



Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

En Génie Mécanique

**Option : Construction mécanique**

Présenté par :

Touabet Fares & Arslane Fayza

**Thème :**

## ANALYSE DES PROBLEMES DES BOUGIES D'ALLUMAGE DES MOTEURS A CI ET RECHERCHE DES SOLUTIONS

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom GradeQualité

GHOUSS HAOUES

MCB

Président

FARSI CHOUKI

MCA

Encadreur

MUSTAPHA HOCINE

MCB

Examineur

*Année Universitaire: 2019/2020*

N° d'ordre: GM/...../2020

# **Remerciements :**

*Je remercie premièrement le bon Dieu pour son bien fait.*

*J'adresse aussi et chaleureusement toute ma gratitude à mon respecté encadreur Monsieur **Farsi chouki**, pour son aide et son précieux aide.*

*Mon vif remerciements vont aussi à mes parents qui nous ont donné la lumière et guidés et à tous mes professeurs qui m'ont orientés, assistés et aidés à concevoir ce mémoire ainsi qu'à tous ceux qui, durant ma vie scolaire et universitaire m'ont apporté leurs précieux conseils et m'ont permis d'être ce que je suis aujourd'hui.*

*Finalement je remercie l'université de Mohamed Boudiaf M'sila et le département de génie mécanique.*

# ***Dédicace***

Je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon père, et à ma mère, en témoignage de

Ma reconnaissance et ma gratitude pour leur soutien et leur

Compréhension durant toutes mes études.

A mes frères

A mes amis :

## Résumé

Le thème traité parle des bougies d'allumage qui sont les éléments centraux du système d'injection essence. Comme leur nom l'indique, elles servent au démarrage et au bon fonctionnement des moteurs à essence exclusivement. Grâce à leurs fonctionnements électriques et leurs résistances à la chaleur, les bougies créent un arc électrique d'environ 10 000 V qui provoque l'explosion du mélange gazeux dans la chambre de combustion pour permettre au moteur de fonctionner et de démarrer.

Le délai de changement des bougies d'allumage a été prévu par le constructeur de voiture. Aujourd'hui, les préconisations constructeurs vont jusqu'aux 90 000 km. Néanmoins, en fonction de l'utilisation du véhicule, de la qualité du carburant et de la façon de conduire, cet intervalle peut varier.

Le but de recherche est d'arriver à trouver les problèmes de fonctionnement des bougies et leur influence sur le régime moteur et à éliminer le travail en déséquilibre des moteurs. Ecologiquement et économiquement on peut dire qu'avec une bonne vérification de l'état des bougies selon la durée de service, on peut faire un bon allumage, qui signifie un fonctionnement presque sans émission de déchets nuisibles avec une économie de combustible.

**Mots clés :** bougie d'allumage, régime du moteur à CI, combustible, résistance électrique des bougies.

## ملخص

الموضوع هو حول شموع الإشعال التي هي العناصر المركزية لنظام حقن البنزين. كما يوحى اسمها، يتم استخدامها لبدء وتشغيل محركات البنزين حصراً. نظراً لوظائفها الكهربائية ومقاومتها للحرارة، تخلق شموع الإشعال شرارات كهربائية تبلغ حوالي 10000 فولت مما يؤدي إلى انفجار خليط الغاز في غرفة الاحتراق للسماح للمحرك بالتشغيل والانطلاق. تم توفير الوقت اللازم لتغيير شموع الإشعال من قبل الشركة المصنعة للسيارة. اليوم، تصل توصيات الشركات المصنعة إلى 90000 كم. ومع ذلك، اعتماداً على استخدام السيارة وجودة الوقود وطريقة القيادة، قد يختلف هذا الفاصل الزمني. الهدف من البحث هو إيجاد المشاكل المتعلقة بوظيفة شموع الإشعال وتأثيرها على سرعة المحرك والقضاء على العمل غير المتوازن من المحركات. بيئياً واقتصادياً، يمكننا القول أنه من خلال التحقق الجيد من حالة شمعات الإشعال وفقاً لمدة الخدمة، يمكننا إجراء إشعال جيد، مما يعني عملية تقريباً دون انبعاث نفايات ضارة مع توفير الوقود.

**كلمة مفتاحية:** شموع الإشعال، سرعة محرك، الوقود، مقاومة كهربائية، لشموع الإشعال.

## Abstract

The theme is about spark plugs which are the central elements of the petrol injection system. As their name suggests, they are used for starting and proper functioning of petrol engines only. Fat Their electrical functions and their resistance to heat, the candles create an electric arc of about 10 000 V which causes the explosion gas mixture in the combustion chamber to allow the engine to run and start.

The time required to change the spark plugs has been provided by the car manufacturer.

Today, manufacturers' recommendations range up to 90,000 km. However, depending on the use of the vehicle, the quality of the fuel and the way of driving, this interval may vary.

The aim of the research is to find the problems with the function of the spark plugs and their influence on the engine speed and to eliminate unbalanced work from the engines.

Ecologically and economically we can say that with a good check of the condition of the spark plugs according to the service life, we can make a good ignition, which means an operation almost without emission of harmful waste with a fuel economy

Key words: spark plug, IC engine speed, fuel, spark plug electrical resistance.

## Table des matières

Titre	page
Résumé	03
Table de matière	05
Liste des figures	08
Les notations des symboles	09
Liste des tableaux	09
Introduction générale	10
<b>Chapitre I : Généralité sur les bougies</b>	11
I.1.Introduction	12
I.2.Historique:	12
I.3.Principe de travail des bougies:	12
I.4.Électrodes	14
I.5.Isolateur	14
I.6.Étanchéité	15
I.7.Culot	15
I.8. Alimentation de la bougie par la bobine :	15
I.9.L'étincelle	17
I.10.Exigences électriques	17
I.11.Exigences mécaniques	17
I.12.Exigences thermiques	18
I.13.Exigences électrochimiques	18
I.14.Teste d'une bobine d'allumage :	18
I.15.Nécessité de changer les bougies ou les bobines d'allumage :	19
I.16. Description du phénomène d'inflammation:	19
I.17.Point d'allumage.....	20
I.18.L'Allumage dit "classique"	21
I.19.Conclusion :	22
<b>Chapitre II: Moteurs à combustion interne</b>	23
II.1.Moteurs à combustion interne	24
II.1.1.Introduction :	24
II.1.2.Historique	24
II.1.3.Définition	26
II.1.4.Classification des moteurs à combustion interne	27
II.1.5.Description du moteur à combustion interne	28
II.1.6.Moteur à combustion externe	28
II.1.7.Moteur thermiques à pistons alternatifs:	28
II.1.8.Moteurs à allumage commandé (moteur à essence):	28
II.1.8.a. Définition du cycle a 4 temps	28
II.1.8.b. Définition du cycle a 2 temps:	29
II.1.9.Moteur a allumage par compression cycle de Diesel	29
II.1.10.Auto-inflammation :	30
II.1.11.Propagation de l'inflammation	31
II.1.12.Moteur thermiques à combustion interne à pistons rotatif	31
II.1.13.Le principe du moteur rotatif :	33
II.1.14.Constatation du moteur à combustion interne:	32

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

II.2.Les principaux systèmes du moteur à combustion interne	33
II.2.1.Système de distribution	33
II.2.2 Système de lubrification	34
II.2.3.Système d'alimentation	34
II.2.3.a. Alimentation en carburant	35
II.2.3.b. Pompe à essence mécanique	35
II.2.4.Carburateur	36
II.2.4.a. Le rôle du carburateur	36
II.2.4.b. Fonctionnement du carburateur	36
II.2.5.Système de refroidissement des moteurs à combustion interne	37
II.2.5.a. Introduction	37
II.2.5.b. Origine de la chaleur dans le moteur	37
II.2.5.c. Nécessité du refroidissement	38
II.2.5.d. Le filtre à air	38
II.3. Conclusion :	38
<b>Chapitre III :Allumage des moteurs a C.I.</b>	40
III.1.Introduction :	40
III.1.1.Généralité sur l'allumage	40
III.1.2.Nécessité de l'allumage	40
III.1.3.Fonction du système d'allumage	41
III.1.4.Création de l'arc électrique	41
III.2. Les organes du circuit d'allumage	42
III.2.1. La bougie	42
III.2.2.Bobine d'allumage	42
III.2.2.a. Principe physique	42
III.2.2.b. Bobinage primaire	43
III.2.2.c. Comportement du circuit primaire	43
III.2.2.d. Comportement du circuit secondaire	43
III.2.2.e. La bobine de type « rampe à distributeur » :	44
III.2.2.f. La bobine de type « crayon » :	44
III.2.2.g. Alimentation de la bougie par la bobine :	44
III.3. Accessoires d'allumage :	44
III.3.1.Le condensateur	44
III.3.2.Le rupteur	44
III.3.3. Angle de came trop petit	45
III.3.4.Angle de came trop grand	45
III.3.5.Distribution de la haute tension	46
III.3.6.L'allumeur	46
III.3.7.Le correcteur centrifuge	47
III.3.8.Correcteur à dépression	47
III.3.9.Le calage initial.	47
III.3.10.Conclusion :	48
<b>Chapitre IV :Influence de l'état des bougies sur le fonctionnement des moteurs a C.I.</b>	50
Introduction :	50
IV.1.Les inconvénients d'allumage classique:	50
IV.2.Détails fonctionnels	50
IV.3. Types de tension de travail	51

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

IV.3.1.Tension d'ionisation	51
IV.3.2.Tension d'arc	51
IV.3.3.Tension inverse à la fermeture des rupteurs	51
IV.4.Allumage électronique	52
IV.5.Les allumages "transistorisé inductifs ou a effet Hall", dits de deuxième génération	52
IV.6.Les allumages électronique "cartographiques":	52
IV.7.les systèmes d'allumage actuels:	53
<b>IV.8.Partie expérimentale</b>	53
IV.8.1. Nettoyage des bougies :	53
IV.8.2.Vérification des résistances des bougies avec un multimètre :	55
IV.8.3.Proposition pour l'augmentation de l'effet des étincelles des bougies :	55
IV.8.4.Sélection des bougies d'allumage et des fils haute tension pour la résistance	57
IV.8.5.Evaluation de l'état du moteur par des bougies d'allumage	57
IV.8.6.Conclusion :	61
IV.8.7.Conclusion générale	62
Bibliographies	63

## Liste des figures

Titre	page
Figure I.1 : Coupe d'une bougie d'allumage)	13
Figure I.2 : Composants d'une bougie.	16
Figure I.3 : Etincelle ou arc électrique dans les conditions de travail	17
Figure I.4. Information de l'état du véhicule par un programme de diagnostic :	19
Figure II.1 : Moteur à combustion interne	27
Figure II.2 : Schéma représentant la classification des moteurs combustion interne.	27
Figure II.3 : les phases d'un moteur a quatre temps	28
Figure II -4 les phases d'un moteur à deux temps.	29
Figure II.5 : Cycle de diesel	30
Figure II.6 : Composant du moteur à combustion interne	32
Figure II.7 : Pièce et composants d'un piston d'un moteur thermique	33
Figure II.8 : Système du distribution	34
Figure II.9 : Système de lubrification	34
Figure II.10 : composition détaillée de l'atmosphère	35
Figure. II.11.Circuits internes du carburateur	37
Figure III.1 : Schéma du circuit électrique d'allumage	41
Figure III.2 : Principe physique de création de la haute tension (loi de Lenz)	43
Figure III.3 : Bobinage primaire et secondaire de la bobine	43
Figure III.4 : Chemin de circulation du courant électrique	44
Figure II.6 : Le condensateur à deux rôles	44
Figure III.7 :L'angle de came	45
Figure III.8 : Angle de came trop petit	45
Figure III.9 : Distribution de la haute tension	46

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

Figure III.10 : L'allumeur	47
Figure III.11. : Correcteur à dépression	48
Figure N°IV.1 Nettoyage de la bougie d'allumage	54
Figure IV.2 : La mise des bougies a nettoyer dans un récipient	55
Figure IV.3 : Bougies trempées dans les détergents	55
Figure IV.4 : Bougie propre après le nettoyage	55
Figure IV.5: Mesurer des résistances avec un multimètre	56
Figure IV.6: Mesurer des la résistance interne	56
Figure IV.7: Perçage de l'électrode négatif	57
Figure IV.8: Axe de perçage de l'électrode négatif	57
Figure IV.9.a, b, c, d, e, f, g, h, i, j : Inspection des bougies d'allumage	59

### Liste des tableaux :

**Tableau. II.1:**Températures d'auto-inflammation de certain mélange combustible .....(46)

**Tableau.III.2:**Les caractéristiques de la centrale photovoltaïque.....(48)

### Les notations des symboles

symbole	Désignation	Unité
<b>P<sub>méca</sub></b>	Puissance mécanique	Watt
<b>C</b>	Couple de force	Newton. mètre
<b>ω</b>	la vitesse de rotation	Radian .s <sup>-1</sup>

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## Introduction générale

Tout moteur à combustion interne exige un allumage continu pour un fonctionnement assuré par des bougies d'allumage. Une bougie d'allumage, a comme rôle dans le moteur d'allumer un mélange d'essence et d'air entrant dans la chambre de combustion. Les moteurs diesel ou a essence ont des bougies dans leurs conceptions, mais leurs fonctions sont complètement différentes. La défaillance d'un élément aussi insignifiant que l'autre peut causer des dommages irréparables au moteur. Une réaction en chaîne se produit généralement, avec le résultat que la défaillance d'une seule bougie peut coûter cher au propriétaire de la voiture. Le couvercle du distributeur ou de la bobine d'allumage (ou d'une bobine, selon la voiture) se brise souvent. Même une sonde lambda ou un convertisseur catalytique peuvent tomber en panne si une bougie du moteur à essence saute. Les moteurs a quatre cylindres possèdent généralement quatre bougies .Le régime de ces moteurs dépend directement de l'état des bougies .L'état de ces derniers se base sur l'intensité des étincelles de ces bougies .L'étincelle ce réalise entre deux électrodes : négative lié à la masse ou au chassie du véhicule, et positif qui vient de la bobine à travers le distributeur et le delco. Ce dernier est un dispositif du système d'allumage d'un moteur à explosion qui dirige le courant à haute tension produit par la bobine d'allumage vers les bougies d'allumage dans un ordre correct d'explosion. Les étincelles de chaque bougie au démarrage du moteur doivent êtres très puissants puisque elles change l'état du moteur d'un état statique à un état dynamique. La puissance des étincelles dépend de plusieurs facteurs comme :

-de la charge des batteries

-de la résistance des conducteurs de courant qui alimente les électrodes qui doivent êtres bien isolés pour diminuer les pertes de puissance.

-de l'état de surface des électrodes...

Le régime des moteurs dépend aussi de la bonne continuité d'allumage sans interruption et de l'état du bloc qui ne doit pas laisser passer les huiles jusqu'à l'espace entre les électrodes des bougies là où se réalise les étincelles, puisque il y aura l'étouffement de ses étincelles .

Les étincelles sont caractérisées par la couleur des arcs qui doivent êtres bleu vif. Au point de vue écologique l'exploitation : des bougies en bon état signifie une bonne combustion avec moins de dégagement des élément nocifs et de gaz toxique par l'échappement des moteurs.

On doit surveiller à chaque fois l'état des bougies des moteur pour créer un équilibre entre les pistons .Avec un régime équilibré on peut économiser le carburant et faire une économie annuelle très élevée.

***Chapitre I:***

**Généralité sur les bougies**

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## Chapitre I

### Généralité sur les bougies

#### I.1. Introduction

Dans le monde, la production d'énergie électrique vient principalement des énergies fossiles et combustibles d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel elle conduit à un dégagement massif de gaz polluants et de gaz à effet d'allumage d'un mélange air-carburant par une étincelle est préconisé par l'Italien Alessandro Volta, en 1777, puis par François Isaac de Rivaz pour le moteur à combustion interne, appelé communément « moteur à explosion » en 1807[1]. Cette étincelle est réalisée par un circuit électrique dont les paramètres doivent être strictement contrôlé pour le bon fonctionnement des moteurs à combustion interne. Cette étincelle se réalise dans une pression moteur dix fois plus grande que la pression atmosphérique.

#### I.2. Historique:

En 1885, le Belge Étienne Lenoir, alors occupé à la conception de moteurs thermiques technique de propulsion automobile tout juste née de l'application pratique du cycle thermodynamique de Beau de Rochas invente un système d'allumage, très proche des bougies d'allumage actuellement utilisées, nécessaire au fonctionnement de ces derniers.[2,3].

Ce n'est qu'en 1902, à une époque où les automobiles sont en plein essor, que la fabrication des bougies prend réellement de l'ampleur. Cette année-là, le constructeur allemand Robert Bosch livre ses premières bougies d'allumage, le brevet ayant été déposé en 1894.[2]., et la première magnéto haute tension, permettant d'apporter la solution au problème majeur d'allumage des moteurs thermiques.[4]. Plus d'un siècle plus tard, Bosch demeure le premier producteur mondial de bougies d'allumage.[5].

#### I.3.Principe de travail des bougies :

La bougie d'allumage est un élément du système d'allumage du moteur à allumage commandé. Elle permet la création d'un arc électrique ou étincelle grâce à la haute tension, fournie aux électrodes par la bobine au moment où le système de rupteurs le commande, permettant la combustion du mélange gazeux, libérant ainsi l'énergie. En effet, pour créer l'inflammation d'un fluide ou d'un solide, il est nécessaire de remplir les conditions du triangle du feu, à savoir la présence conjointe d'un comburant, d'un combustible et d'une source de chaleur, ou énergie d'activation. Dans un moteur, le comburant est l'air, le combustible, l'essence, et la source de chaleur est apportée par la bougie d'allumage.

