N° Ordre...../DGM/FSI/UMBB/2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Faculté des Sciences de L'Ingénieur
Département Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en Génie Mécanique

Spécialité

Energétique.

Étude de l'influence de la composition des essences sur l'indice d'octane et le pouvoir calorifique

---

.

Présenté par :

ALIOUI FELLA

TALAMALI SOULEF

Promoteur:

Mr. OUALI

Encadreur:

Mr. BENCHAREF

Promotion 2018- 2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier notre promoteur **Mr. OUALI** pour avoir accepté de nous encadrer.

Nous avons l'honneur de remercier tout les membres du jury d'avoir accepté de lire et de juger notre travail.

Nos remerciements les plus vifs vont tout particulièrement à **M^{me}. HAMMADOU SOUAD**, **Mr. MIMOUN et M^{me}. AZZOUZE** pour leurs disponibilités, leurs conseils et leurs précieux aides pour surmonter tout les contraintes rencontrées lors de ce mémoire.

Un grand merci à **Mr. HIMRANE**, **Mr. AITCHIKH** et **M^{me}. OUCHIKH** pour leur soutien et orientation.

Enfin, nous exprimons nos profond reconnaissances envers nos parents, nos frères et sœurs et tous ceux et celles qui nous ont encouragé et soutenu de prés ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail

À Ma très chère mère : SABONDJI KHADOUDJA

À mon cher père : ALIOUI MOUHAMED RAMDEN

Je souhaite que ce travail soit à la hauteur de tout ce qu'ils ont fait pour moi

À mes très chères sœurs :

SOUAD, NABILA, NACIRA, LAMIA, Nawel, KAHALIDA

À mes très chers frères :

SAMIR, SIDAHMED

À mes nièces

À mes très chers amis :

SOULEF, ZINEB, SELMA, BEHDJA, SARA

À tous mes amis sans exception

ALIOUI FELLA

Je dédie ce travail

À Ma très chère mère : BERKOUN NACHIDA

À mon cher père : HAMID TALAMALI

Je souhaite que ce travail soit à la hauteur de

tout ce qu'ils ont fait pour moi

À ma très chère sœur : RADJA OUAFA

À ma famille

À la mémoire de mes grands pères : BERKOUN

ALI et AMAR TALAMALI

À mes très chers amis :

AMEL, ZINEB, FELLA, SELMA, BEHDJA,

SARA

À tous mes amis sans exception

TALAMALI SOULEF

Sommaire

SOMMAIRE

Étude de l'influence de la composition des essences sur l'indice d'octane et le pouvoir calorifique.

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale **.....1**

Chapitre 1 : Étude bibliographique sur les essences.

1.1. Introduction ……....4

1.2. Généralités sur les essences…….....4

1.3.Phénomène de cliquetis…….....12

1.4. Additifs pour essences……...13

1.5. Consommation nationale en essences……...16

1.6. La pollution issue du secteur des transports…….....17

1.7. Impact des polluants automobiles sur l'environnement et la santé…….....20

Chapitre 2 : Architecture, principes de fonctionnement des moteurs à A.C et technologie de réduction des polluants.

2.1. Introduction……...22

2.2. Généralités sur les moteurs à A.C …….....22

2.2.1. Historique…….22

2.2.2. Principe de fonctionnement des moteurs à A.C……...….23

2.2.3. Architecture des moteurs à A.C ……..26

2.2.4. Caractéristiques géométriques des moteurs à A.C.....31

2.3. Réduction des émissions polluantes dans les moteurs à A.C……34

Chapitre 3 : Approche expérimentale et méthodes analytiques utilisées.

3.1. Introduction ……..38

3.2. La présentation du lieu de stage…….....38

3.3. Analyses expérimentales ……..39

3.3.1. Distillation à la pression atmosphérique selon ASTM D 86-17……....39

3.3.2 .Pression de vapeur selon ASTM D 5191……..…….....40

3.3.3.Corosion à la lame de cuivre selon ASTM D 130……..……...41

3.3.4. Point de congélation selon ASTM D 2386-06…….42

3.3.5. Teneur en soufre total selon ASTM D2622……..……..43

3.3.6. La masse volumique à 15 °C selon ASTM D 1298…….....44

3.3.7. Teneur en plomb de l'essence selon ASTM D 3341…….……...49

3.3.8. Indice d'octane recherche selon ASTM D 2699……..…...46

3.3.9. Détermination du Point d'aniline selon ASTM D611/ISO 2977……....48

3.3.10. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG)……..…..49

3.4. Méthodes analytiques…….....51

3.4.1. Indice d'octane (RON) analytiquement ……..…....51

3.4.2. Le pouvoir calorifique inferieur (PCI)……...……...51

3.4.3. Indice de volatilité des carburants reformulés……...…51

SOMMAIRE

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1. Introduction……...52

4.2. Résultats expérimentaux d'analyses physico-chimiques des essences étudiées…….52

4.2.1. Essence sans plomb……..…52

4.2.2. Essence avec plomb…….....53

4.2.3. Courbe de distillation (essence sans plomb / essence avec plomb)…….....54

4.2.4. Analyses CPG des essences étudiées (Essence sans plomb/avec plomb)....55

4.3. Résultats expérimentaux d'analyses physico-chimiques des essences reformulées …….58

4.3.1. Reformulation des carburants……..58

4.3.2. Courbe de distillation……..59

4.3.3. Résultats par analyse CPG des échantillons reformulés ……...60

4.3.4. Résultats de la PVR des mélanges reformulés …….……..61

4.3.5. Résultats de l'indice de volatilité des mélanges reformulés ……...62

4.3.6. Influence d'incorporation du plomb sur les caractéristiques énergétiques des essences reformulées …….....63

Conclusion générale *……..69*

Référence bibliographique *……..71*

ANNEXE *……..77*

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1 : Schéma de raffinage……..5

Figure 1.2: Vue générale sur une raffinerie……...6

Figure 1.3 : Les principales coupes pétrolières et leurs intervalles de température d'ébullition…….....6

Figure 1.4: Moteur CFR……..12

Figure 1.5: Consommation des énergies dans les secteurs du transport…….16

Figure 1.6: La pollution engendrée par les moteurs thermiques…….....18

Figure 1.7: Répartition des émissions des gaz à effet de serre par secteur…….19

Figure 2.1: Le moteur thermique à allumage commandé /SW3/……....23

Figure 2.2: Cycle à 4 temps des moteurs à A.C……..24

Figure 2.3: Suralimentation des moteurs thermiques……..25

Figure 2.4: principaux Composants d'un moteur alternatif à piston……...26

Figure 2.5: Éléments constituants d'un piston alternatif…….28

Figure 2.6: Vilebrequin d'un moteur thermique…….28

Figure 2.7: Vue éclatée d'une bielle……....29

Figure 2.8: Volant moteur……...30

Figure 2.9: Système de lubrification……...31

Figure 3.1: Dispositif de distillation à la pression atmosphérique ASTM D86-17…….....40

Figure 3.2: Dispositif automatique de la pression vapeur ASTM D 5191……40

Figure 3.3: Appareillage et bombe pour mesurer la corrosion à la lame de cuivre....41

Liste des figures

Figure 3.4: La série des lames de références de la corrosion……..42
Figure 3.5: Dispositif du point de congélation selon ASTM D 2386-06…….42

Figure 3.6: L'appareil MDX 1060 à tube rayon-x……..43

Figure 3.7 : La boite utilisée dans le spectromètre analyseur de soufre……..43

Figure 3.8: Appareille de mesure de la masse volumique à 15 °C selon ASTM D 1298……..44
Figure 3.9: Étapes de détermination de la teneur en plomb dans l'essence……....46
Figure 3.10: Banc d'essai pour la mesure de l'indice d'octane (RON) …….48
Figure 3.11 : Appareil pour mesurer le point d'aniline……..49
Figure 3.12: Spectrométrie CPG modèle SHIMADZU LabSolutlons (GC-2010)…..50
Figure 4.1: Courbe de distillation des essences sans plomb et avec plomb (AVGAS)…….54

Figure 4.2: Chromatogramme CPG de l'essence sans plomb…….57

Figure 4.3: Chromatogramme CPG de l'essence AVGAS…….57

Figure 4.4: Courbe de distillation des échantillons reformulés……57

Figure 4.5: Évolution de la pression de vapeur Reid (PVR) des échantillons reformulés…….....62

Figure 4.6: Variation de l'indice de volatilité (FVI) en fonction de la pression de vapeur Reid (PVR)……...62

Figure 4.7: Influence de la teneur en plomb sur l'indice d'octane (RON) des essences reformulées : a/calcul expérimentale, b/ calcul analytique…….64

Figure 4.8: Évolution de l'indice d'octane (RON) en fonction de la teneur en plomb……65

Figure 4.9: Influence de la teneur en plomb sur le pouvoir calorifique inférieur…...67
Figure 4.10 : Variation du PCI en fonction de l'indice d'octane (RON)……67

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Exemple de composition d'une essence par famille chimique…….4

Tableau 1.2: Les proprietés physico-chimiques des essences Normale/Supercarburant……7

Tableau 1.3: Composition de l'essence aviation (AVGAS) utilisée au Canada……8

Tableau 1.4 : Composition des gaz d'échappement des véhicules routiers…….18

Tableau 1.5: Consommation des carburants en Algérie et émissions engendrées……..19

Tableau 1.6 : Effets des principaux polluants sur la santé et l'environnement ……..21

Tableau 4.1:Résultats expérimentaux des caractéristiques physiques et chimiques de l'essence sans plomb…….52

Tableau 4.2: Résultats expérimentaux des caractéristiques physico-chimiques de l'essence avec plomb……....53

Tableau 4.3: Le bilan volumétrique obtenu expérimentalement par la distillation ASTM des essences sans plomb/ avec plomb…….55

Tableau 4.4: Résultats expérimentaux obtenus par famille d'hydrocarbures pour deux types d'essences différentes……...56

Tableau 4.5 : Reformulation des carburants……....58

Tableau 4.6: Les résultats des fractions en (% massique) des composés chimiques présents dans les mélanges reformulés……...60

Tableau 4.7: Résultats expérimentaux de la pression de vapeur Reid des mélanges reformulés……....61

Tableau 4.8: Indice d'octane (RON) expérimental et analytique des échantillons reformulés…….66

Tableau 4.9: Résultats expérimentaux des PCI pour les mélanges reformulés……...72

Nomenclature

Nomenclature

Abréviations

A.C	Allumage commandé.
GPL	Gaz de pétrole liquéfié.
MTBE	methyl-tertio-butyl-ether.
S.I	Système International.
ASTM	American Society for Testing Materials.
NF	Norme française.
PI	Point Initial.
PF	Point final.
MON	Motor Octane Number.
RON	Research Octane Number.
CFR	Cooperative Fuel Research.
TVR	Tension de Vapeur Reid**.**
PVR	Pression de vapeur Reid.
UOP	Universal Oil Product.
ppm	Particule par millions**.**
uma	unité de masse atomique.
ARH	Agence de régulation des hydrocarbures.
AVGAS	Aviation gasoline.
PTE	Plomb Tétraéthyle.
PTM	Plomb Tétraméthyle.
PNAE	Plan National d'Actions environnementales.
P.M.H	Point Mort Haut.
P.M.B	Point Mort Bas.
HCCI	Homogenous Charge Compression Ignition.
CAI	Controlled Auto-Ignition.
PPCI	Partially Premixed Compression Ignition.

Nomenclature

GNV Gaz Naturel pour Véhicules.

EGR Gaz d'échappement recirculés.

SONATRACH Société nationale pour la recherche, production, transport, commercialisation des hydrocarbures.

ERDP Entreprise de Raffinage et de Distribution des Produits Pétroliers.

NAFTAL NAFT : terme qui désigne le pétrole et AL en référence à Algérie.

PCI Pouvoir Calorifique Inferieur**.**

EDTA Ethylene Diamine Tetracetic Acid.

CPG Chromatographie en phase gazeuse.

FVI Fuel volatility index.

E1 Échantillon numéro 1.

E2 Échantillon numéro 2.

E3 Échantillon numéro 3.

E4 Échantillon numéro 4.

E5 Échantillon numéro 5.

E6 Échantillon numéro 6.

E7 Échantillon numéro 7.

E8 Échantillon numéro 8.

$T_{éb}$ Température d'ébullition.

Caractéristiques géométriques

D	Diamètre	[m]
L	Course	[m]
r_m	Rayon de la manivelle	[m]
C_u	Cylindrée unitaire	[m^3]
C_t	Cylindrée total	[m^3]
λv	Rapport bielle-manivelle	[-]
V_m	Volume mort	[m^3]

Nomenclature

r_c	Rapport de compression	[-]
θ	Angle de vilebrequin	[°V]
N	Nombre de tour du vilebrequin	[tr/min]
ω	Vitesse de rotation du vilebrequin	[rad/s]
d	Distance	[m]
U_{mp}	Vitesse moyenne du piston	[m/s]
U_p	Vitesse instantanée du piston	[m/s]
V_{cyl}	Volume de la cylindrée	[m^3]

Introduction générale

Introduction générale

Le secteur des transports constitue aujourd'hui une composante essentielle des économies modernes. La grande mobilité des marchandises et des personnes est non seulement une caractéristique des pays développés mais plus encore une condition au développement. De même, la mobilité individuelle qui s'appuie largement sur les automobiles a connu une croissance continue au cours des dernières décennies. L'automobile représente un moyen de transport auquel il n'existe pas vraiment une véritable alternative. Le développement considérable des transports routiers, l'augmentation continue du parc mondial de véhicules associés à la croissance du nombre de trajets et à celle des distances moyennes parcourues, tout cela amène à s'interroger sur le devenir de notre planète en termes de pollution. Des questions fondamentales sont posées, en particulier par rapport au secteur du transport qui consomme aujourd'hui près de 45 % du pétrole mondial [1].

La problématique qui se pose est très claire, rechercher des sources énergétiques alternatives (renouvelable, biocarburants, …..) et optimiser l'utilisation des énergies fossiles. Pour la deuxième partie, cela peut se traduire par l'amélioration du rendement des installations existantes (moteur à combustion interne, turbines, ……) et la réduction des émissions polluantes. Une des solutions est l'étude approfondie des carburants et leurs comportements.

Les carburants sont généralement des produits issus de raffinage du pétrole (source conventionnelle). Ils sont souvent liquides et rarement gazeux dont la combustion en présence d'un comburant tel que l'air fournit de l'énergie mécanique qui permet le fonctionnement de la plupart des moteurs thermiques. La production des essences et des gazoles en quantités suffisantes pour la satisfaction des besoins et en qualité conformes aux normes antipollution, sécurité et environnement est depuis longtemps un axe de recherche principal auquel l'industrie du raffinage doit faire face [2].

Confronté à plusieurs problèmes, les raffineries algériennes doivent s'adapter aux marchés des hydrocarbures et répondre aux exigences internationales. L'avancée

technologique d'une part et les normes antipollution d'autre part conduisent à rechercher et développer la qualité des carburants.

En Algérie les émissions polluantes atteignent 14 millions de tonnes équivalent de CO_2, soit un taux de 46% des émissions de gaz à effet de serre [3].

L'essence contenant de plomb et l'AVGAS (carburant pour aviation) représentent la majorité des carburants consommés en Algérie. La prise de conscience concernant l'effet nocif du plomb sur l'environnement et sur la santé humaine a conduit les gouvernements à engager des études visant l'élimination graduelle de l'essence avec plomb tout en assurant un haut Indice d'octane.

Objectif de l'étude :

Afin de répondre aux besoins du marché en tenant compte de l'aspect économique et environnemental, une étude sur la valorisation de l'AVGAS par l'ajout de l'essence sans plomb.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la composition des essences sur les propriétés physico-chimiques (indice d'octane, pouvoir calorifique). Cela en valorisant l'AVGAS importé. Les statistiques montrent qu'une grande partie de ce carburant est inexploitée (Les quantités utilisés pour l'aviation n'atteignent pas les quantités achetées). Une modification de l'AVGAS en lui rajoutant de l'essence sans plomb serait une méthode qui peut permettre d'utiliser ce dernier dans le domaine automobile.

Le présent mémoire est organisé de la façon suivante :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à une analyse générale des différentes caractéristiques d'essences et leurs méthodes d'obtention et traitement. Les effets des polluants issus du secteur automobiles sur l'environnement seront également détaillés.

- ✓ Le deuxième chapitre décrit de manière détaillée les constituants et principes de fonctionnement des moteurs à (A.C).Les nouvelles techniques d'amélioration du rendement et de réduction des émissions polluantes sont aussi étudiées.

- ✓ Le troisième chapitre est axé sur la présentation des différents modes opératoires misent en œuvre pour la préparation des mélanges (essence sans plomb et l'essence AVGAS) et l'influence du plomb sur l'indice d'octane ainsi que le pouvoir calorifique.

- ✓ Le quatrième chapitre est porté sur les résultats.

La fin du mémoire se termine par une conclusion générale qui résume toute l'étude effectuée.

Chapitre 1 : Étude bibliographique sur les essences.

1.1. Introduction

Les carburants sont des produits issus du raffinage du pétrole. Ils sont souvent liquides et rarement gazeux dont la combustion en présence d'un comburant tel que l'air fournit de l'énergie mécanique permettent le fonctionnement des moteurs thermiques, qu'ils soient à piston de type essence ou diesel. Ces carburants doivent rependre à certaines exigences avant d'être commercialisés.

Dans ce premier chapitre, nous avons tenté de rassembler les différentes caractéristiques des essences ainsi que leurs processus de production et traitement. Nous décrivons par la suite l'impact des polluants automobiles sur l'environnement et sur la santé.

1.2. Généralités sur les essences

L'essence est constituée d'un mélange d'hydrocarbures volatiles et inflammables auxquels sont parfois ajoutés d'autres produits combustibles appelés additifs ou adjuvants. Sa composition dépend de l'origine géographique du pétrole et les procédés de raffinage utilisés. Elle est composée des molécules paraffiniques isolées, des noyaux aromatiques et naphténiques et des oléfines [4-6].

Tableau 1.1 : Exemple de composition d'une essence par famille chimique [5].

Composition par famille chimique (% volume)
Paraffines : 40-65%
Naphtènes : 0-5%
Oléfines : 0-20%
Aromatiques : 15-45%

En effet l'essence ne peut être commercialisé que si elle vérifie des contraintes très strictes sur les propriétés physiques (densité, volatilité), énergétiques (pouvoir calorique) et chimiques (indice d'octane, limitation des teneurs en certains composants) [6].

Processus de production des essences

Les essences sont obtenues par raffinage du pétrole brut. Ce procédé consiste à fractionner la charge pétrolière issu en plusieurs distillats moyens qui sont ensuite transformées en produits commercialisés tels que: les carburants (essence, kérosène, et gazole), les combustibles (gaz de pétrole liquéfié (GPL), fuels domestiques), les produits

intermédiaires pour la pétrochimie (naphtas), les produits de spécialité (huiles lubrifiantes, solvants, et bitumes) [7-8]. Pour obtenir ces produits, le raffinage fait appel à une grande variété d'opérations unitaires qui sont réunies dans un réseau de procédés industriels : la raffinerie. Un exemple d'un schéma de raffinage est illustré sur la (**Figure 1.1**).

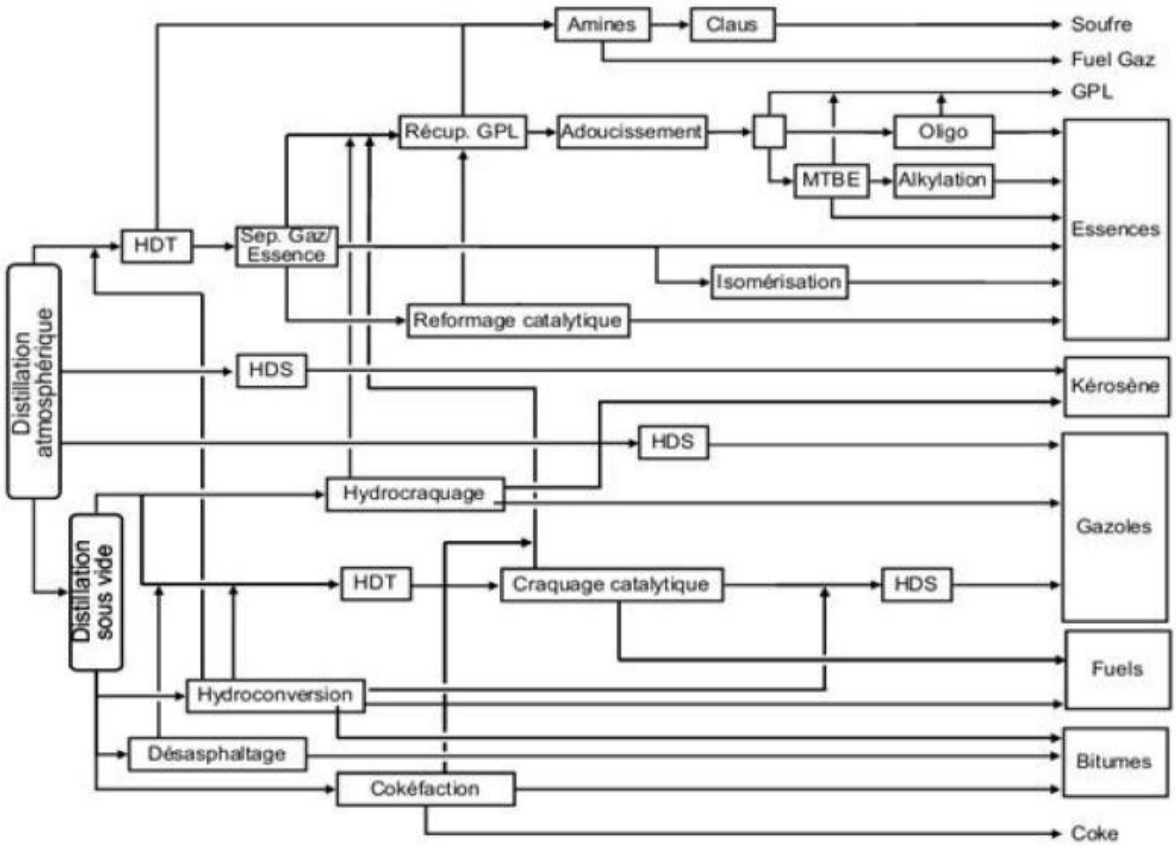


Figure 1.1 : Schéma de raffinage [9].

Depuis le siècle passé jusqu'à aujourd'hui, les raffineries (**Figure 1.2**) continuent à évoluer concernant les procédés de traitement et de valorisation de coupes lourdes. Cela se justifie par la croissance continue de la demande en carburants et l'augmentation des contraintes environnementales (réduction de la teneur en soufre et en aromatiques).

Figure 1.2 : Vue générale sur une raffinerie [9].

Les distillats pétroliers sont traditionnellement caractérisés par un intervalle de distillation exprimé en température d'ébullition normale ou en nombre d'atomes de carbone des paraffines correspondantes [10]. La (**Figure 1.3**) présente les principales coupes pétrolières obtenues dans les raffineries avec leurs frontières typiques au niveau du nombre d'atomes de carbone et de la température d'ébullition aussi appelée point de coupe. Le gaz et l'essence sont les coupes légères du pétrole.

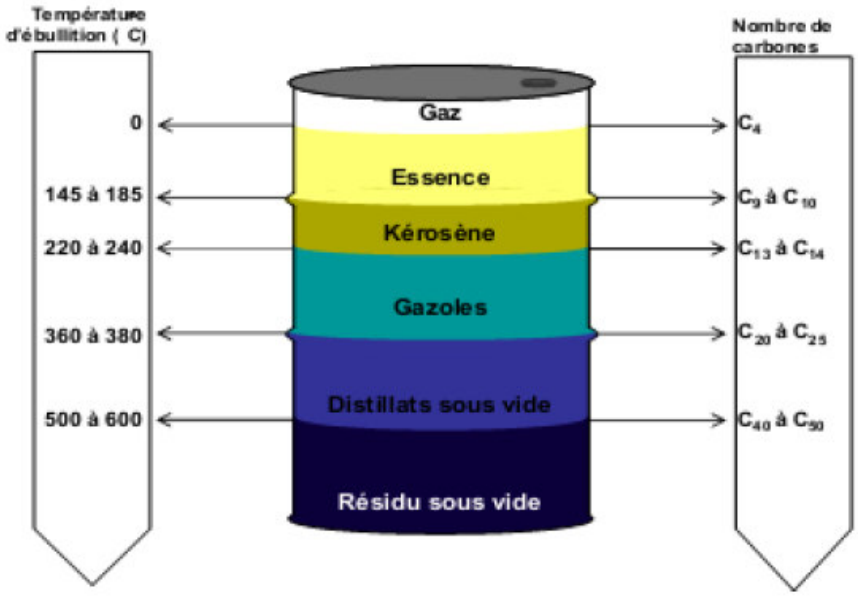


Figure 1. 3: Les Principales coupes pétrolières et leurs intervalles de température d'ébullition [11].

Caractérisation des essences

Les différents types d'essences

Les essences se répartissent en classes bien distinctes selon les types de moteurs qu'elles alimentent. Ceux-ci présentent généralement des propriétés physiques semblables

mais diffèrent par leurs indices d'octane. On distingue quatre types principaux d'essences: l'essence ordinaire (Normale), le super carburant, l'essence sans plomb et essence aviation.

- **Essence normale :** Elle est composée essentiellement d'un mélange d'hydrocarbures de structures variées (paraffiniques, oléfiniques, naphténiques, aromatiques (4% de benzène) auquel est ajouté entre autres un additif antidétonant à base de plomb [12].

- **Le supercarburant :** Il est de même nature que l'essence ordinaire mais obtenu par un procédé de raffinage spécial afin d'améliorer l'indice d'octane. Sa composition diffère de l'essence ordinaire par la teneur en benzène plus élevée (4 à 6 %) [12].

  Les spécifications d'une essence normale et supercarburant sont représentées dans le (**Tableau 1.2**).

Tableau 1.2: Les proprietés physico-chimique des essences Normale/Supercarburant [13].

