 85.77 \times 4}{4000000}$$

$$= 1.596 \text{ l}$$

- Calcul de la puissance effective du moteur :

$$N'_e = \frac{i \times V_h \times P_e \times n}{30 \times \tau} = \frac{4 \times 0.405 \times 1.09 \times 5500}{30 \times 4}$$

$$= 80.93 \text{ kw}$$

- Calcul du couple moteur :

$$M_e = 9550 \times \frac{N_e}{n} = 9550 \times \frac{80.93}{5500}$$

$$= 140.52 \text{ Nm}$$

- Calcul de la consommation horaire du combustible :

$$G_T = N_e \times g_e \times 10^{-3}$$

$$= 81 \times 185.48 \times 10^{-3}$$

$$= 15.02 \text{ kg/h}$$

### 3.12. Tableau récapitulatif du GPL-C :

Les paramètres principaux du moteur	Les paramètres calculés	Fiche technique
Couple moteur	140.52 Nm	152 Nm
La vitesse de rotation	5500 tr/min	5500 tr/min
La cylindrée unitaire	0.405 l	0.4 l
Les consommation spécifique des combustibles	185.48 g / kwh	200 – 300 + g/kwh
Diamètre du piston	77 mm	77 mm
La consommation horaire	15.02 kg/h	13 - 45 kg/h
La course	85.77	85.8

Tableau 3:Récapitulatif de GPL-C

### 3.13. Bilan thermique du moteur à essence :

$$Q_0 = Q_e + Q_{ref} + Q_m + Q_{CI} + Q_{rest}$$

- Calcul de la quantité total dégagé par le combustible dans le moteur :

$$Q_0 = Q_H \times G_T$$

$$= 46.21 \times 10^6 \times \frac{15.02}{3600}$$

$$= 192798.38 \text{ J/s}$$

- La quantité de chaleur cédée au système de refroidissement :

$$Q_{ref} = C \times i \times D^{1+2M} \times n^M \times \left( \frac{Q_H - \Delta Q_H}{\alpha \times Q_H} \right)$$

Avec C : Facteur proportionnel adopté pour les moteurs à quatre temps

M : exposant pour un moteur a quatre temps

$$\text{On a } 0.45 \leq C \leq 0.53$$

Prenons :  $C = 0.5$

Et :  $0.6 \leq M \leq 0.7$

Prenons :  $M = 0.6$

$$Q_{ref} = 0.45 \times 4 \times 7.7^{1+2 \times 0.6} \times 5500^{0.6} \times \frac{46210 - 1225.462}{0.98 \times 46210}$$

$$= 27981.49 \text{ J/s}$$

• **Calcul de la quantité de chaleur emporté par les gaz d'échappement :**

$$\text{On a : } Q_g = G_T \times [M_2 \times [\mu c_{p_2}]_0^{T_r} \times T_r - M_1 \times [\mu c_{p_1}]_0^{t_0} \times T_0]$$

On a aussi :  $T_r = 790^\circ\text{K}$  et  $T_0 = 298^\circ\text{K}$

$\mu c_{p_1}$  (air frais) = 33.5 kJ/kmol.K

$\mu c_{p_2}$  (gaz brûlés) = 29 kJ/kmol.

Donc :

$$Q_g = \frac{15.02 \times 10^3}{3600} \times [0.577 \times 31.68 \times (790 - 273) - 0.5508 \times 29.67 \times (298 - 273)]$$

$$Q_g = 37724.7 \text{ J/s}$$

• **Calcul de la quantité de chaleur restante :**

$$Q_{rest} = Q_0 - (Q_e + Q_{ref} + Q_g + Q_{CI})$$

•  $Q_{CI} = \Delta Q_H \times G_T$

$$= 1225.462 \times 10^3 \times \frac{15.02}{3600} = 5112.89 \text{ J/s}$$

•  $Q_e = 1000 \times N_e$

$$= 1000 \times 81 = 81000 \text{ J/s}$$

Donc :  $Q_{rest} = 192798.38 - (81000 + 27981.49 + 37724.7 + 5112.89)$

$$= 40979.3 \text{ J/s}$$

**3.14. Bilan thermique en pourcentage :**

$$q_e = \frac{Q_e \times 100}{Q_0} = 42.01\% \quad q_{ref} = \frac{Q_{ref} \times 100}{Q_0} = 14.51\%$$

$$q_{gaz} = \frac{Q_g \times 100}{Q_0} = 19.56\% \quad q_{rest} = \frac{Q_{rest} \times 100}{Q_0} = 21.25\%$$

$$q_{CI} = \frac{Q_{CI} \times 100}{Q_0} = 2.65\%$$

<b>La composition du bilan thermique</b>	<b>Q[J/s]</b>	<b>q[%]</b>
<b>La quantité de chaleur équivalente au travail effectif</b>	81000	42.01%
<b>La quantité de chaleur cédée au système de refroidissement</b>	27981.49	14.51%
<b>La quantité de chaleur emporté par les gaz d'échappement</b>	37724.7	19.56%
<b>La quantité de chaleur restante</b>	40979.3	21.25 %
<b>La quantité de chaleur non dégagé au niveau de la chambre de combustion</b>	5112.89	2.65 %
<b>La quantité de chaleur total dégagé par le combustible</b>	192798.38	100%