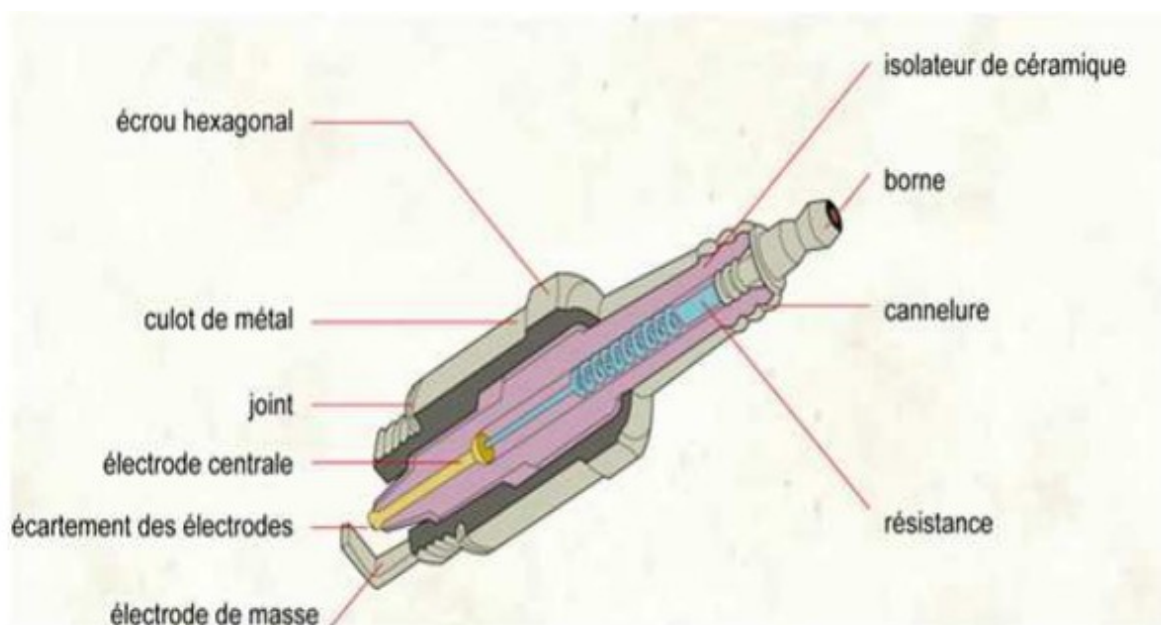
La tension nécessaire pour déclencher l'arc électrique est de l'ordre de 10 kV pour un taux de compression voisin de 10. À la pression atmosphérique, cette tension de claquage serait 10 fois plus faible. Dès l'ouverture du circuit d'alimentation, la tension aux bornes du circuit primaire de la bobine ne cesse d'augmenter jusqu'à atteindre la tension d'ionisation, nécessaire à la création de l'arc électrique.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

Au moment où les soupapes sont fermées dans le cylindre et que le piston se trouve dans la région du point mort haut, une décharge électrique se produit entre les électrodes. Le courant est faible, mais la tension peut atteindre 20-35 kV (selon le type de système d'allumage - contact, sans contact, avec contrôle par microprocesseur), ce qui provoque une étincelle entre les électrodes pouvant enflammer l'essence. Le moment d'apparition d'une étincelle dépend du réglage correct de l'allumage. Pour un fonctionnement normal, il est nécessaire que la courroie de distribution (ou la chaîne) soit installée avec la tension nécessaire et que les marques sur le vilebrequin et l'arbre à cames coïncident avec les marques sur le bloc. Il est également important d'installer correctement le distributeur, qui distribue la haute tension aux bougies correspondantes

L'énergie calorifique dissipée par l'étincelle élève suffisamment la température de la masse gazeuse à son alentour immédiat pour en provoquer l'inflammation, qui propage de manière déflagrante son front de flamme au reste de la masse gazeuse. La chaleur occasionnée par la combustion provoque la dilatation (rapide) de la masse gazeuse, qui repousse le piston la seule paroi mobile dans la chambre de combustion fournissant le moment de couple moteur. Ce moment de couple, multiplié par la fréquence de rotation du moteur produit la puissance mécanique de ce dernier [21].

$$P_{\text{méca}} = C.\omega \quad [\text{Watt}] \quad (1.2)$$



**Fig. I.1.** Coupe d'une bougie d'allumage

## I.4.Électrodes

La bougie d'allumage ne possède pas nécessairement que deux électrodes.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Les électrodes sont des conducteurs électriques reliés indirectement à la batterie du véhicule entre lesquelles est générée, en raison d'une haute tension à leurs bornes, l'étincelle nécessaire à l'inflammation du carburant. L'écartement des électrodes est fixé par le constructeur du moteur en fonction du taux de compression, du carburant utilisé, de la puissance de la bobine d'allumage et de l'énergie escomptée. L'électrode située dans l'axe de la bougie est dénommée « électrode centrale » ; elle est nécessairement unique. Les électrodes en regard de celle centrale sont dénommées « électrodes de masse » .[9]... En raison de l'électronique de plus en plus présente dans les automobiles, l'électrode centrale est parfois prolongée par une résistance susceptible de filtrer les émissions électromagnétiques parasites produites par l'ensemble bobine et bougie du système d'allumage.[6].

En raison des réactions chimiques induites par la combustion des gaz, de la chaleur dégagée par l'explosion et de celle générée par les arcs électriques, les électrodes doivent résister à des effets de corrosion importants.[7]... C'est la raison pour laquelle elles sont généralement recouvertes d'alliages composés de nickel, d'argent ou de platine.[8]... La température de fusion du nickel est d'environ 1 450 °C tandis que celle du platine atteint les 1 770 °C et l'iridium, près de 2 400 °C.[10]... Elles peuvent être soumises à une usure excessive, voire fondre lors de surchauffe. Des électrodes trop chaudes sont susceptibles d'entraîner un pré-allumage du moteur, source de grandes détériorations du piston.... [11]. La plage de fonctionnement normal des électrodes est de 450 à 850 °C. Le mélange s'enflamme avant l'étincelle au-dessus de 1 000 °C.

De nombreux dépôts peuvent également se former sur les électrodes de la bougie, diminuant grandement ses capacités. Des dépôts carbonés se forment lors d'un usage prolongé du starter, d'un allumage faible ou retardé lorsque le taux de compression est faible ou encore lorsque la bougie est trop froide (en dessous de 450 °C). Les bougies peuvent être encrassées lors d'un problème d'huile.[11].

## I.5. Isolateur

L'isolateur permet que la haute tension, traversant la céramique de la bougie, ne parte pas à la masse. Il est placé entre l'électrode centrale et le corps de la bougie. La différence de potentiel entre les deux varie entre 10 000 et 30 000 V. Il permet d'éviter qu'un arc ne se crée entre l'électrode centrale et le corps de la bougie ailleurs qu'aux électrodes terminales, servant à enflammer le mélange air-carburant.

L'isolateur doit donc avoir de bonnes propriétés diélectriques :

- une grande rigidité diélectrique pour éviter qu'un arc ne se crée au travers de l'isolateur et ne le perfore ;
- une bonne résistivité superficielle pour éviter la formation de courants de surface. Comme cette résistivité est fortement dégradée par l'humidité et la pollution, la plupart des fabricants dessinent des ondulations sur la surface de l'isolant afin d'augmenter la ligne de fuite (distance que l'étincelle aurait à parcourir à la surface de l'isolateur) évitant ainsi les courts-circuits.[12].

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

L'isolateur doit également posséder de bonnes propriétés thermomécaniques :

- il doit être capable de résister à des températures proches de 900 °C .[13].;
- il doit avoir une bonne conductivité thermique pour évacuer la chaleur ;
- et enfin, en raison des manutentions éventuelles lors du changement de bougies, aux vibrations du moteur, aux variations de températures rapides, mais surtout en raison des pressions régnant dans la chambre de combustion<sup>1</sup>, la résistance à la rupture de l'isolateur doit être suffisamment importante afin d'éviter que ce dernier ne se fendille. L'électrode centrale est ainsi recouverte d'un isolant en céramique.[9].

En général, les matériaux utilisés pour réaliser les isolants sont la stéatite, la soulimanite d'alumine, pure ou alliée, et la mellite, composé d'alumine et de soulimanite. La céramique est, dans un premier temps, soit extrudée, soit injectée, puis comme toutes les céramiques, frittée passage au four à haute température afin d'obtenir finalement les caractéristiques dimensionnelles, mécaniques et physiques de l'isolant.

## **I.6.Étanchéité**

Le filetage réalisé sur le culot permet de fixer la bougie dans la culasse.

L'étanchéité est assurée par de nombreux dispositifs. Deux scellements sont réalisés entre l'électrode centrale et l'isolateur pour l'un, et entre l'isolateur et le culot pour l'autre. Le « sillment seal », une poudre sèche spécifiquement conçue pour cet usage, assure cette fonction. Elle est en effet quasiment insensible aux hautes températures, à l'oxydation et à la corrosion, tout en assurant l'étanchéité et un assemblage optimal, étant donné qu'elle n'est pas sujette aux risques de coulage ou de fuite.[13].;. Cette poudre a été inventée dans les années 1930 par la marque automobile Champion. .[14]

Un joint circulaire est également placé entre le culot et l'écrou hexagonal. Enfin, un dispositif de protection contre les fuites de courant est positionné sur la partie supérieure de la bougie.

## **I.7.Culot**

Le culot d'une bougie est généralement en acier, faiblement additionné de soufre ou de manganèse. Il est obtenu par extrusion à froid sur des presses à multiples poinçons. Le filetage extérieur, réalisé séparément, subit un contrôle de qualité sévère afin de s'assurer que les tolérances d'usinage sont respectées. Auparavant, le dessin du culot était directement obtenu par décolletage de barres octogonales.

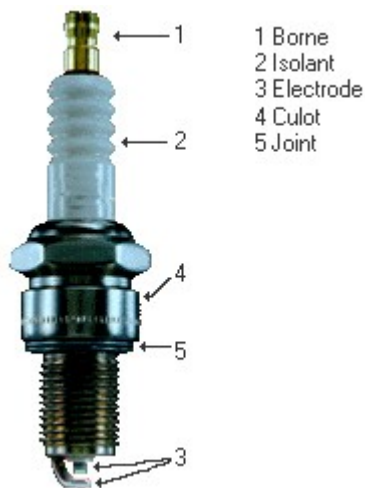
## **I.8.Alimentation de la bougie par la bobine :**

Les bougies d'allumage ont un rôle différent des [bougies de préchauffage pour les moteurs Diesel](#).

En effet, contrairement à leurs homologues, elles sont nécessaires au fonctionnement du moteur et pas seulement lors de son démarrage.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---



**Figure N°I.2** Composants d'une bougie

Le principe de fonctionnement est le suivant :

- La bobine d'allumage émet une tension très forte qui circule à l'intérieur de la bougie en entrant par l'embout de connexion prévue à cet effet (faisceau d'allumage).
- L'électricité circule ensuite jusqu'à l'électrode centrale pour atteindre ensuite l'électrode dite « de masse » (au niveau de la culasse et du culot), provoquant une étincelle dans l'espace entre ces deux électrodes.

Bien sûr, une multitude d'éléments viennent sécuriser cette opération au sein de la bougie afin d'assurer l'isolement et l'étanchéité (céramique, double joint torique, culot métallique et filetage...).

La bobine d'allumage est un élément essentiel au fonctionnement des bougies d'allumage. Sans elle les bougies ne sont pas alimentées en électricité et par conséquent la voiture ne démarrera tout simplement pas (pas de production d'étincelle).

Son fonctionnement repose sur un phénomène électromagnétique ayant lieu à l'intérieur entre la bobine « primaire » (12 volts) et « secondaire » (1000 à 30 000 volts) afin de générer un courant assez puissant.

La batterie de la voiture alimente celle-ci via une connexion prévue à cet effet.

La fonction principale des bobines d'allumage est donc de fournir une haute tension aux bougies afin que celles-ci soient capables de produire un arc électrique

Il existe plusieurs types de bobines d'allumage selon les marques et modèles de véhicules, voici les plus répandues :

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## I.9.L'étincelle

L'étincelle qui enflamme les gaz correspond à la formation d'un arc électrique, c'est-à-dire un canal conducteur composé de molécules ionisées. Le « claquage » ou « percement des gaz », noms donnés à ce phénomène, est d'une durée d'environ 1 à 2 nanosecondes.



**Fig. I.3** Etincelle ou arc électrique dans les conditions de travail

L'accélération d'un électron au niveau de la cathode, dit « électron germe », amorce le mouvement des molécules, engendrant des collisions entre elles. Des chocs, dont la nature varie selon l'énergie cinétique de l'électron et la nature du gaz, sont alors générés. Les « chocs ionisants », qui engendrent l'extraction d'un électron de plusieurs molécules de gaz, multiplient le nombre d'électrons et induisent un effet d'avalanche. Ce dernier est à l'origine de l'arc.

Pour que l'étincelle puisse jaillir, il est nécessaire de réunir deux conditions, à savoir la formation d'un électron germe et la liaison entre l'électrode centrale et l'électrode de masse du phénomène d'avalanche. La photoémission et l'amplification locale du champ électrique sont, quant à eux, indispensables à la formation d'un électron germe.

L'élévation de température des gaz est provoquée par les chocs créés dans le canal conducteur. Une fois l'arc formé, le souffle induit l'étirement du canal et a fortiori, l'augmentation de l'énergie fournie au mélange. L'étincelle s'éteint dès que toute l'énergie emmagasinée par la bobine d'allumage est épuisée.

## I.10.Exigences électriques

- Transmission fiable de la haute tension également pour des tensions d'allumage atteignant 40 000 volts
- Grande capacité d'isolation également pour des températures de 1 000 °C, évitant les décharges disruptives et les claquages

## I.11.Exigences mécaniques

- Fermeture étanche à la pression et aux gaz de la chambre de combustion, résistance aux pressions oscillantes jusqu'à env. 100 bars
- Résistance mécanique élevée pour un montage sûr

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## I.12. Exigences thermiques

- Résistance aux chocs thermiques (gaz d'échappement chauds – mélange aspiré froid)
- Bonne conductivité thermique du pied de l'isolateur et des électrodes

## I.13. Exigences électrochimiques

- Résistance à électroérosion, aux gaz de combustion et aux résidus de combustion
- Eviter la formation de dépôts sur l'isolateur Les bougies d'allumage développées par les usines et fabriquées à partir de matériaux de haute qualité résistant durablement à ces contraintes extrêmes. Déjà lors du développement du moteur, les ingénieurs collaborent étroitement avec l'industrie automobile afin que les bougies d'allumage soient adaptées de manière optimale aux conditions respectives rencontrées dans la chambre de combustion.

## I.14. Teste d'une bobine d'allumage :

Le fonctionnement des bougies d'allumage nécessite une courante haute tension fournit par les bobines d'allumage. Leur fonctionnement étant assez complexe, les tester avant de les changer reste la meilleure solution afin de déterminer le problème. Les bougies d'allumage doivent généralement être remplacées tous les 30 000 à 60 000 kilomètres (préconisations des constructeurs). Il est nécessaire de remplacer l'ensemble de ces dernières même si une seule d'entre elles est défectueuse afin d'éviter un déséquilibre au niveau de l'allumage.

A noter que selon les modèles de véhicules, il peut y avoir 2 bougies par cylindre, il faut alors remplacer la paire.

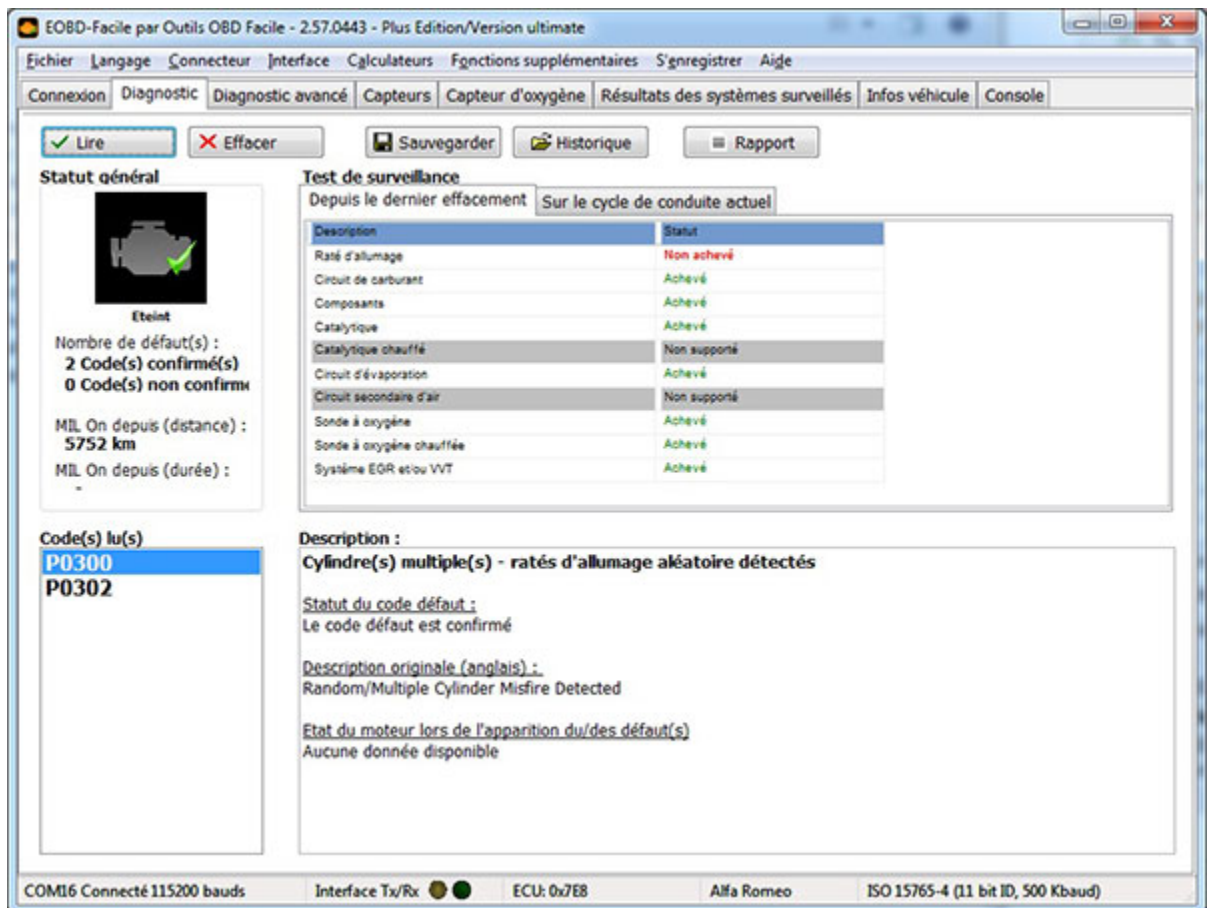
Comme expliqué plus haut, un mauvais état des bougies d'allumage peut amener à polluer plus (moteur qui manque de puissance, surconsommation de carburant)...