Caractéristiques moyennes	Essence Normale	Supercarburant
Densité à 15°C	0.7259	0.7685
Masse volumique (Kg/m^3)	710-765	730-770
TVR (hiver/été) en bars à 37.8 °C	0.65/0.80	0.65/0.80
Distillation ASTM		
PI (°C)	34	38
10 %	51	62
20%	60	75
30 %	68	89
50%	89	112
65%	107	128
70%	113	134
90%	148	157
95%	164	174
PF	178	182
Distillé (%)	98	98
Pertes (%)	02	02
PTE (% poids)	0.04	0.04
Corrosion (lame de cuivre)	1 a	1 a
RON	90.0	96.4
Teneur en soufre (ppm)	100	100
Teneur en plomb (gPb/L)	0.4	0.4

- **Essence sans plomb :** L'essence sans plomb est un mélange d'hydrocarbures et des composés oxygénés. Les additifs utilisés sont le MTBE (méthyle tertio-butyle éther), additif le plus employé et le benzène ajouté en vue d'améliorer l'indice d'octane [12].

- **L'essence aviation (AVGAS) :** L'essence aviation (AVGAS) est une essence particulière utilisée pour faire fonctionner les aéronefs équipés de moteur à pistons (à allumage par étincelle). Tout comme l'essence automobile, l'essence aviation est un mélange d'hydrocarbures liquides. L'AVGAS contient du plomb tétra-éthyle (PTE) [14]. Elle est composée des alcanes ramifiés de C_7 à C_{10}, d'iso-alcanes et d'autres substances aromatiques à des concentrations plus faibles comme le benzène, le toluène, l'éthyle benzène et les xylènes [15-16].

La composition chimique de l'AVGAS utilisé au canada est mentionnée dans le (**Tableau 1.3**).

Tableau 1.3: Composition de l'essence aviation (AVGAS) utilisée au Canada [15].

Nom de substance	Composition selon le poids (%)
Naphta léger, alkylation	70-100 %
Naphta d'isomérisation (isopentane / isomérat)	0-10%
Toluène	0-30%
benzène	0-1%
Plomb tétraéthyle	< 0.53 gPb/l

Propriétés physico-chimiques des essences

Les propriétés physiques et chimiques des hydrocarbures responsables à la fois de fonctionnement satisfaisant du véhicule et d'une faible émission d'hydrocarbures par évaporation dans l'environnement sont: la masse volumique, la courbe de distillation et la tension de vapeur, les points d'éclair et d'aniline, l'indice d'octane, la masse molaire moyenne [17-18].

- **Densité :** La densité est définit comme le rapport du poids d'un certain volume d'échantillon à une température T au poids de même volume d'eau à une température standard. Le choix de l'état standard à 4°C permet l'identification des chiffres qui mesurent la densité et la masse volumique. L'unité de la densité dans le système international (S.I) est le kilogramme par mètre cube (kg/m^3).La mesure de la densité fait l'objet de la norme (NF-T60-101). Elle peut être déterminée à n'importe quelle température et calculer ensuite la valeur de **ρ** selon la formule :

$$\boldsymbol{\rho = \rho^t + K\ (t - 20)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. \boldsymbol{(1.1)}$$

$\boldsymbol{\rho t}$ **:** La densité à la température de l'essai.

K : coefficient de dilatation volumétrique (valeurs données dans la littérature).

t : Température de l'essai en degré Celsius (°C).

La mesure expérimentale de cette propriété se fait par différentes méthodes telles que : la méthode du pycnomètre, la méthode de l'aréomètre et la méthode du densimètre électronique.

- **La distillation ASTM :** La courbe de distillation d'une essence représente l'évolution de la fraction distillée en volume à pression atmosphérique en fonction de la température. Cet essai fait l'objet des normes suivantes : NF M07-002 pour les produits légers jusqu'au kérosène et NF M07-009 pour les produits lourds (gasoil et fuel-oil). La norme anglo-saxonne correspondante est D 86.La distillation consiste à chauffer un liquide jusqu'à son point d'ébullition puis condenser les vapeurs produites en repérant la température pour différents volumes condensés. Elle est caractérisée par :

- Le point initial PI : température à laquelle la première goutte tombe du condenseur.
- Le point final PF : température maximale relevée au cours de la distillation généralement observée après la vaporisation de la dernière goutte du liquide.
- Le point de décomposition : température qui coïncide avec les premiers signes de décomposition thermique (apparition de fumées blanches).

- **La tension de vapeur (Reid) :** La tension de vapeur représente la pression de vapeur qui règne au-dessus d'un liquide saturé en équilibre avec la phase vapeur qui le

surmonte à une température donnée. La tension de vapeur de l'essence déterminée par la méthode Reid est la pression développée par les vapeurs d'un certain volume d'essence dans une bombe normalisée à une température de 37,8° C. Dans la bombe, le rapport entre le volume et le gaz et celui du liquide est voisin de 4. La bombe renfermant le produit est agitée à 37,8° C jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Elle est exprimée en (g/cm^2, kg/cm^2 ou en PSI). La méthode Reid fait l'objet des normes Françaises NF 2 et Américaines ASTM D 5191.

- **Le point d'éclair :** C'est la température à partir de laquelle un produit chauffé progressivement émet des vapeurs en quantité suffisante pour former un mélange inflammable dans des conditions déterminées. Cette inflammation peut être produite par étincelle (électricité statique). Le point d'éclair des essences très bas est mesuré dans des conditions particulières.

- **Point d'aniline :** Le point d'aniline est définit comme étant la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et de produit à analyser sont complètement miscibles, la rupture de la miscibilité se manifeste par l'apparition d'un trouble net. Le point d'aniline est une indication sur la nature chimique d'un produit pétrolier et plus particulièrement de sa teneur en aromatiques. Dans cette méthode, le point d'aniline est la température à laquelle apparait la seconde phase (trouble de la solution), l'essai de sa détermination régi par la norme ASTM D611/ISO 2977.

- **L'indice d'octane** : L'indice d'octane d'un carburant caractérise la résistance de celui-ci à l'auto inflammation par compression et élévation de température .En effet, le mélange air/ essence admis dans la chambre de combustion ne doit pas s'enflammé avant que la bougie l'allumage .Dans le cas contraire, on observe alors un phénomène d'auto-allumage plus connu sous le terme de cliquetis (ou encore cognements). Le mélange s'enflamme tout seul avant le point d'allumage, le rendement baisse les températures augmentent et le moteur (piston, soupapes, chambre de combustion) se détériore [19].L'indice d'octane est obtenu en comparant (dans des conditions normalisées) les propriétés antidétonantes d'un mélange d'iso-octane et d'heptane avec le carburant dont l'indice d'octane est à déterminer [18].L'indice d'octane d'un carburant est exprimé par le pourcentage de volume d'iso-octane contenu dans le

mélange iso-octane/heptane qui possède les mêmes caractéristiques antidétonantes que le carburant. De manière générale, l'indice d'octane augmente lorsque :

- la longueur des chaînes carbonées diminue.
- le nombre de chaînes secondaires augmente (pour un même nombre d'atomes de carbone).
- le nombre de structures cycliques (cycloalcanes et aromatiques) augmente.

Au niveau international, deux procédures permettent de déterminer l'indice d'octane [19]:la méthode **RECHERCHE (RON)** et la méthode **MOTEUR (MON).** Le RON **(R**esearch **O**ctane **N**umber**)** est l'indice d'octane obtenu par la méthode recherche, il est déterminé pour les cliquetis à l'accélération. Le MON **(M**otor **O**ctane **N**umber**)** est l'indice d'octane obtenu par la méthode moteur, il s'intéresse principalement au cliquetis à haut régime .Cette indice est toujours plus faible que l'indice RON. La plupart des carburants courants en Europe ont un RON d'environ 95 et un MON d'environ 85 [20-21].Des mesures de recherche et d'indice d'octane moteur (RON et MON respectivement) ont été effectuées pour évaluer une méthode de calcul linéaire par mole pour la prédiction de l'indice d'octane basée sur des valeurs de composés purs. Les mesures ont démontrés qu'une méthode de calcul linéaire est précise pour les mélanges ternaires de n-heptane, d'iso-octane et de toluène avec un niveau de précision très élevé pour le **RON**, le **MON** et la sensibilité dans la plage de valeurs des essences réelles. La relation a ensuite été comparée à d'autres formulations de la littérature afin de démontrer sa pertinence et sa précision malgré sa forme simple. Une telle relation est essentielle pour définir les substituts de l'essence lorsque la représentativité de l'auto-inflammation est recherchée [22].Pour mesurer la qualité d'une essence, on mesure les détonations sur un moteur de laboratoire (moteur **CFR**) représenté sur la (**Figure 1.4**) [23], qui est équipé d'un quartz piézoélectrique dans la culasse chargé de transformer les ondes de choc en courant électrique. Deux hydrocarbures sont utilisés comme référence : le normal heptane C_7H_{16} et l'iso-octane C_8H_{18}.Le premier provoque un cliquetis catastrophique, on lui a donc attribué un indice 0. Le second se comporte bien dans le moteur, on lui a donc donné un indice 100 [20].

Figure 1.4 : Moteur CFR [24] .

- **Pouvoir calorifique :** Le pouvoir calorifique massique ou molaire représente la quantité de chaleur dégagée par unité de masse ou de volume du carburant lors de la réaction chimique de combustion complète conduisant à la formation de CO_2 et H_2O. Le carburant est pris sauf mention contraire à l'état liquide et à une température de référence généralement 25 °C. L'air et les produits de combustion sont considérés à cette même température.

  D'autres paramètres peuvent être controlés tels que : la couleur (NF 60-104 et ASTM D1500 ou ASTM D156 64 et 07-003 saybolt), l'indice de réfraction (ASTM D1218), teneur en eau et sédiments et la teneur en sels (NF M07-023, ASTM D3230 et IP 71/66).

1.3. Phénomène de cliquetis

Dans le moteur à allumage commandé (dis encore à explosion ou étincelle) plusieurs types de combustion peuvent se manifester .Le prcessus normal consiste en une combustion rapide mais progrisive du mélange air-carburant grâce à la la propagation d'un front de flamme issu de l'étincelle jaillisant entre les électrode de la bougie d'allumage.Le phénomène parasite est le cliquetis : il s'agit d'une auto-inflammation instantanée et en masse d'une partie

de la charge non encore brulée et portée à temperature et pression élevées par le mouvement du piston et par le dégagement d'énergie dû à la propagation du front de flamme [23].Le cliquetis dans les moteurs à A.C demeure un problème pour les motoristes. La détection du cliquetis doit en effet permettre de réaliser un compromis entre l'optimisation du rendement moteur, la consommation du carburant et le respect des normes en matière de dépollution [26].

1.4. Additifs pour essences

Depuis l'année 60 deux idées ont retenus l'attention :la lutte contre la pollution avant le premier choc du pétrole en 1973 et la diminution de la consommation.On peut considérer que les deux objectifs sont liées .En effet , tout déréglage d'un système d'admission provoque une modification de la richesse du mélange se traduisant par une modification d'une part de la consommation et d'autre part de la nature ainsi que la quantité des polluant émis : CO , NO_X, hydrocarbures imbrulés (HC).Le nettoyage en continu du circuit d'admission par un additif continu dans l'essence contribura à maintenir le réglage à sa valeur optimal et empèchera une dérivée du fonctionnement moteur.Les carburants sont soumis à une réglementation strict en ce qui concerne les proprités physiques et les proprités du combustible dont l'indice d'octane est la caractéristique la plus représentative [27].

Le raffinage ne peut dans des conditions économiques fournir un carburant aux spécifacations exsigées et le rôle des dérivées organiques du plomb a été pendant longtemps de combler la différence entre l'indice d'octane du carburant clair et d'indice requis par la légation.Le développement des pots catalytiques pour la combustion des hydrocarbures imbrulés impose d'éviter le recours aux dérivées organiques du plomb et désormais les raffineurs se tournent vers des composés oxygénés que l'on doit utiliser comme composant dans l'essence à des doses bien superieures à celles des dérivées du plomb [27].Les essences contiennent toujours des additifs à faible quantité se situant entre quelques dizaines et centaines de parties par million (ppm). Ce sont notamment :

- ✓ Des colorants (4 mg/l) permettant de distinguer les produits entre eux et d'éviter des mélanges frauduleux.
- ✓ Des anti-oxydants assurant la bonne conservation des essences au stockage même si celui-ci est toujours bref (quelques semaines au maximum).

- ✓ Des produits détèrgents ou surfactants empêchant la formation de dépôts dans le circuit d'admission (injecteurs, tubulure, soupapes) et les chambres de combustion du moteur. Les phénomènes d'encrassement doivent en effet être évités en raison de leurs

inconvénients potentiels (perte d'agrément de conduite, augmentation de la consommation du carburant et d'émissions polluantes, accroissement de la tendance au cliquetis).

- ✓ Des additifs anti-récessions des sièges de soupapes dont le plus important est le tétraéthyle de plomb [28].

Additifs améliorant l'indice d'octane

Une deuxième série d'additifs est constituée par les additifs destinés à améliorer l'indice d'octane ,ce dernier est une mesure qui indique la capacité du carburant à resister à l'auto-inflammation pendant la période de compression avant l'allumage commandé. Les additifs fonctionnent par réaction avec les produits d'oxydation partille des hydrocarbures en stoppant la chaine d'oxydation qui conduirait à la combustion [29].Les produits qui ont été les plus largement utilisés sont des composés ograno-métalliques et en particulier les dérivées du plomb qui ont été comercialisés depuis 1920.Afin de fournir une teneur en plomb constante dans toute la gamme de température d'ébullition de l'essence,on a utilisé deux dérivées du plomb : plomb tétraéthyle (PTE) et le plomb tétraméthyle (PTM) et leurs mélanges en proportion variables .Ces composés sont obtenus par action de dérivées halogènes organiques sur des alliages de plomb (alliage de magnésium ou de métaux alcalins) [29]. L'ajout de 0,5 g de plomb (tétraméthyl ou tétraéthyl) par litre de carburant permettait de gagner environ 5 points d'indice d'octane [28].

- ✓ **Avantages du tétra-éthyle de plomb :** il est ajouté à l'essence pour deux raisons. Il sert à lubrifier les soupapes des moteurs et surtout a un rôle d'antidétonant en évitant que le mélange air-essence n'explose trop tôt. Cette caractéristique est symbolisée par «l'indice d'octane». Avec l'évolution des moteurs à A.C, la demande en indice d'octane a augmentée (plus l'indice d'octane est élevé, meilleures sont les capacités d'accélération) et l'additif de plomb est devenu de plus en plus nécessaire [30]. Avant les années 30 l'essence ne contenait pas de plomb ce qui nécessitait de rectifier les sièges de soupapes (les frettes) et de roder les soupapes tous les 15000 km. L'adjonction de plomb a supprimée cette contrainte. Les particules de plomb se déposant sur les frettes agissaient comme des coussins amortisseurs. L'usure

provoquée par le choc soupape/siège avait diminué de manière importante. Noter que le plomb a également permis d'augmenter l'indice d'octane autorisant ainsi des taux de compression plus élevés et donc de meilleurs rendements des moteurs.

- ✓ **Incovinients du tétra-éthyle de plomb** : L'essence avec plomb est un poison pour les pots catalytiques qui permet de convertir les gaz nocifs (hydrocarbures imbrûlés, monoxyde de carbone et oxydes d'azote) en vapeur d'eau, en dioxyde de carbone et en azote [31]. L'inhalation du plomb peut avoir divers effets toxiques aigus et chroniques [32]. En effet ce métal est un toxique cumulatif [33, 35]. Généralement 10 % du plomb des solutions aqueuses sont absorbées par voie intestinale chez l'adulte mais peut être supérieure à 50 % chez l'enfant de moins de 5 ans. Une fois absorbé, 90 % du plomb pénétré dans le sang s'accumule dans le tissus osseux où il prend la place du calcium et de la vitamine D [33, 36-37]. La libération progressive de ce métal dans le corps provoquera des troubles plus au moins graves, les principaux organes touchés sont les systèmes nerveux, sanguin et rénal [37-39]. Le plomb perturbe la biosynthèse de l'hémoglobine et diminue la durée de vie des globules rouges par altération de la membrane [33 -38]. Chez les adultes, des fortes doses de plomb peuvent induire des troubles de reproduction, des insuffisances rénales [34, 36].Lorsque le plomb bloque les groupes thiols libres des enzymes, il en résulte une liserée plombique c'est-à-dire dépôt de sulfure de plomb au bord des gencives [37-40-41]. Le plomb traverse facilement la barrière placentaire et s'accumule dans l'os fœtal. Une consommation journalière de 1 mg de plomb peut provoquer avec le temps la mort subite de l'homme [34]. Chez les animaux, un taux élevé de plomb provoque une augmentation de l'urée [41]. La vie aquatique peut être perturbée à partir de 0.1 mg/l de plomb car des effets toxiques peuvent se manifester chez les poissons à partir d'une concentration de 1 mg/l, toutefois l'action toxique est variable selon l'espèce et le degré de minéralisation de l'eau [42]. A fortes doses, ce métal provoque l'asphyxie des poissons, effet qui diminue avec le taux de calcium dans l'eau [40].Chez les plantes, des concentrations élevées de plomb peuvent inhiber la croissance cellulaire et empêcher la synthèse de la chlorophylle [33-38].

On conçoit donc l'importance des recherches dont la notre menées dans le sens de la production des essences sans plomb.

1.5.Consommation nationale en essences

En dépit de ses effets nocifs sur la santé, l'essence avec plomb continue à être utilisée en Algérie qui est aujourd'hui l'un des pays au monde à le commercialiser.Utilisé depuis les années 1920, le plomb a été éliminé dans la plupart des régions du monde depuis la découverte de ses effets nocifs sur la santé et l'environnement. Les seuls pays qui ont continuer à utiliser cette essence sont l'Algérie, l'Irak, le Yémen, le Myanmar, la Corée du Nord et l'Afghanistan. Il faut dire à ce propos que les véhicules fabriqués avant janvier 1987 ne sont pas adaptés à l'essence sans plomb. Les additifs au plomb présentaient l'avantage de protéger les moteurs de ces véhicules. Une véritable problématique quand on sait que plus de 50% des véhicules en Algérie ont plus de 20 ans d'âge.Face à cette situation les pouvoirs publics voulaient mettre en œuvre une réglementation stricte destinée à accélérer le retrait de la circulation des vieilles voitures. Mais cette décision a été marquée par beaucoup d'hésitations de la part des décideurs, pour des considérations d'ordre social. En 2012, la consommation d'essences éthylés a été estimées à plus de 350 000 t/an [42].

En Algérie, les pouvoirs publics sont manifestement beaucoup plus préoccupés par la satisfaction d'une demande nationale en carburant de plus en plus grandissante et qui dépasse la production nationale. Elle atteint actuellement des seuils dépassant largement les capacités de production nationale.Les principales énergies consommées dans les secteurs du transport sont : Le gasoil 65% et les essences 26% (**Figure 1.5**) [42].

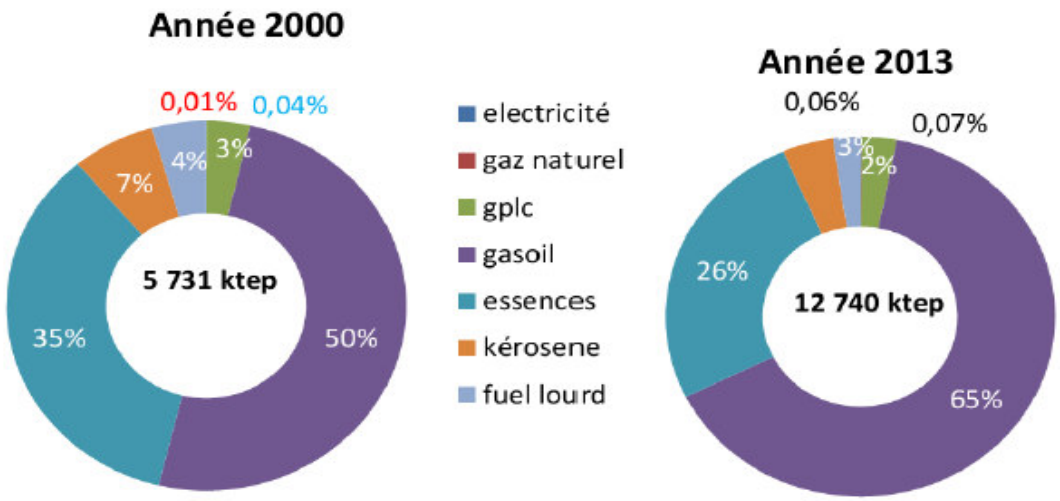


Figure 1.5: Consommation des énergies dans les secteurs du transport [43].

Les derniers chiffres de l'**A**gence de **R**égulation des **H**ydrocarbures (ARH) au premier trimestre 2018 indiquent que la consommation de l'essence normale et super produites avec

plomb a atteint 597 526 tonnes depuis le premier trimestre de l'année passée tandis que la consommation d'essences sans plomb est seulement de 328 329 tonnes [44].

L'Algérie qui possède un parc automobile essence estimé à 3,2 millions d'unités a toujours exprimé sa volonté d'éliminer à terme l'essence avec plomb et la promotion de carburants propres. Elles était même engagée au cours des rendez-vous internationaux sur l'environnement visant à l'élimination de l'essence avec plomb du marché en 2015.Actuellement, l'avenir de l'essence au plomb en Algérie demeure inconnu [44-45].

Tout le monde s'accorde à dire que de simples observations dans plusieurs villes algériennes permettent de constater en effet et de visu l'importance de la pollution causée par les moyens de transport : fumée noire, imbrûlés, particules en suspension, etc., dégagés par d'anciens bus, camions et véhicules mal entretenus. En plus, en ce qui concerne la pollution automobile, principalement concentrée au niveau des grandes villes, on s'accorde à dire que la charge polluante est d'autant plus aggravée du fait que la majorité de ces villes sont situées au niveau du littoral où justement les conditions climatiques de dispersion et d'inversion thermiques sont souvent défavorables [46-47].

En matière de pollution atmosphérique due au transport, une étude de PNAE (**P**lan **N**ational d'**A**ctions **E**nvironnementales) effectuée sur la base des données relatives aux parcs de 1995 sur le grand Alger et les Willayas limitrophes a estimé la concentration dans l'air du dioxyde d'azote à 18% du total national, celle du plomb à 22%, 14% en dioxyde de souffre et enfin à 20,5% du total national en oxydes de carbone. En outre, la concentration moyenne en plomb dans l'air au niveau de l'agglomération algéroise en 1995 aurait atteint 2,01 micros grammes/m^3 alors que la norme de qualité de l'air recommandé par l'OMS (**O**rganisation **M**ondiale de la **S**anté) se situe entre 0,5 à 1 microgramme/m^3 [46].

1.6. La pollution issue du secteur des transports

Le développement de tous les moyens de transport (terrestre, martine, aérien) a entraîné une pollution spécifique importante. Pour les véhicules équipés des moteurs à A.C, les polluants proviennent des gaz d'échappement, des gaz de respiration du carter, de la ventilation des hydrocarbures présentes dans le réservoir ou du rejet d'hydrocarbures par le carburateur (élévation de la température sous le capot lors de la demi-heure qui suit l'arrêt du moteur).La combustion parfaite d'un hydrocarbure conduit à la formation de dioxyde de

carbone et d'eau. Ce schéma idéal est rarement réalisé dans un moteur : les gaz d'échappement sont constitués d'un grand nombre de molécules dont certaines sont des polluants identifiés tels le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO, NO_2,N_2O, représentés comme NO_x) et les hydrocarbures imbrûlés (HC) (**Figure 1.6**) [48].

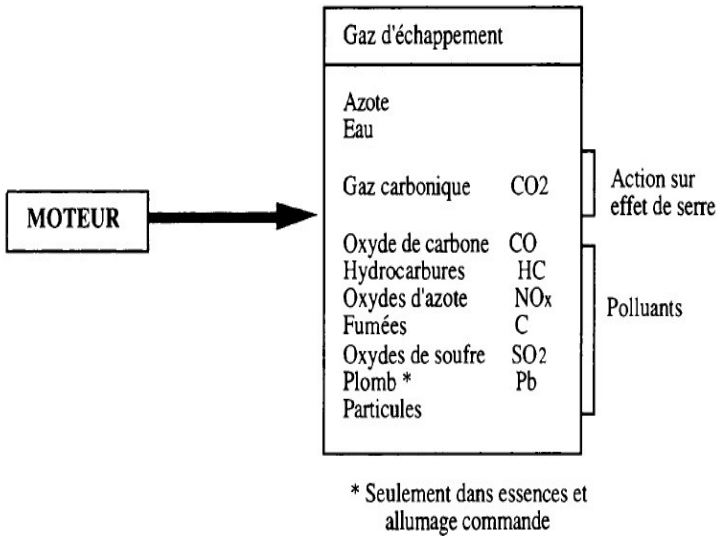


Figure 1.6 : La pollution engendrée par les moteurs thermiques [48].

Le paramètre déterminant pour la production de ces polluants est la richesse du mélange carburé dans lequel s'est développée la combustion [48].Le (**Tableau 1.4**) présente la composition des principaux gaz d'échappement des véhicules routiers.

Tableau 1.4 : Composition des gaz d'échappement des véhicules routiers [49].

Polluants	**Moteur essence**			**Moteur Diesel**		
(% de)	**Max.**	**Min.**	**moyenne**	**Max.**	**Min.**	**moyenne**
CO_2	15.00	2.7	9.00	13.60	0.7	9.00
CO	13.50	0.2	4.00	7.60	-	0.10
O_2	17.40	0	4.00	20	0.5	9.00
H_2	5.8	0	2.00	2.50	0	0.03
HC	4.00	0	0.50	0.50	0	0.02
Aldéhyde	0.03	0	0.004	0.0037	0	0.002
NO_x	0.20	0	0.06	0.15	0	0.04
SO_2	0.008	0	0.006	0.03	0.01	0.02

Des études statistiques menées en 2013 (**Figure 1.7**) montrent que le transport algérien consomme 12740 ktep, cela représente 41% de la consommation totale d'énergie en Algérie ce qui représente plus de 80% de produits pétroliers. Le secteur de transport est devenu l'une des premières sources de pollution en Algérie avec des émissions atteignant en (2013) 14 millions de tonnes d'équivalent CO_2 soit 46% du total des émissions de gaz à effet de serre [43].