**Tableau 4:** Bilan thermique du moteur à GPL-C

**Chapitre IV :**  
**Comparaison essence**  
**/ GPL**

### 4.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous analyserons les différences entre l'utilisation du GPL-C et de l'essence, en comparant leurs coûts respectifs, leurs niveaux d'émission de CO<sub>2</sub>, ainsi que les risques liés à l'utilisation du GPL-C par rapport à l'essence. Nous étudierons également les composants spécifiques à chaque type de carburant, le coût d'installation du kit GPL-C, et enfin, nous nous interrogerons sur la rentabilité de l'installation de ce système dans notre véhicule.

### 4.2. Les prix des carburants en Algérie :

Actuellement, dans les stations-service à travers le pays, les tarifs sont comme suit :

**43.7 DA pour l'essence normale**

**45.9 DA pour le super**

**45.6 DA pour le sans plomb**

**Gasoil est cédé 29.01 DA le litre.[43]**

Ce qui nous intéresse ici, ce sont principalement l'essence et le GPL-C. En comparant leurs prix, on constate que l'essence coûte près de cinq fois plus cher que le GPL, ce qui représente un écart considérable. Cette différence confère un avantage économique majeur au GPL, qui permet de réaliser d'importantes économies sur le long terme.

Voici un tableau récapitulatif des prix des carburants en Algérie de 2020 à 2025 :

Année	Essence normale (DA/L)	Essence super (DA/L)	Essence sans plomb (DA/L)	Gasoil (DA/L)	GPL-C (DA/L)
2020	38,95	41,97	41,62	23,06	9
2020 (juin)	43,71	45,97	45,62	29,01	9
2021	43,71	45,97	45,62	29,01	9
2022	43,71	45,97	45,62	29,01	9
2023	43,71	45,97	45,62	29,01	9
2024	43,71	45,97	45,62	29,01	9
2025	45,97	N/A	N/A	29,01	9

**Tableau 5:** Tableau représentatif des prix des carburants de 2020 à 2025.[44]

### 4.3. Tableaux représentatifs des calculs des quatre temps du moteur :

#### 4.3.1. L'admission :

Paramètre thermodynamique	Moteur essence	Moteur GPL-C
<b>Lo</b>	0.515 kmol/kg combustible	0.542 kmol/kg combustible
<b>M1</b>	0.472 kmol / kg essence	28.091 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> comb
<b>M2</b>	0.509 kmol / kg essence	29.456 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> comb
<b>β<sub>0</sub></b>	1.078	1.049
<b>ρ<sub>0</sub></b>	1.209 kg / m <sup>3</sup>	1.169 kg / m <sup>3</sup>
<b>ΔP<sub>a</sub></b>	0.02 Mpa	0.019 Mpa
<b>P<sub>a</sub></b>	0.08 Mpa	0.0802 Mpa
<b>T<sub>a</sub></b>	335.16°K	340°K
<b>T<sub>0</sub></b>	288°K	298°K
<b>P<sub>0</sub></b>	0.1 Mpa	0.1 Mpa
<b>T<sub>r</sub></b>	1050°K	790°K
<b>P<sub>r</sub></b>	0.12 Mpa	0.12 Mpa
<b>η<sub>v</sub></b>	0.722	0.723

**Tableau 6:** Admission

On constate que la quantité théorique d'air nécessaire dans un moteur à essence (Lo) est inférieure à celle requise dans un moteur fonctionnant au GPL-C, en raison du coefficient d'excès d'air. Par ailleurs, la quantité molaire des gaz brûlés est plus élevée dans le moteur GPL-C que dans celui à essence, ce qui implique que le travail utile produit lors de l'admission est supérieur avec le GPL-C. Ainsi, l'augmentation de la quantité molaire des gaz brûlés représente un avantage qui contribue positivement à la performance du moteur.

$$M1(\text{GPL}) ; M2(\text{GPL}) > M1(\text{Ess}) ; M2(\text{Ess})$$

La pression à la fin de l'admission dans le moteur essence est inférieure à celle du GPL suite à la différence dans nos excès d'air respectif.

#### 4.3.2. La compression :

Paramètre thermodynamique	Moteur essence	Moteur GPL-C
$P_c$	2.13 Mpa	2.08 Mpa
$T_c$	813°K	808.075°K
$\mu_{cv}$	22.02 kJ/ kmol. K	22.87 kJ/kmol. °K
$M_r$	0.02 kmol	1.68 kg/m <sup>3</sup>

**Tableau 7 : compression**

Le but de la phase de compression est de créer les conditions idéales pour l'allumage du mélange air-carburant. On remarque que les paramètres de compression dans le cas du GPL-C sont plus élevés que ceux observés avec l'essence sauf  $P_c$  et plus petit, ce qui favorise une meilleure efficacité de combustion pour le gaz.