Si vous ne respectez pas les normes européennes environnementales, vous pourrez vous voir octroyer [une contre visite au contrôle technique](#)

Premièrement le voyant moteur peut s'allumer.

Cependant, ce voyant peut s'allumer pour tout un tas de raisons, ([débitmètre](#), [boîtier papillon](#)...), difficile alors de pouvoir définir précisément d'où vient le problème.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.



**Figure N°I.4.** Information de l'état du véhicule par un programme de diagnostic :

## I.15. Nécessité de changer les bougies ou les bobines d'allumage :

Comme pour toutes les pièces mécaniques d'un véhicule, les bobines et les bougies d'allumage doivent être changées au bout d'un certain temps.

Les bobines d'allumage peuvent aussi avoir besoin d'être changées. Si elles sont défectueuses, cela se ressentira au niveau la puissance et de la souplesse du véhicule (fonctionnement sur une seule partie des cylindres).

A noter que cela peut même empêcher le véhicule de démarrer si toutes les bobines sont défaillantes (plus aucune étincelle pour enflammer le carburant).

Si on ressent un de ces symptômes sur le véhicule, alors c'est peut-être qu'il y a un problème au niveau d'une bobine, ou qu'une de vos bougies est défaillante.

Retenez cependant aussi que d'autres éléments comme [le capteur PMH](#) et [le capteur d'arbre à cames](#) peuvent empêcher le démarrage de votre voiture s'ils sont défectueux :

## I.16. Description du phénomène d'inflammation:

Pour s'enflammer, le mélange gazeux carburant-air admis dans la chambre de combustion doit subir une élévation de température permettant de porter une partie de sa masse au-dessus de son point d'inflammation. Dans la majeure partie des applications, le carburant est pulvérisé puis vaporisé par un système préalable (injecteur(s) ou carburateur(s)). Le mélange admis dans les cylindres a alors une température d'inflammation d'environ 400 °C.[17]

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Sur les premiers moteurs, on utilisait une lame de platine chauffée "à rouge" par un brûleur. Sur les moteurs modernes, on utilise un éclateur électrique, appelé bougie d'allumage, qui amorce par une étincelle électrique l'inflammation de la masse gazeuse introduite dans la chambre de combustion<sup>2</sup>. L'énergie calorifique dissipée par l'étincelle élève suffisamment la température de la masse gazeuse à son alentour immédiat pour en provoquer l'inflammation, qui propage de manière déflagrante son front de flamme au reste de la masse gazeuse. La chaleur occasionnée par la combustion provoque la dilatation (rapide) de la masse gazeuse, qui repousse le(s) piston(s) la seule paroi mobile dans la chambre de combustion fournissant le moment de couple moteur. Ce moment de couple, multiplié par la fréquence de rotation du moteur produit la puissance mécanique de ce dernier ( $P_{\text{méca}} = C \cdot \omega$ )

## I.17. Point d'allumage

La pression maximale interne à la chambre de combustion se produit à la fin de la combustion du mélange carburé. Pour en tirer le meilleur parti, la combustion doit démarrer peu de temps après le point mort haut (PMH), lorsque le piston débute sa redescende. La combustion n'étant pas instantanée, elle doit commencer un peu avant le Point Mort Haut (PMH). Ce réglage de l'avance à l'allumage est défini par l'angle de rotation de l'arbre moteur (vilebrequin), par rapport au point où jaillit l'étincelle de celui du PMH<sup>2</sup>. On parle en nombre de degrés angulaires d'avance à l'allumage par rapport au PMH ("° avant PMH").

- Un excès d'avance à l'allumage engendre des pressions et des températures excessives dans le(s) cylindre(s). Dans certains cas de fonctionnement, ("point chaud", excès d'avance à l'allumage, ou compression(s) trop élevée(s) par exemple) la combustion peut se produire de manière anormale : le mélange air/carburant s'enflamme spontanément mais de manière sporadique dans le(s) cylindre(s) avant l'étincelle de la bougie, ou en aval du front de flamme après un allumage et un début de combustion normal. C'est le phénomène de « cliquetis ».
- Les conditions de fonctionnement moteur variant, il est nécessaire d'adapter en permanence l'avance à l'allumage en fonction des paramètres fonctionnels moteur (régime moteur, remplissage des cylindres, température moteur et échappement, température de l'air admis dans le(s) cylindre(s), présence ou non de cliquetis, altitude, etc.)
- Calcul de l'avance à l'allumage :
  - **Angle =  $n \times 360/60 \times 1000$**
- avec :
- •  $n$  = Nombre de tours par minute
- Cette formule mathématique est une base théorique qui nécessite de nombreuses heures d'essais des moteurs sur bancs afin d'affiner ces valeurs permettant des valeurs de couples, puissances, et rendement moteur optimales, et surtout d'adapter les moteurs à leur destination finale (compétition, tourisme, plaisance).

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

- Longtemps l'avance à l'allumage fut réglée de manière mécanique plus ou moins fine à l'aide des automatismes situés sur l'allumeur : avance à dépression (par un tuyau relié à la pipe d'admission juste après le volet du (des) carburateur(s)) et avance centrifuge ('masselottes' animées par la force centrifuge à l'intérieur même de l'allumeur).
- Aujourd'hui, les calculs exécutés par un ordinateur sont plus précis.
- Cela permet une plus grande fiabilité à long terme par la disparition d'éléments mécaniques soumis à l'usure, ainsi qu'une précision accrue du déclenchement et de la durée de l'étincelle pour des performances optimales, une moindre consommation spécifique de carburant et une réduction des émissions de gaz polluants dans tous les états de fonctionnement du moteur.
- Particularités de certains systèmes d'allumage
- Les constructeurs utilisent un seul système d'allumage, même s'il y a plusieurs cylindres. Dans ce cas, sont réparties les étincelles grâce à un distributeur d'allumage (appelé parfois "Delco" en référence au premier constructeur de ce type de dispositif AC Delco).
- Il existe également des systèmes d'allumage qui suppriment complètement tout dispositif mécanique: allumage indépendant cylindre par cylindre ou par groupe de cylindres. Par exemple, un moteur à trois cylindres peut avoir trois bobines d'allumage (une par cylindre) chacune fixée sur une bougie, supprimant ainsi les fils haute tension. Cela permet de se passer de distributeur, mais oblige à utiliser plusieurs bobines d'allumage.
- Les motocyclettes utilisent souvent des bobines à deux sorties, permettant d'utiliser une seule bobine pour deux cylindres sans nécessiter de distributeur/répartiteur : il se fait une étincelle dans deux cylindres simultanément, l'une des deux se faisant au temps d'échappement, donc sans aucun effet. On parle d'"étincelle perdue". C'est aussi la solution qui a été retenue pour le moteur de la Citroën 2CV et de tous les moteurs bi-cylindres à plat Citroën.

### 1.18.L'Allumage dit "classique"

- Pour les allumages dits "classiques" qui équipaient les automobiles anciennes jusqu'en 1990 pour la France, il s'agit très généralement d'un circuit électrique alimenté sous une tension de 6V ou 12V et qui intègre:
  - -Une batterie d'accumulateur d'une tension de 6V ou 12V.
  - -Un contacteur à clé, appelé "Neiman" (la société "Neiman" fabriquait des contacteurs à clé pour automobile par le passé). Ce contacteur met sous ou hors tension le circuit d'allumage.
  - -Un interrupteur composé de deux parties fixe et mobile ("rupteurs" anciennement appelés "vis platinées"): l'élément mobile s'ouvre et se ferme alternativement, commandé par un ou plusieurs cames et en fonction de la position angulaire du moteur. Le rupteur mobile intègre un contact électrique à

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

son extrémité et un toucheau de commande en contact avec les cames de l'allumeur.

- -Un condensateur monté en dérivation aux bornes du rupteur.
- -Un système de correction de l'avance à l'allumage: très généralement ce système intègre des masselottes de correction centrifuge et une capsule pneumatique de correction de l'avance à l'allumage en fonction de la charge moteur.
- -Une bobine d'allumage composée de 2 enroulements inductifs: un circuit primaire et un circuit secondaire qui génère la tension électrique nécessaire à l'éclatement de(s) étincelles aux électrodes de(s) bougie(s).
- -Un distributeur haute tension qui est chargé de distribuer l'énergie de la bobine d'allumage en fonction de l'ordre d'allumage du moteur (dans le cas de moteur poly cylindres ou ses particularités).
- -Bougie(s) d'allumage: éclateur(s) chargé de transformer à leur(s) électrodes l'énergie issue du système d'allumage, en énergie calorifique générant l'allumage commandé du mélange air/carburant.

-Faisceaux haute tension: fils isolés et tressés chargés d'acheminer l'énergie du circuit secondaire aux bougie(s) du moteur.

Valeurs physiques usuelles pour ce type d'allumage:

Résistance du circuit primaire: 3-4 $\Omega$ , résistance du circuit secondaire: 8k $\Omega$ ,

Tension au circuit secondaire: 15kV.

Capacité du condensateur: 0,20  $\mu$ F

Intensité du courant primaire: 3-4A,

Bobine d'allumage: primaire 300-500 spires, secondaire 18000-25000 spires.

## **I.19.Conclusion :**

Aujourd'hui sur le marché, les véhicules sont équipés en 1ère monte soit de bougies «*nickel*» soit de bougies dites «*métaux précieux*» (iridium ou platine). Mais à cause de la difficulté de leur technologie, on doit toujours suivre les conseils suivants :

1. Une optimisation du fonctionnement moteur (combustion et réduction de l'encrassement).
2. Une consommation réduite.
3. Une meilleure protection de la sonde lambda et du pot catalytique.
4. Une réduction des émissions polluantes.
4. Une meilleure tenue à l'encrassement.
5. Le changement de couleur est due aux résidus laissés par le carburant lors de la combustion. Les bougies ont certainement atteint leur durée de vie maximale et elles doivent être changées, conformément au carnet d'entretien constructeur.

***Chapitre II:***

***Moteurs à combustion interne***

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## Chapitre II:

### Moteurs à combustion interne

#### II.1. Moteurs à combustion interne

##### II.1.1. Introduction :

Les moteurs à combustion interne ont pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique, ils sont encore appelés les moteurs thermiques et sont généralement distingués en deux types. Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle, le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère), c'est le cas des moteurs à essence et diesel. Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors deux sources de chaleur, par exemple dans cette dernière catégorie on trouve les machines à vapeur, le moteur Stirling

##### II.1.2. Historique :

Le plus ancien moteur est la machine à vapeur : dès le 1er siècle après J.C, Heron d'Alexandrie construit l'éolipyle, une chaudière hermétique remplie en partie d'eau, placée sur le feu. Deux tubes perpendiculaires à l'axe laissent sortir la vapeur de la sphère, ce qui, par propulsion, la fait tourner.

En 1680, le physicien allemand Christian Huygens dessine, mais ne construit pas, ce qui semble être un moteur à combustion interne alimenté par de la poudre à canon. Selon le principe développé par l'allemand Otto Von Guericke, Huygens utilise l'explosion produite par la poudre pour faire le vide partiel dans un cylindre équipé d'un

Piston. La pression atmosphérique engendre le retour du piston dans sa position initiale, générant ainsi une force.

Le Suisse François Isaac de Rivaz, vers 1775, entrevoit le développement de l'automobile. Alors que ses multiples voitures à vapeur n'ont guère de succès du fait de leur manque de souplesse, il s'inspire du fonctionnement du <<pistolet de volta>> pour construire ce qui ressemble à un moteur à explosion dont il obtient le brevet le 30-1-1807. En 1856, les italiens Eugenio Barsanti et Felice Matteucci présentent à Florence leur moteur à explosion. Il est alimenté par un mélange d'air et de gaz.

En 1859, l'ingénieur belge Etienne Lenoir dépose son brevet d'une <<moteur à gaz et à air dilaté>>, un moteur à combustion interne à deux temps et c'est en 1860 qu'il met au point la première ébauche d'un moteur à explosion. Ce moteur inédit est dans un premier temps, alimenté au gaz d'éclairage.

Quelque temps plus tard, Lenoir invente un carburateur permettant de remplacer le gaz par du pétrole.

Malheureusement, faute de moyens matériels et financiers, Lenoir se voit dans l'obligation d'abandonner ses recherches.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Il faut ainsi attendre l'américain George Brayton pour imaginer un carburateur efficace utilisant le pétrole, donnant ainsi naissance à la première machine à combustion interne à huile lourde.

Par la suite, Beau de Rochas améliore l'invention de Lenoir, qui souffre cruellement d'un mauvais rendement en raison de l'absence de compression des gaz. Beau de Rochas résout ce problème thermodynamique à quatre temps (admission – compression – explosion – détente).

Étant davantage théoricien que praticien, Beau de Rochas ne sait pas mettre en applications ses théories. Il dépose le brevet en 1862, mais en raison de difficultés financières, il ne peut s'acquitter des redevances de protections de son invention si bien que c'est uniquement en 1876 que l'on voit apparaître les premiers moteurs quatre temps. L'invention théorique du cycle à quatre temps par Beau de Rochas permet enfin d'exploiter véritablement le moteur à explosion.

Le pyrophore est un prototype de moteur, développée par les frères Niepce en 1807, dont l'amélioration progressive donnera lieu à certains des moteurs à combustion interne dont celui mis au point par Rudolf Diesel, le moteur Diesel. Le pyrophore est un moteur à air dilaté par la chaleur et s'apparente encore aux machines à vapeur. Cependant, celui-ci n'utilise pas uniquement le charbon comme source de chaleur. Dans un premier temps, les frères Niepce optent pour une poudre constituée des spores d'une plante, le lycopode, puis dans un second temps, pour un mélange de charbon et de résine, additionné de pétrole.

En 1880, le français Fernand Forest invente la première magnéto d'allumage basse tension et en 1885, on lui doit le carburateur à flotteur et à niveau constant. C'est sur ce principe que seront fabriqués tous les carburateurs pendant plus de 70 ans. Mais l'empreinte majeure de Forest dans l'histoire de l'automobile demeure ses réalisations sur les moteurs à explosion. On lui doit ainsi l'invention du moteur 6 cylindres en 1888 et en 1891, celle du moteur à 4 cylindres verticaux et à soupapes commandées. Il ne s'agit là que de deux exemples parmi tant d'autres.

En 1876, l'ingénieur allemand Gottlieb Daimler développe pour le compte de la firme Deutz, le premier moteur fixe à gaz fonctionnant sur le principe présent par Beau de Rochas. Les moteurs Daimler ne sont pas encore installés sur des châssis qui en feront des automobiles à part entière. C'est en 1889 que René Panhard et Emile Levassor installent le premier moteur à quatre temps –celui de Daimler –sur une voiture à quatre places.

C'est en 1883 que Edouard Delamare-Deboutteville fait circuler sa voiture dont le moteur est alimenté au gaz, mais la dureté d'alimentation en gaz ayant éclaté au cours de ce premier essai, il remplace le gaz par du carbure de pétrole. Pour utiliser ce produit, il invente un carburateur à mèches. Ce véhicule circule pour la première fois dans les premiers jours de février 1884 sous le numéro 160267. L'antériorité d'Edouard Delamare-Deboutteville sur Karl Benz est donc, semble-t-il, incontestable. Cependant, cette paternité pour l'automobile est très contestée et il semble que les

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

véhicules développés par Delamare-Deboutteville sont loin de fonctionner correctement, explosant même pour certains lors de leur brève utilisation.

En effet, bien qu'il soit difficile de définir la première voiture de l'histoire, il est généralement par Karl Benz, même si le <<british royal automobile club >> et l'automobile club de France s'accordent à dire qu'il s'agit du fardier Levassor font déjà rouler dans les rues de Paris les premiers modèles français équipés du moteur Benz. Ce sont les premiers moteurs à explosion commercialisés. M. Vurpillod devient ainsi la même année, le premier acquéreur d'une automobile Peugeot sous licence Panhard end Levassor, <<sans chevaux>>.

L'histoire semble néanmoins oublier l'inventeur allemand Siegfried Marcus qui dès 1877, met au point une automobile équipée du moteur 4 temps d'une puissance de 1 cheval, dénommée <<machine à carboniser l'air atmosphérique>>.

## II.1.3. Définition :

Un moteur à combustion interne est un moteur dans lequel l'énergie thermique dégagée par la combustion est convertie en énergie mécanique à l'intérieur du moteur.

À l'intérieur des moteurs à combustion interne se détachent deux types de moteurs : le moteur diesel et le moteur à essence.

La différence entre l'un et l'autre différencie notamment par la manière de démarrer l'allumage de la combustion du carburant. De là le cycle entre l'un et l'autre est très similaire.