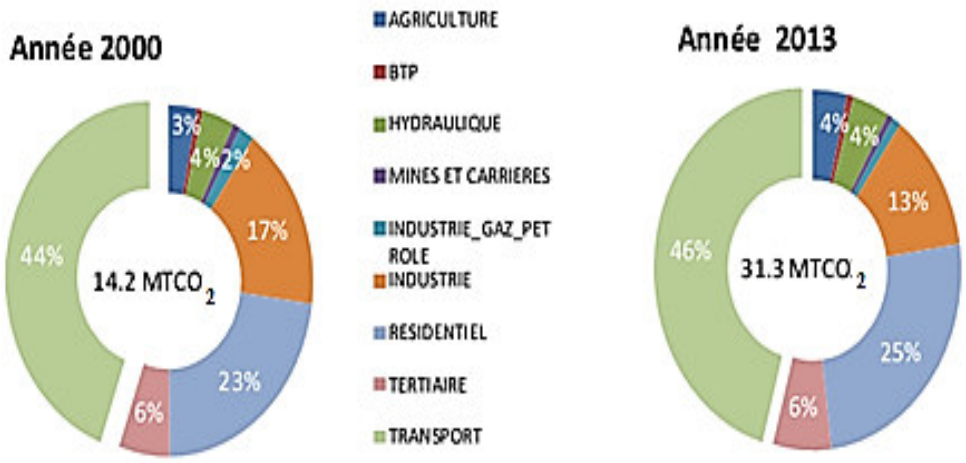


Figure 1.7: Répartition des émissions des gaz à effet de serre par secteur [44].

Une étude réalisée par les experts du PNUE (**P**rogramme des **N**ations **U**nies pour l'**E**nvironnement) a permis de calculer les indicateurs énergétiques et environnementaux présentés dans le (**Tableau 1.5**).

Tableau 1.5: Consommation des carburants en Algérie et émissions engendrées [44].

	Consommation moyenne du carburant par litre 100 Km			**Émission moyenne de CO_2 par gramme par 100 Km**		
	2005	**2008**	**2013**	**2005**	**2008**	**2013**
Essence	7, 2	7, 1	6, 9	159,1	157, 9	156,1
Diesel	8	8	7,2	197, 7	197,4	165

La réglementation concernant la pollution aussi bien les sources fixes, notamment les installations industrielles que les sources mobiles comme les transports visent en général à limiter les flux d'émissions dans le cadre d'accords internationaux à travers le protocole de Kyôto, ratifié par 156 pays dont l'Algérie par le décret présidentiel N° 04-144 du 28 avril 2004 [44].

1.7. Impact des polluants automobiles sur l'environnement et la santé

Les principaux rejets des pots d'échappements automobiles ont un impact très dangereux sur l'environnement. Le monoxyde de carbone (CO) est rapidement dilué puis dégradé en CO_2 dans l'atmosphère qui contribue à son tour à l'effet de serre, au réchauffement planétaire et à une modification du climat. Ensuite, il y'a les oxydes d'azote (NO_x) et les hydrocarbures imbrulés (HC) qui sont des précurseurs à la formation d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère par leur décomposition en présence du rayonnement solaire. Les polluants cités font partie de ceux dont les teneurs sont les plus importantes et dont les effets sont les mieux connus. Certains autres sont cités pour tenir compte des évolutions réglementaires très probables (au niveau national et européen) qui devraient conduire dans un avenir proche à s'intéresser à eux **[**49]. Le (**Tableau 1.6**) présente les effets des principaux polluants sur la santé.

Tableau 1.6 : Effets des principaux polluants sur la santé et l'environnement [49].

Les polluants	Leurs effets sur la santé et l'environnement
Dioxyde de soufre (SO_2)	-C'est un gaz irritant. Il provoque une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire…). Les personnes asthmatiques y sont particulièrement sensibles. Synergie avec les particules. -Participation au phénomène des pluies acides par transformation en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air. Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments.
Oxyde d'azote (NO, NO_2)	-C'est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant. Irritation des bronches chez un public sensible. - Participation au phénomène des pluies acides, à l'augmentation de l'effet de serre et à la formation de l'ozone troposphérique (celui des basses couches).
Particules en suspension (PM10)	-Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles sont donc moins nocives pour la santé que les particules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plus profondément dans l'organisme ; elles irritent alors les voies respiratoires inférieures et altèrent la fonction respiratoire dans l'ensemble. Certaines, selon leur nature, ont également des propriétés mutagènes et cancérigènes. - Effets de salissure des monuments et bâtiments.
Monoxyde de carbone (CO)	-il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Le système nerveux central et les organes sensoriels sont les premiers affectés, provoquant des céphalées, vertiges, asthénies ou troubles sensoriels. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles. Vertiges, Maux de tête, Nausées. - Participation à la formation de l'ozone troposphérique ; Dans l'atmosphère, il contribue à l'augmentation de l'effet de serre par transformation en dioxyde de carbone CO2.
Composés organiques volatils (COV) dont benzène	-Ces molécules ont des effets très divers selon leur famille. De la simple gêne olfactive (odeurs), certains provoquent une irritation (aldéhydes), une diminution de la capacité respiratoire. D'autres, comme le benzène, provoquent des effets mutagènes et cancérigènes. Diminution de la fonction respiratoire. -Participation à la formation de l'ozone troposphérique (rôle majeur avec les oxydes d'azote) et à l'augmentation de l'effet de serre (par intervention dans des mécanismes conduisant à la formation des gaz à effet de serre).
Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd...)	-Ces différents éléments s'accumulent dans l'organisme, ce qui entraîne un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérigènes. Toxicité par bioaccumulation dans le système nerveux, les poumons, les reins...etc. -Contamination des sols et des aliments ; Accumulation dans les organismes vivants et perturbation des mécanismes et équilibres biologiques.
Ozone (O_3)	-Ce gaz, très oxydant, pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque de la toux et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques, ainsi que des irritations oculaires. Irritation des muqueuses (gorge, nez, yeux). -Diminution des rendements agricoles, dégradation des matériaux (caoutchouc par exemple) et participation à l'augmentation de l'effet de serre.

Chapitre 2 : Architecture, principes de fonctionnement des moteurs à A.C et technologie de réduction des polluants.

Chapitre 2 : Architecture, principes de fonctionnement des moteurs à A.C et technologie de réduction des polluants.

2.1. Introduction

Ce chapitre présente l'architecture, les principes de fonctionnement ainsi que les technologies de réduction des polluants dans les moteurs à A.C. Nous exposons tout d'abord, une description générale de la structure des moteurs à A.C, ensuite leurs fonctionnements et les caractéristiques géométriques de ces derniers.

2.2. Généralités sur les moteurs à A.C

2.2.1. Historique

Le plus ancien moteur est la machine à vapeur : dès le 1er siècle après J.C, Héron d'Alexandrie construit l'éolipyle, une chaudière hermétique remplie en partie d'eau, placée sur le feu.

En 1763, James Watt répare un moteur Newcomen (machine à balancier créée en 1712) et cherche un moyen d'augmenter son efficacité. Il crée une chambre de condensation pour la vapeur séparée par une valve [50]. En 1781, il met au point le système mécanique permettant de créer un mouvement de rotation à partir du mouvement rectiligne du piston, ce qui lui permet ensuite de concevoir le cylindre à double actions où la vapeur entraînant le piston lors de sa montée et de sa descente [51]. En 1784, il dépose un brevet sur une locomotive à vapeur et invente un indicateur de pression de la vapeur dans le cylindre. Il construit en 1788 une valve de puissance pour rendre la vitesse constante indépendamment des variations de la production de vapeur et des sollicitations de puissance de sortie et introduit une nouvelle unité de mesure de la puissance : le cheval vapeur. En 1803, Edmund Cartwright invente un nouveau type de condenseur enveloppant le cylindre avec l'apparition de chaudières produisant de la vapeur à haute pression, des machines compactes et puissantes vont ainsi pouvoir être fabriquées [51].

Les moteurs à combustion externe les plus connus sont le moteur Stirling (1816), le moteur Ericsson (1833) et bien sûr la machine à vapeur. Apparus à la même époque que les premières machines à vapeur, les moteurs à combustion interne à pistons verront leur développement sommeiller pendant près de deux siècles, avant de s'affirmer comme les moteurs du XXe siècle [52].

2.2.2. Principe de fonctionnement des moteurs à A.C

Par définition, un moteur thermique à allumage commandé est un moteur alternatif à combustion interne permettant de produire un travail mécanique sous forme de rotation du vilebrequin à partir de la combustion d'un mélange carburé (air-essence) à l'intérieur d'un cylindre dont lequel se déplace un piston en mouvement alternatif (**Figure 2.1**) [53]. Le déplacement du piston s'effectue entre deux limites appelées respectivement le Point Mort Haut (PMH) et le Point Mort Bas (PMB). Le volume balayé par ce déplacement de piston est la cylindrée unitaire du moteur [54].

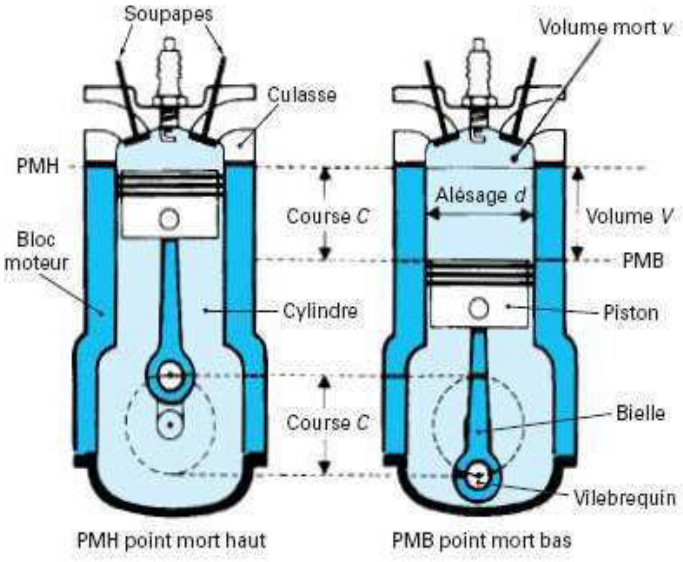


Figure 2.1 : Le moteur thermique à allumage commandé /SW3/ [54].

Le dimensionnement des différents éléments mécaniques du moteur est déterminant pour les performances globales du moteur. Par exemple, le rapport volumétrique de compression (ou taux de compression défini comme étant le rapport entre le volume total d'un cylindre et le volume mort est judicieusement fixé par les constructeurs entre 9 et 12 sur les moteurs actuels. Les variantes essentielles dans les moteurs thermiques à allumage commandé concernent le cycle de fonctionnement (deux temps ou quatre temps) ainsi que les modes d'alimentation et de combustion. En effet, le mélange carburé est réalisé soit avant son introduction dans les cylindres (injection indirecte) soit dans les cylindres (injection directe).

Dans notre cas, on s'intéressera principalement au moteur thermique à 4 temps à A.C.

La (**Figure 2.2**) montre les quatre temps d'un cycle de fonctionnement de ce type des moteurs [55].

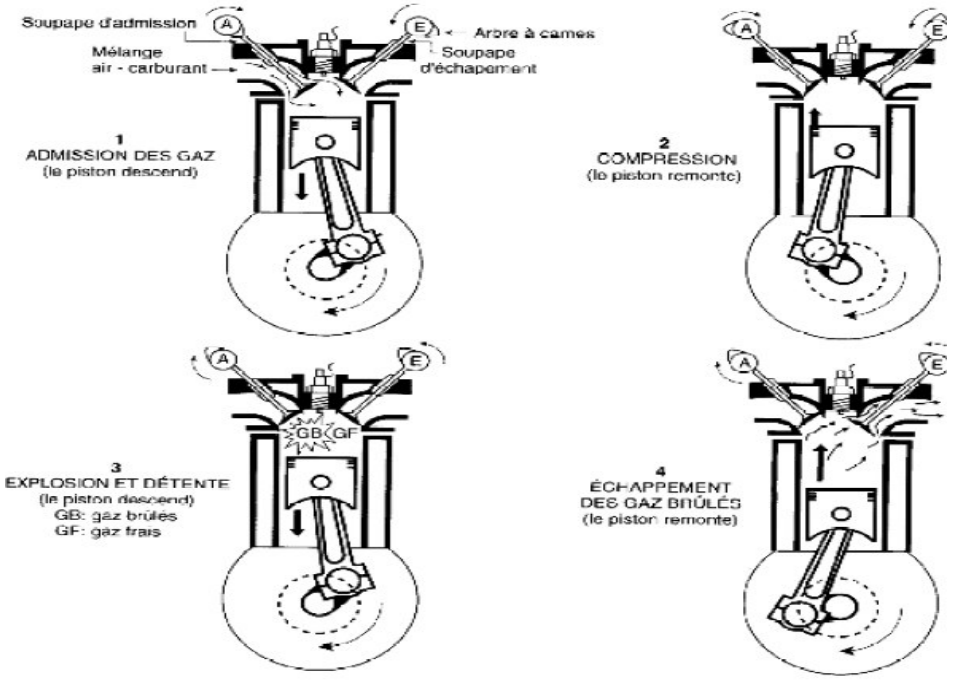


Figure 2.2 : Cycle à 4 temps des moteurs à A.C [56].

Par ordre, ces quatre temps sont [56-57] :

- **1er temps:** L'admission, qui correspond au remplissage du cylindre. La soupape d'admission est ouverte et le piston descend et aspire le mélange air-essence.
- **2ème temps:** La compression, le piston remonte comprimant ainsi le mélange air-essence. Une étincelle est générée par la bougie d'allumage pour enflammer le mélange.
- **3ème temps :** La combustion et la détente, c'est pendant ce temps que la combustion se développe pour transformer l'énergie chimique contenue dans le mélange air-essence en énergie mécanique. Avec l'expansion des gaz brûlés, le piston est repoussé vers le bas.
- **4ème temps:** L'échappement, qui correspond à la vidange des gaz brûlés du cylindre, la soupape d'échappement est alors ouverte. Le piston remonte et évacue les gaz brûlés.

L'admission d'essence de ces moteurs est réalisée de plus en plus par des injecteurs à commande électronique. Le travail produit par le moteur est alors directement lié au remplissage des cylindres en air, d'où l'utilité d'un ajout de systèmes de suralimentation pour améliorer les performances du moteur. Il est possible d'équiper ce dernier d'une suralimentation en air basée dans la majorité des cas sur l'ajout d'un turbocompresseur au circuit d'air classique (**Figure 2.3**) [58].

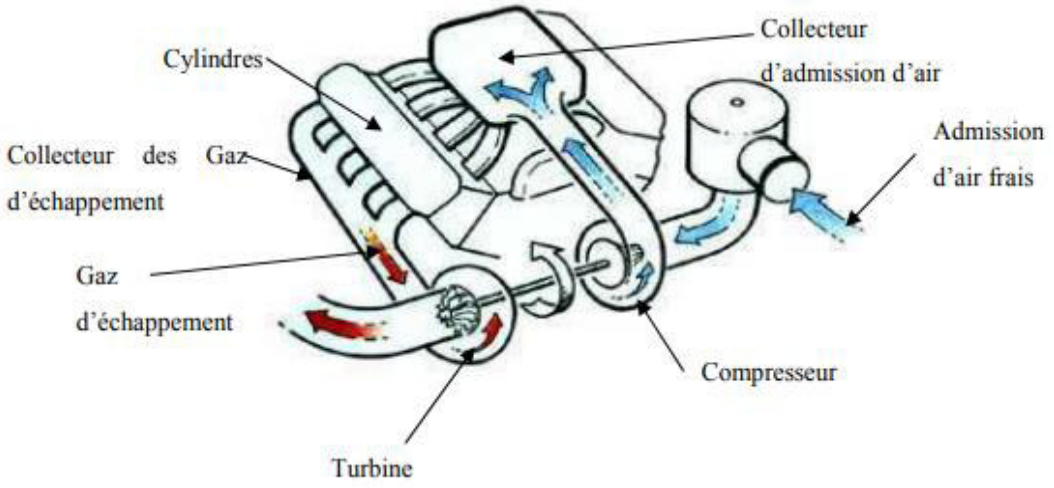


Figure 2.3 : Suralimentation des moteurs thermiques [57].

Le fonctionnement du moteur thermique est assuré par l'association de quatre grands groupes fonctionnels (**Figure 2.4**):

- **Les systèmes à fonctions mécaniques** [56-59]:
- **Le système enceinte :** Assure l'isolement de la masse gazeuse.
- **Le système bielle-manivelle:** Assure la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement de rotation.
- **Le système de distribution:** Commande l'ouverture et la fermeture des soupapes en temps voulus.
- **Le système de carburation :** Assure l'alimentation du moteur en mélange carburé.
- **Le système d'allumage :** Assure l'inflammation du mélange carburé.
- **Les systèmes auxiliaires :**

  - Le système de lubrification.

  -Le système de refroidissement.

-Le système de démarrage et de charge (circuit électriques) [58].

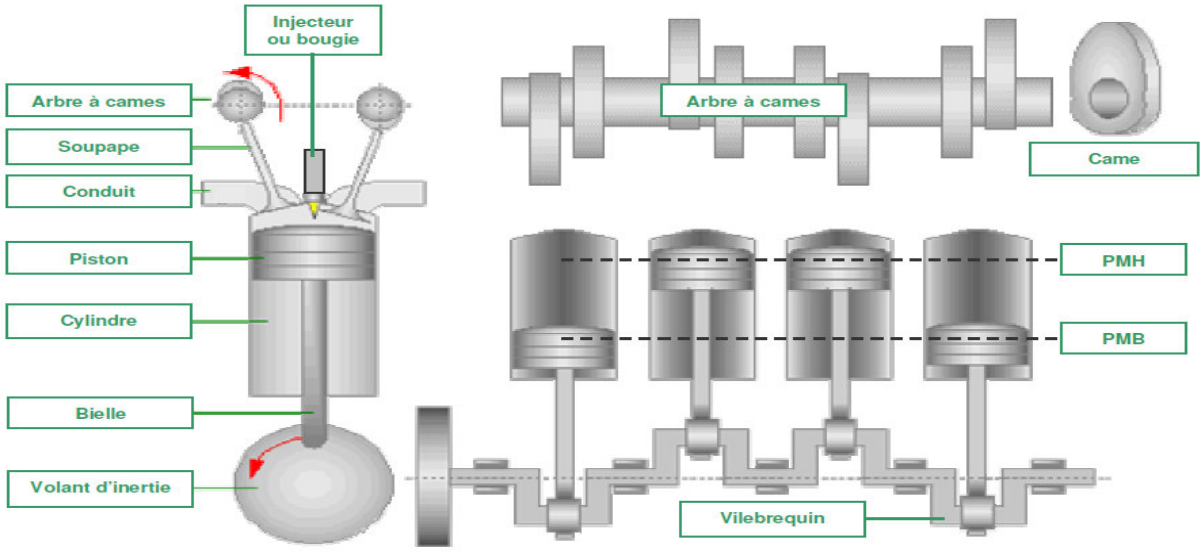


Figure 2.4 : Principaux composants d'un moteur alternatif à piston [60].

2.2.3. Architecture des moteurs à A.C

Le système enceinte regroupe tous les systèmes à fonctions mécanique. Il se divise en deux parties:

a/ Partie fixe : La partie fixe du moteur à allumage commandé (essence) se constitue généralement d'un bloc moteur, d'une culasse et des carters de protection [56].Le nombre de cylindres peut varier selon la nature du moteur de un à douze pour les applications liées aux transports ou plus sur les machines fixes destinées à la production d'énergie. La disposition des cylindres les uns par rapport aux autres dépend des facteurs mécaniques : équilibrage, complexité, refroidissement et compacité du moteur. Les cylindres peuvent être disposés en ligne (côte-à-côte verticalement, c'est la configuration la plus fréquente pour les moteurs des voitures de tourisme), à plat (deux cylindres opposés horizontalement) ou en V (disposition oblique pour les gros moteurs de six à douze cylindres) [61].

- **La Culasse :** Elle assure la fermeture de la chambre de combustion et présente de nombreux alésages dont : le logement de l'injecteur, les ports d'admission et d'échappement. La culasse supporte aussi les composants du système de distribution :

les soupapes, les sièges de soupape, l'arbre à cames [61]. Elle permet : l'arrivée et l'évacuation des gaz, la mise en position des éléments de la distribution et d'une partie de l'allumage et l'évacuation rapide des calories [56].

- **Les Carters de protection :** C'est une enveloppe protégeant le moteur, souvent fermée de façon étanche et contenant le lubrifiant nécessaire à son fonctionnement [62], on distingue : le carter d'huile, le carter de distribution et le couvre-culasse.
- **Les collecteurs d'admission et d'échappement :** c'est un élément de la ligne d'air d'un moteur à explosion multicylindre. Il a pour fonction de fournir à chaque cylindre la quantité d'air nécessaire à une combustion complète du carburant [60].Le collecteur d'échappement contient ceux qui emmènent les gaz brûlés depuis les soupapes d'échappement. Ce sont des pièces moulées en alliage léger pour l'admission et en fonte pour l'échappement [56].

b/ Partie mobile : Dans un moteur à piston alternatif, on transforme la poussée des gaz de la combustion force unidirectionnelle en mouvement circulaire d'un couple de force. Les pièces mécaniques chargées de cette transformation constituent les éléments mobiles du moteur : le piston, la bielle, le vilebrequin, le volant moteur, la distribution.

- **Le piston :** Le piston est une partie mobile, il coulisse dans le cylindre selon un mouvement rectiligne de va-et-vient avec la culasse, il délimite l'enceinte où se produit la combustion communément appelée la chambre de combustion. Le piston est un élément essentiel dans la chaîne motrice, sa fonction consiste à transformer la pression qui s'exerce sur son sommet lors de la combustion en effort sur la bielle (**Figure 2.5**). Des gorges dans lesquelles se logent les segments sont usinées autour du piston afin d'assurer l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter. Il se compose : d'une tête ou culot dont le diamètre doit être inférieur à l'alésage du cylindre quelles que soient les dilatations des segments situés dans des gorges placées sur le pourtour du piston et d'une jupe qui doit assurer le guidage à froid comme à chaud avec un minimum de frottement [61].

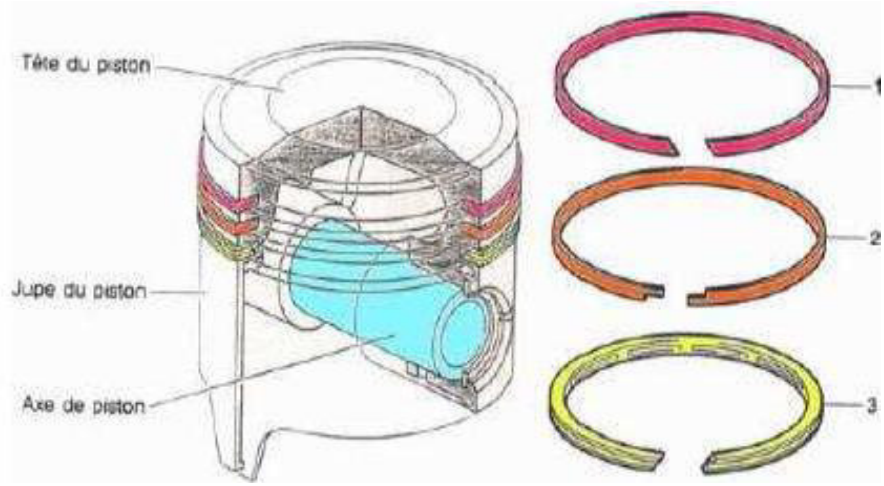


Figure 2.5 : Éléments constituants d'un piston alternatif [56].

- **Le vilebrequin :** Il reçoit l'effort transmis par les pistons et les bielles et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston [62].

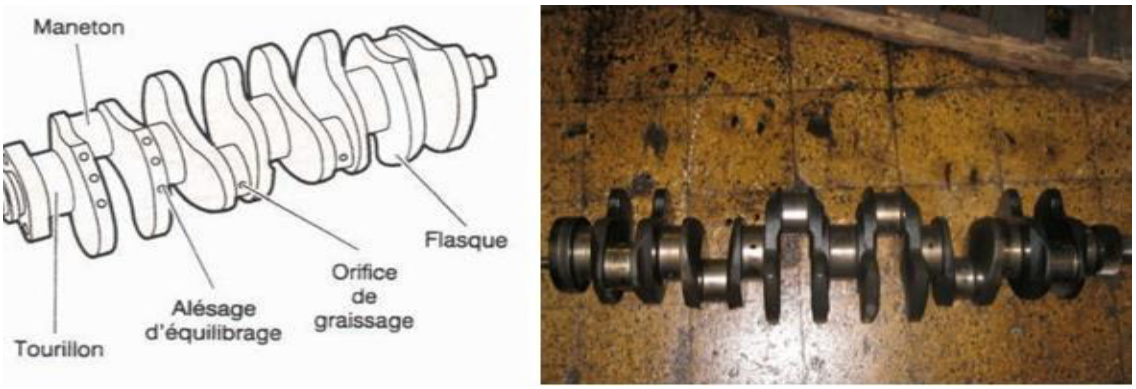


Figure 2.6: Vilebrequin d'un moteur thermique [62-63].

- **Le mécanisme bielle-manivelle :** La majorité des moteurs à combustion interne fonctionnent suivant le principe de transformation du mouvement alternatif rectiligne du piston en mouvement circulaire de l'arbre moteur. Cette transformation est réalisée par l'intermédiaire de l'ensemble mécanique bielle-manivelle. Le vilebrequin est formé par l'arbre moteur et des axes excentriques (les manivelles), la bielle réalise la liaison entre la manivelle et le piston, l'effort des gaz sur ce dernier est alors transmis au

vilebrequin (**Figure 2.7**). Cette transformation présente un inconvénient, le mouvement alternatif du piston engendre des variations de la vitesse de rotation. Pour absorber ces variations, le vilebrequin supporte à l'une de ses extrémités un volant d'inertie. D'autre part, l'ordonnancement des cylindres et la conception du vilebrequin sont adaptés de manière à optimiser le transfert du mouvement rectiligne en mouvement de rotation. Les critères d'optimisation sont généralement : la réduction des vibrations et la limitation des pulsations de couple sur l'arbre moteur [62].