#### 4.3.3. La combustion :

Paramètre thermodynamique	Moteur essence	Moteur GPL-C
$P_z$	9.62 Mpa	9.31 Mpa
$T_z$	3411.08°K	3465.81°K
$\lambda$	4.51	4.48

**Tableau 8:combustion**

#### 4.3.4. La détente :

Paramètre thermodynamique	Moteur essence	Moteur GPL-C
$P_b$	0.48 Mpa	0.45 Mpa
$T_b$	1873.02°K	1857.98°K
$T_r'$	1179.92°K	1207.49°K

**Tableau 9:détente**

Dans la détente la capacité calorifique du GPL-C est inférieure à celle de l'essence suite à une température du moteur essence supérieure à celle du gaz.

#### 4.3.5. Paramètre indiquer et effectif :

Paramètre thermodynamique	Moteur essence	Moteur GPL-C
$P_i'$	1.39 Mpa	1.33 Mpa
$P_i$	1.32 Mpa	1.26 Mpa
$\eta_m$	0.87	0.86
$g_i$	177.08 g/kwh	159 g/kwh
$P_m$	0.17 Mpa	0.17 Mpa
$P_e$	1.15 Mpa	1.09 Mpa
$\eta_i$	0.47	0.49
$\eta_e$	0.4	0.42
$G_e$	204 g/kwh	185.48 g/kwh
$N_e'$	81.17 kw	80.93 kw
$M_e$	141 Nm	140.52 Nm
$G_T$	16.55 kg/h	15.02 kg/h

**Tableau 10:** paramètre indiqué et effectif

Et donc :

- Performances (puissance et accélération) :

Critère	Moteur essence 1.6	Moteur GPL-C (même base modifiée)
Puissance	110 ch	Environ 5 à 10 % de moins (100–104 ch)
Couple	152 Nm à 4500 tr/min	Légèrement inférieur
Accélération (0–100 km/h)	Environ 11 secondes	Un peu plus lente ( $\approx$ 12 s)

Le moteur essence offre de meilleures performances, mais la différence est faible pour un usage quotidien.

- Consommation et coût du carburant :

Critère	Essence	GPL-C
Consommation moyenne	≈ 6,3 L / 100 km	8 à 9 L / 100 km (car moins énergétique)
Prix au litre (en Algérie)	43,7 DA (essence normale)	9 DA
Coût pour 100 km	275–300 DA	80–100 DA seulement

Le GPL-C permet jusqu'à **70 % d'économies** sur le carburant.

- Émissions et environnement :

Critère	Essence	GPL-C
CO <sub>2</sub> (grammes/km)	128–147 g/km	Environ 10 à 15 % de moins
Autres polluants (NOx, particules)	Plus élevé	Moins élevé

Le GPL-C est plus propre et plus respectueux de l'environnement.

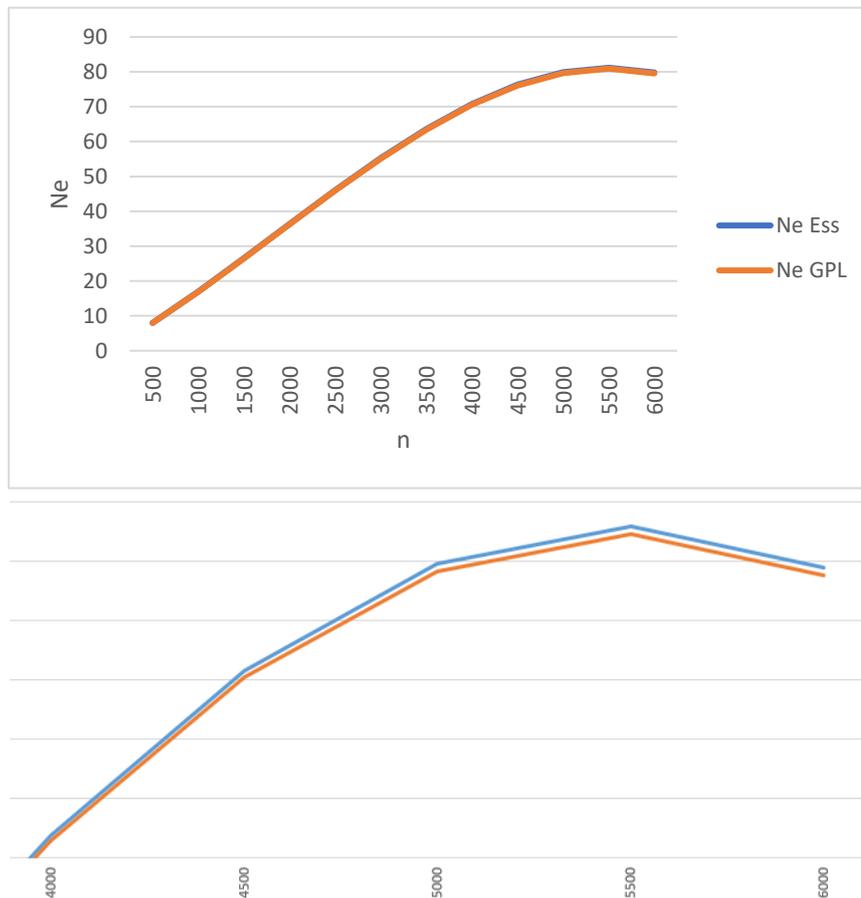
- Coût de conversion au GPL-C :