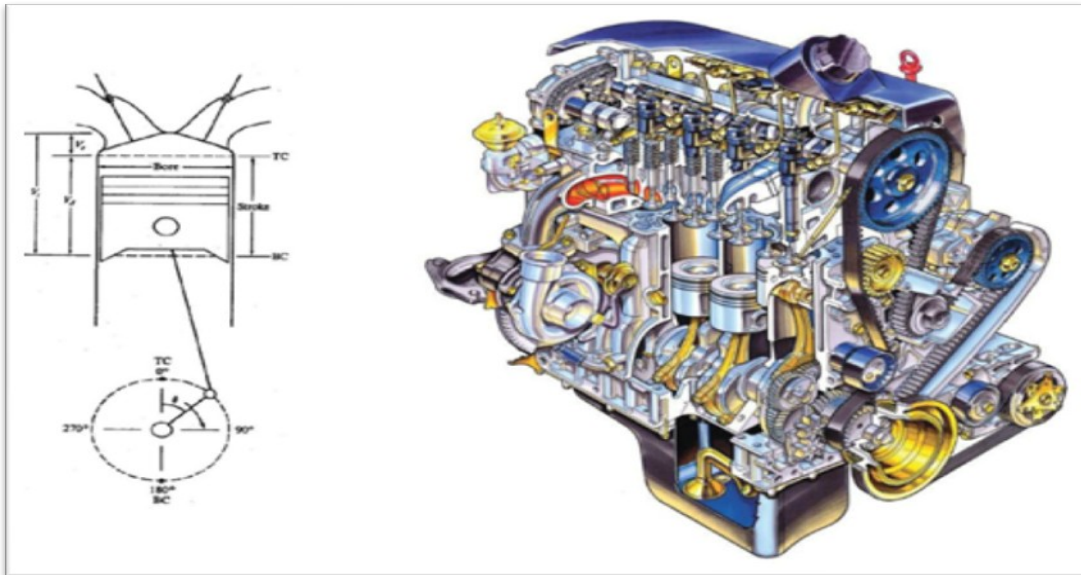
Le piston (muni d'anneaux de compression qui empêchent l'échappement du gaz entre le piston et le cylindre) transmet la poussée dudit gaz généré pendant la combustion, à travers le boulon, à la tige. La poussée de la bielle est transmise à la manivelle du vilebrequin ou de l'arbre de transmission. La bielle et la manivelle transforment le mouvement linéaire alternatif du piston en mouvement rotation du vilebrequin tourne entre les paliers principaux, monté sur la base elle-même.

La soupape d'échappement et le collecteur d'échappement sont les conduits par lesquels les produits de combustion sont évacués vers l'extérieur.

La soupape d'aspiration et la soupape d'échappement sont toutes deux entraînée par des organes de distribution.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

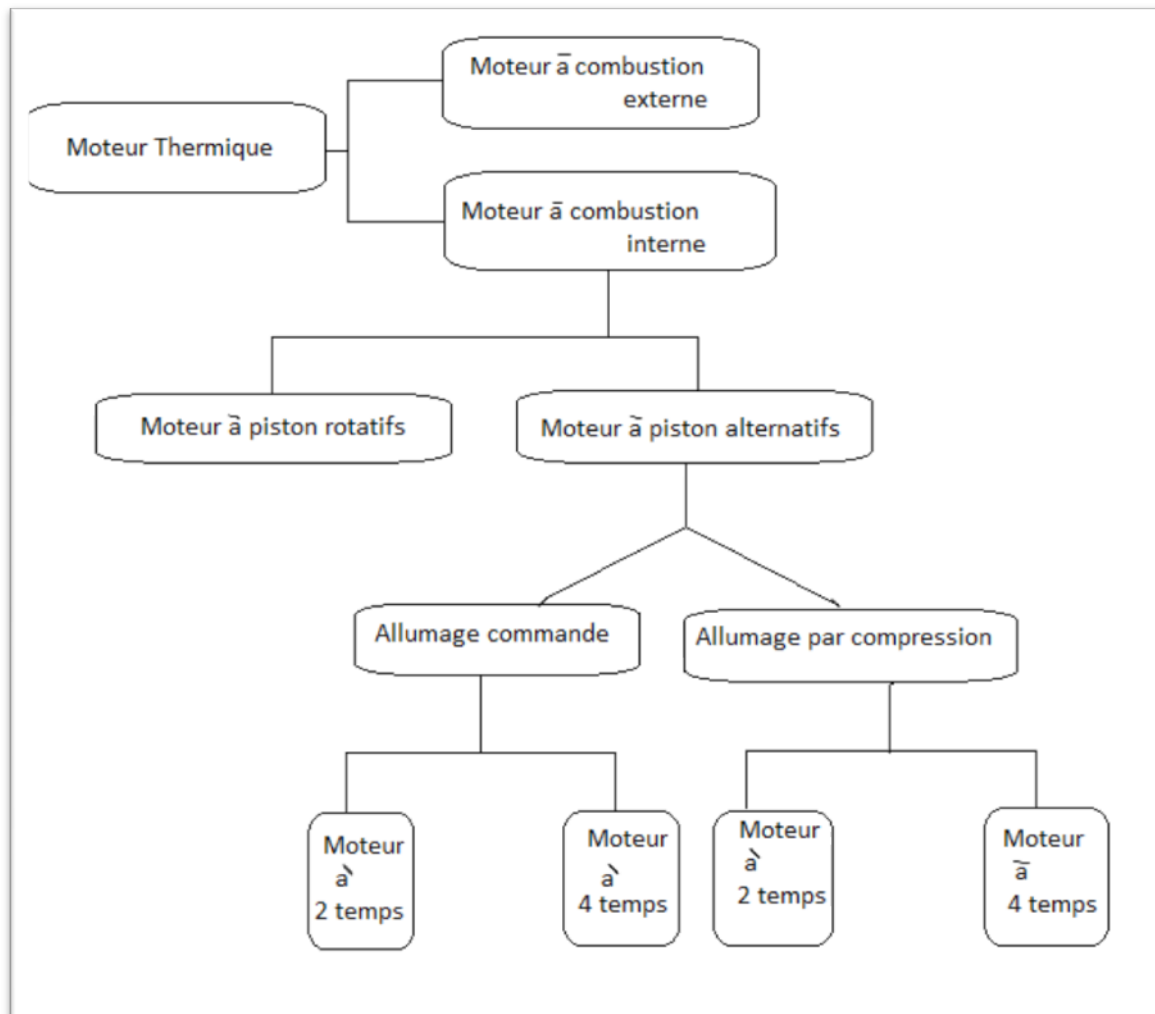
---



**Figure II.1.** Moteur à combustion interne

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

## II.1.4. Classification des moteurs à combustion interne :



**Figure II.2.:** Schéma représentant la classification des moteurs combustion interne.

### II.1.5. Description du moteur à combustion interne:

C'est un moteur dans lequel ce sont les gaz de combustion eux-mêmes qui fournissent la force expansive agissant sur les parties mécaniques (moteur à explosion, moteur diesel).

**II.1.6. Moteur à combustion externe:** moteur dans lequel l'énergie thermique fournie par le combustible n'agit pas directement sur les vapeurs).

**II.1.7. Moteur thermiques à pistons alternatifs:**

**II.1.8. Moteurs à allumage commandé (moteur à essence):**

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

Moteurs thermiques utilisant l'énergie thermique produite par une combustion d'un gaz carbure (carburant - comburant) pour obtenir de l'énergie mécanique par transformation du mouvement de translation du piston en mouvement de rotation d'arbre (vilebrequin).

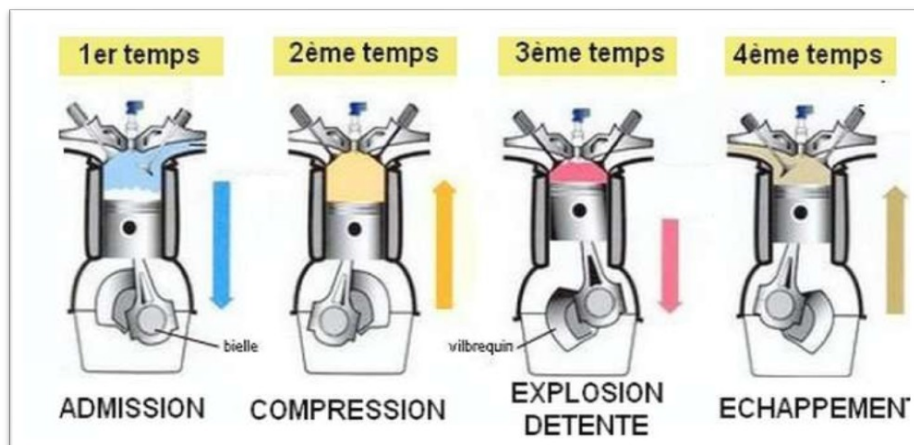
## II.1.8.a. Définition du cycle a 4 temps .[16]:

On appelle cycle l'ensemble des phases qui se succèdent dans le moteur. Dans notre cas, le cycle comprend quatre phases ou temps:

- **Temps d'admission:** aspiration d'air ou de mélange air-essence.
- **Temps de compression:** de l'air ou du mélange.
- **Temps de combustion-détente:** inflammation rapide du mélange provoquant une brusque montée en pression des gaz puis leur détente.
- **Temps d'échappement:** évacuation des gaz brûlés.

### Remarque:

On constate que le troisième temps fournit de l'énergie, c'est le temps moteur, les trois autres temps sont résistants.



**Figure II-3:** les phases d'un moteur a quatre temps.

## II.1.8.b. Définition du cycle a 2 temps:

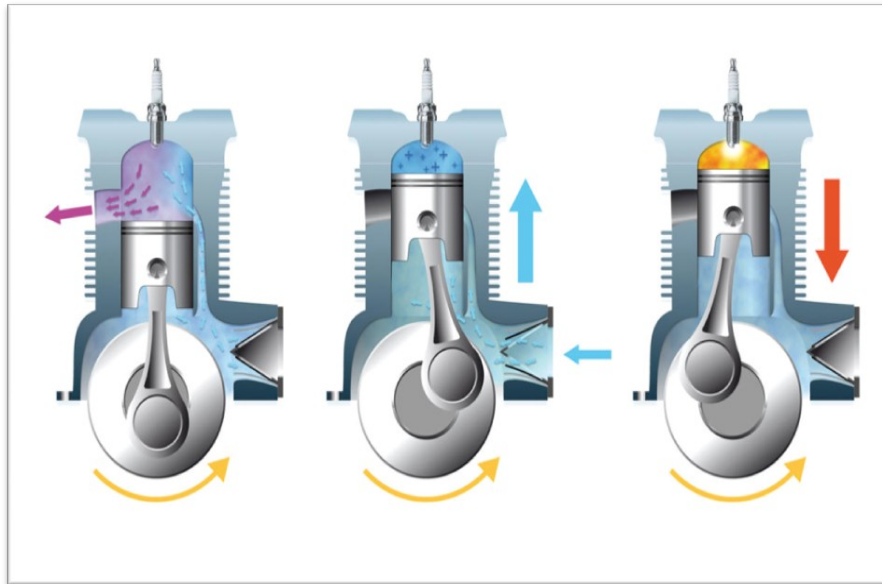
Déroulement du cycle complet sur un tour moteur:

- Phase de compression→ Lors de la remontée du piston.
- Phase de combustion et détente→Lors de descente du piston.

Renouvellement de la charge fraiche possible uniquement vers le PMB.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---



**Figure II -4** les phases d'un moteur à deux temps.

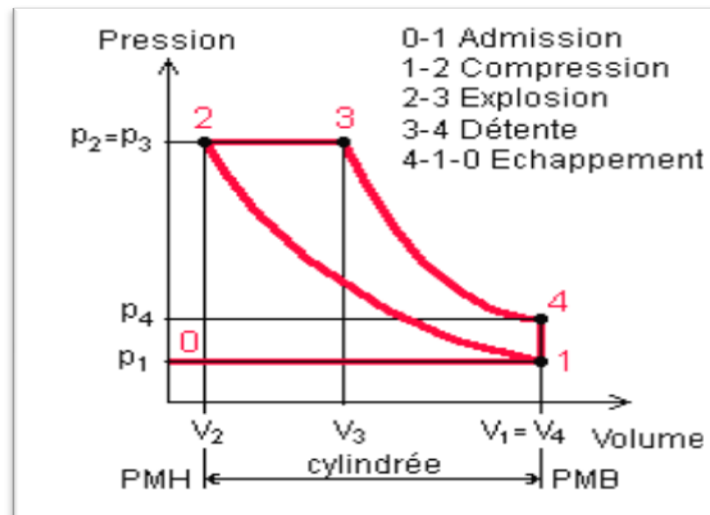
### II.1.9. Moteur à allumage par compression: cycle de Diesel

Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas assuré par une bougie mais par une compression élevée, ce que l'on réalise sans risque d'inflammation en comprimant l'air seul et en injectant le carburant au point 2 du diagramme.

Ce moteur a été mis au point par l'allemand R. Diesel en 1893, fortement motivé par la recherche d'un moteur thermique fonctionnant avec un combustible rudimentaire, moins raffiné que l'essence, par exemple, du charbon pulvérulent. Le cycle ressemble à celui du moteur à explosion, mais la portion isochore 2→3 est remplacée par une isobare car, dans le moteur Diesel, le combustible est injecté sous pression en 2, de façon assez progressive suivant la figure ci-dessous.

Il y a plusieurs facteurs qui peuvent influencer d'une façon ou d'une autre sur la durée de combustion. - Soit en agissant sur sa vitesse de propagation et cela grâce à la nature du combustible, à l'état du mélange, à la qualité de l'étincelle, à la conductivité thermique et enfin à la chaleur spécifique [15]. - Soit en réduisant le trajet à parcourir par la flamme et cela grâce à la forme de la chambre de combustion, au nombre de bougies et à la turbulence.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.



**Figure II-5:** cycle de diesel.

### II.1.10. Auto-inflammation :

La température d'auto-inflammation est bien spécifique pour chaque mélange combustible, elle lui est propre. Si pour une raison ou une autre, le mélange est porté à cette température, il s'enflamme spontanément, c'est-à-dire d'auto-inflammation est la température minimale pour laquelle un mélange combustible, de pression et de composition données, s'enflamme spontanément sans contact avec une flamme. Le délai peut varier de quelques millisecondes à plusieurs minutes (pressions et températures faibles).

La combustion normale du mélange, introduit dans les cylindres, est amorcée par la chaleur d'un train d'étincelles électrique produit par l'appareil d'allumage. Cette chaleur élève la température de la couche de gaz entourant la bougie jusqu'à la rendre supérieure à la température d'auto-inflammation spontanée de ce mélange. La température d'auto-inflammation spontanée d'un mélange carbure détermine est constante .

Dans les moteurs à essence, il faut que l'allumage se fasse de façon contrôlée par les bougies, donc température élevée d'auto-inflammation sinon cognement du moteur [23]

Voici des températures d'auto-inflammation spontanées de certain mélange combustible (Tableau II.1):

**Tableau II.1.** Températures d'auto-inflammation de certain mélange combustible

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

Mélange combustible	Température d'inflammation en °C
Pétrole/air	+350
Essence/air	+380
Benzol/air	+420
Alcool/air	+460

### II.1.11. Propagation de l'inflammation

On peut représenter le processus de la combustion du mélange carbure dans un milieu isentropique et au repos. La tranche des gaz qui se trouve en contact avec les électrodes de la bougie s'enflamme dès que l'étincelle jaillit. En brûlant, la pression des gaz enflammés s'accroît, elle comprime davantage la couche contiguë non encore brûlée, tout en lui transmettant, par conduction, une partie de la chaleur dégagée. Cette couche atteint bien tôt sa température d'inflammation et prend feu à son tour [24].

L'onde d'inflammation gagne ainsi, de proche en proche, les points les plus reculés de la chambre de combustion, suivant une surface qui a grossièrement la forme d'une sphère, forme qui peut être altérée par le voisinage immédiat des parois et différents autres facteurs. Mais ces inflammations successives des différentes couches concentriques compriment et échauffent chaque fois davantage les parties de la charge gazeuse non brûlée, lesquelles prennent ainsi de plus en plus rapidement leur température d'inflammation de sorte que le phénomène de combustion s'accélère au fur et à mesure que le front de flamme (Fig. II.3) s'approche des parties extrêmes qui s'enflamment en dernier lieu [23]. Les trois paramètres principaux de propagation de la flamme sont : - les proportions du mélange : plus on est proche de la stœchiométrie, plus la flamme se propage vite. - la température des gaz frais : plus la température est élevée (proche de la température provoquant l'inflammation spontanée), plus la propagation est élevée.

Chapitre II La combustion interne normale

27 - l'écoulement des gaz : les obstacles et turbulences modifient la progression de la flamme. Le refroidissement du gaz frais permet ainsi de ralentir la progression de la flamme de pré-mélange. [23]

Durant la propagation de la flamme, le piston effectue le mouvement que lui impose le système bielle-manivelle à une vitesse de rotation; le volume où s'effectue la réaction diminue donc jusqu'à ce que le piston atteigne le point mort haut, puis augmente, en fonction du temps, en suivant une loi sensiblement sinusoïdale [25]

### II.1.12. Moteur thermiques à combustion interne à pistons rotatif :

Le moteur rotatif a été inventé par Felix Wankel, ingénieur allemand (1903-1988), en 1924 et fut commercialisé grâce à un accord avec NSU en 1951. Si la paternité appartient à Felix Wankel, il faut tout de même noter que Elijah Galloway en eut l'idée en 1846 et que l'Américain Cooley déposa un brevet d'un moteur rotatif avec les segments logés dans le carter en 1901.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

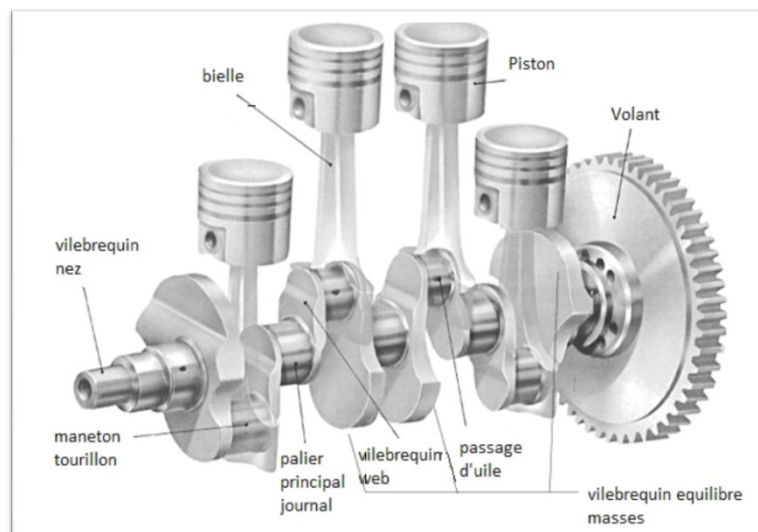
---

Le premier avantage du concept du moteur rotatif est son mouvement de piston circulaire et non alternatif, ce qui lui évite l'utilisation du système bielle/vilebrequin. Par contre, la description du mouvement du piston est particulièrement complexe.