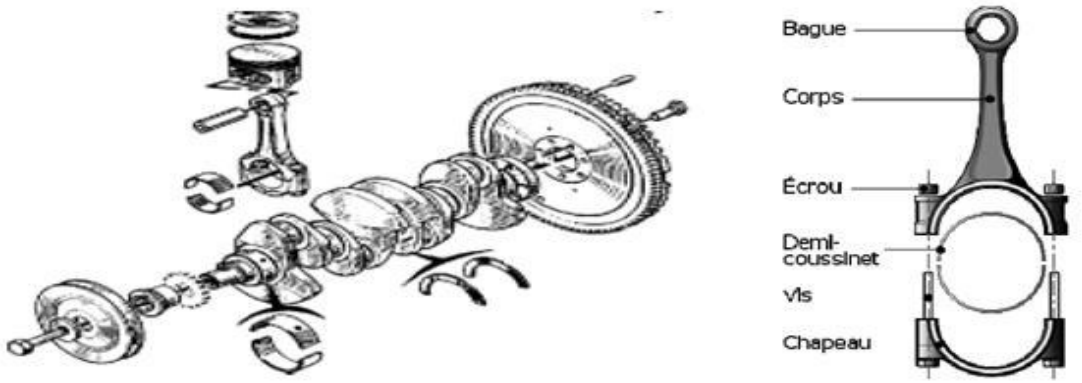


Figure 2.7: Vue éclatée d'une bielle [59].

- **Le volant moteur :** c'est une masse d'inertie servant à régulariser la rotation du vilebrequin. Le volant a également d'autres fonctions secondaires [60]. Il porte la couronne de lancement du démarreur, un système d'embrayage et possède une surface d'appui pour le disque. Il porte parfois le repère de calage d'allumage ou le déclenchement du repère P.M.H (**Figure 2.8**).

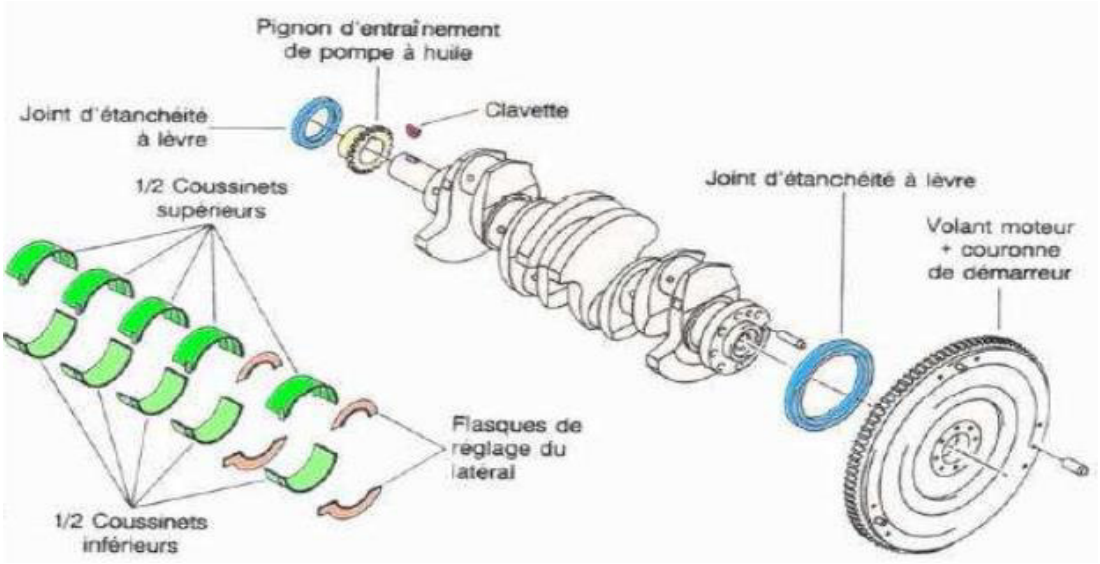


Figure 2.8: Volant moteur [56].

- **Le dispositif de distribution :** Le système de distribution gère l'admission de l'air frais dans les cylindres puis la vidange des gaz brûlés. Il est constitué d'éléments mobiles, les soupapes qui laissent entrer et sortir les gaz du cylindre par les ports d'admission et d'échappement. Au repos, les soupapes sont maintenues fermées par des ressorts de rappel, l'ouverture est contrôlée mécaniquement par le système composé de l'arbre à cames, des poussoirs et des culbuteurs. L'arbre à cames est couplé au vilebrequin via une courroie de distribution de telle sorte que sa vitesse de rotation soit deux fois inférieure à celle du vilebrequin. Ainsi, l'ouverture et la fermeture des soupapes sont parfaitement synchronisées avec les mouvements du piston [61-62].

c /Systèmes auxiliaires

Système de lubrification : L'huile prélevée dans le carter inférieur du moteur est répartie grâce à une pompe vers les parties à lubrifier : vilebrequin, parois internes du cylindre, axes et paliers [63]. Le circuit de lubrification (**Figure 2.9**) amène l'huile du moteur aux pièces en mouvement et celle animées d'un mouvement alternatif ceci de manière à assurer leur bon fonctionnement [60]. Le système de lubrification a pour rôle :

- Réduire les frottements.

- Protéger les surfaces.
- Refroidir les organes internes du moteur.
- Assurer un rôle d'étanchéité.
- Permettre la mise en mouvement des pièces quelle que soit la température du moteur.
- Protéger les pièces contre la corrosion.

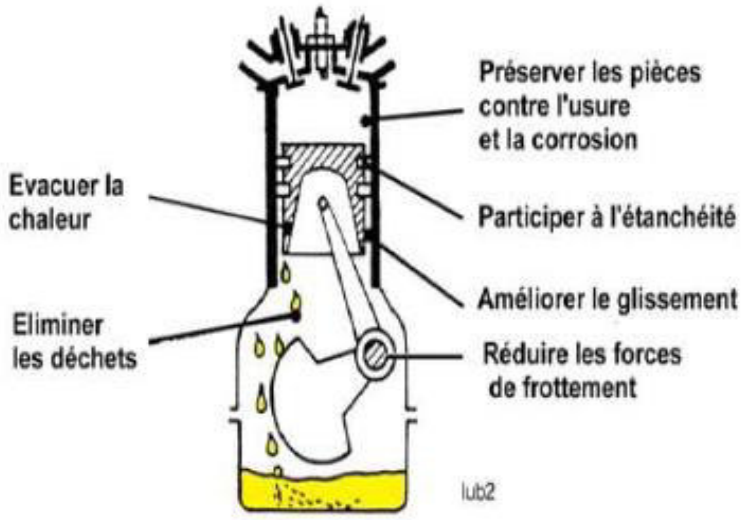


Figure 2.9 : Système de lubrification [62].

Système de refroidissement : Le moteur absorbe la chaleur dégagée par la combustion une partie de celle-ci est cédée à l'atmosphère par rayonnement mais pour éviter une surchauffe, le moteur est muni d'un dispositif de refroidissement. La technique la plus répandue repose sur la circulation d'un liquide de refroidissement dans des "chambres à eau" usinées dans le bloc moteur autour de chaque cylindre [61].

2.2.4. Caractéristiques géométriques des moteurs à A.C

La majorité des moteurs alternatifs fonctionnent suivant le cycle à 4 temps. Cette section présente les principaux éléments de géométrie et de cinématique nécessaires à la description d'un moteur alternatif de ce type [63].

L'alésage : C'est le diamètre (D) des cylindres exprimés en millimètres. Il varie de 90 à 150 mm environ [62].

La course : C'est la distance (L) parcourue verticalement par le piston entre le Point Mort Haut (PMH) et le Point Mort Bas (PMB) qui varie de 90 à 179 nm environ [63].Si r_m est le rayon de la manivelle alors L est définie par la relation:

$$\mathbf{L = 2.r_m} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (\mathbf{2.1})$$

Cylindrée unitaire : Le volume balayé (C_u) par le piston entre le (PMH) et le (PMB), elle s'exprime en générale en cm^3 par la relation suivante [59] :

$$\boldsymbol{C_u = L.\pi\frac{D^2}{4}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (\mathbf{2.2})$$

Cylindrée totale : (C_t) est déduite aisément à partir de la cylindrée unitaire (C_u) et du nombre de cylindres (n_{cyl}) [63]. Elle varie de 3 à 17 litres. En raison du développement de la suralimentation, les cylindrées moyennes des moteurs modernes sont en diminution [60]:

$$\boldsymbol{C_t = C_u.n_{cyl}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (\mathbf{2.3})$$

Le rapport bielle-manivelle : intervient dans le calcul des efforts mécaniques appliqués à la bielle et dans la mise en équation du mouvement de piston [63] :

$$\boldsymbol{\lambda v = {l_b}/{r_m}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (\mathbf{2.4})$$

Avec : l_b est la longueur de la bielle et r_m est le rayon de manivelle.

Le rapport volumétrique de compression : appelé encore « taux de compression » (r_c) , c'est le rapport entre le volume du cylindre quand le piston est au point mort bas et le volume du cylindre quand le piston est au point mort haut, si (V_m) est le volume de l'espace mort alors [63] :

$$\boldsymbol{r_{c=}\ {(C_{u+}V_m)}/{V_m}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (\mathbf{2.5})$$

L'angle vilebrequin $\boldsymbol{\theta}$: pour l'étude du fonctionnement du moteur, il est très pratique d'exprimer l'évolution des différentes variables ou la position des parties mobiles en fonction de l'angle vilebrequin plutôt qu'en fonction du temps. La relation entre l'angle vilebrequin θ, la vitesse de rotation ω et le temps s'écrit [63] :

$$\boldsymbol{\theta = \omega\, t = 2\pi N t} \quad \ldots \quad (2.6)$$

Avec:

N : Le nombre de tours du vilebrequin.

Position du piston dans le cylindre : Elle peut être définie par la distance (d) qui sépare l'axe du vilebrequin de celui du piston [61] :

$$\boldsymbol{d = r_m \cos\theta + \sqrt{{l_b}^2 - {r_m}^2 \sin^2\theta}} \quad \ldots \quad (2.7)$$

On l'exprime aussi relativement au PMH ainsi la distance (z) entre le PMH et le sommet du piston est donnée par [65] :

$$\boldsymbol{z = l_b + r_m - d = l_b + r_m(1 - \cos\theta) - \sqrt{{l_b}^2 - {r_m}^2 \sin^2\theta}} \quad \ldots \quad (2.8)$$

Vitesse moyenne et vitesse instantanée du piston : La vitesse moyenne du piston (U_{mp}) et la vitesse instantanée (U_p) sont des paramètres importants du fait que le piston parcoure deux fois la distance entre le PMH et le PMB pour une révolution du vilebrequin, la vitesse moyenne s'écrit [61] :

$$\boldsymbol{U_{mp} = 2\, L\, N} \quad \ldots \quad (2.9)$$

La vitesse instantanée du piston s'obtient par dérivation de l'expression **(2.7)** :

$$\boldsymbol{U_p = r_m\, \omega \sin\theta \left[1 + \frac{r_m \cos\theta}{\sqrt{{l_b}^2 - {r_m}^2 \sin^2\theta}}\right]} \quad \ldots \quad (2.10)$$

Volume de la chambre de combustion : Lorsque le piston est au PMH, le volume de la chambre de combustion est égal au volume mort. Donc, pour tout angle vilebrequin, le volume de cette enceinte (V_{cyl}) est égal à la somme du volume mort (V_m) et du produit de la surface du cylindre par la distance (z), soit [61] :

$$\boldsymbol{V_{cyl} = V_m + \pi \frac{D^2}{4} z} \quad \ldots \quad (2.11)$$

2.3. Réduction des émissions polluantes dans les moteurs à A.C

a/Action sur les moteurs

Deux actions également complémentaires peuvent être réalisées sur les moteurs. La première consiste à concevoir de nouveaux moteurs à combustion interne (à allumage commandé ou diesel) plus performants (avec un meilleur rendement énergétique) et par conséquent moins polluants, capables de minimiser les émissions de CO_2, la formation des imbrulés, celles des oxydes d'azote et des particules de suies (diesel). La seconde a pour objectif de généralisé la pose de pots catalytiques et amélioration /modifications des modes de combustion [58].

- **Le sous dimensionnement**

Une logique de sous dimensionnement «downsizing» qui désigne un ensemble de procédés visant à réduire la taille de la cylindrée d'un moteur dans le but de réduire la consommation de carburant. Cela a donc pour avantage de diminuer les rejets polluants, mais aussi d'être plus compact et plus léger [64].

- **La distribution variable**

La distribution variable qui s'affirme comme une autre piste d'évolution offre des potentialités sur la combustion et a donc une incidence directe sur les émissions polluantes, le couple et la puissance du moteur [65]. Elle offre l'opportunité de maintenir le fonctionnement du moteur à rendement élevé, surtout dans le domaine des faibles charges, CLENCI et al [66].

- **Le post-traitement des émissions**

Les moteurs à A.C reposent sur une combustion de type homogène de la charge admise dans le cylindre avec une richesse proche de la stœchiométrie. A l'issue de la combustion, les gaz d'échappement composés d'O_2, NO_x , HC imbrulés et CO, peuvent être post-traités à l'aide d'un catalyseur dit de trois-voies qui permet la conversion simultanée des espèces oxydantes et réductrices avec un bon rendement par le biais des trois réactions suivantes :

- ✓ Réduction des NO_x en N_2 et CO_2 :

$$2NO + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2$$

- ✓ Oxydation du CO en CO_2 :

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

- ✓ Oxydation des HC en CO_2 et H_2O :

$$4C_xH_y + (4x + y)O_2 \rightarrow 4xCO_2 + 2yH_2O$$

Ces réactions d'oxydation/réduction ont un rendement optimal que si la richesse de fonctionnement est proche de la stœchiométrie [63].

Pour réduire les NO_x, la recirculation des gaz d'échappement (EGR– Exhaust Gaz Recirculation) peut être employée. Ce système consiste à renvoyer une partie des gaz d'échappement à l'admission (jusqu'à 20% du débit à l'admission) en particulier quand le moteur fonctionne en mélange pauvre (richesse < 1) ce qui est le cas d'une partie des moteurs à essence à injection directe où la catalyse des NO_x est peu efficace [64].

- **Améliorations/modifications des modes de combustion**

Plusieurs stratégies de préparation du mélange et de combustion sont préposées, étudiées, voire mises au point pour palier au problème de pollution, les plus prometteuses sont les combustions de type prémélangé et/ou à basse température comme la combustion HCCI, CAI, PCCI. Ces nouveaux modes de combustion offrent l'avantage d'être indépendantes de la nature du carburant utilisé ce qui offre une liberté d'application plus importante que les modes de combustion conventionnelle [64].

La combustion HCCI

Dans la combustion HCCI (**H**omogenous **C**harge **C**ompression **I**gnition), le carburant et l'air sont totalement mélangés comme dans un moteur à allumage commandé et comprimés jusqu'à ce que la charge s'auto-enflamme. Le premier concept de combustion HCCI a été proposé par Onishi et al. [67] fut testé sur des moteurs à 2 temps, sous la dénomination d'ATAC (**A**ctive **T**hermo-**A**tmosphere **C**ombustion) permettant une augmentation du rendement et une diminution des émissions polluantes avec un démarrage de la combustion en multi-sites [68].

La combustion CAI

La combustion CAI (**C**ontrolled **A**uto **I**gnition) est le même concept que la combustion HCCI, mais appliquée aux moteurs à essence. L'auto-inflammation requiert une température élevée atteinte grâce à la chaleur apportée lors de la réintroduction des gaz issus du cycle précédent. Elle offre l'avantage de réduire les pertes par pompage et améliore le rendement comparé au moteur à allumage commandé classique. La recirculation des gaz d'échappement à l'admission réduit les pertes de chaleur par les gaz brulés et la production de NO_x. Cette technique offre l'avantage de réduire la consommation du carburant de 10 à 15% mais le contrôle de la combustion reste très compliqué et nécessite un dosage fin entre le carburant et les gaz d'échappement pour maintenir la stabilité dans le moteur [69].

La combustion PPCI

Iwabuchi et al.[70] et Kanda et al.[71] mettent au point le concept de la combustion PPCI (**P**artially **P**remixed **C**ompression **I**gnition) qui consiste à injecter la masse de carburant en plusieurs points afin de la vaporiser entièrement et ainsi faciliter l'interaction avec l'air. Ils ont aussi remarqué que le pic de pression peut être minimisé quand le dégagement de chaleur se produit quelques degrés après le PMH ce qui permet d'augmenter la charge du moteur. Cependant, lorsque le dégagement de chaleur est trop retardé la combustion devient instable et le rendement chute [60].

b/Action sur le carburant

Si la teneur globale en imbrulés varie avec le mode d'utilisation du moteur, les quantités relatives d'hydrocarbures imbrulés de différents types sont fortement influencées par la nature chimique du carburant. La réduction des émissions dans l'atmosphère peut donc

être obtenue en reformulant les carburants c'est- à-dire en mettant en point de nouveaux carburants dont les propriétés de combustion respectent les exigences des moteurs utilisés mais dont la composition chimique est modifiée [64].

Chapitre 3 : Approche expérimentale et méthodes analytiques utilisées.

Chapitre 3 : Approche expérimentale et méthodes analytiques utilisées.

3.1. Introduction

Dans ce chapitre les différents modes opératoires misent en œuvre pour la préparation des différentes mélanges (essence sans plomb et essence avec plomb) sont présentés. Les techniques expérimentales et analytiques des caractérisations physico-chimiques sont également exposées dans cette section.

3.2. La présentation du lieu de stage

Issue de SONATRACH, l'entreprise **ERDP (E**ntreprise de **R**affinage et de **D**istribution des Produits **P**étroliers**)** a été créé par le décret N° 80/101 du 06 avril 1981. Entrée en activité le 01 janvier 1982, elle a été chargée de l'industrie du raffinage des hydrocarbures liquides, de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers sur le territoire Algérien sous le sigle NAFTAL, cette appellation est tirée de NAFT : terme qui désigne le pétrole et AL en référence à Algérie. En 1987, l'activité de raffinage est séparée de l'activité de distribution. La raison sociale de la société change suite à cette séparation des activités, NAFTAL est désormais chargée de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers et de leurs dérivées sur le territoire national. À partir de 1998, elle change de statut et devient société par actions, filiale à 100% de SONATRACH. Suite à son intégration dans le groupe SONATRACH, la société NAFTAL s'est réorganisée autour de quatre (04) Branches, ces dernières ont pour mission de définir avec la direction générale, la stratégie de distribution et de commercialisation des produits pétroliers en veillant à rassembler toutes les conditions de son application dans les centres opérationnels de la société. La branche carburant : est située dans la wilaya d'Alger et plus précisément dans la commune de Dar El-Beida à 300 m de l'aéroport Houari Boumediene.

- ✓ **La gamme de produits pour l'aviation :** JET A_1, AVGAS 100 LL, METHMIX et Lubrifiants aviation.
- ✓ **La gamme de produits pour la marine :** Les Fuel Oïl (Bunker C et les BTS), Les Inters Fuel Oïl, Gasoil et Lubrifiants marine.

Chapitre 3 : Approche expérimentale et méthodes analytiques utilisées.

3.3. Analyses expérimentales

3.3.1. Distillation à la pression atmosphérique selon ASTM D 86-17

Cette méthode consiste à utiliser le bain de distillation au laboratoire pour déterminer les caractéristiques d'ébullition de la plage des produits. Le mode opératoire consiste à prendre une prise d'essai de 100 ml distillée dans les conditions prescrites pour le groupe de produits auquel appartient l'échantillon. La température arrive à sa valeur maximale appelée point final de la distillation, puis décroît. Le recueille du liquide restant dans le ballon refroidi permet la mesure du volume des résidus.

Les points essentiels dans la distillation sont :

- ✓ **Point de décomposition :** indication thermométrique (corrigée) notée lorsque les premiers signes de décomposition thermique du liquide contenu dans le ballon se manifestent.
- ✓ **Point initial :** indication thermométrique (corrigée) relevée au moment où la première goutte de condensat tombe de l'extrémité inferieur du tube condenseur.
- ✓ **Point sec :** indication thermométrique (corrigée) relevée au moment de la vaporisation de la dernière goutte de liquide au fond du ballon.
- ✓ **Point final :** indication thermométrique maximale (corrigée) relevée à la fin de l'essai.

Appareillage :

- Ballon de distillation de 125 ml.
- Tube condenseur et bain de refroidissement.
- Écran métallique protecteur pour le ballon (appareil manuel seulement).
- Chauffage : bruleur à gaz ou dispositif de chauffage électrique.
- Plaque de support de ballon.
- Éprouvette de recette graduée 100 ml.
- Éprouvette pour les résidus 5ml ou 10 ml.
- Système de mesure de mesure de température : un thermomètre en verre à mercure ASTM 7C et un système de mesure de température électronique.

- Dispositif de centrage du capteur de température.
- Chronomètre.
- Câble nettoyage du tube condenseur.
- Baromètre.

Figure 3.1 : Dispositif de distillation à la pression atmosphérique ASTM D86-17.

3.3.2 .Pression de vapeur selon ASTM D 5191

Cette méthode d'essai convient aux échantillons ayant des points d'ébullitions au-dessus de 0C° qui exercent une pression de vapeur entre 7 et 130 KPa à un rapport de vapeur à liquide de 4.1 .Des mesures sont faite sur des échantillons liquides dans la gamme de 1 à 10 ml ,aucun compte n'est tenu pour l'eau dissoute dans l'échantillon. Le volume connu d'échantillon froid et saturé d'air est introduit dans une chambre à essai vide thermostatiquement commandée dont le volume interne est cinq fois celui de l'échantillon d'essai introduit. L'élévation résultante de la pression est mesurée en utilisant une sonde et un indicateur de capteur de pression .

Figure 3.2 : Dispositif automatique de la pression de vapeur ASTM D 5191.

3.3.3.Corosion à la lame de cuivre selon ASTM D 130

La corrosion à la lame de cuivre est utilisée comme une épreuve pour déterminer l'apparition des composés soufrés en utilisant le cuivre étant particulièrement sensible à la présence de ces composés corrosifs. Le principe consiste à immerger une lame de cuivre polie dans une quantité donnée de prise d'essai que l'on chauffe à une température prescrite à 50°C et pendant une durée dépendant du produit à examiner. La lame de cuivre et ensuite retirée, rincée puis comparer avec la série des lames et le numéro correspondant à la corrosivité de l'échantillon.

Appareillage :

- Lame de cuivre.
- Porte-lame.
- Bombes.
- Tube à essai.
- Bain thermostat d'eau.
- Thermomètre.
- Produit de polissage.

Figure 3.3 : Appareillage et bombe pour mesurer la corrosion à la lame de cuivre.

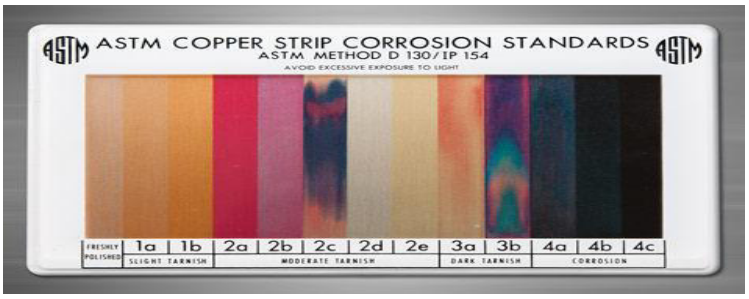


Figure 3.4 : La série des lames de références de la corrosion.

3.3.4. Point de congélation selon ASTM D 2386-06

La présente instruction spécifie une méthode pour la détermination de la température au-dessous de laquelle les cristaux d'hydrocarbures se forment dans les fuels de l'aviation. La détermination de la température de disparition des cristaux se fait en abaissant la température de l'échantillon puis en le réchauffant en température ambiante et en notant la température à laquelle les cristaux disparaissent**.**

Appareillage :

- Tube à parois remplie d'air ou d'azote.
- Thermomètre ASTM D114C /IP 14C.
- Agitateur.
- Bain allant jusqu'à -80C°.

Figure 3.5: Dispositif du point de congélation selon ASTM D 2386-06.

3.3.5. Teneur en soufre total selon ASTM D2622

Cette méthode d'essai couvre la détermination du soufre total en pétrole et produits pétroliers. Le principe consiste à placer l'échantillon dans le faisceau émis d'un tube à rayon-x, d'intensité de 40 KV et de 5 mA. Le rayonnement résultant est ainsi mesuré et le comptage accumulé est alors comparé à une courbe d'étalonnage préalablement préparée encadrant l'échantillon.

Appareillage :

- l'appareil MDX 1060 à tube rayon-x.
- logiciel XpertEase.
- micro+imprimante.
- Une bouteille de gaz, mélange ARGON METHANE (90% / 10%) avec certificat d'étalonnage.
- Un détendeur (air liquide) lié à la bouteille, fixe la pression du gaz à la sortie à 0.35 bar.
- Une bouteille de gaz d'HELIUM de 99.9% de pureté.
- Un détendeur est lié à la bouteille, fixe la pression du gaz à la sortie à 0.35 bar.

Figure 3.6 : L'appareil MDX 1060 à tube rayon-x.

Figure 3.7 : La boite utilisée dans le spectromètre analyseur de soufre.