Élément	Valeur approximative
Prix d'installation du kit	80 000 à 120 000 DA
Rentabilité atteinte après	8 000 à 12 000 km parcourus

L'investissement est rapidement rentabilisé si vous roulez régulièrement

#### 4.4. Les courbes de fonctionnement du moteur en fonction de la vitesse de rotation du vilebrequin :

##### 4.4.1. Courbe de la puissance (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :



**Figure 20** : Courbe de la puissance en fonction vitesse de rotation

Le graphique affiché montre la relation entre la puissance ( $N_e$ ) du moteur en fonction de la vitesse de rotation (tr/min), pour deux types de carburant : Essence (ligne bleue) et GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié, ligne orange).

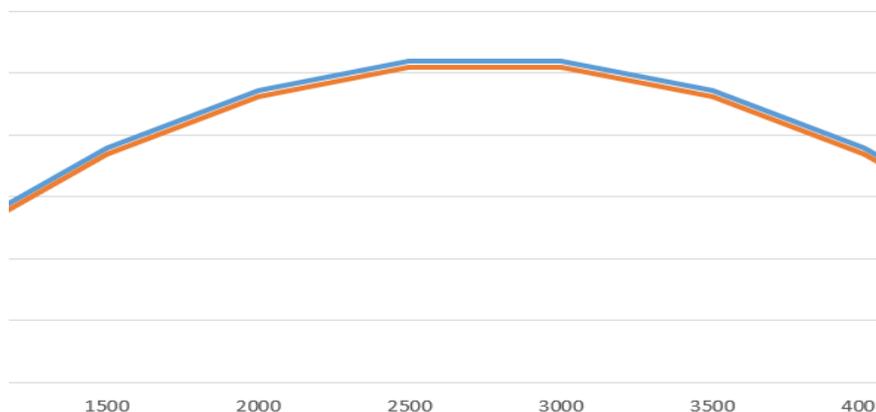
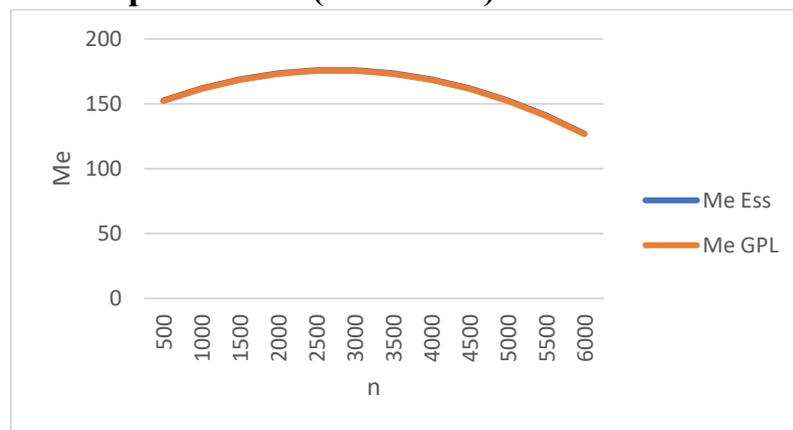
Pour toutes les vitesses de rotation, la puissance obtenue avec l'essence est légèrement supérieure à celle obtenue avec le GPL.

- Les deux courbes ont une forme similaire :
- La puissance augmente avec la vitesse de rotation jusqu'à atteindre un maximum autour de 5500 tr/min.
- L'écart entre les deux courbes reste faible mais constant, surtout à haut régime.

Conclusion :

- Le moteur développe une meilleure performance avec l'essence qu'avec le GPL, bien que la différence soit modérée.
- Le GPL offre une performance très proche de celle de l'essence, ce qui est avantageux en termes de coût et d'écologie.
- Cette légère perte de puissance avec le GPL est due aux caractéristiques physiques et thermodynamiques du carburant (comme son pouvoir calorifique inférieur à celui de l'essence)

#### 4.4.2. Courbe de couple moteur (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :



**Figure 21:** Courbe de couple moteur en fonction vitesse de rotation

Le graphique affiché illustre la variation du couple moteur (Me) en fonction de la vitesse de rotation (tr/min), pour deux types de carburants Essence (courbe bleue — Me Ess) et GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) (courbe orange — Me GPL)

- Les deux courbes augmentent avec la vitesse de rotation jusqu'à atteindre un couple maximal vers 2500–3000 tr/min.

- Après ce point, le couple diminue progressivement pour les deux carburants.
- On observe que :
- Le couple moteur avec l'essence est légèrement supérieur à celui avec le GPL sur toute la plage de régimes.
- La différence reste faible, indiquant que le GPL offre des performances proches de l'essence.