### II.1.13. Le principe du moteur rotatif :

Certainement le plus basique des moteurs thermique; pas de transformation du mouvement alternatif/rotatif et pas de soupapes. Pourtant, les décompositions du cycle 4 temps et du mouvement du rotor ne sont pas aisés à comprendre. Auto-innovations vous détaille son fonctionnement et vous présente les dernières évolutions.

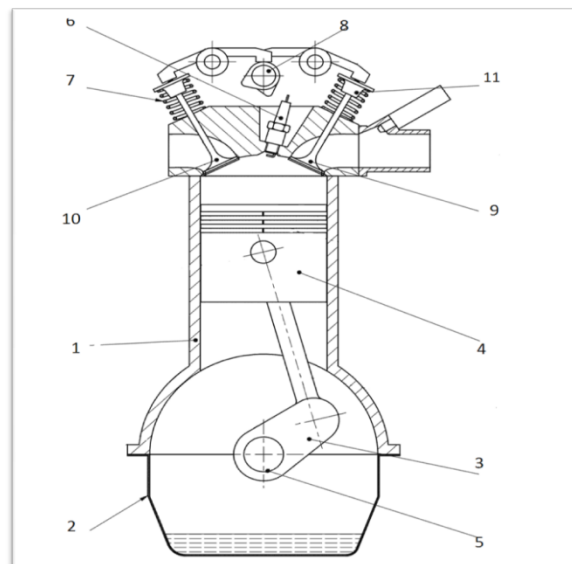
### II.1.14. Constatation du moteur à combustion interne:



**Figure II-6:** Composant du moteur à combustion interne.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---



**Figure II -7** : Pièce et composants d'un piston d'un moteur thermique

1. -Cylindre.
2. -Réservoir d'huile.
3. - Vilebrequin Bielle.
4. - Piston.
5. - Vilebrequin.
6. -Bougie.
7. -Vanne ressort.
8. -Arbre à cames.
9. -Soupape.
10. - Vanne aspiration.
- 11.- Valve Head.

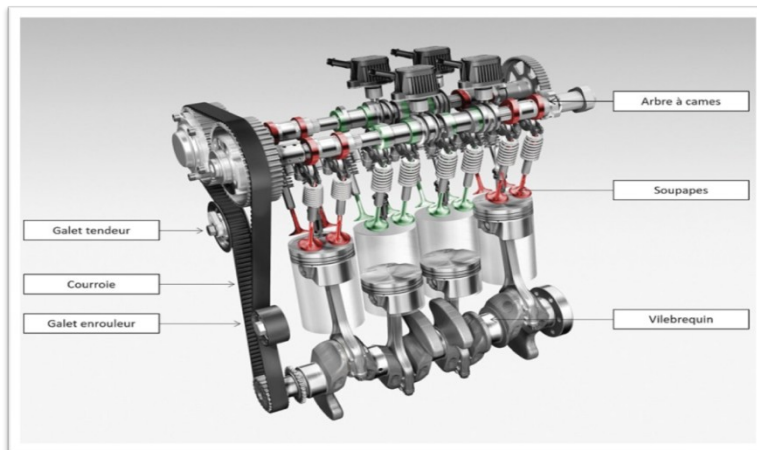
### II.2.Les principaux systèmes du moteur à combustion interne

#### II.2.1.Système de distribution

On appelle "distribution" l'ensemble des organes qui réalisent l'ouverture et la fermeture des conduites d'admission et d'échappement, et les éléments qui effectuent leur commande, son rôle est de commander l'ouverture et la fermeture des soupapes, imposer leur instant de l'ouverture, l'amplitude et la durée du mouvement, parmi ces principes de fonctionnement :

- L'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par les soupapes.
- L'ouverture est possible grâce à des cames, la fermeture est assurée par des ressorts.
- La transmission du mouvement de l'arbre à cames aux soupapes.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

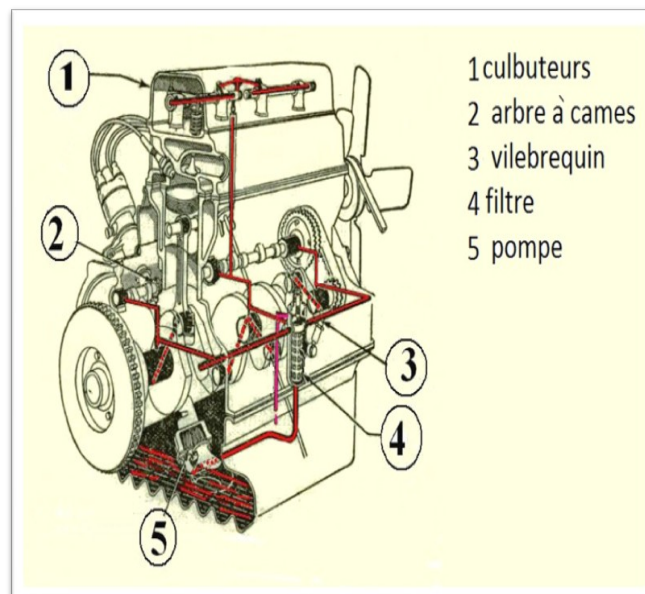


**Figure II -8** Système du distribution

## II.2.2 Système de lubrification

Le Système de lubrification a plusieurs rôles :

- Diminuer les frottements sur les pièces en mouvement.
- Dissiper une partie de la chaleur de combustion.
- Assurer l'étanchéité des cylindres.
- Evacuer, lors des vidanges, les particules dues à l'usure et aux résidus de combustion.



**Figure II -9** Système de lubrification

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

## II.2.3. Système d'alimentation

Dans un moteur à combustion interne, le circuit d'alimentation se divise en deux circuits :

- Circuit basse pression.
- Circuit haute pression.

Le circuit basse pression stocke et filtre efficacement le carburant avant de l'acheminer sous pression à la pompe d'injection, et le circuit haute pression délivre le carburant aux injecteurs.

### II.2.3.a. Alimentation en carburant

Circuit complet

Le circuit complet d'un système d'alimentation en carburant comprend :

- le réservoir : pour contenir un volume d'essence.
- la pompe à essence : aspire l'essence dans le réservoir et remplit la cuve du carburateur.
- le carburateur : réalise le mélange air-essence.
- le filtre à air : assure l'alimentation du carburateur en air propre. [17].

Un comburant est une substance chimique qui a pour propriété de permettre la combustion Chapitre III Thermodynamique et équation de consommation du moteur HCCI Page 26 d'un combustible. Un mélange approprié de comburant et de combustible peut entraîner une combustion, un incendie en présence d'une source d'ignition (étincelle, point chaud, flamme, etc.), le comburant étant l'un des trois éléments du triangle du feu.

L'air est un mélange de gaz : ce n'est pas un corps pur, L'air est composé de 21% de dioxygène, de 78% de di-azote et de 1% d'autres gaz .

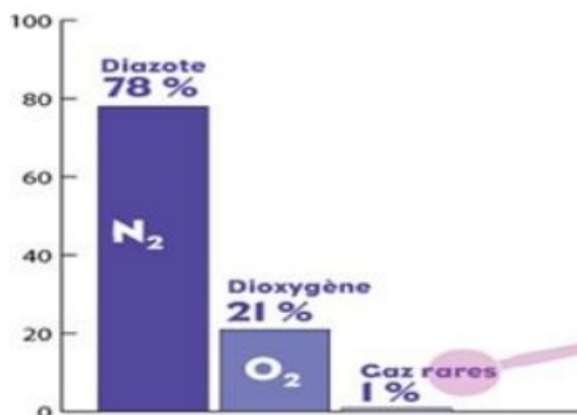


Figure. II.10 : composition détaillée de l'atmosphère [27].

Formule chimique de l'air pur :

Composition massique de l'air : dioxygène (O<sub>2</sub>) 23 % ; di azote (N<sub>2</sub>) 77 %

- masse molaire du dioxygène :  $16 \times 2 = 32$  kg

- masse d'air contenant une kilo mole de dioxygène :  $(32 / 23) \times 100 = 139$  kg

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

- masse de di-azote correspondante :  $139 - 32 = 107$  kg
- masse molaire du di-azote :  $14 \times 2 = 28$  kg
- coefficient du di-azote :  $107 / 28 = 3,8$

### II.2.3.b.Pompe à essence mécanique

Il existe deux types de pompes :

- la pompe à entraînement mécanique : très répandue sur les moteurs à carburateur.
- la pompe électrique : sur les véhicules à injection et haut de gamme.

C'est une pompe aspirante - refoulant très généralement commandée par une came spéciale de l'arbre à cames, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un poussoir.

On a rencontré plusieurs types de pompe à essence électrique : - pompe à membrane : la commande mécanique est remplacée par un système magnétique de bobinage

- Pompe à engrenage entraînée par un moteur électrique à courant de batterie.
- Pompe rotative à galets entraînée également par un moteur électrique à aimants Permanent.

### II.2.4.Carburateur

#### II.2.4.a. Le rôle du carburateur

Le rôle de carburateur est de réaliser le mélange de l'air et de l'essence dans des conditions permettant une carburation correcte à tous les régimes du moteur.

Pour lutter contre la pollution les dispositifs utilisés visent à : - Améliorer la combustion :

- \* en agissant sur la préparation du mélange.
- \* en maintenant une température constante du moteur.
- \* en produisant un allumage à haut pouvoir calorifique déclenché à des moments précis.
- limiter les évaporations diverses par le recyclage des vapeurs d'huile et de carburant.
- Traiter les gaz d'échappement :
  - \* par postcombustion.
  - \* par catalyseur.
- Utiliser des carburants ayant une faible teneur en soufre, plomb et résidus .[18]

#### II.2.4.b. Principe de fonctionnement du carburateur.[26]

Pour réaliser le mélange, l'air circule dans le corps du carburateur de l'amen vers l'val. Le mélange s'effectue dans une zone appelée chambre de carburation (venturi).

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

L'essence giclée est limitée par un gicleur principal. Une réserve appelée cuve à niveau Constant est munie d'un dispositif constitué d'un robinet pointeau actionné par un flotteur.

L'essence est amenée du réservoir par une pompe sous une légère pression. Lorsque L'essence est au niveau désiré dans la cuve, le flotteur en montant et actionne le pointeau Qui obture l'arrivée.

Dès qu'il y a consommation de carburant, le pointeau s'ouvre jusqu'à obtention du niveau requis. Un trou de mise à l'air libre de la cuve permet à l'essence de s'écouler grâce à l'action de la pression atmosphérique. [17]

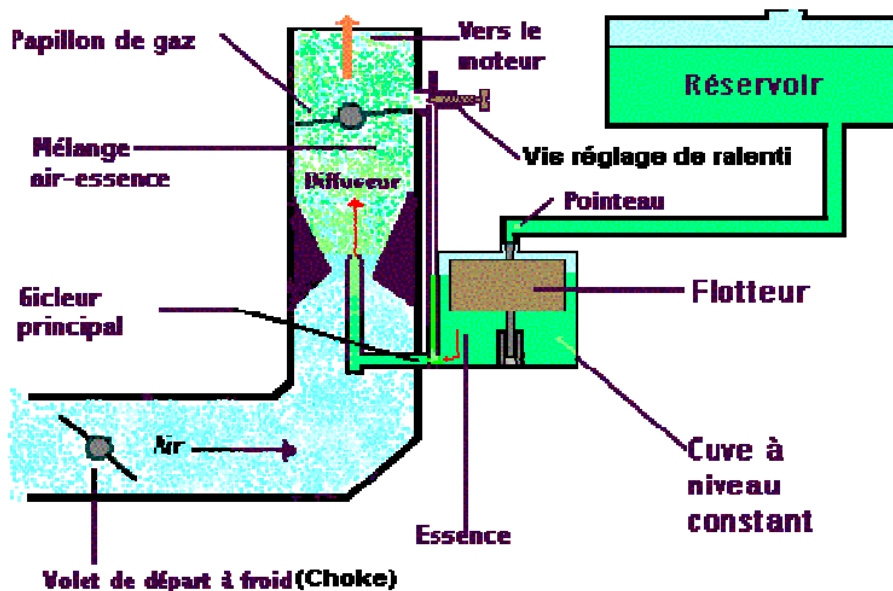


Figure. II.11. Circuits internes du carburateur

### II.2.5. Système de refroidissement des moteurs à combustion interne:

En raison de la chaleur dégagée par la combustion, tous les moteurs sont équipés d'un système de refroidissement, et pour raison :

- Maintien de la température des éléments de la chambre de combustion en dessous de certaines limites pour assurer les résistances mécaniques.
- Diminution de la température de l'huile afin d'assurer une bonne lubrification du contact segment/cylindre et aussi de diminuer les risques de grippage des pistons de gommage des segments.
- Maintien d'un taux de remplissage correct (échauffement des gaz frais plus réduit).

#### II.2.5.a. Introduction

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Environ 50 % des incidents moteur peuvent être attribués à un niveau du circuit de refroidissement. Soit directement, soit par voie de conséquence. Par exemple, un incident au niveau du circuit de lubrification, peut avoir pour origine une défaillance du circuit de refroidissement ayant entraîné une surchauffe de l'huile moteur.

En cas de mauvais entretien du circuit de refroidissement ou si la machine est incorrectement utilisée, ceci peut entraîner une surchauffe, un sur-refroidissement ou des fuites. Ceci pourra être la cause de pertes des performances de la machine voire même d'une défaillance du moteur.

## II.2.5.b. Origine de la chaleur dans le moteur

La réaction du mélange carburé d'air et de combustible, se produisant à l'intérieur du cylindre, est la principale source de l'énergie calorifique dégagée au sein des structures du moteur. Cette chaleur, de quantité importante, provoque l'accroissement brusque des températures des gaz qui peuvent atteindre plus de 2000 °C qui est généralement le cas dans les moteurs Diesel à forte puissance

En contact avec ces gaz, les parois internes du moteur, celles de la culasse et du haut des chemises notamment, s'échauffent et prennent des températures pouvant dépasser 200°C.

Au fur et à mesure que les gaz frais sont transformés en produits de combustion une quantité de chaleur équivalente à la masse de carburant transformée est libérée, ce qui accroît la température des gaz en arrière du front de flamme. A un instant déterminé de la combustion, l'espace totale offert au gaz est donc divisé en deux parties séparées par le front de flamme et contenant respectivement les gaz brûlés et les gaz frais. [19]

## II.2.5.c. Nécessité du refroidissement

Les conditions de fonctionnement citées auparavant engendrent des phénomènes qui sont à l'origine de la détérioration du moteur, parmi ces phénomènes on citera :

- Des dilatations exagérées qui rendraient son fonctionnement impossible.
- Des contraintes d'origine thermique qui provoqueraient des fissures destructrices des organes du moteur.
- Carbonisation et destruction des propriétés lubrifiantes des huiles de graissage qui entraînerait le grippage du piston et du cylindre.

## II.2.5.d. Le filtre à air

Un filtre à air encrassé freine l'entrée d'air et gêne le remplissage du moteur. Il s'ensuit une augmentation de la consommation d'essence et des imbrulés. Est donc indispensable de le nettoyer ou de le changer périodiquement [22].

## II.3. Conclusion :

De nos jours, la fabrication des moteurs à combustion interne doit satisfaire à plusieurs exigences techniques, principalement, le bon rendement et l'écologie. L'utilisation de bonne qualité des bougies présente de nos jours la variante la plus écologique devant l'essence, La combustion dans les moteurs est fortement contrôlée par des conditions initiales électriques, de pression et de température ainsi que de la cinétique chimique d'oxydation du carburant.

***Chapitre III:***

**Allumage des moteurs a C.I.**

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## Chapitre III

### Allumage des moteurs à C.I

#### III.1.Introduction :

Le principe d'allumage par une bougie étant fixé, deux aspects concentreront des évolutions spécifiques aux moteurs à allumage commandé : l'allumage, et la façon d'amener le carburant et le comburant (oxygène) jusqu'à la chambre.

L'évolution de l'allumage est liée à celle de l'électricité et de l'électronique. Après l'invention du Delco, industrialisée en 1908, les seules évolutions notables sont le remplacement du rupteur par un transistor vers 1970 [28], et le passage à l'allumage électronique, vers 1980[29]

Du côté de l'alimentation en carburant, le système qui fut majoritaire pendant plus d'un siècle est le carburateur. Inventé vers 1885, mais à la paternité peu claire, il fut en situation de quasi-monopole jusque vers 1990.

Il est désormais supplanté par l'injection indirecte, qui se répand à partir de 1960, car c'est une des rares techniques permettant de respecter les normes d'émissions polluantes de plus en plus strictes. Ces deux techniques préparent le mélange comburant-carburant en amont de la chambre avant son admission.