3.3.6. La masse volumique à 15 C° selon ASTM D 1298

La présente instruction décrit la méthode de détermination de la densité et de la masse volumique pour les distillats de pétrole et les huiles visqueuses qui peuvent être manipulés à l'état liquide et à la température de l'essai en utilisant un équipement à injection manuelle ou automatique. Elle est applicable aux produits liquides avec une pression de vapeur totale inférieure à 100 kPa .Elle s'applique pour les produits carburants tels que les essences, mélanges d'essence oxygénés, diesel, jet, huiles de base, graisses et lubrifiants. Afin de mesurer la densité, un petit volume d'échantillon approximativement 1 à 2 ml de liquide est introduit dans une cellule de mesure oscillant. Le changement de fréquence d'oscillation provoqué par le changement de la masse de la cellule est utilisé conjointement avec les données d'étalonnage pour déterminer la masse volumique.

Appareillage : Densimètre DMA 35.

Figure 3.8 : Appareille de mesure de la masse volumique à 15 °C selon ASTM D 1298.

3.3.7. Teneur en plomb de l'essence selon ASTM D 3341

Un volume connu de l'échantillon est dilué dans un distillat lourd et mélangé avec du mono-chlorure d'iode en solution aqueuse. Les composés tétra-alkyles de plomb présents réagissent avec le mono-chlorure d'iode et sont extraits dans la phase aqueuse comme les composés dialkyle de plomb. L'extrait aqueux est séparé de l'essence et évaporé totalement afin de décomposer le mono-chlorure d'iode libre. Les matières organiques présentes sont éliminées par oxydation par l'acide nitrique qui sert aussi à convertir les dialkyles de plomb en composés de plomb inorganiques. Le résidu est dissous dans l'eau et ramené en pH = 5 à

l'aide d'une solution tampon acétique d'acétate de sodium. La teneur en plomb est déterminée par le titrage de la solution tamponnée avec une solution de Na_2 EDTA en présence d'un indicateur coloré qui est le xylénol orange.

Réactifs :

- Acide nitrique concentré (69% à 70.5%).
- Acide chlorhydrique à 35.4%.
- Acide chlorhydrique solution (1+1).
- Hydroxyde d'ammonium solution (1+1).
- Distillat lourd : ayant indice maximal de brome de 1.5, dont environs 10% distillé à 205 °C et 90% distillé à 240 °C.
- Acétate de sodium / acide acétique (solution tampon PH 5).
- Mono-chlorures d'iode solution à 1.0 mole / litre.
- Nitrates de plomb (solution étalon à 0.005 mole / litre).
- Disodium, dihydrogéne, éthylène, diamine-tétra acétate (-CH2N (CH2COOH) CH2 COONa) 2,2 H20 (Na2EDTA), solution titrée à 0.005 mole /litre.
- Xylénol orange. (Indicateur coloré).
- Bleu de bromothymol.

Appareillage :

- Burette de 25 ml.
- Pipette de 25 ml.
- Fioles volumétriques à graduation unique, de 1000 ml et de 2000 ml.
- Fioles conique à col large en verre, de 250 ou 500 ml de capacité.
- Ampoule à décanter de 250 ml de capacité avec un bouchon en verre.
- Verre de montre. - Thermomètre de 0°c à 50°c ou de 0°c à 100°c conformément à ISO 1770.
- Balance.
- Dessiccateur en verre.

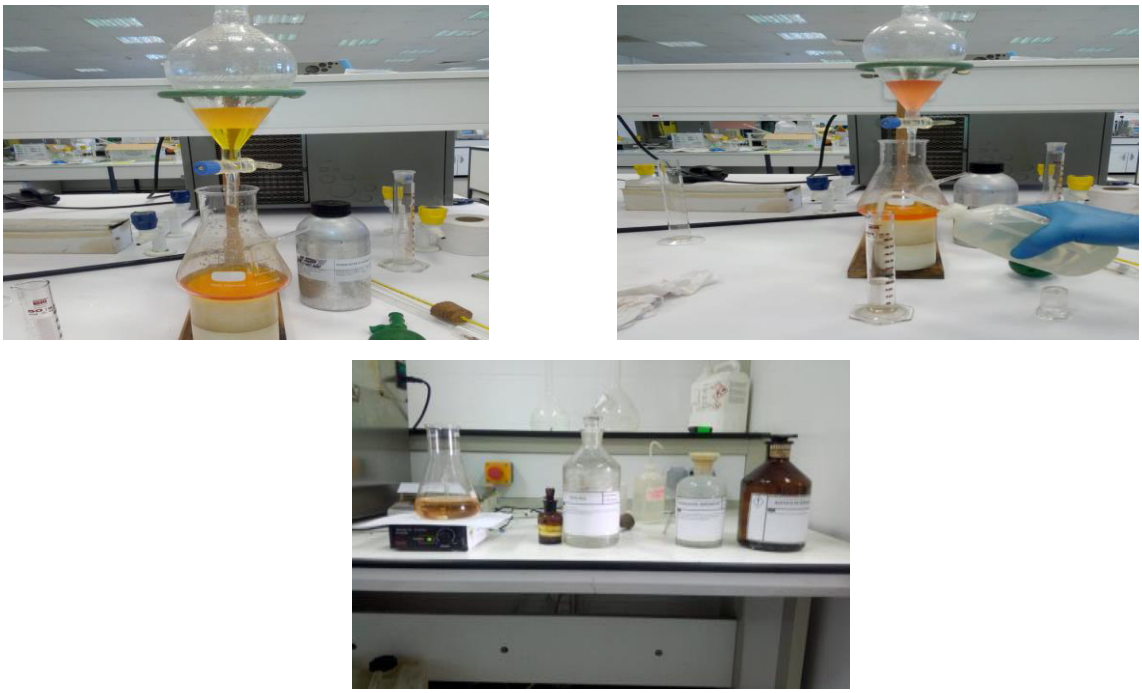


Figure 3.9: Étapes de détermination de la teneur en plomb dans l'essence.

3.3.8. Indice d'octane recherche selon ASTM D 2699

La présente instruction nous propose une méthode pour la détermination de l'indice d'octane des essences selon la méthode RON « RECHERCHE » (ASTM 2699) à l'aide du moteur CFR. L'indice d'octane moteur d'un carburant est déterminé en comparant ça tendance à la détonation avec celle d'un mélange de référence d'indice d'octane connu, à l'aide d'un moteur conventionnel tournant à 600 tr/min dans des conditions de fonctionnements normalisés. Pour cela on fait varier avec prise d'essai le taux de compression de manière à obtenir l'intensité de détonation normalisée : cette intensité de détonation est mesurée par l'indice d'octane de la prise d'essai par interpolation.

- ✓ **Appareillage :** Moteur CFR (**C**ooperative **F**uel **R**esearch), monocylindrique à quatre temps, à taux de compression variable muni de son équipement et de ces accessoires et monté sur une base fixe.
- **Les conditions opératoires :**
- Vitesse de moteur 600 ± 6 tr/mn.

- Avance à l'allumage, fixe, 13° avant point mort haut.
- Écartement des électrodes de bougies : 0.51±0.13 mm.
- Jeu de soupapes : 0.200 ± 0.025 mm.
- Pression d'huile : 1.7 bars (25 à 30 psi) dans les conditions normales de fonctionnement.
- Température d'huile : 57 ± 8.5 °C.
- Température du liquide de refroidissement : 100 ± 1.5 (212 ± 3°F).
- Vérifier le niveau d'eau du condenseur : au-dessus du milieu du voyant d'huile sur le carter, à froid.

❖ **Mise en marche du moteur**

- Basculer l'interrupteur sur « ON » de l'appareil de refroidissement d'air.
- Ouvrir l'arrivée d'eau.
- Remplir une cuve de carburateur avec du carburant du chauffage (cuve N° 1).
- Démarrer le moteur en maintenant l'interrupteur sur « START », attendre que la pression d'huile monte au-dessus de 25 Psi puis lâcher l'interrupteur.
- Placer le robinet sélecteur du carburateur sur le repère de la cuve de chauffage (Repère 1).
- Placer l'interrupteur d'allumage (IGNITION) sur « ON ».
- Laisser tourner le moteur environ 20 à 25 mn avec la carburant de chauffage (penser à le renouveler), sans cliquetis et à une position du « Digital » 581.
- Observer la pression atmosphérique et noter la correction à appliquer, si nécessaire pour la lecture du micromètre ou digital.
- Remplir la cuve n°4 avec l'échantillon inconnu et positionner le robinet sélecteur du carburateur sur 4.
- Comprimer le cylindre façon à positionner l'aiguille du Knock Meter sur 30.
- Rechercher la richesse de cet échantillon (cliquetis Maxi) en faisant varier la hauteur de la cuve, puis attendre la stabilisation de l'aiguille du Knock Meter (Richesse Maxi).
- Comprimer le cylindre et stabiliser l'aiguille sur 50. Bloquer le cylindre.

- Lire l'indication du micromètre ou digital, ajouter ou retrancher la correction barométrique et se reporter sur la table « Positions micrométriques pour l'intensité de cliquetis standard », voir (**ANNEXE A**). Si la pression atmosphérique est supérieure à 760 mm Hg, retrancher la correction de la valeur lue au micromètre ou digital.
- Déterminer à l'aide de cette table l'indice d'octane de l'échantillon en fonction de la lecture du micromètre ou digital.

Figure 3.10 : Banc d'essai pour la mesure de l'indice d'octane (RON).

3.3.9. Détermination du Point d'aniline selon ASTM D611/ISO 2977

Des volumes définis d'aniline et d'échantillon sont placés dans un tube et mélangés mécaniquement. Le mélange est chauffé jusqu'à ce que les deux phases soient miscibles **(Cycle Montée)** puis il est refroidi. La température à laquelle il y a rupture de miscibilité (apparition d'un trouble net) représente le point d'aniline **(Cycle Descente).**

Appareillage

- ❖ Deux Pipettes de 10 ml.

- Appareil automatique de type NAE 440 et accessoires associes suivants :

  -Sonde de température de type Pt100.

  -Tube en verre (Forme en U).

  -Support du tube en U.

  -Agitateur.

  -Bouchon de la fenêtre de détection.

Figure 3.11 : Appareil pour mesurer le point d'aniline.

3.3.10. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une méthode physico-chimique de séparation des molécules organiques vaporisables. La séparation des différents composés est fondée sur le partage des solutés entre la phase stationnaire de la colonne et la phase mobile (gaz vecteur) en fonction de leur différence de température d'ébullition et de leur polarité. Le mélange de composés à séparer est introduit en tête de colonne par l'intermédiaire du système d'injection avant d'être véhiculé par un courant de gaz vecteur (neutre) à l'état liquide ou gazeux au travers d'une colonne capillaire. La paroi interne du capillaire est greffée par une phase stationnaire ayant des affinités différentes vis-à-vis des constituants auxquels on s'intéresse. Ces derniers sont alors élués à des vitesses différentes et détectés successivement au moment où ils sortent de la colonne par un détecteur. Dans des conditions de séparation spécifiques (température, caractéristique de la colonne, gaz vecteur, …), chaque composé élué sera caractérisé par un temps de rétention.

Les colonnes utilisées pour réaliser des séparations par chromatographie en phase gazeuse sont presque exclusivement des colonnes capillaires en silice de longueur 10 à 100 m et avec un diamètre interne variant de 0,1 à 0,53 mm. La nature de la phase stationnaire est fonction des greffons déposés sur la silice dont l'épaisseur peut varier de 0,1 à 1,5 µm. La température de la colonne a un rôle fondamental car toute élévation de celle-ci entraîne une diminution du temps de rétention. Une programmation de température efficace permet généralement d'améliorer la séparation des composés tout en réduisant le temps d'analyse. Le couplage de ce système à un chromatographe est une association extrêmement efficace, puisqu'elle allie les propriétés séparatives de la chromatographie gazeuse et la sensibilité de la spectroscopie de masse. Cette technique est généralement utilisée pour des composés de masse moyenne inférieure à 400 uma (unité de masse atomique) à cause du seuil de volatilité des composés lors de leur injection dans la technique CPG.

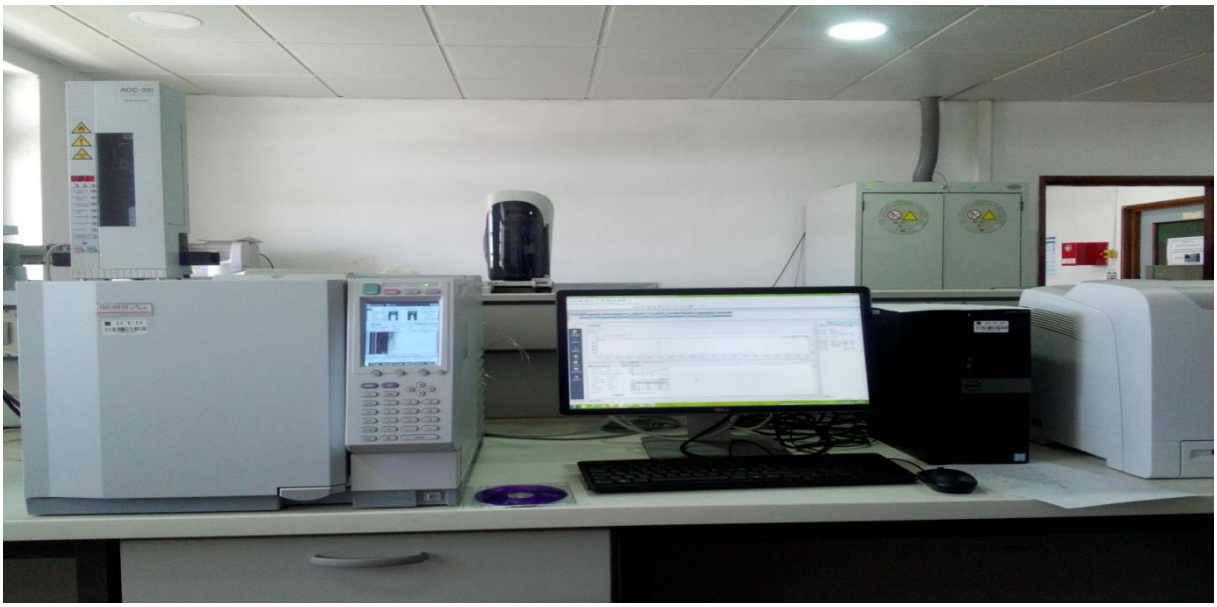


Figure 3.12 : Spectrométrie CPG modèle SHIMADZU LabSolutlons GC-2010.

- ✓ **Conditions d'analyse chromatographique**

- Température limite : de -60 °C à 325°C.
- Longueur de la colonne 50 m, diamètre 0.2 mm, film 0.2µm.
- Gaz vecteur : Hélium.
- Volume injecté : 1 µL.

3.4. Méthodes analytiques

3.4.1. Indice d'octane (RON) analytiquement

La reformulation consiste à mélanger les effluents provenant des différents unités de la raffinerie afin d'obtenir des produits conformes aux spécifications. C'est à ce stade également que peuvent être ajoutés des additifs. Dans un système constitué de deux bases A et B, l'indice de mélange MA de l'un des deux constituants, A par exemple, se calcule à partir de la relation :

$$RON_{AB} = xM_A + (1-x)RON_B$$

Ou RON_B et RON_{AB} représentent le RON du constituant B et du mélange final AB, x est la fraction volumique du constituant A dans le mélange.

3.4.2. Le pouvoir calorifique inferieur (PCI)

Le point d'aniline, la densité de l'échantillon sont déterminés expérimentalement et le pouvoir calorifique est calculé en utilisant l'équation empirique appliqué à NAFTAL :

$$Q_P = 22.9596 - (0.0126587 * A) + 26640.9(1/\rho) + 32.622(A/\rho) - 6.69030 * 10^{-5} (A)^2 - 9217760(1/\rho)^2$$

Q_P : Pouvoir calorifique inferieur (MJ /Kg).

A : Point d'aniline (°C).

ρ : Densité a 15 °C (Kg/m^3).

3.4.3. Indice de volatilité des carburants reformulés

Cette grandeur, souvent appelée fuel volatility index (FVI), s'exprime par la relation :

$$FVI = PVR + 7\,E70$$

Dans laquelle la pression de vapeur Reid (PVR) est en mbar et E70 en (% volume) distillé à 70°C.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Chapitre 4

Résultats et discussions

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons les résultats expérimentaux des caractéristiques physico-chimiques des essences étudiées (Essence sans/avec plomb) ainsi que les essences reformulées proposés dans le cadre de cette étude.

4.2. Résultats expérimentaux d'analyses physico-chimiques des essences étudiées

4.2.1. Essence sans plomb

Le (**Tableau 4.1**) représente les résultats des caractéristiques physico-chimiques d'essence sans plomb obtenues au niveau du laboratoire centrale de NAFTAL (Dar El Beida).

Tableau 4.1 : Résultats expérimentaux des caractéristiques physiques et chimiques de l'essence sans plomb.

Propriétés	Unités	Normes	Résultats
Masse volumique	Kg/m^3	ASTM D 1298	725
Teneur en plomb	gPb/l	ASTM D 3341	0.013
Indice d'octane RON		ASTM D 2699	95
Teneur en soufre	%Poids	ASTM D2622	0.01
Corrosion à la lame de cuivre	Cotation	ASTM D 130	1b
Distillation	°C	ASTM D 86-17	
15%	°C		70
40%	°C		100
85%	°C		180
90%	°C		210
Point final	°C		215
Tension de Vapeur Reid	KPa	ASTM D 5191	65

On constate que :

- Les valeurs obtenues des caractéristiques physiques du produit étudié assurent une alimentation correcte de véhicule (démarrage, mise en action, fonctionnement à froid et à chaud).

- Les propriétés chimiques liées essentiellement à l'indice d'octane permettent d'obtenir un rendement optimal du moteur sans risque de combustion anormale.
- Les résultats regroupés dans le (**Tableau 4.1**) confirment que l'essence sans plomb utilisée est conforme par comparaison avec le bulletin d'analyse représenté dans (**ANNEXE B**).

4.2.2. Essence avec plomb

L'analyse des résultats expérimentaux des caractéristiques physico-chimiques de l'essence avec plomb (AVGAS) sont regroupés dans le (**Tableau 4.2**).

Tableau 4.2: Résultats expérimentaux des caractéristiques physico-chimiques de l'essence avec plomb.

Propriétés	**Unités**	**Normes**	**Résultats**
Masse volumique	Kg/m^3	ASTM D 1298	726
Teneur en plomb	gPb/l	ASTM D 3341	0.56
Indice d'octane MON		ASTM D 2699	99.6
Teneur en soufre	%masse	ASTM D 2622	0.046
Point de congélation	°C	ASTM D 2386-06	-57
Corrosion lame de cuivre	-	ASTM D 130	1a
Distillation	°C	ASTM D 86-17	
Point initial	°C		38
10%	°C		67
40%	°C		100
50%	°C		110
90%	°C		137
Point final	°C		159
Tension de vapeur Reid	KPa	ASTM D 5191	33.6

Les résultats obtenus par l'essai de la lame de cuivre sont limités par (< 1a), ils indiquent que la présence des composés sulfurés dans l'essence avec plomb n'est pas corrosif.

La masse volumique et la volatilité exprimées par la courbe de distillation et la pression de vapeur sont conformes à la norme commerciale (certificat de conformité présenté dans **ANNEXE C**).

4.2.3. Courbe de distillation (essence sans plomb / essence avec plomb)

La courbe de distillation représente l'évolution des températures d'ébullition dans un appareillage approprié (NF M 07-002) en fonction des fractions distillées en volume à pression atmosphérique (point initial, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 95 % volume distillé, point final).

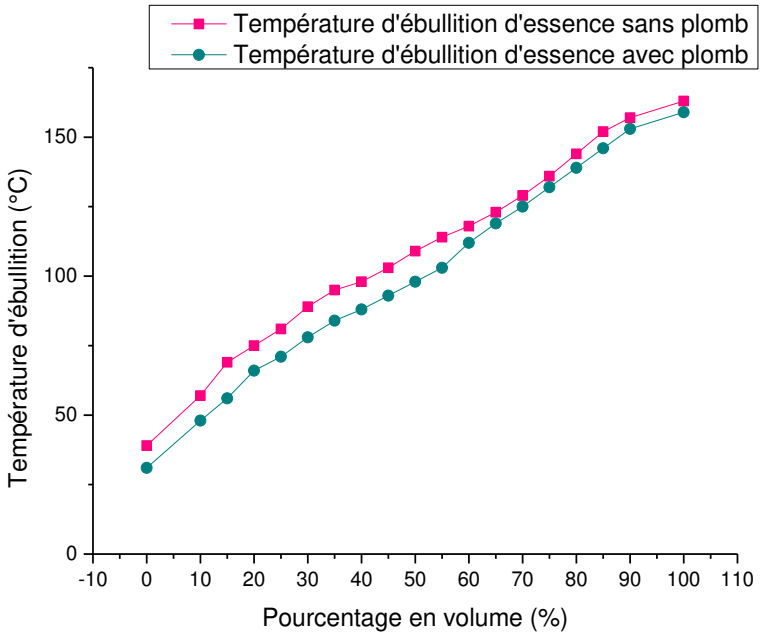


Figure 4.1 : Courbe de distillation des essences sans plomb et avec plomb (AVGAS).

L'analyse de la (**Figure 4.1**) reflète les points importants suivants :

- PI : caractérise l'existence de quelque fraction légère.
- Point à 10% distillé avant 70°C caractérise la facilité du démarrage à froid.

- Point à 50% distillé avant 140°C caractérise la souplesse dans les reprises, il indique une bonne rapidité dans l'évaporation de l'essence.
- PF : distillé avant 195°C, veut dire que le carburant ne contient pas de produits lourds néfastes au moteur et donne une grande longévité à ce dernier.

On constate qu'il ya une légère différence dans l'allure de la courbe ASTM entre les deux essences. On voit clairement que le point initial et le point 50% de l'essence sans plomb sont supérieurs à ceux de l'essence avec plomb ce qui confirme que AVGAS contient plus d'hydrocarbures légers. En effet, l'essence sans plomb possède des molécules plus lourdes puisque son point final de distillation est plus élevé.

Le bilan volumétrique des essences sans plomb et avec plomb est donné dans le (**Tableau 4.3**).

Tableau 4.3 : Le bilan volumétrique obtenu expérimentalement par la distillation ASTM des essences sans plomb/ avec plomb.

Échantillons	Essence sans plomb	Essence avec plomb
Distillats (%)	93	91
Pertes (%)	2.5	2.1
Résidus (%)	4.5	2.7

On remarque que les pertes et les résidus sont plus faibles dans le cas de l'essence AVGAS, cela peut être expliqué par le fait qu'il a le point initial et le point final les plus petits.

4.2.4. Analyses CPG des essences étudiées (Essence sans plomb/avec plomb)

Dans la perspective d'une éventuelle analyse des carburants automobiles, la technique de chromatographie en phase gazeuse (**CPG**) a été choisie afin d'identifier les composés

chimiques présents dans les essences étudiées. Cette analyse a permis d'identifier les espèces chimiques contenant dans les échantillons. Le (**Tableau 4.4**) regroupe les résultats obtenus par famille d'hydrocarbures pour deux types d'essences différentes.

Tableau 4.4 : Résultats expérimentaux obtenus par famille d'hydrocarbures pour deux types d'essences différentes.

Carburant	Essence sans plomb (% masse)	Essence AVGAS (% masse)
Paraffines	10,85	27,30
Oléfines	0,87	00
Cycliques saturés	30,2	0,74
Aromatiques	21,6	71
Oxygénés	35,84	0,96
Azotés	0,64	00
Somme	100.00	100.00

L'analyse **CPG** de l'essence sans plomb utilisée (**Figure 4.2**) révèle la présence des composés chimiques suivants : nC7 ; 1-MCycloH /1, C-2DMCycloP ; Toluène ; nC8 ; nC9 ; nC10. Les fractions massiques sont représentées dans (**ANNEXE D**).

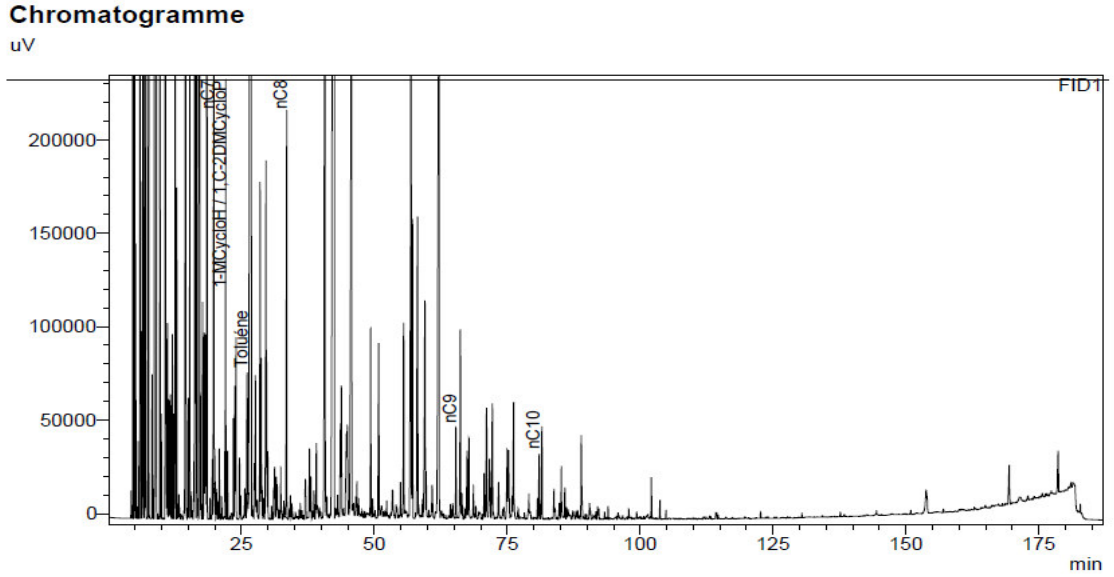


Figure 4.2 : Chromatogramme CPG de l'essence sans plomb.

L'analyse **CPG** de l'essence AVGAS 100 LL utilisée (**Figure 4.3**) révèle la présence des composés chimiques suivants : nC7 ; 1-MCycloH / 1, C-2DMCycloP ; Toluène ; C9.Les fractions massiques sont représentées dans (**ANNEXE E**).