Conclusions :

- Le couple maximal est atteint autour de 2500 à 3000 tr/min, ce qui représente la plage optimale de fonctionnement du moteur.
- Le carburant essence permet un couple légèrement supérieur, grâce à une densité énergétique plus élevée.
- Cependant, le GPL reste très compétitif en offrant un couple proche, ce qui en fait une alternative économique et écologique sans perte de performance significative.
- À haut régime (au-delà de 4000 tr/min), le couple diminue dans les deux cas, ce qui est typique pour les moteurs à combustion.

#### 4.4.3. Courbe de puissance moyenne effectif (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :

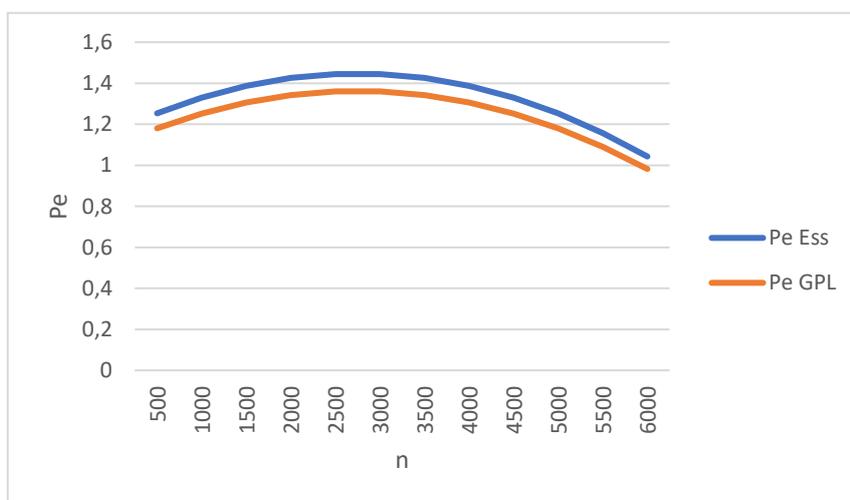


Figure 22: Courbe de puissance moyenne effectif en fonction vitesse de rotation

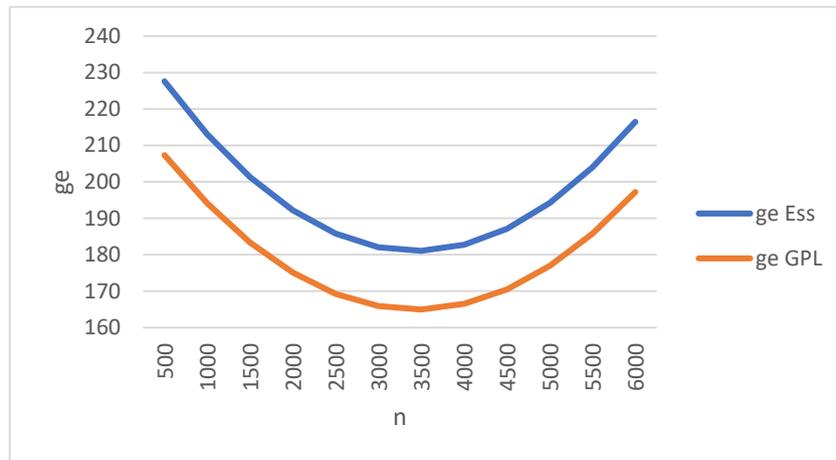
Le graphique montre l'évolution de la pression moyenne effective ( $P_e$ ) en fonction de la vitesse de rotation du moteur ( $n$ ), pour deux types de carburants : Essence (courbe bleue –  $P_e$  Ess) et GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) (courbe orange –  $P_e$  GPL)

- Les deux courbes augmentent avec la vitesse de rotation, atteignant un maximum autour de 2500 à 3000 tr/min.
- Ensuite, la pression moyenne effective diminue progressivement à haut régime.
- À tous les régimes, la pression pour le carburant essence est légèrement supérieure à celle du GPL.
- La différence reste modérée, ce qui témoigne d'un rendement relativement proche entre les deux carburants

Conclusions :

- La pression moyenne effective maximale est atteinte entre 2500 et 3000 tr/min, ce qui correspond à la plage de meilleur rendement moteur.
- Le carburant essence offre une légère supériorité en termes de pression moyenne, grâce à une meilleure densité énergétique et un meilleur rendement de combustion.
- Le GPL reste performant, bien que légèrement en retrait, et représente une bonne alternative économique et écologique.
- La chute de  $P_e$  à haut régime reflète une perte d'efficacité thermique due à des phénomènes comme les frottements accrus ou les pertes thermodynamiques.