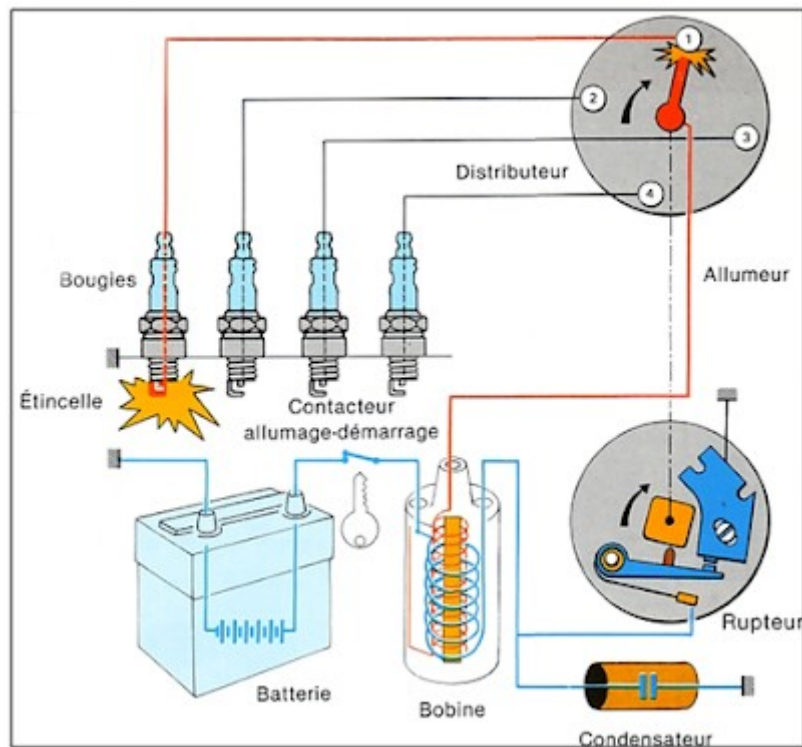
#### III.1.1.Généralité sur l'allumage

La production de l'énergie thermique commence par l'injection du carburant pulvérisé très finement qui sera mélangé à l'air pour composer le mélange combustible dans le cylindre. Cette phase constitue l'opération d'admission. A ce stade de l'introduction dans le cylindre, le mélange gazeux est à faible pression. Si on l'enflammait à ce moment, il ne pourrait fournir la pression nécessaire à produire un travail suffisant, pour cela, il faut au préalable le comprimer : c'est la phase de compression. Puis, le mélange combustible comprimé est enflammé, ce qui en résulte une pression supplémentaire pouvant pousser le piston qui à son tour fournit transmet la pression en un effort moteur provoquant le mouvement de rotation de l'arbre moteur grâce au mécanisme bielle manivelle.

#### III.1.2.Nécessité de l'allumage

Il existe deux types de moteurs :

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.



**Figure N°III.1.** Schéma du circuit électrique d'allumage

Les moteurs à allumage par compression (moteur diesel).

Les moteurs à allumage commandé (moteur essence, GPL...).

Allumage par compression : La température générée par la compression est suffisante pour déclencher l'inflammation du mélange.

Moteur à allumage commandé : un système auxiliaire est nécessaire pour amener le mélange gazeux à l'inflammation.

### III.1.3. Fonction du système d'allumage

L'allumage a pour but d'amorcer la combustion en apportant la chaleur nécessaire à l'augmentation de température, afin d'atteindre celle d'inflammation du mélange.

Pur ceci, un arc électrique de courte durée, jaillissant entre les électrodes d'une bougie, enflamme la partie de mélange en contact avec ces électrodes ; cet amorçage de la combustion est provoqué en un instant précis du cycle. La combustion se poursuit par auto inflammation dans toute la masse gazeuse.

### III.1.4. Création de l'arc électrique

A l'air libre, la création d'un arc électrique entre les électrodes de la bougie nécessite une tension de 2000volts.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Dans le moteur, la tension doit être d'un minimum de 4000volts jusqu'à 10000volts. La tension dépend de :

De la pression dans la chambre de combustion.

De la richesse du mélange air essence.

Des électrodes de la bougie.

Des températures de la chambre de combustion et du mélange.

Tous ces facteurs varient au cours du fonctionnement du moteur. De plus, le circuit comporte des ruptures et des défauts pouvant apparaître au cours du fonctionnement ; le système doit donc fournir une tension comprise entre 12 000 volts et 20 000 volts afin de disposer de réserve.

## III.2. Les organes du circuit d'allumage

### III.2.1. La bougie

Lorsque le moteur tourne à 6000 tours minute, il faut 50 étincelles par seconde et par cylindre. Le choix du type d'éclateur (bougie) est donc très important voici quelques caractéristiques principales des bougies :

L'indice thermique. (En fonction du type de moteur)

Le type de culot. (Siège plat ou conique)

Le nombre d'électrode.

Les dimensions. (Diamètre et longueur du culot)

### III.2.2. Bobine d'allumage

La bobine d'allumage est un dispositif électrique présent dans les moteurs Essence ayant pour objectif d'enflammer le carburant dans les cylindres afin que le véhicule puisse démarrer.

Sa structure particulièrement complexe lui permet de générer une étincelle assez puissante afin de déclencher la combustion du mélange air – carburant.

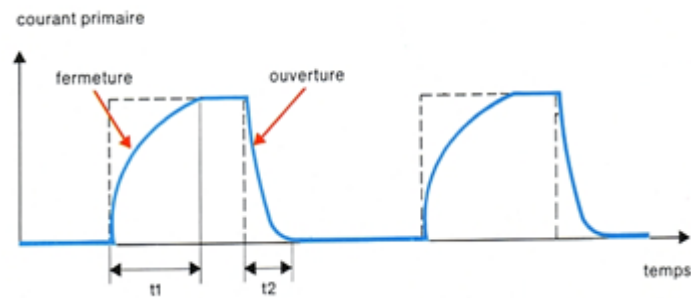
Ainsi, il y a autant de bougies que de cylindres, on compte généralement 4 cylindres pour les voitures françaises, et donc 4 bougies d'allumage.

Il est important de préciser que si le mélange air-carburant n'est pas optimal, le véhicule polluera plus, ce qui risque [d'endommager le catalyseur](#), et [par conséquent la sonde lambda](#). A noter que sans la bobine d'allumage, les bougies ne peuvent pas fonctionner car elles ne seront pas alimentées en électricité.

#### III.2.2.a. Principe physique

Le courant de la haute tension est obtenu grâce à la création d'un courant induit dans un bobinage par variation de flux magnétique.

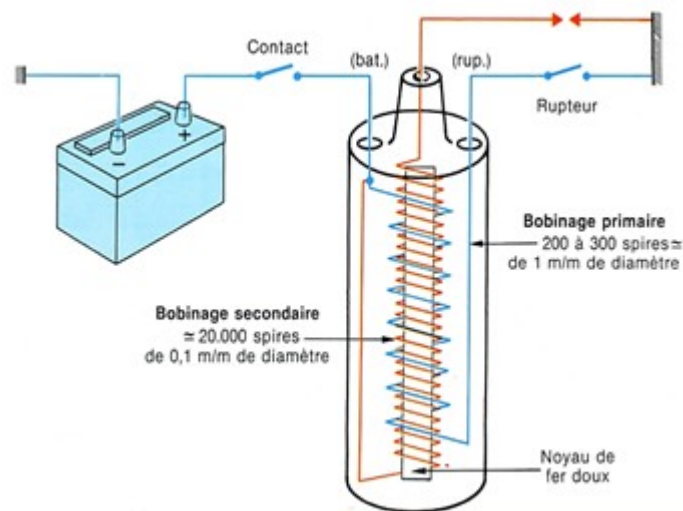
# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.



**Figure N°III.2 : Principe physique de création de la haute tension (loi de Lenz)**

Description de la bobine d'allumage  
Chaque bobine est composée de :

### III.2.2.b. Bobinage primaire



**Figure N°III.3 Bobinage primaire et secondaire de la bobine**

### Principe de fonctionnement d'une bobine d'allumage

#### III.2.2.c. Comportement du circuit primaire

Si l'on fait passer un courant électrique dans le bobinage primaire, nous constatons l'apparition d'un champ magnétique autour du noyau de fer doux. ; Lorsque l'on coupe le circuit primaire, le champ magnétique disparaît. Si l'on fait varier l'intensité dans le bobinage primaire (ouverture et fermeture du contact), on va faire varier le flux magnétique dans le circuit primaire et donc créer un courant induit dans le circuit secondaire

#### III.2.2.d. Comportement du circuit secondaire

La tension secondaire est d'autant plus grande que : La variation de flux dans le noyau est rapide et importante. Le rapport entre le nombre de spires des bobinages est important.  
En théorie :

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

A la fermeture et à l'ouverture la variation devrait être instantanée. Les variations de flux devraient être identiques. Une étincelle devrait être produite à l'ouverture et à la fermeture du rupteur.

En pratique :

La variation n'est pas instantanée à cause du phénomène d'auto induction. A la fermeture du rupteur la variation n'est pas instantanée à cause du phénomène d'auto induction. A la fermeture du rupteur la variation est longue ( $t_1$ ), il n'y a pas d'étincelle. A l'ouverture, la variation est rapide

( $t_2$ ), une étincelle est produite. Les effets néfastes de l'auto induction ou de self induction. Lors de l'ouverture du rupteur, le courant de self induction s'oppose à l'ouverture du circuit et va créer une étincelle aux contacts du rupteur. Cette étincelle au rupteur présente deux inconvénients : Une détérioration rapide des contacts du rupteur. La rupture du circuit est lente la tension secondaire est donc faible, l'étincelle aussi. Pour éviter ces inconvénients, on utilise un condensateur

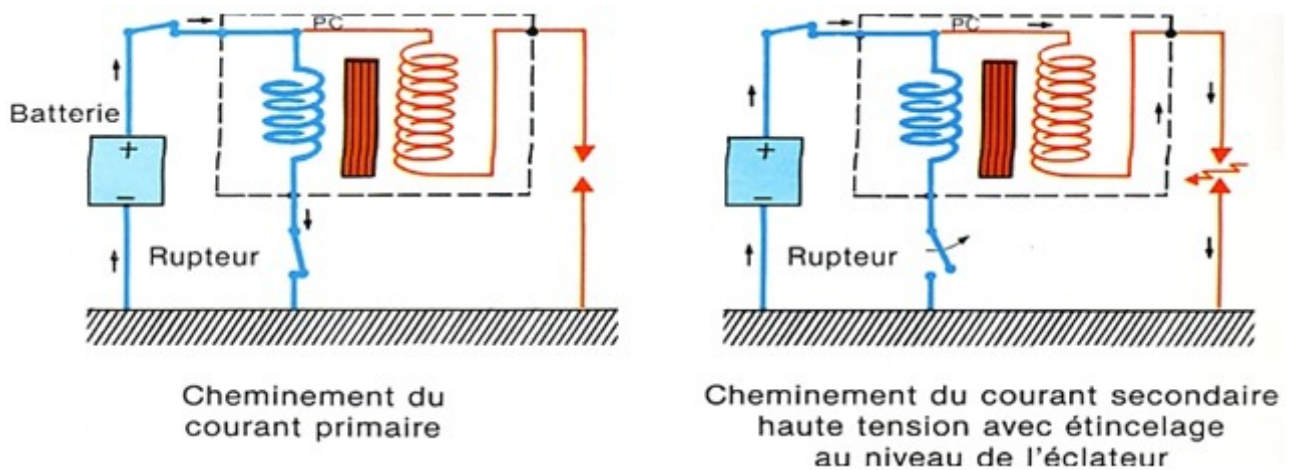


Figure N°III.4 Chemin de circulation du courant électrique.

III.2.2.e. La bobine de type « rampe à distributeur » :

Comme son nom l'indique elle est en forme de rampe et est composée de 2 bobines capables d'alimenter chacune 2 bougies. Elle se change en un seul bloc et est directement posée sur celles-ci.

III.2.2.f. La bobine de type « crayon » :

Ce sont les plus répandues, elles sont en forme de crayon afin d'épouser parfaitement la forme des bougies d'allumage puisqu'elles se posent directement dessus. Il y en a donc autant qu'il y a de bougies.

III.3. Accessoires d'allumage :

III.3.1. Le condensateur



Figure N°III.6 Le condensateur à deux rôles :

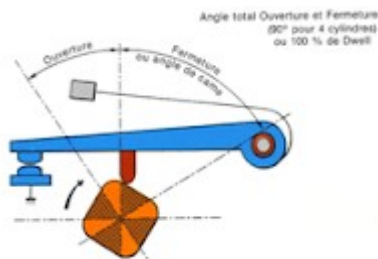
# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

Protéger les contacts du rupteur à leur ouverture en absorbant le courant de self induction. Accélérer la variation et donc de réduire le temps  $t_2$  ce qui renforce la haute tension et donc l'étincelle.

## III.3.2. Le rupteur

L'arbre du rupteur comporte autant de came que de cylindre. Ici c'est un moteur à quatre cylindres. L'arbre du rupteur est généralement entraîné par l'arbre à cames.

Angle de came

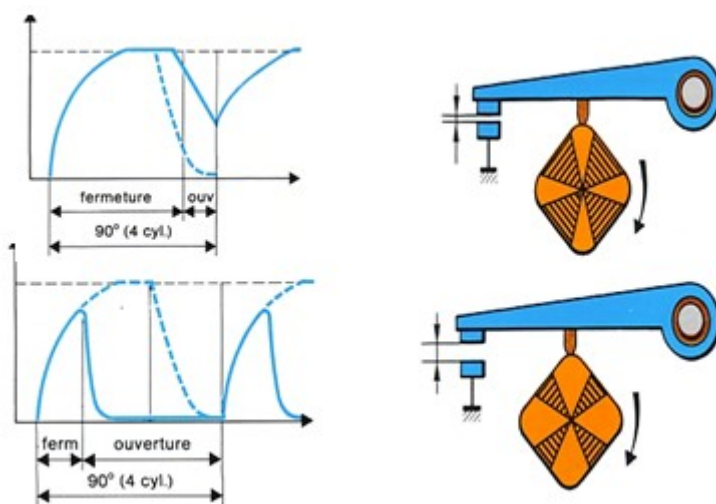


**Figure N°III.7 L'angle de came**

C'est l'angle durant lequel les contacts du rupteur sont fermés Il est exprimé en degrés ou en % de l'Influence de l'angle de came.

Pour obtenir un remplissage correct de la bobine, il faut un certain rapport entre l'angle de fermeture et l'angle d'ouverture : Angle de came ou de fermeture : 63% de Dwell Ouverture : 37% de Dwell Soit pour un moteur 4 cylindres : Angle de came ou de fermeture :  $57^\circ$

## III.3.3. Angle de came trop petit



**Figure N°III.8 Angle de came trop petit**

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

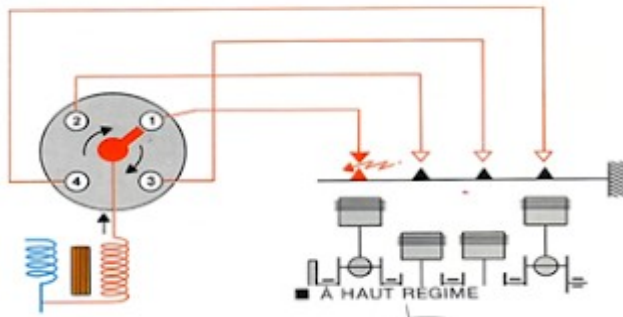
---

Écartement des contacts insuffisant  
Point d'allumage retardé  
Rupture pas assez franche  
Variation de flux pas assez rapide  
Étincelle faible  
Risque d'échauffement de la bobine

## III.3.4. Angle de came trop grand

Écartement des contacts trop grands  
Point d'allumage avancé  
Remplissage primaire insuffisant  
Flux magnétique réduit  
Ratés d'allumage à haut régime

## III.3.5. Distribution de la haute tension



**Figure N°III.9 Distribution de la haute tension**

Il faut maintenant répartir les étincelles vers les cylindres en tenant compte :  
De la position du vilebrequin.  
De l'ouverture du rupteur.  
De l'ordre d'allumage.  
C'est le rôle du distributeur

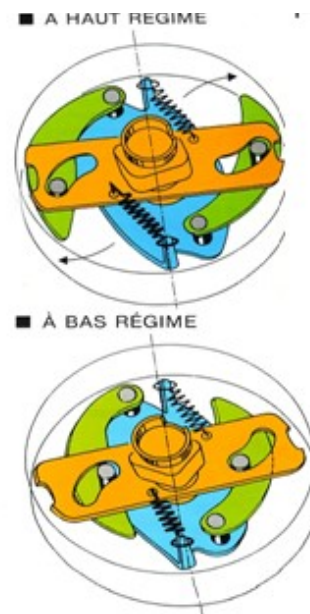
## III.3.6. L'allumeur ;

Cet élément est un ensemble constitué :

Du distributeur ; Du condensateur ; Du rupteur.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---



**Figure N°III.10 L'allumeur**

De l'ensemble de variation automatique de l'avance allumage

### III.3.7.Le correcteur centrifuge

La modification de l'avance en fonction de la vitesse de rotation du moteur est obtenue par le décalage de l'arbre porte cames par rapport à l'arbre de commande. Ce décalage est dû au déplacement des masselottes soumises à la force centrifuge qui est fonction de la vitesse de rotation. Variation du point d'allumage en fonction de la vitesse de rotation du moteur

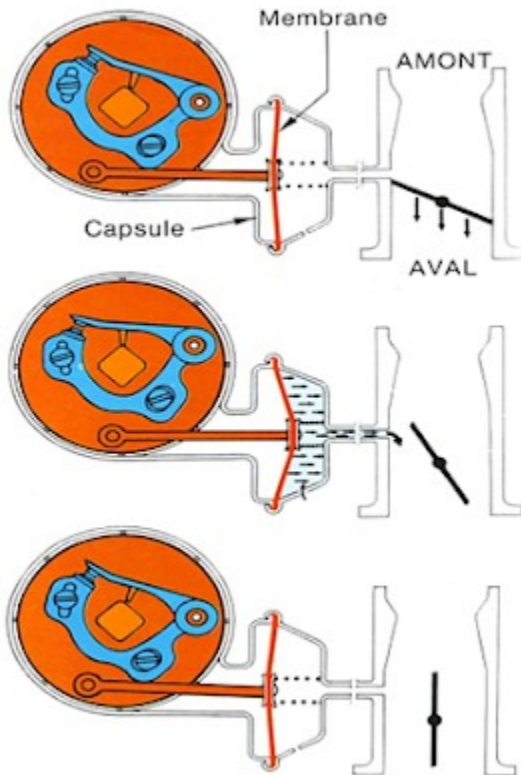
### III.3.8.Correcteur à dépression

La modification de l'avance en fonction du remplissage ou de la charge, se fait par une capsule dont la position de la membrane évolue avec les valeurs de la dépression. Le mouvement de la membrane entraîne un décalage angulaire du plateau porte rupteur et donc

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

un décalage à l'instant d'ouverture des contacts du rupteur.