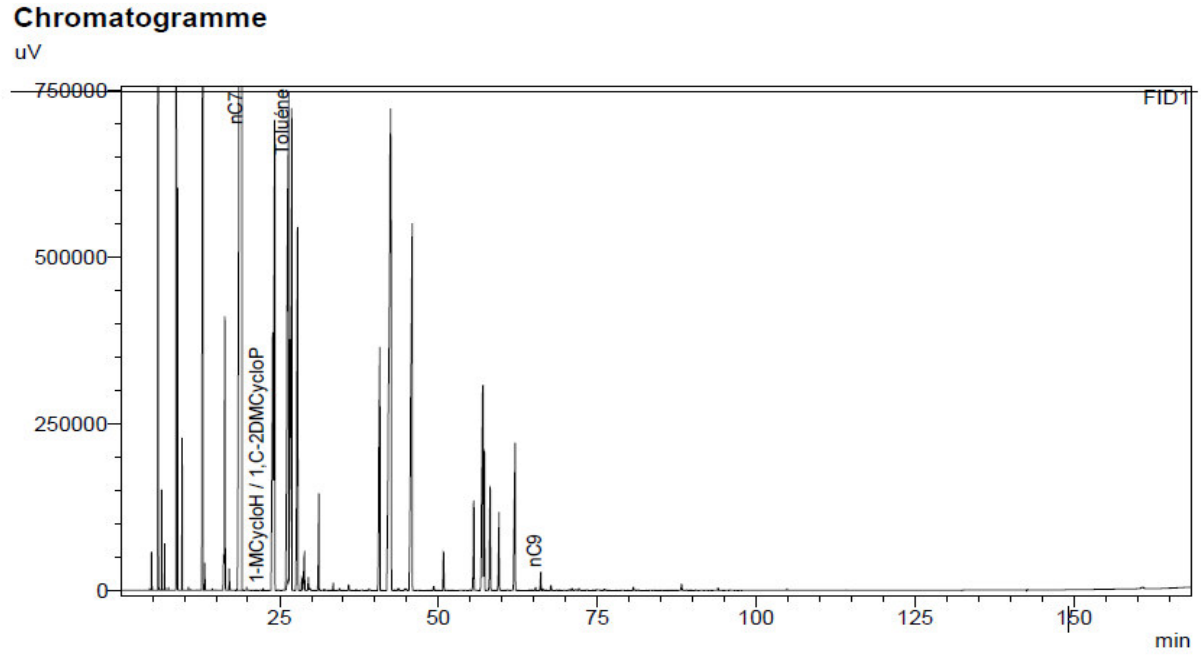


Figure 4.3 : Chromatogramme CPG de l'essence AVGAS.

4.3. Résultats expérimentaux d'analyses physico-chimiques des essences reformulées

4.3.1. Reformulation des carburants

Le (**Tableau 4.5**) illustre les pourcentages en volumes prisent pour reformuler les carburants de moteur à essence.

Tableau 4.5 : Reformulation des carburants.

Échantillons	Essence aviation AVGAS (%)	Essence sans plomb (%)	Teneur en plomb (gPb/l)
E1	5	95	0.028
E2	10	90	0.056
E3	15	85	0.084
E4	20	80	0.112
E5	30	70	0.168
E6	40	60	0.224
E7	50	50	0.280
E8	60	40	0.336

Les teneurs en plomb sont généralement exprimées en gramme de plomb par litre de carburant, elles peuvent atteindre une limite fixée de 0,56 gPb/l. On constate d'après le (**Tableau 4.5**) que les teneurs en plomb des essences reformulées appartiennent à l'intervalle [0.028 gPb/l; 0.336 gPb/l] et ne dépassent pas la valeur de la limite fixée.

4.3.2. Courbe de distillation

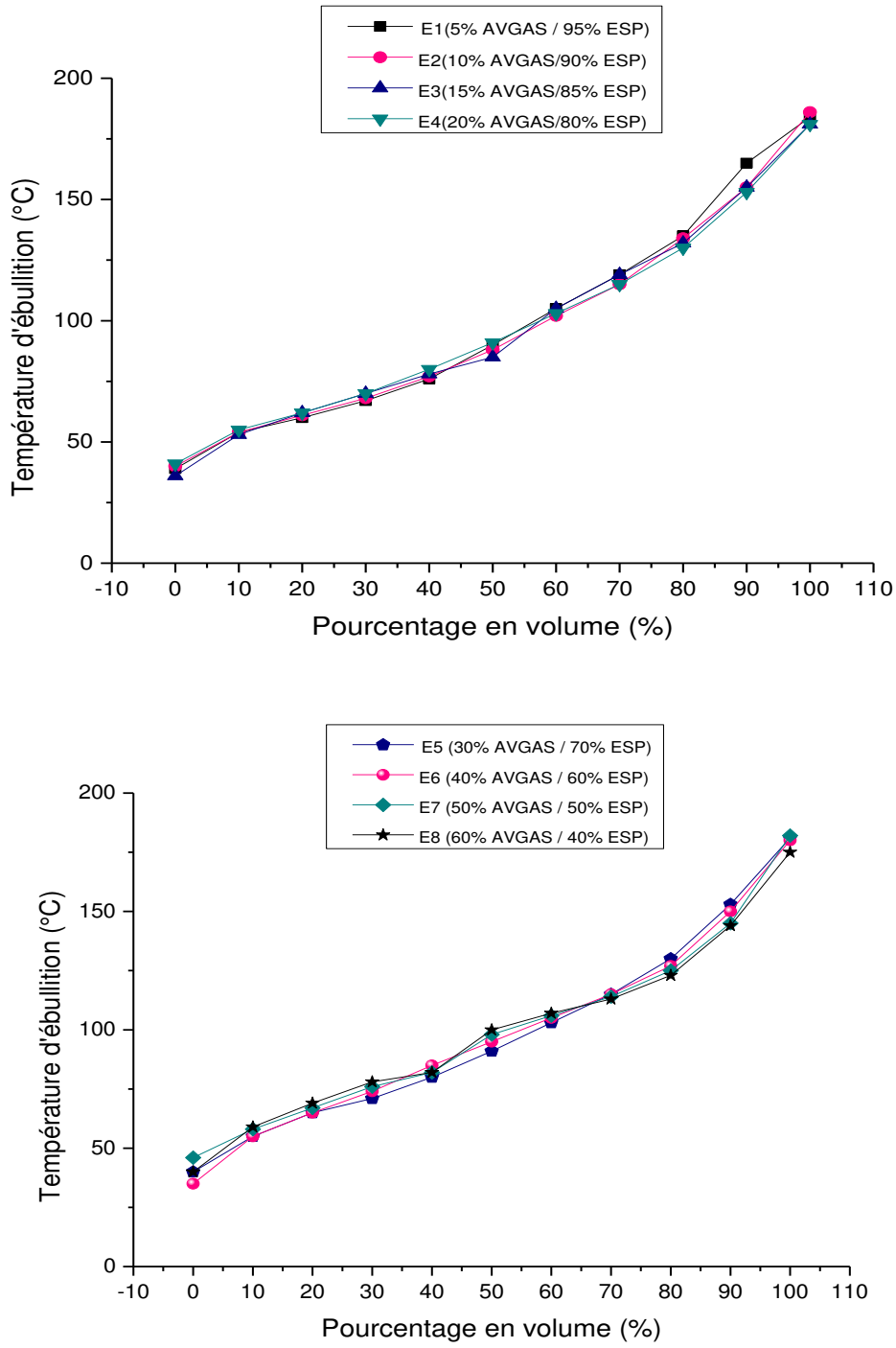


Figure 4.4: Courbe de distillation des échantillons reformulés.

D'après les résultats obtenus, on observe que les courbes de distillation possèdent la même allure et reflètent des points importants conditionnant le fonctionnement du moteur qui sont:

- Les $T_{éb}$ obtenues par le point 10% sont inférieures à la limite fixée 70°C, elles nous révèlent d'avoir une teneur minimale en fractions légères ayant une vaporisation suffisante pour assurer le démarrage à froid du moteur.
- De même, les $T_{éb}$ du point 50% sont également inférieures à 140°C, elles désignent d'avoir assuré une volatilité correcte de l'essence au moment des reprises du moteur permettant de tirer le maximum de puissance.
- Les $T_{éb}$ des points 90%, le PF sont inférieurs à la limite fixée (195 °C, 205°C), ces dernières représentent la teneur en hydrocarbures lourds dans l'essence.

4.3.3. Résultats par analyse CPG des échantillons reformulés

Les analyses par chromatographie en phase gazeuse (CPG) des mélanges préparés ont montrées que les fractions massiques les plus dominantes dans chaque échantillons sont celle du : nC7 ; nC8 ; Toluène. Le (**Tableau 4.6**) résume les résultats des fractions en (% massique) présentes dans les mélanges reformulés, voir (**ANNEXE F**).

Tableau 4.6: Les résultats des fractions en (% massique) des composés chimiques présents dans les mélanges reformulés.

Échantillons	**C_7H_8 (%)**	**C_7H_{16} (%)**	**C_8H_{18} (%)**
E1	72.879	8.423	6.040
E2	73.121	9.872	5.679
E3	73.981	10.919	5.571
E4	74.516	10.865	5.417
E5	75.116	9.191	5.301
E6	77.918	9.011	5.001
E7	79.119	9.917	4.020
E8	80.504	7.670	4.070

4.3.4. Résultats de la PVR des mélanges reformulés

Tableau 4.7: Résultats expérimentaux de la pression de vapeur Reid des mélanges reformulés.

Échantillons	Pression de vapeur Reid (KPa)
E1	25.7
E2	30.1
E3	31.0
E4	31.1
E5	35.7
E6	36.6
E7	37.8
E8	38.7

La PVR conditionne directement les pertes au cours du stockage, manutention, consommation, ses spécifications imposent un maximum à ne pas dépasser 80 KPa en hiver et en été 65 kPa. On constate que les valeurs des PVR obtenues sont inférieures aux limites fixées, ce qu'elles nous révèlent d'avoir des essences conformes.

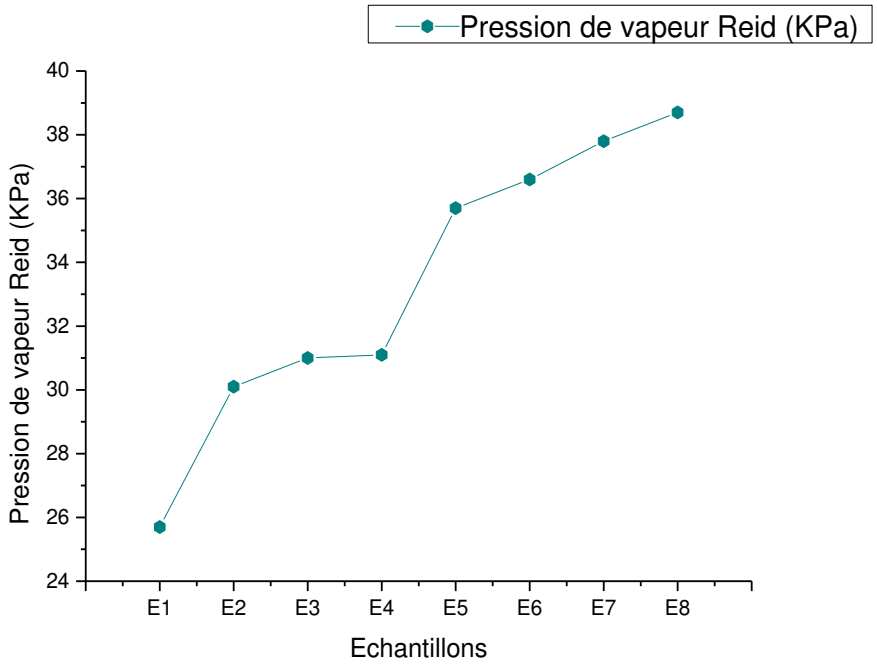


Figure 4.5: Évolution de la pression de vapeur Reid (PVR) des échantillons reformulés.

4.3.5. Résultats de l'indice de volatilité des mélanges reformulés

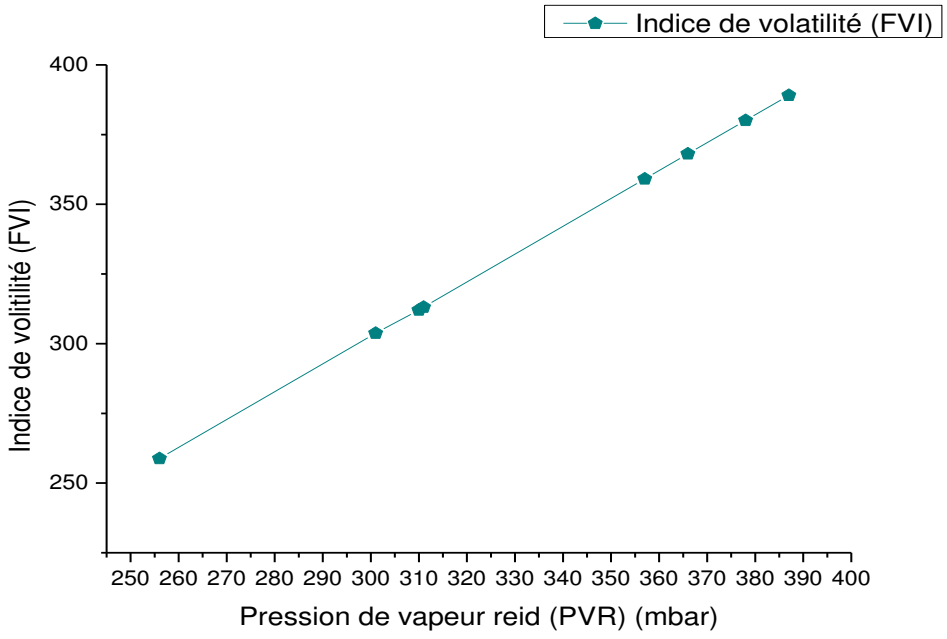


Figure 4.6: Variation de l'indice de volatilité (FVI) en fonction de la pression de vapeur Reid (PVR).

Les essais réalisés ont montré que l'indice de volatilité exprime de façon satisfaisante le rôle du carburant dans le comportement à chaud du moteur. Nous avons confirmé que l'indice de volatilité de chaque mélange proposé est conforme aux normes et ne dépasse pas 850.

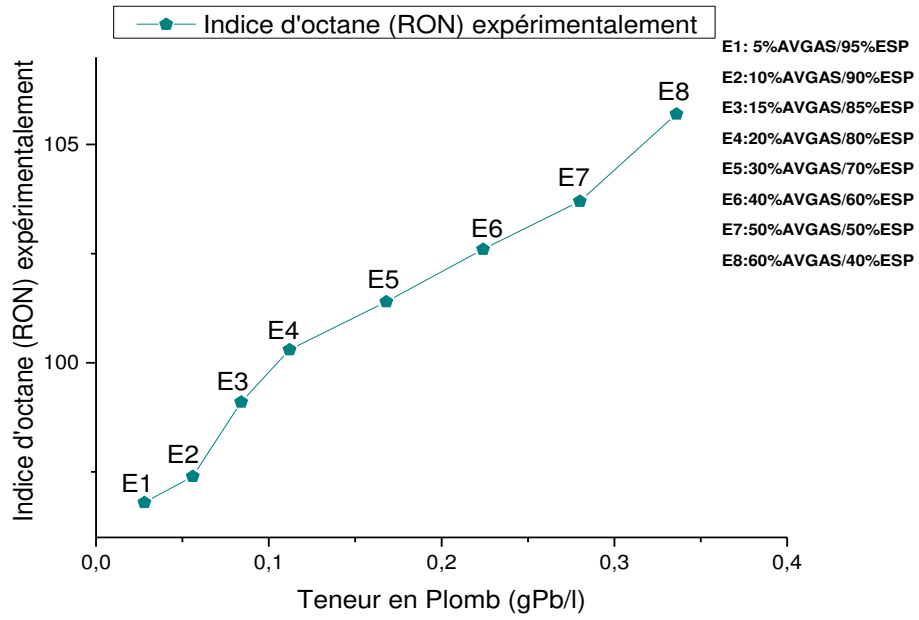
4.3.6. Influence d'incorporation du plomb sur les caractéristiques énergétiques des essences reformulées

- ✓ **Sur l'indice d'octane**

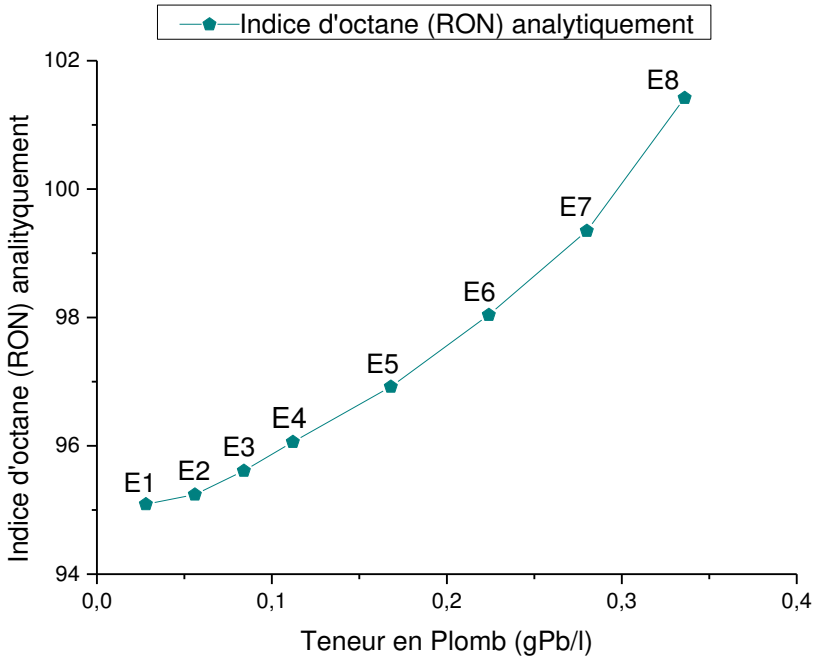
Le (**Tableau 4.8**) illustre les résultats d'indice octane (RON) obtenus expérimentalement au niveau du banc d'essai (moteur CFR) et celles calculés analytiquement par la relation décrite précédemment dans le paragraphe page 51 des échantillons reformulés.

Tableau 4.8: Indice d'octane (RON) expérimental et analytique des échantillons reformulés.

Échantillons	**Indice d'octane (RON) obtenus expérimentalement**	**Indice d'octane (RON) obtenus analytiquement**
E1	96.8	95.09
E2	97.4	95.24
E3	99.1	95.61
E4	100.3	96.06
E5	101.4	96.92
E6	102.6	98.04
E7	103.7	99.35
E8	105.7	101.42



a/calcul expérimentale



b/ calcul analytique

Figure 4.7: Influence de la teneur en plomb sur l'indice d'octane (RON) des essences reformulées : a/calcul expérimentales, b/ calcul analytique.

On remarque d'après la (**Figure 4.7**) que les écarts des indices d'octane expérimentaux et analytiques restent dans les intervalles admissibles.

D'après la (**Figure 4.8**), on constate que la teneur en plomb dans les essences reformulées se traduit par des grains d'indices d'octane de plusieurs points. Ainsi, à partir d'un niveau de RON voisin de 96, les accroissements sont de l'ordre de 2 à 4 points pour 0,15 gPb/l et de 3 à 5 points pour 0,3 gPb/l.

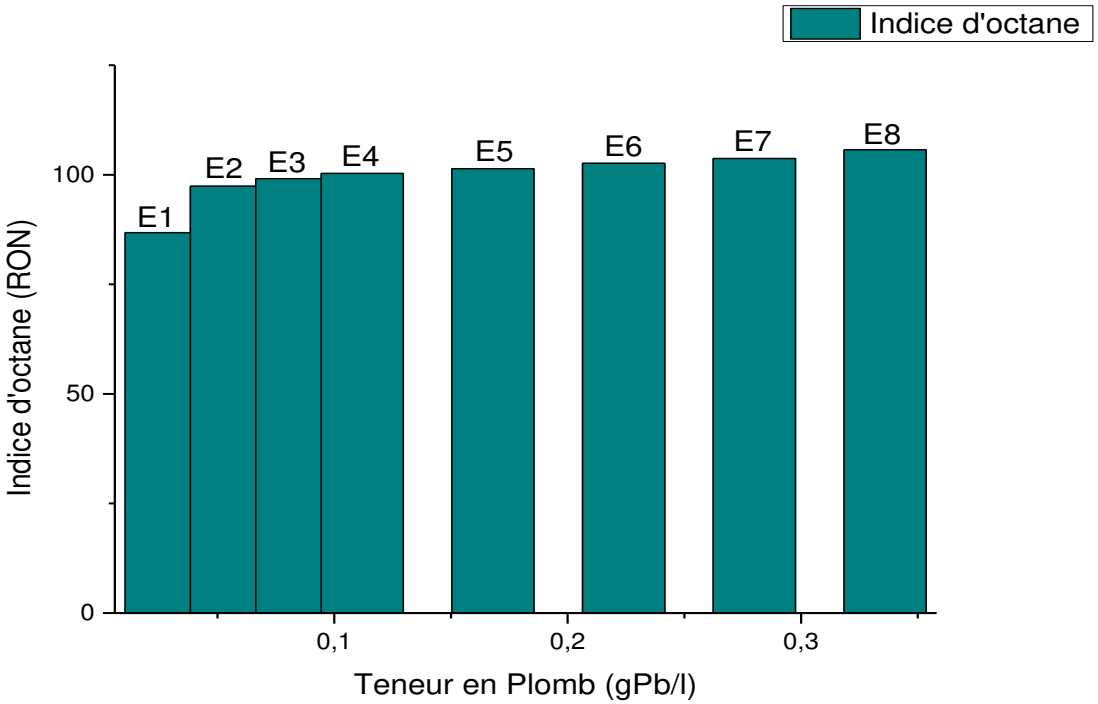


Figure 4.8: Évolution de l'indice d'octane (RON) en fonction de la teneur en plomb.

- ✓ **Sur le pouvoir calorifique**

Il existe une formule de corrélation relativement simple entre le pouvoir calorifique des carburants et certaines caractéristiques comme la masse volumique, point d'aniline que nous avons utilisée et qui est adoptée à NAFTAL décrite précédemment dans le paragraphe page 51.Le (**Tableau 4.9**) présente les résultats expérimentaux obtenus.

Tableau 4.9: Résultats expérimentaux des PCI pour les mélanges reformulés.

Échantillons	point d'aniline A (°C)	La masse volumique ρ (kg/m^3)	Pouvoir calorifique PCI (MJ/Kg)
E1	22	776,4	42,5948
E2	22	772,5	42,6179
E3	22	769,3	42,6364
E4	24	766,3	42,7071
E5	27	761,3	42,8156
E6	30	755,6	42,9276
E7	34	749,9	43,0653
E8	40	743,6	43,2575

Les résultats obtenus concernant le point d'aniline sont conformes aux normes. Il apparait clairement que le point d'aniline pour l'AVGAS est supérieure à celui du sans plomb. Donc, on peut conclure que l'AVGAS se caractérise par sa forte teneur en aromatiques, par apport au sans plomb.

Pour des teneurs en plomb élevées dans les mélanges reformulés, on remarque que le pont d'aniline et la masse volumique varient d'une manière proportionnelle indirecte.

La (**Figure 4.9**) indique les variations du pouvoir calorifique en fonction de la teneur en plomb de l'essence. Il apparait clairement que le PCI augmente progressivement avec l'augmentation de la teneur en plomb dans l'essence.

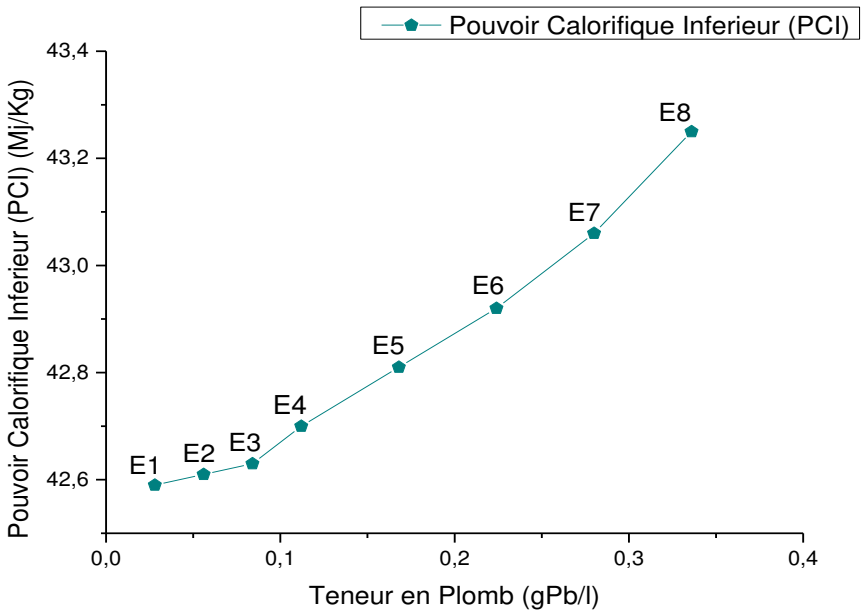


Figure 4.9: Influence de la teneur en plomb sur le pouvoir calorifique inférieur.

Les variations du PCI en fonction de l'indice d'octane sont représentées dans la (**Figure 4.10**), ainsi nous remarquons que l'augmentation de PCI est proportionnelle à l'augmentation de l'indice d'octane.