#### 4.4.4. Courbe de consommation spécifique (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :



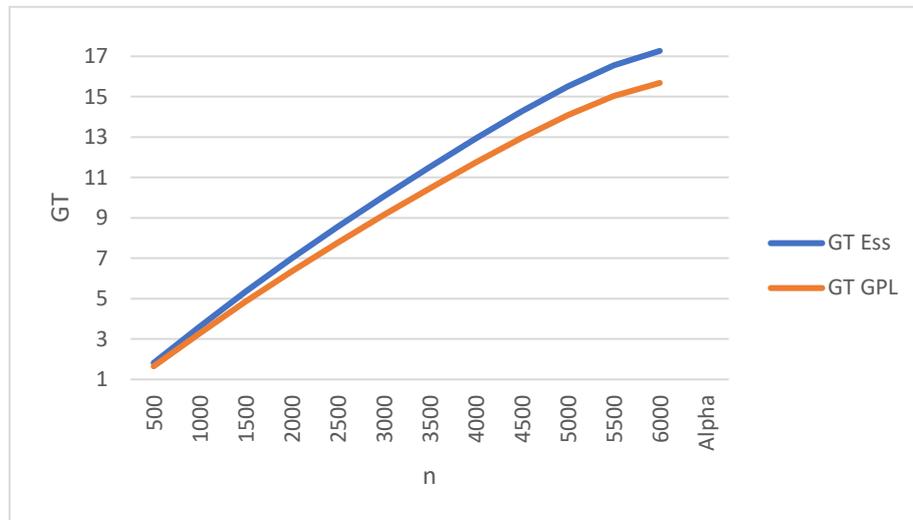
**Figure 23:** Courbe de consommation spécifique en fonction vitesse de rotation

- L'axe vertical représente des valeurs de 160 à 240 (g/kWh pour la consommation spécifique).
- L'axe horizontal indique la vitesse de rotation de 500 à 6000 tr/min (rpm). L'analyse des courbes montre que le moteur essence offre une consommation spécifique plus faible que le GPL sur la plupart des plages de régime.

La différence est particulièrement marquée à bas régime (<1500 tr/min) et à haut régime (>4000 tr/min), où le GPL présente des valeurs de consommation plus élevées. Dans la plage de régime moyen (2000-3500 tr/min), les deux moteurs atteignent leur meilleure efficacité, bien que l'essence conserve un léger avantage.

Le GPL, bien que moins efficace énergétiquement, présente des avantages économiques et environnementaux. Pour optimiser son utilisation, il est recommandé de privilégier des régimes moyens et stables. En conclusion, le choix entre essence et GPL dépend des priorités : performance énergétique pour l'essence, ou économie/écologie pour le GPL.

#### 4.4.5. Courbe de consommation horaire (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :



**Figure 24:** Courbe de consommation horaire en fonction vitesse de rotation

- Axe vertical : Représente la consommation horaire (L/h ou kg/h)
- Axe horizontal: Indique la vitesse de rotation moteur de 500 à 6000 tr/min (rpm)
- Courbes:
  - Essence (GT ES): Courbe orange
  - \*\*GPL (GT GPL): Courbe bleue

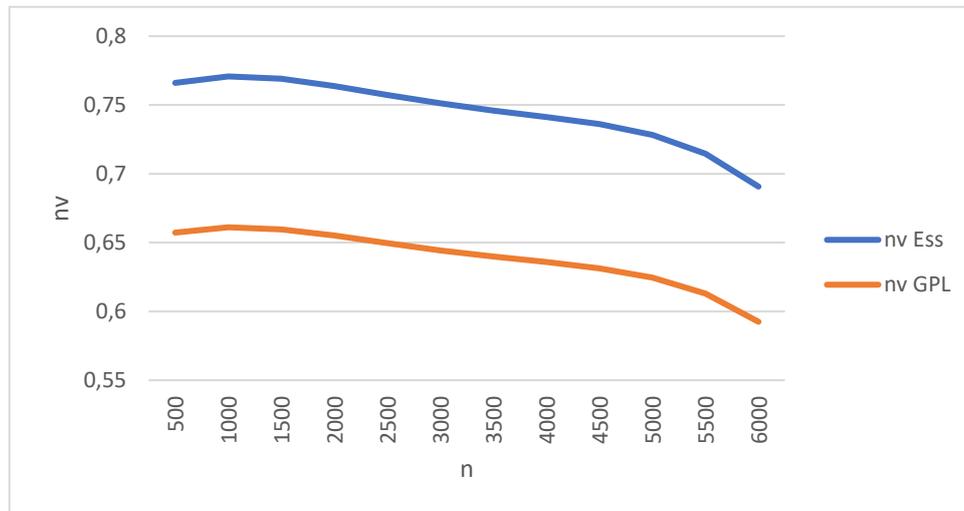
La courbe orange (GPL) se situe **\*\*en dessous\*\*** de la courbe essence sur tout le spectre de régimes, indiquant une consommation horaire inférieure pour le GPL.

1. Le GPL consomme moins de carburant à l'heure que l'essence
2. Cet avantage est visible sur toutes les plages de régime moteur
3. L'écart semble se réduire légèrement à haut régime

Conclusion :

Contrairement aux tendances habituelles, ces données montrent un GPL plus économe en consommation horaire que l'essence. Une configuration moteur optimisée pourrait expliquer ce résultat.