**Figure N°III.11 Correcteur à dépression**

Au ralenti la dépression n'a pas d'action sur la membrane, pas de correction d'avance  
Lors d'une faible ouverture de papillon  
La dépression sur la membrane est importante  
Le plateau est décalé, la correction d'avance est importante.

### **III.3.9. Le calage initial.**

Ce calage est défini par le constructeur, il est valable pour le régime de ralenti

Les correcteurs d'avance.

Le régime moteur peut varier pour une même position de papillon (accélérateur) Le remplissage du moteur varie en fonction de la position de l'accélérateur .Il faut donc modifier le point d'allumage en fonction :

Du régime moteur correcteur d'avance centrifuge

Du remplissage du cylindre correction d'avance à dépression

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## **Conclusion :**

Pour qu'un moteur à essence fonctionne correctement, la bougie d'allumage doit générer une étincelle puissante.

Si l'allumage n'est pas optimum, la combustion du mélange air/carburant peut-être incomplète.

Inconvénients :

- Encrassements faciles par les remontées d'huile, les vapeurs d'huile se condensent sur l'électrode centrale, formant une goutte qui empêche le passage de l'étincelle.
- Combustion incomplète de cette huile qui laisse un dépôt carbonneux bon conducteur , l' étincelle ne peut plus se produire.
- Encrassement rapide.
- Echange et Nettoyage fréquent.

***Chapitre IV:***

**Influence de l'état des bougies sur  
le fonctionnement des moteurs a  
C.I.**

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## Chapitre IV

### Influence de l'état des bougies sur le fonctionnement des moteurs à C.I.

#### Introduction :

Les bougies d'allumage sont montées sur des moteurs qui ont un rapport volumétrique élevé, de hauts régimes de rotation et une tendance à l'auto-allumage.

Le mélange imbrûlé est alors évacué dans le système d'échappement, peut l'encrasser et émettre des gaz nocifs pour l'environnement.

Une bougie d'allumage enflamme le mélange air/carburant 500 à 3500 fois par minute. Son rôle est primordial sur le plan technique et environnemental.

Une difficulté principale peut être l'accès aux bougies, parfois problématique sur certains véhicules, avec nécessité de démonter des éléments.

Une jauge est également conseillée pour vérifier le bon écartement des électrodes. Cet écartement est de 0,8 mm. pour l'obtention de bons étincelles.

#### IV.1. Les inconvénients d'allumage classique:

- Intensité primaire limitée par le rupteur: ce qui a une incidence évidente sur l'énergie générée au circuit secondaire de la bobine d'allumage.
- Qualité et précision de l'étincelle à hauts régimes: elle résulte de la tension et de l'intensité primaire nécessairement basse de ce système et des phénomènes possibles de rebondissement du rupteur mobile.
- Angle de came constant: induit une chute de l'intensité primaire dans la bobine d'allumage aux hauts régimes moteur par manque de temps pour l'atteinte de l'intensité maximale du courant primaire.
- Usure des rupteurs et du toucheau : le rupteur se "caractérise" sous les effets répétés des courants d'extra-rupture à chaque ouverture de celui-ci. Il s'ensuit un dérèglement progressif de l'allumage dans le sens "retard" et une surchauffe de la bobine d'allumage. On parle de "dégradation de la constance du point d'avance".
- Usure globale des systèmes mécaniques: cames, masselottes, axes, bornes de la tête d'allumeur, etc.

#### IV.2. Détails fonctionnels

Lorsque le rupteur mobile se ferme, le courant croît paraboliquement dans la bobine, de zéro vers un maximum déterminé par la résistance du circuit primaire de la bobine, jusqu'à ce que le rupteur s'ouvre. L'énergie emmagasinée par la bobine est :

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

$$E(t) = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 (t)$$

où :

- E -est l'énergie en watts (W) ;
- L- est l'inductance en henrys (H) ;
- I -l'intensité du courant en ampères (A)

On voit ainsi que l'énergie emmagasinée par la bobine d'allumage va diminuer avec le régime moteur: moins de temps pourra être accordé à l'augmentation de l'intensité dans le circuit électrique primaire à mesure que la durée des cycles ouverture/fermeture des rupteurs diminue. Comme le courant parcourant la bobine continue à circuler (c'est une inductance), il charge la capacité parasite de l'inductance ainsi que le condensateur additionnel et la tension monte. Le condensateur monté en parallèle avec le rupteur sert uniquement à absorber la tension de déstructure qui apparaît à l'ouverture du rupteur. Elle peut atteindre 300 V au primaire de la bobine, ce qui peut correspondre à 10 000 V au secondaire. Cette montée est extrêmement rapide, de l'ordre de 10  $\mu$ s. Ces 10 kV peuvent être suffisants pour faire naître aux bornes des électrodes de la bougie l'étincelle qui s'y produit.

Un oscillogramme permet d'analyser le signal électrique aux bornes du circuit secondaire et d'y voir les différentes phases suivantes (par ailleurs valables également dans le cadre du fonctionnement des autres systèmes d'allumage ou considération de la présence des rupteurs et condensateur du système "classique") :

## IV.3.Types de tension de travail :

**IV.3.1.Tension d'ionisation:** elle est l'image de l'énergie fournie par la bobine d'allumage. La pointe correspond à la tension d'ionisation proprement dite. La raideur de la pente est un facteur de bon état du système: on y décèle en outre un défaut du condensateur.

**IV.3.2.Tension d'arc:** a lieu pendant la durée de l'étincelle aux électrodes de la (les) bougie(s): la surface de cette zone est représentative de la durée de l'étincelle et de l'écartement des #Travail de la bobine: phase d'amortissement pendant laquelle l'énergie résiduelle de la bobine se dissipe sous forme d'oscillations amorties de courant et de tension.

**IV.3.3.Tension inverse à la fermeture des rupteurs :** l'établissement du courant primaire induit une variation de flux auquel est soumis le bobinage secondaire. Une force électromotrice induite apparaît au # Enfin, la dernière phase est celle des rupteurs à nouveau fermés: Tension primaire  $U_1=0$  aux bornes de la bobine, donc  $U_2=0$

On y décèle des défauts de dissymétries de cames, des défauts de réglages de l'angle de came, des rebondissements de rupteurs.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## IV.4. Allumage électronique

Un allumage électronique est une évolution de l'allumage classique par batterie/bobine d'un moteur à allumage commandé où tout ou partie du système a été remplacé par des composants électroniques statiques et sans usure pour certains.

Une première évolution de l'allumage classique a été son assistance par un module d'allumage visant à supprimer ses carences les plus marquées: le système rupteur/condensateur empêchant une intensité primaire suffisamment élevée, et par voie de conséquence une énergie secondaire suffisante sur toute la plage des régimes moteur.

Ce système a été appelé "allumage transistorisé à rupteurs" ou "électronique de première génération". Ici le rupteur est connecté à un module où il ne sert plus que de déclencheur. Il est désormais traversé par un courant de commande bien plus faible, de l'ordre de 200 mA. Ce courant va déclencher un transistor de commutation en le bloquant/débloquant successivement. Le courant primaire de la bobine d'allumage sera ici rompu de manière quasi-instantanée. Il en résulte pour avantages une usure nettement plus faible des contacts des rupteurs, une inutilité du condensateur, une constance du point d'avance améliorée par la quasi-absence de tension de self aux bornes des rupteurs et une tension secondaire disponible nettement plus élevée à tous les régimes. Les inconvénients restent ceux inhérents au système "tout mécanique": l'usure du toucheau qui ne manquera pas d'entacher la précision du point d'avance, et du reste du système mécanique.

**IV.5. Les allumages "transistorisé inductifs ou à effet Hall", dits de deuxième génération:** suppression complète des rupteurs, du condensateur et des cames de commande du rupteur. Le système est ici inductif (générateur d'impulsions dans l'allumeur ou sur le vilebrequin) ou à générateur à effet Hall, tous deux produisant des signaux sinusoïdaux. Ces signaux seront amplifiés par un module amplificateur afin que ce dernier reconnaisse à tout moment la vitesse et la position du moteur et adapte le point d'allumage correctement. Ce module est également capable de couper le courant primaire en cas d'oubli de coupure du contact et évite ainsi tout risque de chauffe excessive de la bobine d'allumage ("coupure du courant de repos"). Il permet en outre le passage d'un courant d'environ 9A dans le circuit primaire. Avantages: suppression totale des points de contacts du circuit primaire donc plus d'usure; plus d'entretiens; constance des signaux et du point d'allumage, angle de came variable car calculé par le module à tous moments, amélioration perceptible de la tension secondaire disponible. Aussi, ce système a fréquemment été couplé à une ou plusieurs bobines d'allumage permettant de s'affranchir du distributeur haute tension et du faisceau d'allumage (système dit "à étincelle perdue"). Inconvénients: inhérents aux systèmes précédents dans leurs composants mécaniques pour les systèmes qui les ont conservés.

**IV.6. Les allumages électronique "cartographiques":** c'est un microprocesseur qui ici a en mémoire une cartographie tridimensionnelle d'avance à l'allumage. En fonction du régime de rotation du moteur et de la dépression régnant dans le collecteur d'admission (paramètres

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

d'entrée dans la cartographie), le système adapte un point d'avance à l'allumage très précisément. Il a même été intégré à ce système un capteur de cliquetis et de température de liquide de refroidissement moteur pour davantage de précisions et de corrections. Avec ce système: suppression complète du système à basse tension, précision accrue de l'avance à l'allumage, intégration de paramètres correctifs supplémentaires, économies de carburant, démarrage satisfaisant par tous le temps et pas d'entretien si ce n'est peut-être avec son vieillissement, le tube de dépression reliant le collecteur d'admission à la capsule pneumatique. Comme pour le système précédent, une suppression de la distribution dynamique de la haute tension a été mise au point sur certains systèmes pour parfaire la fiabilité et la précision.

**IV.7.les systèmes d'allumage actuels:** ils intègrent depuis quelques années déjà de nombreux paramètres supplémentaires par le multiplexage. Ce sont les systèmes où les multi-carburants sont possibles (essence et bioéthanol), tout comme la prise en considération de la pollution, de la température des gaz d'échappement, du style de conduite pour un véhicule automobile, etc. A ce jour les systèmes d'allumage de véhicules automobiles ont complètement abandonné tous dispositifs dynamiques ou soumis à l'usure. Les avaries ne sont plus dues qu'aux pannes de composants électroniques, calculateurs, surtensions, problèmes électriques divers ou des ruptures d'alimentation/masse qui entachent le fonctionnement de tels systèmes intégrés à d'autres ensembles et capables d'autodiagnostic.

Il existe également un autre système d'allumage, le système "CDI" plus rarement monté sur les véhicules automobiles (Porsche a utilisé cette technologie, entre autres). Voir "allumage à décharge capacitive".

### IV.8.Partie expérimentale :

#### IV.8.1. Nettoyage des bougies :

-On recommande également de nettoyer les bougies avec nos propres mains



**Figure N°IV.1 Nettoyage de la bougie d'allumage**

Pour le nettoyage des bougies il est préférable d'utiliser :

- L'acide acétique de 70 %.
- Une pincée de bicarbonate de soude.
- Brosse à dents désaffectée.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

-Détergent.

On met les bougies dans un récipient en plastique.



**Figure N°IV.2.** La mise des bougies à nettoyer dans un récipient

Dans cette position, on a laissé agir 30 minutes, à ce moment l'acide lutte contre la suie.

Après le temps, on a ajouté environ une demi-cuillère à soupe de soda.

Malgré le fait que la soude neutralise l'acide ajouté à la fin, elle améliore l'effet de lavage.



**Figure N°IV.3.** Bougies trempées dans les détergents

On laisse les bougies dans cette solution pendant 10 à 20 minutes supplémentaires.

Ensuite, avec une brosse à dents et un détergent, on a lavé chaque bougie manuellement. Le résultat obtenu est meilleur.



**Figure N°IV.4.** Bougie propre après le nettoyage

Elle ressemble presque à une nouvelle bougie

Comme précautions on ne doit pas respirer les fumées acides et utiliser des produits personnalisés qui influent sur les organes respiratoires et visuels.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## IV.8.2. Vérification des résistances des bougies avec un multimètre :

1. Après le parcours de 30 à 40 000 kilomètres on a teste les bougies d'allumage avec un multimètre.

Donc, nous prenons un multimètre et le réglons pour mesurer une résistance jusqu'à 20 kOhm.

2. Ensuite, nous prenons les bougies tour à tour et nous vérifions leur résistance entre l'électrode centrale et l'écrou de contact.



Figure IV.5: Mesure des résistances avec un multimètre

3- Si la bougie fonctionne, le multimètre doit afficher une valeur dans la plage de 2,5 à 8 kOhm. Si elle est différente, il est préférable de remplacer la bougie par une nouvelle.



Figure IV.6: Mesurer des la résistance interne

-Avec cette méthode, nous vérifions la résistance interne de la bougie intégrée.

Il existe des bougies spéciales avec une résistance interne nulle, conçues pour un moteur à tati spécifique.

-Si on met accidentellement de telles bougies dans le moteur, il y a une très forte probabilité que le contrôleur central brûle.

## IV.8.3. Proposition pour l'augmentation de l'effet des étincelles des bougies :

La proposition la plus simple à la bougie, qui améliorera les performances du moteur

Un problème courant avec les moteurs à essence, en particulier ceux convertis au gaz, est l'allumage défectueux. Par conséquent, tous les cylindres ne fonctionnent pas. La voiture perd de la puissance, de la dynamique.

On peut nommer au moins cinq causes principales d'un mauvais allumage, mais les bougies viennent toujours en premier.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Comme un moyen sûr pour rendre l'étincelle plus forte, tout en réduisant la coulée des électrodes avec de l'huile on peut modifier la bougie en utilisant les outils suivant :

- foret à métaux 0,8 mm;
- perceuse ou tour.

À l'aide d'une perceuse d'un diamètre de 0,8 mm, on doit percer l'électrode latérale de la bougie. Un trou est pratiqué au centre en face de l'électrode centrale. Percer parfaitement avec un outil électrique à main n'est pas du tout facile, donc s'il est possible de le faire sur un tour.



**Figure IV.7:**Perçage de l'électrode négatif

Cette méthode ne fonctionnera que si le trou est fait exactement au-dessus de l'électrode centrale. S'il est asymétrique, les performances de la bougie ne changeront pas.



**Figure IV.8:**Axe de perçage de l'électrode négatif

Le perçage des bougies, même s'il s'avère peu concluant, ne peut en aucun cas aggraver le travail et n'endommagera pas le moteur.

Avec l'emplacement correct des trous, l'étincelle entre les électrodes sera plus intense.

Cela améliorera l'inflammation du mélange combustible.

Cette méthode est particulièrement efficace pour les véhicules à essence, car contrairement à l'essence, elle hésite à s'allumer avec une faible étincelle.

Lorsque on perce les bougies, on s'assure de ne pas appuyer sur la perceuse.

Tout d'abord, il est très mince, il peut donc se casser.

Deuxièmement, il est possible de plier l'électrode latérale en modifiant l'intervalle, ce qui dégradera le fonctionnement du moteur.

Idéalement, on doit mesurer le jeu avec une jauge avant de percer, puis vérifier s'il reste le même et ajustez si nécessaire.

Cette méthode de modernisation des bougies fonctionne vraiment et s'explique par la théorie de l'électrostatique.

L'étincelle est amplifiée en raison de l'apparition d'arêtes vives sur l'électrode, ce qui améliore la formation d'un arc électrique.

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Les bougies avec des trous sont utilisées depuis longtemps.

En plus l'amélioration de la puissance de l'étincelle, aide à lutter contre le jet d'électrodes avec de l'huile, car une fois utilisé, le mélange brûle mieux.

Les bougies devront être retirées et nettoyées moins souvent, ce qui parle également en faveur du perçage.

### **IV.8.4.Sélection des bougies d'allumage et des fils haute tension pour la résistance.**

Tous les conducteurs savent probablement que certaines bougies d'allumage ont une résistance intégrée pour la suppression du bruit et, selon le fabricant, elle peut par exemple varier de 3 kOhm à 9 kOhm. Et la résistance des fils haute tension peut également commencer de zéro à 15 kOhm. Nous sommes aussi arrivés à la conclusion que les moteurs présentent les meilleures caractéristiques sur des fils de résistance nulle, ainsi que sur des fils avec une dispersion minimale, bien qu'ils aient une résistance jusqu'à 8 kOhm. De plus, les bougies d'allumage ont une résistance égale en moyenne 3,2 kOhm.

### **IV.8.5.Evaluation de l'état du moteur par des bougies d'allumage**

La réalisation d'un diagnostic complet du moteur est un événement qui prendra beaucoup de temps. On peut utiliser des appareils électroniques modernes pour le diagnostic, et on peut complètement démonter, muni d'un micromètre, pour vérifier toutes les dimensions et les écarts de mesure. Mais il existe une solution beaucoup plus simple: la couleur des bougies nous explique l'état du moteur.