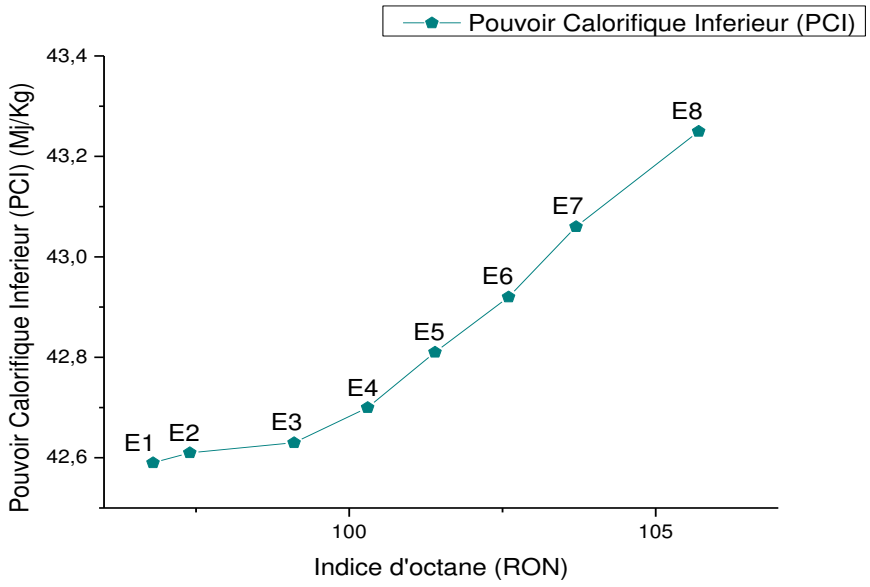


Figure 4.10 : Variation du PCI en fonction de l'indice d'octane (RON).

Chapitre 4

Résultats et discussions

Les résultats obtenus dans la présente étude ont permis de dégager les points suivants :

- Une analyse approfondie des essences provenant des stations de services NAFTAL nous a donné des éclaircissements sur les deux carburants automobiles ainsi que les carburants reformulés.
- Les propriétés physico-chimiques des carburants reformulés nous donnent des renseignements sur leur comportement lors de leurs utilisations.
- L'analyse de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) nous a permis de déterminer la nature et la composition chimique des carburants étudiés (Essence sans plomb/avec plomb et essences reformulées).
- Les normes et spécifications concernant les carburants reformulés sont respectées, donc nous pouvons dire que nos reformulations sont classés conformes selon les certificats de conformités des produits pétroliers.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail s'inscrit dans un cadre de recherche visant à évaluer le comportement physico-chimique des carburants reformulés.

Les résultats montrent que le mélange AVGAS /Essence sans plomb a un potentiel important. En effet, c'est un carburant alternatif ayant des propriétés physico-chimiques relativement proches de celles de l'essence conventionnelle.

Les analyses effectuées et présentées ont été réalisées au sein du laboratoire central de NAFTAL pour les carburants reformulés (Essence sans Plomb /Essence AVGAS) suivant les normes qui définissent les différentes techniques d'analyses des propriétés physico-chimiques.

Les résultats obtenus montrent que :

- Les densités des essences reformulées appartiennent à l'intervalle [0.743 ; 0.776] qui assure une utilisation normale dans la plupart des moteurs à A.C.

- Les indices de volatilités augmentent linéairement avec la pression de vapeur, ce qui permet un démarrage à chaud des moteurs plus souples.

- Les résultats obtenus montrent que la pression de vapeur Reid de l'essence sans Plomb, AVGAS et les essences reformulées ont une bonne volatilité. Ceci permet des démarrages (allumage) assez rapide.

- Les résultats obtenus par la distillation sont comme suit :

  - Le point initial (point d'apparition de la première goutte de vapeur) des essences reformulées est compris entre [35 °C ; 46 °C]. Ceci indique que ces dernières ne sont pas trop légères, ce résultat est traduit par le fait qu'elles ne provoquent pas de mélange riche générateur d'une pollution plus importante par des produits imbrulés.

- Point à 10% distillé (10% du volume initial vaporisé) avant 70 °C. Cela assure une bonne vaporisation de l'essence au moment du démarrage.

- Point à 50% distillé (50% du volume initial vaporisé) avant 140 °C. Ceci assure de bonnes reprises lors des accélérations ainsi que l'exploitation du maximum d'énergie produite.

- Point final distillé (Plus de 90 % du volume initial vaporisé) avant 195 °C. Ces chiffres veulent dire que le carburant ne contient pas trop de produits lourds. Ce résultat permet une combustion assez complète et donne au moteur une grande longévité.

❖ Les reformulations des carburants étudiés montrent une augmentation de l'indice d'octane de 96.8 jusqu'à 105.7. Ceci permet une bonne résistance au cliquetis et delà peut permettre l'augmentation du taux de compression moteur (amélioration du rendement).

❖ L'augmentation du pouvoir calorifique inferieur (PCI) des essences reformulées dépend essentiellement de leur composition et caractéristiques physico-chimiques (Teneur en plomb, densité, point d'aniline). Cette augmentation entraine un dégagement de chaleur plus important qui permet d'augmenter la puissance du moteur.

Référence bibliographique

Références bibliographique

[1] PINCHON, Philippe. Futures évolutions des motorisations dans l'automobile. REVUE DE L ENERGIE, 2004, p. 242-256.

[2] LALAOUI, Sonia, BOUKERROUI, Abdelhamid, et al. Caractérisation physico-chimiques des carburants des véhicules cas essence super et gazole. 2015. Thèse de doctorat. Université Abderrahmane Mira-Bejaia.

[3] KABBANJI, Jad. La stratégie pétrolière de la France en Algérie, 1962-1971. 2017. Thèse de doctorat. Université de Montéral.

[4] DEMIRBAS, Ayhan, BALUBAID, M. A., BASAHEL, A. M., et al.Octane rating of gasoline and octane booster additives. Petroleum Science and Technology, 2015, vol. 33, no 11, p. 1190-1197.

[5] BELHADRI FATIMA : Étude de la production de l'essence sans plomb Mémoire de Magistère, Université de Mohamed Boudiaf Oran.

[6] Article rédigé par Hagop Demirdjian (professeur agrégé à l'ENS), relu par Jean-Bernard Baudin (Sous-directeur du Département de Chimie de l'ENS). Cet article fait partie du dossier pluridisciplinaire sur l'énergie.

[7] BRENN, Louis. Avenir du secteur de l'automobile: Dans un contexte de développement durable: solution durable au moteur à essence. 2010. Thèse de doctorat. Université de Sherbrooke.

[8] TRAMBOUZE, Pierre. Raffinage du pétrole Tome 4-Matériels et équipements. Editions Technip, 1999.

[9] LE JURY, Devant. Biodégradation des Hydrocarbures (Pétrole brut et Kérosène) par la Microflore Microbienne des Eaux de la région de Skikda. 2016. Thèse de doctorat. Université de Annaba.

[10] FAVENNEC, Jean-Pierre. Raffinage du pétrole (Le). Tome 5. Exploitation et gestion de la raffinerie. Editions Technip, 1998.

[11] GATEAU, Paul. Les carburants et leur remplacement. Presses universitaires de France, 1997.

[12] C. PILORGET, B. DANANCHE, D. LUCE, J. FEVOTTE. (2007). "Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux carburants et solvants pétroliers". Institut de veille sanitaire, pp. 6-8. 2007.

[13] GUIBET, Jean-Claude. Les carburants et la combustion. *Techniques de l'ingénieur. Génie mécanique*, 2000, no BM2520, p. BM2520. 1-BM2520. 28.

[14] PIMSEE, Pranudda. Étude du comportement des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) lors du déversement accidentel d'hydrocarbures en eaux continentales. 2014. Thèse de doctorat

[15] JOUMARD, Robert.Les enjeux de la pollution de l'air des transports. In : Transports et pollution de l'air. Inrets, 2003. p. 233-240.

[16] CHORAZEWIEZ, Sophia. Modélisation de la demande de carburant appliquée à l'Europe. 1998. Thèse de doctorat. Dijon.

[17] WUITHIER, PIERRE. Raffinage et Génie Chimie. Deuxième édition Edition TECHNIP. 197 , Page.39-65.

[18] KALGHATGI, Gautam et STONE, Richard. Fuel requirements of spark ignition engines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2018, vol. 232, no 1, p. 22-35.

[19] KNOP, Vincent, LOOS, Mélanie, PERA, Cécile, et al. A linear-by-mole blending rule for octane numbers of n-heptane/iso-octane/toluene mixtures. Fuel, 2014, vol. 115, p. 666-673.

[20] SZWAJA, S., BHANDARY, K. R., et NABER, J. D. Comparisons of hydrogen and gasoline combustion knock in a spark ignition engine. International Journal of Hydrogen Energy, 2007, vol. 32, no 18, p. 5076-5087.

[21] AHMIA Aida Cherifa ,Attachée de recherche Division Bioénergie et Environnement – CDER.

[22] LEPRINCE, Pierre. Petroleum refining. Vol. 3 conversion processes. Editions Technip, 2001.

[23] PELETIER, L. A., *et al.* INFLUENCE DE LA RICHESSE DU MELANGE SUR LA DETONATION DANS LES MOTEURS A ESSENCE. In : *2nd World Petroleum Congress*. World Petroleum Congress, 1937.

[24] THOMAS, Jean-Hugh. Diagnostic d'un système non stationnaire à partir d'une approche de reconnaissance des formes floue. Application au diagnostic de cliquetis moteur. Traitement du Signal, 1999, vol. 16, no 3.

[25] BACTIFUEL 1L - DL LUB SAS.

[26] 1920 TENENBEIN, Milton. Leaded gasoline abuse: the role of tetraethyl lead. Human & experimental toxicology, 1997, vol. 16, no 4, p. 217-222.

[27] NRIAGU, Jerome O. The rise and fall of leaded gasoline. Science of the total environment, 1990, vol. 92, p. 13-28.

[28] BENMANSOUR, Meryem. Séparation et pré-concentration du Pb (II) et du Cu (II) par la technique de membrane liquide émulsionnée (MLE). 2012.

[29] DE FRANCE, PRESSES UNIVERSITAIRES. LES CARBURANTS LEUR EMPLACEMENT.

[30] PAGAND, Pascal. Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage à haut rendement algal. Thèse de Doctorat de L'université de Montpellier, 1999, vol. 1.

[31] JUSOH, Ahmad, SHIUNG, Lam Su, NOOR, M. J. M. M., et al. A simulation study of the removal efficiency of granular activated carbon on cadmium and lead. Desalination, 2007, vol. 206, no 1-3, p. 9-16.

[32] BOUDJENAH, S., DADAMOUSSA, B., et HADJ-MAHAMMED, M. ETUDE DE LA VARIATION SPATIALE DE LA SALINITE DES EAUX EXPLOITEES DANS LA CUVETTE D'OUARGLA

[33] BOURNAY, Laurent, HERAUD, Jean-Philippe, et PIERRON, Anne-Claire. Production de biokérosène et de biogazole par la voie thermochimique. 2016.

[34] DI BENEDETTO, M. Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier SAM, les métaux lourds. Axe" Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne. 49p, 1997.

[35] EHLERS, Cécile. Gestion du risque inondation en terme d'accès à l'eau potable dans le département du Val-de-Marne.

[36] MEENA, Ajay Kumar, MISHRA, G. K., RAI, P. K., et al. Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent. Journal of hazardous materials, 2005, vol. 122, no 1-2, p. 161-170.

[37] Anonyme : Quand les toxiques se jettent à l'eau. Guide technique (2002) 1-13.

[38] E.AROD : Se désintoxiquer des métaux lourds, une approche alimentaire globale (extrait d'un article paru dans biocontact) (2002) 1 - 17.

[39] MOUSTAID, Khadija, NASSER, Boubker, BAUDRIMONT, Isabelle, et al. Évaluation comparée de la toxicité des moules (Mytilus galloprovincialis) de deux sites du littoral atlantique marocain sur des souris. Comptes Rendus Biologies, 2005, vol. 328, no 3, p. 281-289.

[40] LAUTRE, Yonne. Pollutions chimique, radioactive, par métaux lourds des Gaz & Pétrole de Schistes bitumineux. 2014.

[41] ROZADA, F., OTERO, M., MORÁN, A., et al. Adsorption of heavy metals onto sewage sludge-derived materials. Bioresource Technology, 2008, vol. 99, no 14, p. 6332-6338.

[42] GERÇEL, Özgül et GERÇEL, H. Ferdi. Adsorption of lead (II) ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from biomass plant material of Euphorbia rigida. Chemical engineering journal, 2007, vol. 132, no 1-3, p. 289-297.

[43] Impacts de l'aérodrome de Narbonne sur l'environnement Rubresus.

[44] OUAZENE, Mourad. Expérience Algérienne dans la promotion des carburants et véhicules propres.2017. Workshop sur la Promotion des Carburants Propres. Balaclava.

[45] LE GSPC, QUI EST REELLEMENT et AU MAGHREB, Al-Qaida. Algerieinfo. com Forum.

[46] BOUBAKOUR, Farès. " Les transports urbains en Algérie face aux défis du développement durable: sur les problèmes rencontrés et les solutions proposées. *CODATU XIII, Ho Chi Minh City (Saïgon), Vietnam*, 2008, p. 12-14.

[47] NEEDLEMAN, Herbert L. Childhood lead poisoning: the promise and abandonment of primary prevention. American Journal of Public Health, 1998, vol. 88, no 12, p. 1871-1877.

[48] RAHAL, Farid, HADJOU, Zahra, BLOND, Nadège, et al. Croissance urbaine, mobilité et émissions de polluants atmosphériques dans la région d'Oran, Algérie. Cybergeo: European Journal of Geography, 2018.

[49] BOUSSOUARA, Karima. Etude des missions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne. 2010.

[50] MARTINEZ, Lionel. Simulation aux grandes échelles de l'injection de carburant liquide dans les moteurs à combustion interne. 2009. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse.

[51] DU PASQUIER, Eric. *Investigation des incendies de véhicules automobiles*. PPUR presses polytechniques, 2003.

[52] KEZ, MENOUAR. Etude et conception d'un arbre à cames du moteur à combustion interne. Thèse de doctorat

[53] MERABET, Abderrezak. Contribution à l'étude des échanges thermiques dans un moteur Diesel atmosphérique à taux de compression variable. 2010.

[54] VILLAREAL, Axel. L'industrie automobile à l'épreuve des voitures électriques: entre changement et continuité. 2014. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux.

[55] LABRECHE, Amine. Potentiel de la combustion partiellement prémélangée pour les moteurs essence. 2015. Thèse de doctorat. Université d'Orléans.

[56] L.GUESMI, S.ZITOUNI. Moteur thermique

[57] MAHFOUDI, Nadjiba. Modélisation thermodynamique d'un moteur à pistons.

[58] RITTER, Xavier. Modélisation de la distribution d'un moteur à arbre à cames en tête. 2006. Thèse de doctorat. Lyon, INSA.

[59] GRONDIN, Olivier. Modélisation du moteur à allumage par compression dans la perspective du contrôle et du diagnostic. 2004. Thèse de doctorat. Rouen.

[60] BENCHERIF, Mohamed. Moteurs à combustion interne, combustion et éléments de carburation. 2018.

[61] R.Baroudi. Étude des moteurs thermiques (Cas E.T.U.S.Tlemcen).Université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, juin 2014.

[62] THECHNOLOGIE AUTOMOBILE, CONSTITUTION DU MOTEUR : étude du moteur.

[63] A. Elhilali. Le moteur : Tout savoir sur le moteur à combustion interne.EMI département Génie Mécanique, 15 juin 2006.

[64] T. W. Ryan, T. J. Callahan. Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) of Diesel fuel, Society of Automotive Engineers, 1996.

[65] PODEVIN, Pierre et CLENCI, Adrian. Technologies de distribution variable pour moteurs à combustion interne. Techniques de l'ingénieur Technologie des moteurs thermiques, vol. base docum, no. ref. article: bm2580, 2014.

[66] CLENCI, Adrian, DELIGANT, Michael, IORGA-SIMAN, Victor, et al. Les effets des faibles levées des soupapes d'admission sur la consommation de carburant d'un moteur à essence. In : Colloque francophone sur l'énergie, l'environnement, l'économie et la thermodynamique-COFRET 2012. Technical University of Sofia, 2012. p. 158-164.

[67] ONISHI, Shigeru, JO, Souk Hong, SHODA, Katsuji, et al. Active thermo-atmosphere combustion (ATAC)—a new combustion process for internal combustion engines. SAE Transactions, 1979, p. 1851-1860.

[68] NAJT, Paul M. et FOSTER, David E. Compression-ignited homogeneous charge combustion. SAE Transactions, 1983, p. 964-979.

[69] BENAISSA, Fatima et ALKAMA, R. Encadreur. Contribution à l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique d'origine automobile dans la wilaya de Béjaia. 2010.

[70] IWABUCHI, Yoshinori, KAWAI, Kenji, SHOJI, Takeshi, et al. Essai d'un nouveau concept de combustion pré-mélangée à allumage par compression dans un système de combustion diesel. Document technique SAE, 1999.

[71] KANDA, Tomohiro, HAKOZAKI, Takazo, UCHIMOTO, Tatsuya, et al. PCCI operation with early injection of conventional diesel fuel. SAE transactions, 2005, p. 584-593.

.

ANNEXE

ANNEXE A

Tableau de réglage du cylindre pour l'intensité standard de cliquetis

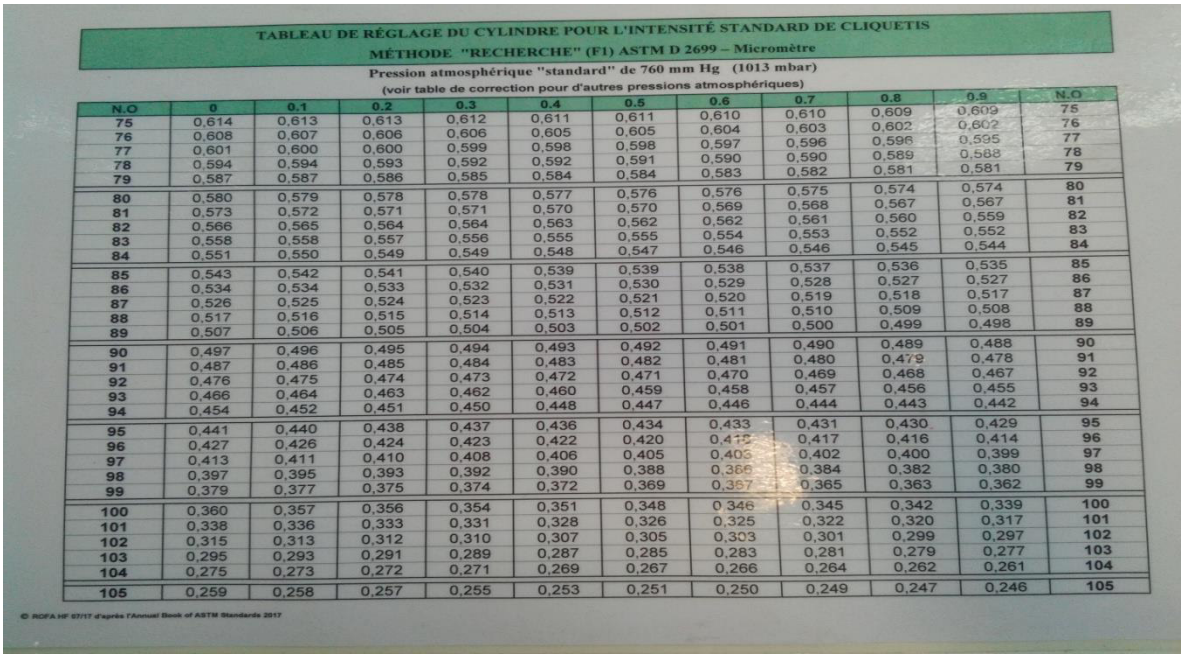


TABLEAU DE RÉGLAGE DU CYLINDRE POUR L'INTENSITÉ STANDARD DE CLIQUETIS
MÉTHODE "RECHERCHE" (F1) ASTM D 2699 – Micromètre
Pression atmosphérique "standard" de 760 mm Hg (1013 mbar)
(voir table de correction pour d'autres pressions atmosphériques)

N.O	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	N.O
75	0,614	0,613	0,613	0,612	0,611	0,611	0,610	0,610	0,609	0,609	75
76	0,608	0,607	0,606	0,606	0,605	0,605	0,604	0,603	0,602	0,602	76
77	0,601	0,600	0,600	0,599	0,598	0,598	0,597	0,596	0,596	0,595	77
78	0,594	0,594	0,593	0,592	0,592	0,591	0,590	0,590	0,589	0,588	78
79	0,587	0,587	0,586	0,585	0,584	0,584	0,583	0,582	0,581	0,581	79
80	0,580	0,579	0,578	0,578	0,577	0,576	0,576	0,575	0,574	0,574	80
81	0,573	0,572	0,571	0,571	0,570	0,570	0,569	0,568	0,567	0,567	81
82	0,566	0,565	0,564	0,564	0,563	0,562	0,562	0,561	0,560	0,559	82
83	0,558	0,558	0,557	0,556	0,555	0,555	0,554	0,553	0,552	0,552	83
84	0,551	0,550	0,549	0,549	0,548	0,547	0,546	0,546	0,545	0,544	84
85	0,543	0,542	0,541	0,540	0,539	0,539	0,538	0,537	0,536	0,535	85
86	0,534	0,534	0,533	0,532	0,531	0,530	0,529	0,528	0,527	0,527	86
87	0,526	0,525	0,524	0,523	0,522	0,521	0,520	0,519	0,518	0,517	87
88	0,517	0,516	0,515	0,514	0,513	0,512	0,511	0,510	0,509	0,508	88
89	0,507	0,506	0,505	0,504	0,503	0,502	0,501	0,500	0,499	0,498	89
90	0,497	0,496	0,495	0,494	0,493	0,492	0,491	0,490	0,489	0,488	90
91	0,487	0,486	0,485	0,484	0,483	0,482	0,481	0,480	0,479	0,478	91
92	0,476	0,475	0,474	0,473	0,472	0,471	0,470	0,469	0,468	0,467	92
93	0,466	0,464	0,463	0,462	0,460	0,459	0,458	0,457	0,456	0,455	93
94	0,454	0,452	0,451	0,450	0,448	0,447	0,446	0,444	0,443	0,442	94
95	0,441	0,440	0,438	0,437	0,436	0,434	0,433	0,431	0,430	0,429	95
96	0,427	0,426	0,424	0,423	0,422	0,420	0,419	0,417	0,416	0,414	96
97	0,413	0,411	0,410	0,408	0,406	0,405	0,403	0,402	0,400	0,399	97
98	0,397	0,395	0,393	0,392	0,390	0,388	0,386	0,384	0,382	0,380	98
99	0,379	0,377	0,375	0,374	0,372	0,369	0,367	0,365	0,363	0,362	99
100	0,360	0,357	0,356	0,354	0,351	0,348	0,346	0,345	0,342	0,339	100
101	0,338	0,336	0,333	0,331	0,328	0,326	0,325	0,322	0,320	0,317	101
102	0,315	0,313	0,312	0,310	0,307	0,305	0,303	0,301	0,299	0,297	102
103	0,295	0,293	0,291	0,289	0,287	0,285	0,283	0,281	0,279	0,277	103
104	0,275	0,273	0,272	0,271	0,269	0,267	0,266	0,264	0,262	0,261	104
105	0,259	0,258	0,257	0,255	0,253	0,251	0,250	0,249	0,247	0,246	105

© ROFA HF 07/17 d'après l'Annual Book of ASTM Standards 2017

Table de correction du « micromètre » en fonction de la pression atmosphérique

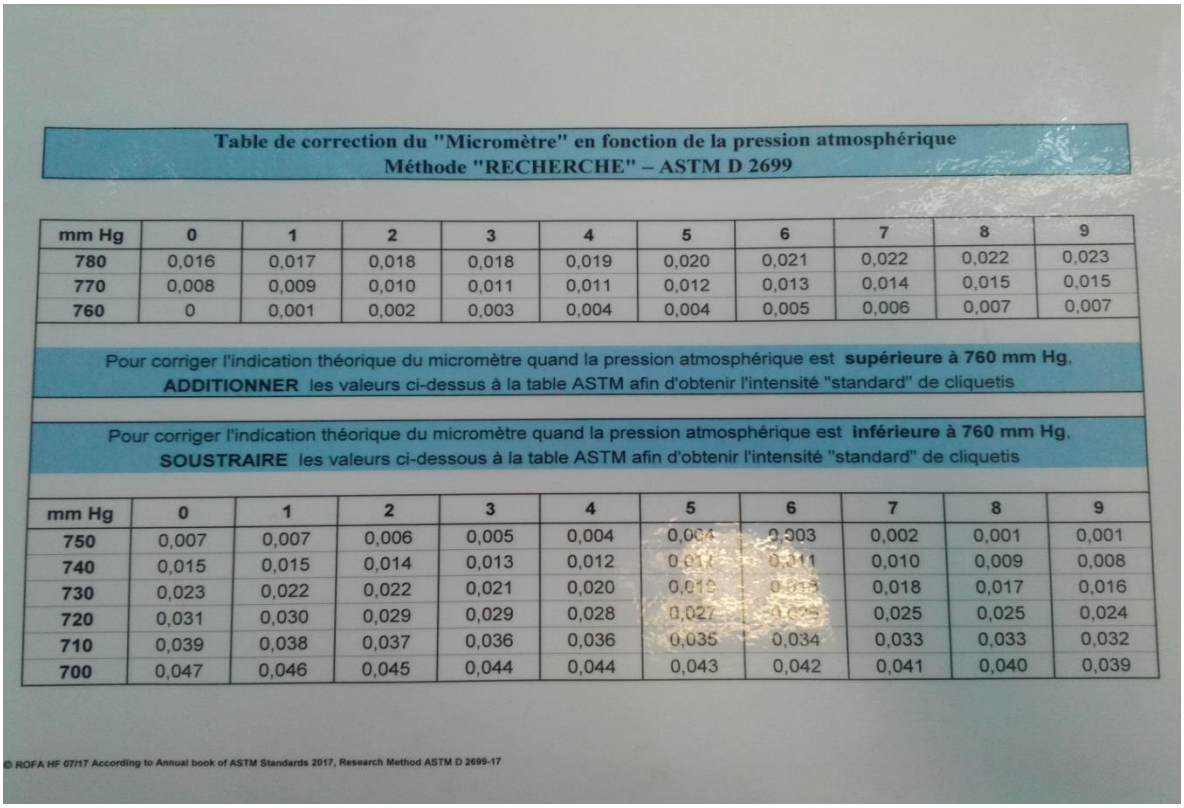


Table de correction du "Micromètre" en fonction de la pression atmosphérique
Méthode "RECHERCHE" – ASTM D 2699

mm Hg	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
780	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,022	0,023
770	0,008	0,009	0,010	0,011	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,015
760	0	0,001	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007	0,007