#### 4.4.6. Courbe de taux de remplissage (Ess / GPL) en fonction vitesse de rotation :



**Figure 25:** Courbe de taux de remplissage en fonction vitesse de rotation

#### Analyse des Courbes de Taux de Remplissage : Essence / GPL

##### 1. Interprétation des données :

- Axe Y : Taux de remplissage des cylindres (0.55-0.8, où 1 = remplissage complet)
- Axe X : Régime moteur (500-6000 tr/min)
- Courbes :
  - Essence (nv ESs) : Meilleur remplissage global
  - GPL (nv GPL) : Performance inférieure, surtout à haut régime

##### 2. Comportement caractéristique :

##### a) Bas régimes (500-2000 tr/min) :

- Essence :
  - Remplissage stable (~0.75)
  - Précision du contrôle air/carburant
- GPL :
  - Léger déficit (~0.7)
  - Difficultés de formation du mélange

##### b) Régimes moyens (2000-4000 tr/min) :

- Essence :
  - Pic d'efficacité (~0.8 à 3000 tr/min)

- Optimisation des systèmes d'admission
- GPL :
- Amélioration ( $\sim 0.75$ ) mais limite persistante

c) Hauts régimes ( $>4000$  tr/min) :

- Essence :
- Dégradation progressive ( $\sim 0.65$ )
- Limitation naturelle d'admission
- GPL :
- Chute marquée ( $\sim 0.55$ )
- Problèmes de débit gazeux

3. Facteurs clés :

- Propriétés physiques :
- Avantage liquide (essence) vs gazeux (GPL)
- Technologies moteur :
- Systèmes essence mieux optimisés
- Solutions GPL souvent en retrofit

4. Implications pratiques :

- Conduite essence :
- Zone idéale 2500-3500 tr/min
- Conduite GPL :
- Éviter les régimes élevés prolongés
- Privilégier les systèmes d'injection modernes
- Développement :
- Potentiel d'amélioration par turbo compression
- Optimisation des conduits d'admission

5. Conclusion :

Ces courbes révèlent l'avantage intrinsèque de l'essence en termes de remplissage des cylindres, particulièrement aux régimes élevés. Le GPL présente des limitations caractéristiques des carburants gazeux, mais qui pourraient être atténuées par des technologies dédiées. Le choix entre les deux dépendront des priorités d'usage (performance vs économie/écologie)

**Conclusion :**

- Si votre priorité est la puissance, la réactivité ou les longs trajets à haute vitesse → l'essence est préférable.
- Si vous cherchez l'économie à long terme, la réduction des coûts de carburant et un impact environnemental réduit → le GPL-C est le meilleur choix.

# **Conclusion générale**

### **Conclusion générale :**

Tout au long de notre étude nous avons essayé de nous rapprocher le plus possible de la vision des ingénieurs et connaisseurs sur le moteur bicarburation, et nous avons vus tous les paramètres qui pourront nous donner une idée plus juste sur nos deux carburants, et ce qu'on a constaté c'est que les deux carburants ont des points positifs et négatifs, et tout deux peuvent être utilisé en toute sécurité, par rapport à une voiture essence, la voiture GPL émet 18% de Nox de moins. Le GPL est constitué de 50% de butane et 50% de propane. Il consomme environ 20% de carburant de plus qu'un véhicule essence, en revanche il est vendu beaucoup moins cher dans les pompes à essence. Ce qui nous amène à choisir le GPL-C pour une utilisation en ville pour plus d'économie.

# **Liste des référence**

### Références

- ✓ [1] <https://www.vroomly.com/blog/moteur-essence-fonctionnement-avantages-et-entretien/>
- ✓ [2] <https://www.forum-peugeot.com/moteurs-essence-bmw-psa/>
- ✓ [3] <https://fr.demotor.net/moteurs-thermiques/composants>
- ✓ [4] <http://www.rectif2000.com/bloc-moteur.html>
- ✓ [5] <https://courroie-distribution.fr/blog/cylindre-dun-moteur-role-methodes-de-calcul-et-dysfonctionnements/>
- ✓ [6] <https://mecaniqueautofacile.com/le-role-et-fonctionnement-de-la-culasse/>
- ✓ [7] <https://mecaniqueworld.blogspot.com/2015/03/culasse-en-generale-moteur-structure.html>
- ✓ [8] <https://mecaniqueautofacile.com/le-piston-son-role-et-de-son-fonctionnement/>
- ✓ [9] <https://www.coasthigh.com/Chevy-LS-5-7L-3-0cc-Flat-Top-SRS-Pistons-p/14963.htm>
- ✓ [10] <https://www.techno-science.net/definition/133.html>
- ✓ [11] <https://www.amazon.it/maXpeedingrods-Bielle-Rovesciata-Acciaio-Modell/dp/B01ABLAIN6>
- ✓ [12] <https://www.techno-science.net/definition/274.html>
- ✓ [14] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/smartmotion-vilebrequin-19046/>
- ✓ [15] <https://www.mistral-racing.com/volant-moteur-secrets-role-pannes/>
- ✓ [16] <https://abmecasport.fr/shop/transmission/volants-moteur/volant-moteur-allege-acier-forge-moteur-tu-184mm>
- ✓ [17] <https://stuffcc.fr/blogue/moteur-a-2-temps/#:~:text=Moteur%20%C3%A0%202%20Temps%20-%20Tout%20Ce%20Que,et%20les%20inconv%C3%A9nients%20des%20moteurs%20%C3%A0%202%20temps.>
- ✓ [18] Les moteurs 4 temps : Fonctionnement et avantages expliqués - Stuffcc
- ✓ [19] Tout savoir sur le moteur 4 temps - IXTEM MOTO
- ✓ [20] Avantages et inconvénients des moteurs essence ?
- ✓ [21] Etude Comparative D'un Moteur A Bicarburant (essence / Gpl-c)
- ✓ [22] Rouler au GPL carburant : les avantages | Antargaz
- ✓ [23] La voiture au GPL - Voiture hybride
- ✓ [24] Moteur GPL : principe et caractéristiques - PagesJaunes