Le rôle des bougies est d'allumer un mélange d'essence et d'air entrant dans la chambre de combustion. La défaillance de ces éléments aussi insignifiants, peut causer des dommages irréparables au moteur. Une réaction en chaîne se produit généralement, avec le résultat que la défaillance d'une seule bougie peut coûter cher au propriétaire de véhicule. Le couvercle du distributeur ou de la bobine d'allumage, se brise souvent. Même une sonde lambda ou un convertisseur catalytique peuvent tomber en panne si une bougie du moteur à essence saute.

Au moment où les soupapes sont fermées dans le cylindre et que le piston se trouve dans la région du point mort haut, une décharge électrique se produit entre les électrodes. Le courant est faible, mais la tension peut atteindre 20-35 kV (selon le type de système d'allumage - contact, sans contact, avec contrôle par microprocesseur), ce qui provoque une étincelle entre les électrodes pouvant enflammer l'essence. Le moment d'apparition d'une étincelle dépend du réglage correct de l'allumage. Pour un fonctionnement normal, il est nécessaire que la courroie de distribution (ou la chaîne) soit installée avec la tension nécessaire et que les marques sur le vilebrequin et l'arbre à cames coïncident avec les marques sur le bloc. Il est également important d'installer correctement le distributeur, qui distribue la haute tension aux bougies correspondantes.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

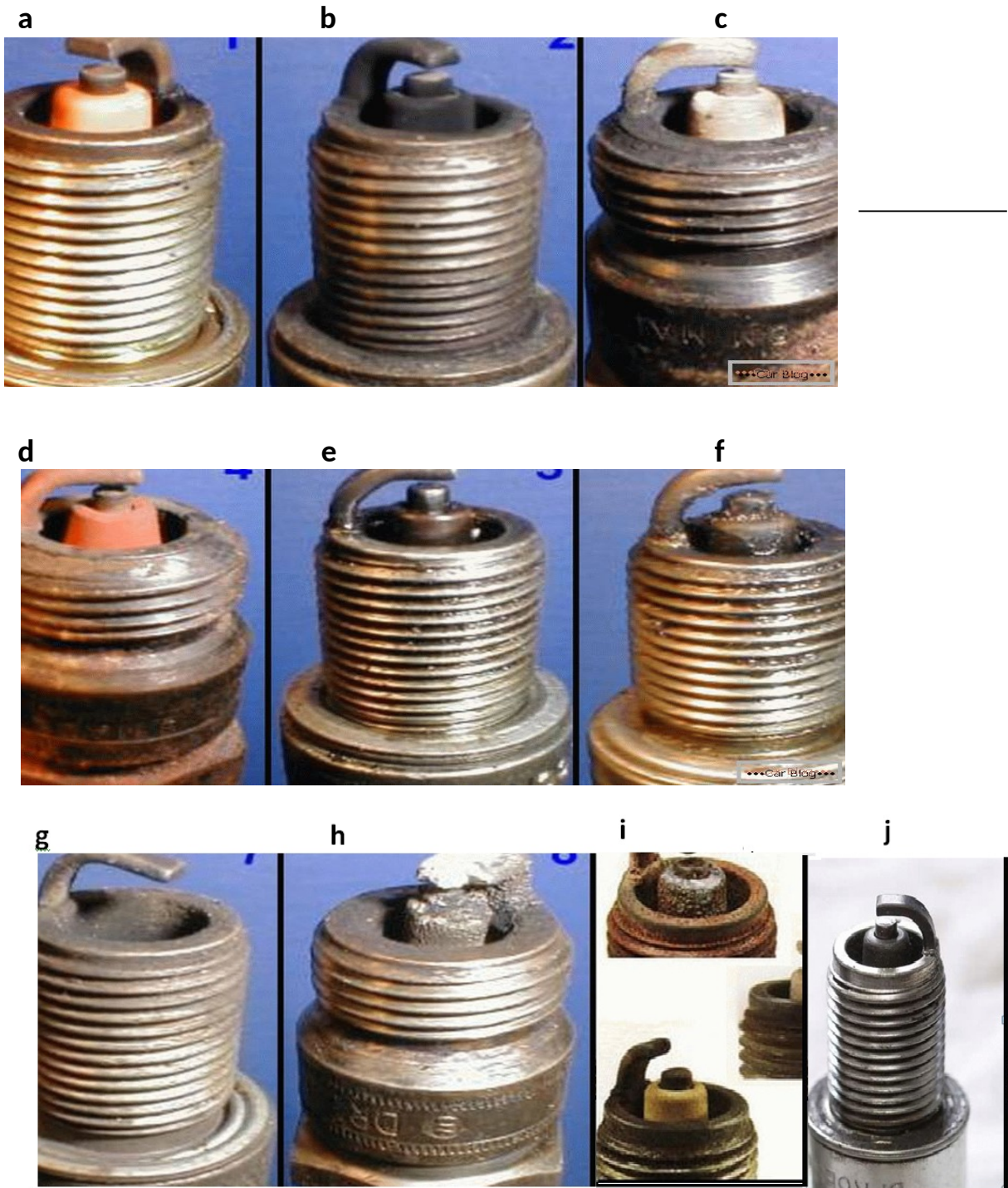


Figure IV.9.a,b,c,d,e,f,g,h,i,j : Inspection des bougies d'allumage .

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

Comme moyens le plus simple de diagnostiquer un moteur, il faut faire toujours attention à la couleur de l'électrode.

**Figure IV.13.5.a:** La bougie de travail, dévissée d'un moteur fonctionnant correctement. La couleur de l'électrode centrale est marron clair, il n'y a presque pas de suie ni d'autres dépôts, ainsi que des traces d'huile.

**Figure IV.13.5.b:** Couleur veloutée noire. Le plus souvent, cela indique un enrichissement excessif du mélange dû à un injecteur ou à un carburateur mal réglé, ou à un encrassement du filtre à air dans la voiture.

**Figure IV.13.5.c:** Electrode gris clair ou blanche. Dans ce cas, le mélange est probablement amené au moteur épuisé. Si rien n'est fait, il est possible d'obtenir une surchauffe de la bougie d'allumage ou de la chambre de combustion, ce qui entraîne souvent une combustion des vannes.

**Figure IV.13.5.d:** Couleur d'électrode rougeâtre. Indique que le moteur fonctionne pendant longtemps au carburant avec un grand nombre d'additifs contenant du métal (principalement du manganèse). Une telle plaque conduit le courant plus facilement que les électrodes d'une bougie. Cela conduit au fait que la bougie cesse de fonctionner.

**Figure IV.13.5.e:** Traces bien visibles d'huile sur le fil. Cela peut être dû au mauvais état des bouchons d'huile. Dans ce moteur est souvent augmenté la consommation d'huile. Aussi, immédiatement après le démarrage, la fumée bleuâtre sort du tuyau d'échappement et du moteur, mais les symptômes disparaissent à mesure que le moteur chauffe.

**Figure IV.13.5.f:** Cette bougie a été retirée du cylindre non fonctionnel. En fait, la jupe de l'électrode centrale est recouverte, comme elle-même, d'une couche d'huile parsemée d'essence non brûlée, ainsi que de particules de destruction apparues dans le cylindre. La raison peut être la destruction de la soupape ou du septum entre les segments de piston. La consommation de carburant augmentera considérablement. La solution est unique - révision du moteur.

**Figure IV.13.5.g:** L'électrode centrale et la jupe en céramique sont complètement détruites. Les raisons peuvent être de masse. Voici les plus probables: le moteur a fonctionné pendant longtemps avec une détonation, une utilisation prolongée d'essence à faible indice d'octane précédemment allumée ou une bougie d'allumage d'usine. Les symptômes du moteur sont approximativement les mêmes que dans le cas précédent. Si les particules de l'électrode centrale détruite ne peuvent pas glisser dans le système d'échappement et sont coincées sous la soupape d'échappement, la réparation de la culasse est garantie.

**Figure IV.13.5.h:** L'encrassement de l'électrode d'une bougie par des dépôts de cendres et leur couleur importent peu. Ces dépôts résultent de la casse ou de la présence de bagues d'essuie-glace (beaucoup d'huile brûle à l'intérieur du cylindre). Dans ce moteur sera augmenté la consommation d'huile, l'échappement ressemblera à une moto.

**Figure IV.13.5.i:** Erosion des électrodes. Cela se produit le plus souvent en raison du remplacement tardif des bougies ou de l'utilisation de carburant contenant une grande quantité

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

de plomb. Dans ce dernier cas, en raison de procédés chimiques intensifs, les électrodes en alliage de nickel sont rapidement détruites, en particulier sous l'influence des températures élevées. Un tel moteur fonctionne de manière instable, la mise en route est difficile, et sa puissance diminue.

Il faut examiner attentivement non seulement les électrodes, mais également l'isolation en céramique.

**Figure IV.13.5.j:** Bougie éclaboussée d'essence. Ce phénomène est souvent dû à un mauvais fonctionnement du système d'allumage ou de l'injecteur (carburateur). En hiver, le carburant peut ne pas avoir le temps de s'évaporer et il se dépose donc sur les parois des cylindres et des bougies. Vous pouvez essayer de dévisser les bougies et les sécher.

### **Conclusion :**

Si le moteur démarre correctement, et ne tourne par contre pas bien, on retrouve soit un dépôt de carbone sec soit un dépôt de carbone humide au niveau de l'étincelle, ce qui nuit à sa qualité. Si la résistance augmente, l'effet ne se voit pas sur la bougie. La résistance normale d'une bougie est d'environ 5 k $\Omega$  (kilo ohms). L'accumulation de dépôt sur l'extrémité de la bougie et le culot central révèle un manque d'huile, la qualité d'essence est médiocre ou encore le cycle d'allumage est incorrect. On note un aspect granuleux et presque « calcaire » des électrodes et du culot. La casse de la partie de porcelaine qui recouvre l'électrode interne intervient suite à une surchauffe ou à un sur refroidissement de la bougie. Le choc thermique fait exploser la porcelaine. La bougie est à remplacer, et la cause de cette casse à déterminer. Une bougie en fin de vie. L'usure est normale, et reflète un certain nombre de kilomètres parcourus. Les composants de la bougie, notamment le métal des électrodes, a subi une érosion naturelle du fait de ses conditions de fonctionnement. L'étincelle n'est plus de bonne qualité. Pour qu'elle le soit, il faut respecter un certain écart entre les deux électrodes, écart dépendant du type de bougie.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons étudié les problèmes de détérioration et de l'usure des bougies d'allumage et les causes de ces séries de problèmes.

On doit savoir en premier l'erreur fréquente qui consiste à tester un allumage avec des bougies à l'air libre, donc soumise à la pression atmosphérique et d'en tirer des conclusions sachant que la tension de claquage est proportionnelle à, principalement, la pression dans la chambre de combustion et à l'écartement des électrodes de la bougie considérée. Ainsi, la tension de claquage d'une bougie considérée peut varier d'à peine 1000 V à l'air libre à 10 kV dans un moteur. Pour que le moteur fonctionne sans problème, il convient de se souvenir régulièrement des bougies d'allumage. Bien que les fabricants de bougies donnent une garantie d'environ 30 000 km pour leurs produits, il est préférable de les diagnostiquer plus souvent (par exemple, à chaque changement d'huile).

De plus, le diagnostic moteur par bougies prend peu de temps et s'effectue sans frais en termes de finances. Et si on change les bougies d'allumage en temps opportun, on peut se débarrasser de nombreux problèmes non seulement dans le système d'allumage, mais aussi dans le système de lubrification, les gaz d'échappement, et enfin et surtout - économisez beaucoup d'argent sur l'essence.

Du côté des constructeurs, la conception des différentes pièces du moteur à savoir la culasse, les cylindres, etc. doit répondre aux exigences des automobiles afin d'éviter la détonation, et améliorer le système de détection de détonation. Le système de contrôle et gestion électronique de l'injection et de l'allumage permet aussi de réduire au maximum la détonation. Et en plus un système de refroidissement avec ses différents types est adopté comme étant un moyen d'atténuer l'effet de la surchauffe du moteur sur l'apparition de combustions anormales. Les chimistes doivent faire autant en améliorant les carburants qu'ils produisent du point de vue de leur résistance aux phénomènes anormaux de combustion.

L'indice d'octane, quant à lui, est d'une importance capitale car c'est grâce à lui qu'on peut affirmer que tel ou tel carburant est meilleur du point de vue de sa résistance à la détonation.

Une augmentation de l'indice d'octane diminue les chances aux allumages incontrôlés d'apparaître. Lors d'un fonctionnement anormal, et pour des conditions particulières, l'amorçage de la combustion, normalement dévolu à l'étincelle de la bougie, est provoqué épisodiquement ou continuellement par certains points de la chambre de combustion, il en résulte un ou plusieurs fronts de flammes qui se propagent dans tous les sens à un moment quelconque du cycle. Dans ce travail, mais on a, pu mettre en évidence l'action des facteurs influençant sur le régime des moteurs à CI suivant :

1. Si le moteur ne démarre pas directement le matin, c'est que les bougies sont sales, ou les fils endommagés qui rendent difficile ou impossible de fournir l'étincelle nécessaire pour faire démarrer le moteur. Ils peuvent même vider le courant de la batterie. On doit vérifier les fiches et les fils.

2. Si le moteur a des ratés - Les dépôts de carbone sur les bougies d'allumage peuvent conduire un ou plusieurs cylindres à avoir des ratés, entraînant de mauvaises performances. 3.

Les surtensions et les hésitations sont des signes que le moteur fonctionne de manière inefficace. Elles peuvent être très dangereuses si elles se produisent alors qu'on est dans le trafic, il faut faire immédiatement une vérification. 4.

L'usure des bougies d'allumage peut augmenter la consommation de carburant de près de 30%. 5.

L'absence d'accélération du moteur peut habituellement être facilement réparée par l'installation de nouvelles bougies d'allumage.

# Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

## BIBLIOGRAPHIES

- [1]. Henri Michelet, *L'inventeur Isaac de Rivaz (1752-1828)*, Martigny : Editions Saint-Augustin 1965. (OCLC [163739058](#)), p. 234
- [2]. Olivier Archambeau et Romain Garcier, *Une géographie de l'automobile*, Paris : Presses universitaires de France, 2001. (ISBN [9782130513377](#)), p. 27
- [3]. « [Bougie d'allumage \(1885\)](#) », sur *Eurekaweb* (consulté le 15 avril 2009)
- [4]. Arlette Barré-Despond, *Dictionnaire international des arts appliqués et du design* Éditions du Regard, 1996. (ISBN [9782841050246](#)), p. 88
- [5]. « [Bougies d'allumage Bosch : 105 ans d'existence et toujours la même étincelle !](#) », sur *Communiqué de presse Bosch* (consulté le 15 avril 2009)
- [6]. *Vanessa Pircron, et al*, Constitution de la bougie, p. 14. Consulté le 2 mai 2009
- [7]. Jean-Louis Lainé, « [La bougie d'allumage](#) », sur *Paramoteur* (consulté le 16 avril 2009)
- [8]. *Emmanuelle Faure, Jean-Claude Guibet (1997)*, Allumage électromécanique, p. 136. Consulté le 16 avril 2009
- [9]. *Emmanuelle Faure, Jean-Claude Guibet (1997)*, Allumage électromécanique, p. 136. Consulté le 16 avril 2009
- [10]. *Vanessa Pircron, et al*, Constitution de la bougie, p. 15. Consulté le 5 mai 2009
- [11]. « [Technique : La bougie](#) », sur *Motorlegend* (consulté le 16 avril 2009), p. 2
- [12]. « [Technique : La bougie](#) », sur *Motorlegend* (consulté le 16 avril 2009), p. 1
- [13]. Jean-Louis Lainé, « [La bougie d'allumage](#) », sur *Paramoteur* (consulté le 16 avril 2009)
- [14]. « Popular Science », *Popular Science*, vol. 132, n° 3, 1939, p. 205 (ISSN [0161-7370](#), lire en ligne )
- [15] Faure et Guibert, Quelques jalons de l'histoire des moteurs, 1997.
- [16] Jean Trapy, Moteur à allumage commandé, Les Techniques de l'Ingénieur, 2000.
- [17] Nouven. A, la carburation, édition technip 1971.
- [18] Paul. D, Automobile et pollution, Éditions Technip, 1992.
- [19] Richard .S, Moteur, phénomène de combustion dans les moteurs a piston, juin 2010
- [20] Daniel. S, Etude du cliquetis sur un moteur a taux de compression variable, thèse Doctorat, université des sciences et techniques de Lille ,1983

## Analyse des problèmes des bougies d'allumage des moteurs à CI et recherche des solutions.

---

[21]fonctionnement de l'allumage d'une voiture, sur (www. fiches-auto.fr) du 6 aout 2015.

[22]Renaud G, Moteur à essence, consulté juin 2009

[23]Guibert, Sous modèle de combustion et Développement de front de flamme, 2005

[24]Louis. B, Feu et flammes, Belin, coll. « Pour la science », 2006.

[25]Borghi.R et Destriau .M , la combustion et les flamme, éditions technip 1995.

[26] MAHDI .A et AIB. Recherche des facteurs influents sur l'effet de la détonation dans un moteur à essence MEMOIRE DE Master, en Génie Mécanique Option : Energétique. Encadreur :ZERGANE Said .Université de M'sila .2018.

[27] CHEIKH KHATRY AHMED. Simulation d'un moteur à combustion interne HCCI avec gazole MEMOIRE DE Master, en Génie Mécanique Option : Energétique. Encadreur : Berkache Amar Université de M'sila.2019.

[28] « [Technique : Le moteur boxer](#) » *Motorlegend* (consulté le 24 mai 2009).

[29] « [Technique : L'allumage](#) » *Motorlegend*, 4 juillet 2005 (consulté le 15 juin 2009).