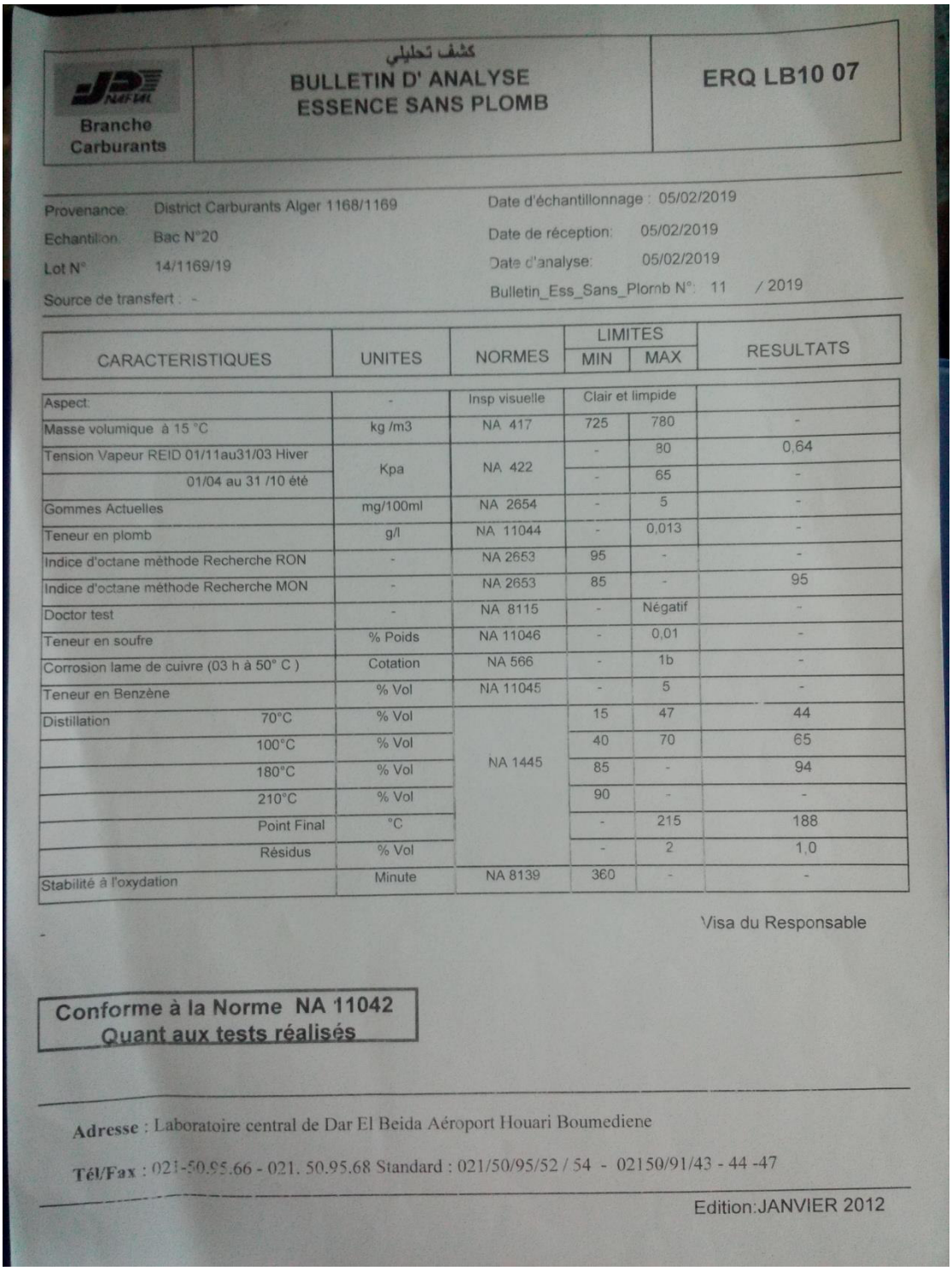
Pour corriger l'indication théorique du micromètre quand la pression atmosphérique est **supérieure à 760 mm Hg**,
ADDITIONNER les valeurs ci-dessus à la table ASTM afin d'obtenir l'intensité "standard" de cliquetis

Pour corriger l'indication théorique du micromètre quand la pression atmosphérique est **inférieure à 760 mm Hg**,
SOUSTRAIRE les valeurs ci-dessous à la table ASTM afin d'obtenir l'intensité "standard" de cliquetis

mm Hg	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
750	0,007	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
740	0,015	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,008
730	0,023	0,022	0,022	0,021	0,020	0,019	0,018	0,018	0,017	0,016
720	0,031	0,030	0,029	0,029	0,028	0,027	0,026	0,025	0,025	0,024
710	0,039	0,038	0,037	0,036	0,036	0,035	0,034	0,033	0,033	0,032
700	0,047	0,046	0,045	0,044	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040	0,039

© ROFA HF 07/17 According to Annual book of ASTM Standards 2017, Research Method ASTM D 2699-17

BULLETIN D'ANALYSE: ESSENCE SANS PLOMB



كشف تحليلي

BULLETIN D' ANALYSE
ESSENCE SANS PLOMB

ERQ LB10 07

Branche Carburants

Provenance: District Carburants Alger 1168/1169
Echantillon: Bac N°20
Lot N° 14/1169/19
Source de transfert : -

Date d'échantillonnage : 05/02/2019
Date de réception: 05/02/2019
Date d'analyse: 05/02/2019
Bulletin_Ess_Sans_Plomb N°: 11 / 2019

CARACTERISTIQUES	UNITES	NORMES	LIMITES MIN	LIMITES MAX	RESULTATS
Aspect:	-	Insp visuelle	Clair et limpide		
Masse volumique à 15 °C	kg /m3	NA 417	725	780	-
Tension Vapeur REID 01/11au31/03 Hiver	Kpa	NA 422	-	80	0,64
01/04 au 31 /10 été			-	65	-
Gommes Actuelles	mg/100ml	NA 2654	-	5	-
Teneur en plomb	g/l	NA 11044	-	0,013	-
Indice d'octane méthode Recherche RON	-	NA 2653	95	-	-
Indice d'octane méthode Recherche MON	-	NA 2653	85	-	95
Doctor test	-	NA 8115	-	Négatif	-
Teneur en soufre	% Poids	NA 11046	-	0,01	-
Corrosion lame de cuivre (03 h à 50° C)	Cotation	NA 566	-	1b	-
Teneur en Benzène	% Vol	NA 11045	-	5	-
Distillation 70°C	% Vol	NA 1445	15	47	44
100°C	% Vol		40	70	65
180°C	% Vol		85	-	94
210°C	% Vol		90	-	-
Point Final	°C		-	215	188
Résidus	% Vol		-	2	1,0
Stabilité à l'oxydation	Minute	NA 8139	360	-	-

Visa du Responsable

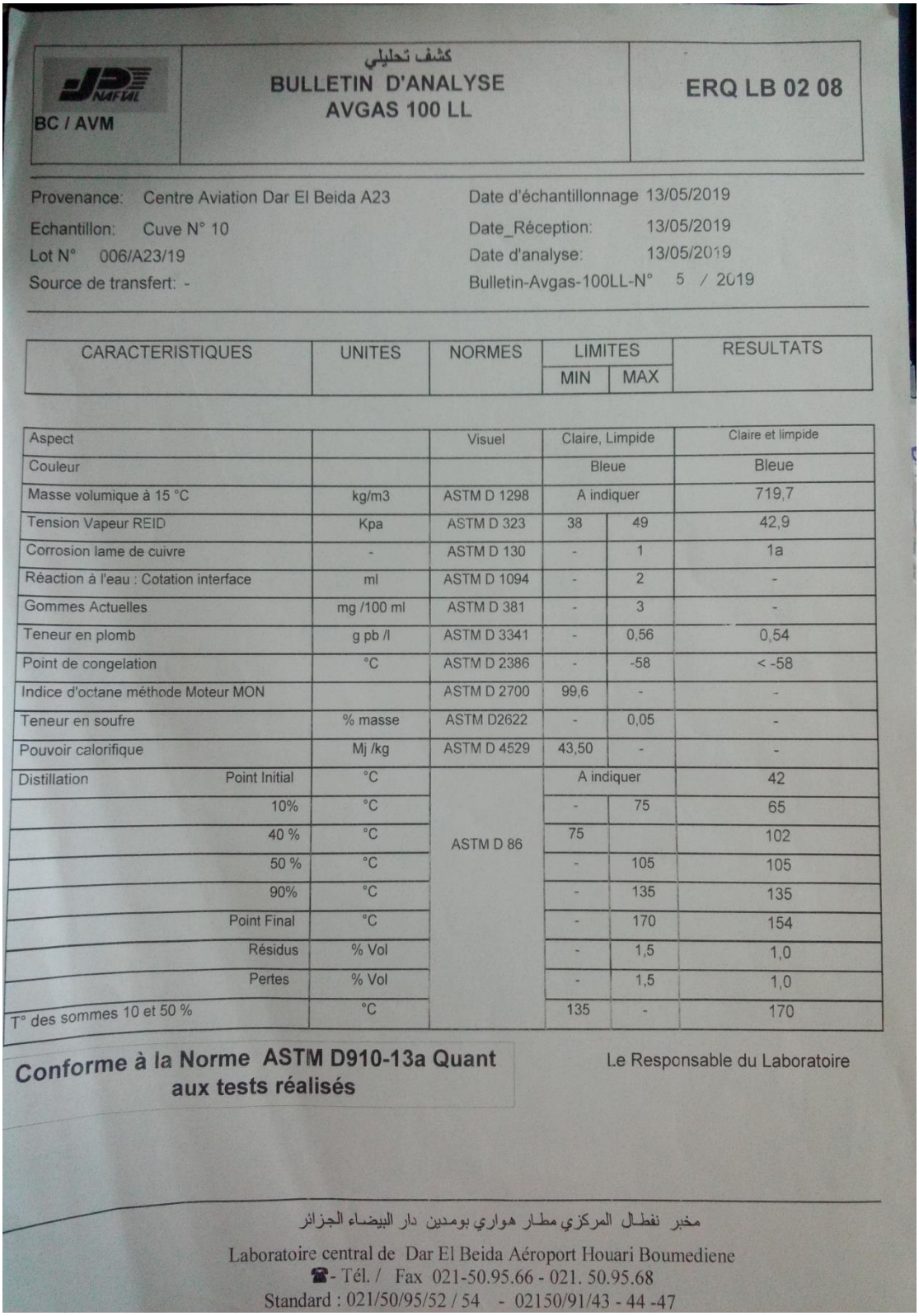
Conforme à la Norme NA 11042
Quant aux tests réalisés

Adresse : Laboratoire central de Dar El Beida Aéroport Houari Boumediene

Tél/Fax : 021-50.95.66 - 021. 50.95.68 Standard : 021/50/95/52 / 54 - 02150/91/43 - 44 -47

Edition:JANVIER 2012

BULLETIN D'ANALYSE : AVGAS 100 LL



كشف تحليلي

BULLETIN D'ANALYSE
AVGAS 100 LL

ERQ LB 02 08

BC / AVM

Provenance: Centre Aviation Dar El Beida A23
Echantillon: Cuve N° 10
Lot N° 006/A23/19
Source de transfert: -

Date d'échantillonnage 13/05/2019
Date_Réception: 13/05/2019
Date d'analyse: 13/05/2019
Bulletin-Avgas-100LL-N° 5 / 2019

CARACTERISTIQUES	UNITES	NORMES	LIMITES		RESULTATS
			MIN	MAX	
Aspect		Visuel	Claire, Limpide		Claire et limpide
Couleur			Bleue		Bleue
Masse volumique à 15 °C	kg/m3	ASTM D 1298	A indiquer		719,7
Tension Vapeur REID	Kpa	ASTM D 323	38	49	42,9
Corrosion lame de cuivre	-	ASTM D 130	-	1	1a
Réaction à l'eau : Cotation interface	ml	ASTM D 1094	-	2	-
Gommes Actuelles	mg /100 ml	ASTM D 381	-	3	-
Teneur en plomb	g pb /l	ASTM D 3341	-	0,56	0,54
Point de congelation	°C	ASTM D 2386	-	-58	< -58
Indice d'octane méthode Moteur MON		ASTM D 2700	99,6	-	-
Teneur en soufre	% masse	ASTM D2622	-	0,05	-
Pouvoir calorifique	Mj /kg	ASTM D 4529	43,50	-	-
Distillation Point Initial	°C	ASTM D 86	A indiquer		42
10%	°C		-	75	65
40 %	°C		75		102
50 %	°C		-	105	105
90%	°C		-	135	135
Point Final	°C		-	170	154
Résidus	% Vol		-	1,5	1,0
Pertes	% Vol		-	1,5	1,0
T° des sommes 10 et 50 %	°C		135	-	170

Conforme à la Norme ASTM D910-13a Quant aux tests réalisés

Le Responsable du Laboratoire

مخبر نفطال المركزي مطار هواري بومدين دار البيضاء الجزائر

Laboratoire central de Dar El Beida Aéroport Houari Boumediene
☎- Tél. / Fax 021-50.95.66 - 021. 50.95.68
Standard : 021/50/95/52 / 54 - 02150/91/43 - 44 -47

ANNEXE D

Rapport d'analyse de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) de l'essence sans plomb

Rapport d'Analyse DTD

Information sur l'échantillon

Nom de l'échantillon: essence sans Pb
Nom du fichier: essence sans Pb.gcd
Nom de la méthode: Fraction légère M.gcm
Nom du Batch: batch 4 échantillons stagiaire.gcb
Vial #: 55
Injection Volume: 1 uL
Date Acquired: 30/05/2019 10:09:26
Date Processed: 30/05/2019 16:05:06

Chromatogramme

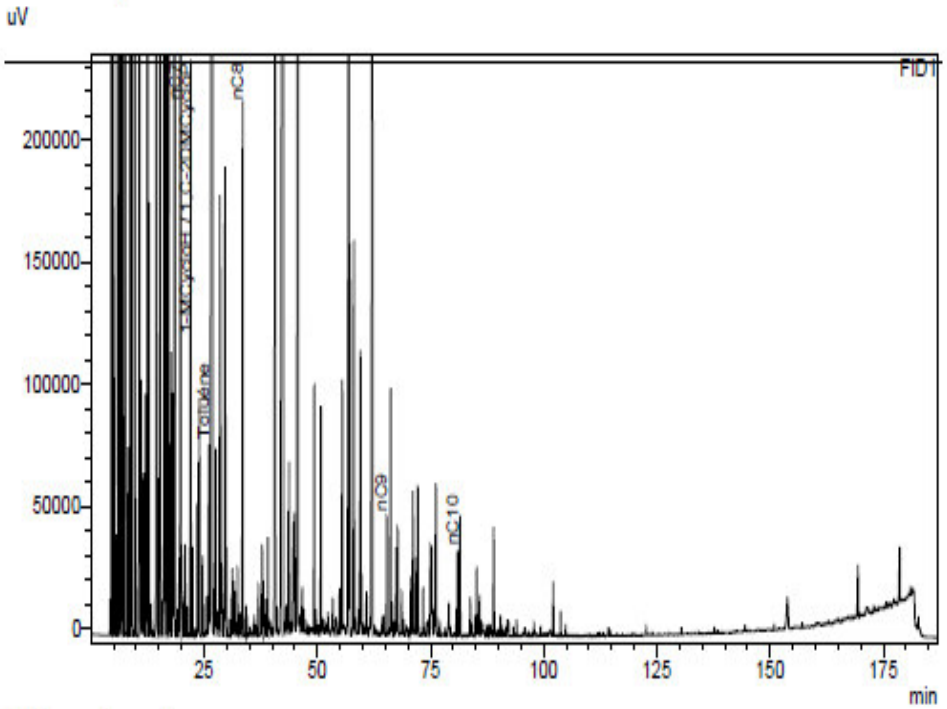


Tableau des pics

FID1

Name	Ret. Time	Area	Height	Area%
nC7	19,804	3006493	457909	39,483
1-MCycloH / 1,C-2DM	22,023	1625610	234372	21,349
Toluène	26,058	663220	71189	8,710
nC8	33,488	1563881	218403	20,538
nC9	65,337	375007	48112	4,925
nC10	80,981	380408	34580	4,996

ANNEXE E

Rapport d'analyse de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) de l'essence aviation (AVGAS 100 LL)

Rapport d'Analyse DTD

Information sur l'échantillon

Nom de l'échantillon: Essence AU GAZ
Nom du fichier: Essence Au Gaz.gcd
Nom de la méthode: Fraction légère M.gcm
Nom du Batch: batch 4 échantillons stagiaire.gcb
Vial #: 51
Injection Volume: 1 uL
Date Acquired: 27/05/2019 13:22:45
Date Processed: 30/05/2019 16:02:15

Chromatogramme

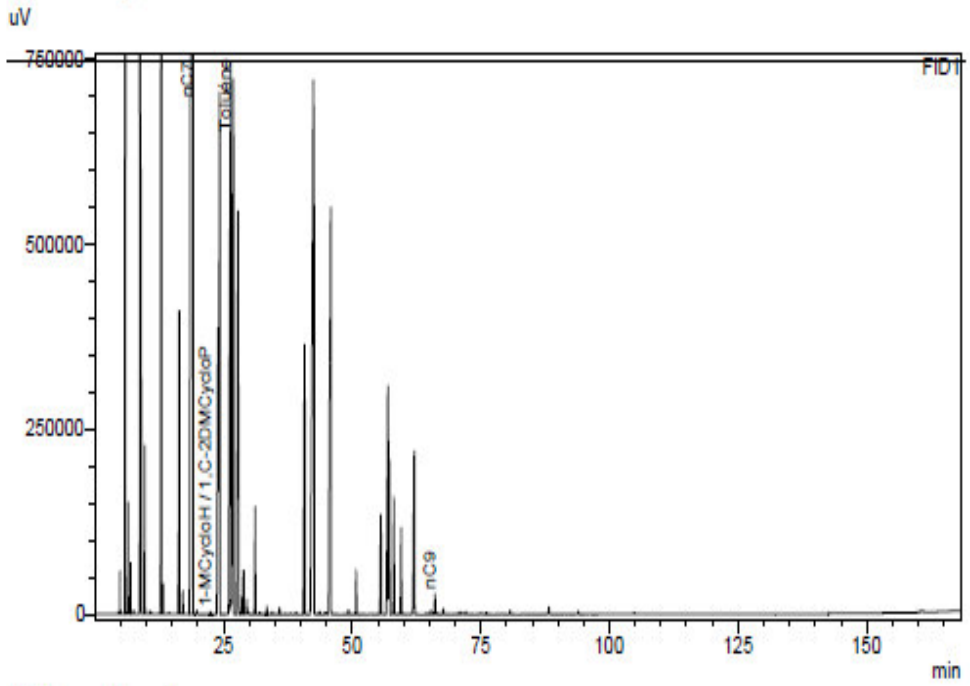


Tableau des pics

FID1

Name	Ret. Time	Area	Height	Area%
nC7	19.063	58159812	2744464	83.523
1-MCycloH / 1,C-2DM	22.427	15310	2536	0.022
Toluène	26.389	11188809	731590	16.068
nC9	66.075	200348	26047	0.288

Rapport d'analyse de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) de l'échantillon formulé (E4)

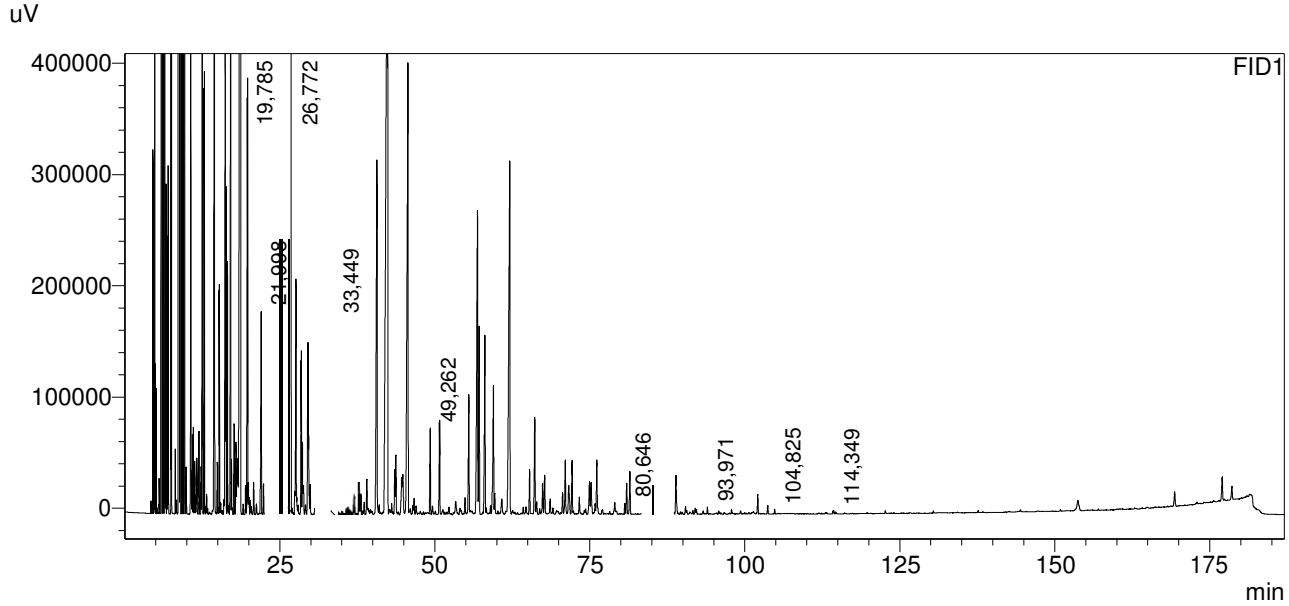
SHIMADZU LabSolutions

Analysis Report

<Sample Information>

Sample Name	: 20 AVGAS 80 ESP		
Sample ID	:		
Data Filename	: 20 AVGS 80 san pb.gcd		
Method Filename	: Fraction légère M.gcm		
Batch Filename	: batch 4 échantillons stagiaire.gcb		
Vial #	: 50	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 1 uL		
Date Acquired	: 27/05/2019 10:08:33	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 27/05/2019 16:09:04	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

FID1

Name	Ret. Time	Area	Area%
nC7	19,785	2303608	10,865
1-MCycloH / 1,C-2DMCycloP	21,998	1225901	5,782
Toluene	26,772	15799153	74,516
nC8	33,449	1169638	5,517
nC9	49,262	561963	2,650
nC10	80,646	62906	0,297
nC11	93,971	40558	0,191
nC13	104,825	17530	0,083
nC14	114,349	21076	0,099
		21202333	100,000

Rapport d'analyse de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) de l'échantillon formulé (E8)

Rapport d'analyse

Détails de l'échantillon

Sample Name	: augaz 60 40 sans plomb		
Sample ID	:		
Data Filename	: augaz 60 40 sans plomb.gcd		
Method Filename	: Fraction légère M.gcm		
Vial #	: 46		
Injection Volume	: 1 uL	Sample Type	: Unknown
Date Acquired	: 23/05/2019 11:39:06		
Date Processed	: 27/05/2019 13:25:06	Acquired by	: System Administrator
		Processed by	: System Administrator

Chromatogram

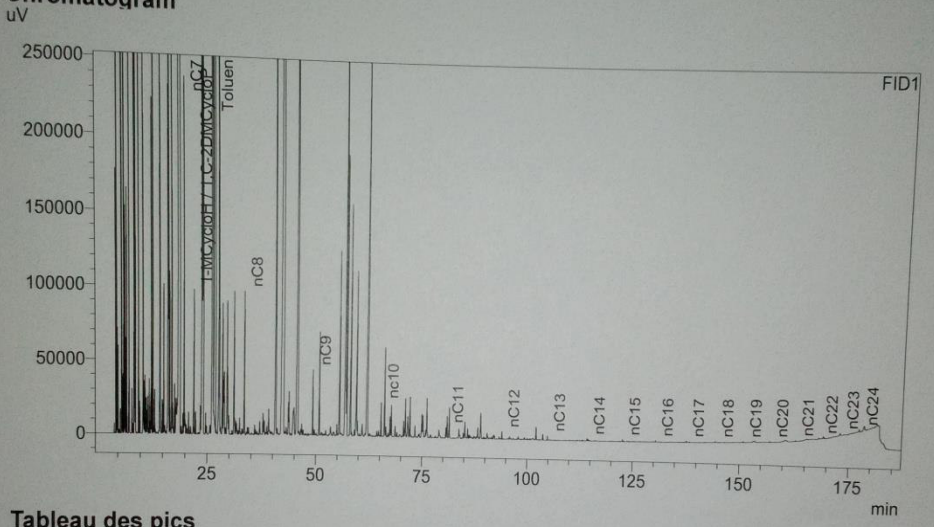


Tableau des pics

FID1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Name
1	19,784	1183981	231868	nC7
2	21,991	577651	95272	1-MCycloH / 1,C-2DMCycloP
3	26,713	12427637	754264	Toluen
4	33,426	628359	96164	nC8
5	49,257	306649	44800	nC9
6	65,281	163592	22847	nc10
7	80,635	46248	6760	nC11
8	93,958	32818	5142	nC12
9	104,811	17228	2975	nC13
10	114,211	11538	995	nC14
11	122,645	5723	1092	nC15
12	130,399	4269	861	nC16
13	137,627	4640	843	nC17
14	144,434	3645	678	nC18
15	150,872	2610	520	nC19
16	157,008	2699	502	nC20
17	162,846	2222	484	nC21
18	168,170	3625	713	nC22
19	172,958	5780	1089	nC23
20	177,329	6406	1226	nC24
Total		15437318	1269095	

D:\resultats\Data\augaz 60 40 sans plomb.gcd