## Liste Des Références

---

- ✓ [25] Tout savoir sur les réservoirs GPL pour votre voiture | WeSur
- ✓ [26] STEP réservoir GPL cylindrique 360x564 50L - VOSKEN
- ✓ [27] Single-Hole Full-Toroidal Tank STEP 650x240mm 66 litres | LPG Auto Supplies
- ✓ [28] Comment fonctionne un véhicule GPL - Moteur GPL
- ✓ [29] <https://www.piecesgpl.fr/orifices-de-remplissages-gpl/201-kit-orifice-de-remplissage-gpl-gaz-kangoo-complet-avec-tuyau-flexible.html>
- ✓ [30] [http://kenny92350.free.fr/Autocadre/Dossier\\_technique\\_GPL.pdf](http://kenny92350.free.fr/Autocadre/Dossier_technique_GPL.pdf)
- ✓ [31] <https://airgpl.com/fr/34-polyvanne-acces-reserv>
- ✓ [32] <https://airgpl.com/fr/129-injecteurs-gpl-gnv#:~:text=Le%20gaz%20de%20p%C3%A9trole%20liquide%20fi%C3%A9%20%C3%A9tant%20un%20carburant%2C,de%20la%20voiture%20puisse%20le%20br%C3%BBler%20et%20l%27utiliser.>
- ✓ [33] <https://allegro.pl/produkt/listwa-wtryskowa-4cyl-hana-b-kolor-czerwony-nowa-59042a01-05b8-44ae-a448-0348724fe49e>
- ✓ [34] <https://www.forcemat.fr/quest-ce-quune-electrovanne-et-quelle-est-son-role/>
- ✓ [35] <https://www.piecesgpl.fr/17-electrovannes-gpl>
- ✓ [36] <http://dspace.univ-tissemsilt.dz/bitstream/handle/123456789/2555/MM621-066.pdf?sequence=1>
- ✓ [37] <https://airgpl.com/es/accueil/130-calculadora-de-gpl-brc-plug-drive-5-y-6cyl.html>
- ✓ [38] <https://hybridsupply.fr/produits/landi-renzo/composants/commutateur-essence-gpl-landi-renzo/>
- ✓ [39] <https://www.fievezauto.com/index.php/2-base/10-principe-de-fonctionnement-du-kit-gpl.html#:~:text=Un%20vapeur%20d%C3%A9tendeur%20transforme%20le%20GPL%20de%20son,fonctionnement%20au%20GPL%2C%20les%20injecteurs%20essence%20sont%20coup%C3%A9s.>
- ✓ [40] <https://www.piecesgpl.fr/8-vapo-detendeurs-gpl>
- ✓ [41] [https://www.autobip.com/fr/actualite\\_auto/l\\_installation\\_kit\\_gpl\\_co%C3%BBte\\_5\\_000\\_da\\_chez\\_naftal/4912](https://www.autobip.com/fr/actualite_auto/l_installation_kit_gpl_co%C3%BBte_5_000_da_chez_naftal/4912)
- ✓ [42] <https://www.vroom-et-vroom.fr/quels-sont-les-avantages-et-inconvenients-du-gpl/>
- ✓ [43] [www.tsa-algerie.com/carburants-importes-ou-produits-localement-attar-devoile-1...](http://www.tsa-algerie.com/carburants-importes-ou-produits-localement-attar-devoile-1...)

## Liste Des Références

---

- ✓ [44][https://fr.globalpetrolprices.com/Algeria/gasoline\\_prices/?utm\\_source=chatgpt.com](https://fr.globalpetrolprices.com/Algeria/gasoline_prices/?utm_source=chatgpt.com)

## **Résumé :**

Cette étude nous a permis d'identifier deux sorte de carburants, qui sont l'essence et le GPL-C, après quelques généralités sur les moteurs et leurs fonctionnements et en citant les pièces principales qui forme notre moteur, on s'est attardé sur les calculs et dimensionnement de notre moteur dans les deux cas, en roulant au gaz et a l'essence, et le résultat est assez satisfaisant sur les deux carburants, avec une petite préférence pour le GPL-C, mais faut pas non plus négligé l'autre carburant, et savoir quand utilisé l'un comme l'autre.

## **Abstract :**

This study allowed us to identify two types of fuels, which are gasoline and LPG-C, after some general information on engines and their operations and citing the main parts that make up our engine, we focused on calculations and sizing of our engine in bouth cases, running on gas and gasoline, and the result is quite satisfactory on both fuels, with a small preference for LPG-C, but should not be neglected either. Other fuel, and know when to use both