

Liste des figures

Figure 1: Schéma du moteur deux temps	6
Figure 2: 1er temps du cycle deux temps	9
Figure 3: 2e temps du cycle deux temps.....	10
Figure 4: Diagramme théorique du moteur à deux temps.....	12
Figure 5: Triangle de feu	15
Figure 6: Stœchiométrie de la combustion par rapport à λ	22
Figure 7: Différence entre PCI et PCS.....	27
Figure 8: Les différentes coupes lors de la distillation fractionnée du pétrole.....	32
Figure 9: Différentes étapes du procédé de production du bioéthanol.....	36
Figure 10: Schéma du réacteur pantone proposé par GEET	48
Figure 11: Circulation des gaz dans le système pantone	50
Figure 12: Fonctionnement du Bulleur.....	51
Figure 13: Le Réacteur endothermique.....	53
Figure 14: Tube extérieur percée de deux trous- Vue de dessus	65
Figure 15: Tube intérieur muni de la tige d'acier fixé Co axialement avec le tube extérieur – Coupe transversale vue de face	65
Figure 16: Tube intérieur muni de la tige d'acier - Vue de gauche	66
Figure 17: aménagement du système de chauffage du réacteur.....	68
Figure 18: Schéma du montage en entier.....	70
Figure 19: Consommation du moteur en fonction de la proportion eau-essence	76

Liste des photos

Photo 1: Comparaison du gazole synthétique et du gazole pétrolier	36
Photo 2: Réacteur pantone utilisant des matériaux de plomberie	49
Photo 3: Groupe électrogène du Projet	61
Photo 4: Modifications du groupe électrogène	62
Photo 5: Le réacteur endothermique	66
Photo 6: Le bulleur	67
Photo 7: Montage permettant le chauffage du réacteur	68
Photo 8: Montage intégral	69

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison entre moteur à 2 temps, moteur à essence à 4 temps et moteur diesel à 4 temps	4
Tableau 2 : Exemples de combustibles solides	16
Tableau 3: Combustibles gazeux	18
Tableau 4: Composition de l'air	18
Tableau 5: Exemples de PCI	28
Tableau 6: Caractéristiques de la déflagration	29
Tableau 7: Caractéristiques de la détonation	30
Tableau 8: Propriétés physiques de quelques carburants pétroliers	33
Tableau 9: Comparaison des caractéristiques entre le diesel, l'huile de colza et l'ester méthylique	35
Tableau 10: Propriétés physiques de l'essence	38
Tableau 11: Prévion des performances du moteur en utilisant le réacteur pantone	45
Tableau 12: Liste des matériaux pour la confection du réacteur endothermique	63
Tableau 13: Liste des matériaux pour la confection du Bulleur	63
Tableau 14: Raccords et vannes de contrôle	64
Tableau 15: Consommation du moteur par proportion eau-essence	75

Liste des abréviations

δ :	Différence de consommation
$\Delta_f H^0$:	Enthalpie standard de formation
$\Delta_r H^0$:	Enthalpie standard de réaction
λ :	Facteur d'air
ALL :	Allumage
BTL :	Biomass To Liquids
C_0 :	Consommation moteur
CD :	Combustion Détente
Ch. :	Cheval vapeur
$C_m H_n$:	Hydrocarbure
$C_{pantone}$:	Consommation avec le réacteur pantone
CTL :	Coal To Liquids
e :	Excès d'air
E_{X-Y} :	Energie de liaison
FT :	Fermeture transfert
(g) :	Etat gazeux
GEET :	Global Environmental Energy Technology
GTL :	Gas To Liquids,
(l) :	Etat liquide
L :	Chaleur latente de vaporisation
Ma :	Nombre de Mach
min :	Minutes

OE :	Ouverture échappement
OT :	Ouverture transfert
P_0 ou P_a :	Pression atmosphérique
PC :	Pouvoir calorifique
PCI :	Pouvoir calorifique inférieur
PCS :	Pouvoir calorifique supérieur
PMB :	Point mort bas
PMC :	Processeur Multi Carburant
PMH :	Point mort haut
Q :	Chaleur de la réaction
R :	Richesse
T_0 :	Température ambiante
tr :	Tours
(vap) :	Etat vapeur

Sommaire

PARTIE I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : LES MOTEURS A DEUX TEMPS

Chapitre II : LA COMBUSTION

Chapitre III : LES CARBURANTS

PARTIE II : REALISATION EXPERIMENTALE D'UN REACTEUR PANTONE

Chapitre IV : PRESENTATION DU REACTEUR PANTONE

Chapitre V : DISCUSSIONS SUR LES THEORIES DE FONCTIONNEMENT DU
REACTEUR PANTONE

Chapitre VI : REALISATION ET ESSAIS

Introduction

L'énergie fossile issue du pétrole est encore la première source d'énergie qui régit le rythme quotidien de notre planète. Plus d'un siècle s'est écoulé après la découverte de cette source prodigieuse et son utilisation s'est étendue actuellement vers tous les secteurs. La majeure partie de son exploitation vise toutefois à satisfaire l'industrie de la motorisation. Depuis les plus grands moteurs destinés à faire fonctionner les grandes usines, en passant par les nombreuses applications dans l'industrie de l'automobile, de l'aéronautique, des cyclomoteurs et même les engins spatiaux, jusqu'aux petits appareils portatifs, les carburants issus du traitement du pétrole sont devenus indispensables.

Le rendement de l'utilisation de ces carburants reste cependant très bas, surtout celle de l'essence qui ne dépasse pas les 36% [1]. Les solutions ne sont peut-être pas toujours l'ajout d'additifs dans ces carburants mais pourrait être des améliorations sur les moteurs pour augmenter le rendement de la combustion.

Pour hausser le rendement de cette combustion, le recours à l'usage du « réacteur pantone » est souvent parlé comme étant un moyen sérieux pour y parvenir [2]. L'objectif de ce mémoire intitulé « Etude et réalisation d'un Processeur Multi-carburant Pantone » est donc d'adapter ce système à un moteur à combustion interne et de parvenir à améliorer son rendement.

Ce travail, contenant six chapitres, est divisé en deux parties.

Dans la première partie, nous allons développer le fonctionnement d'un moteur à combustion interne à deux temps, les théories concernant la combustion, et les généralités sur l'essence-carburant.

La deuxième partie sera, elle, consacrée à la réalisation du réacteur pantone associé à un groupe électrogène.

PARTIE I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I : LES MOTEURS A DEUX TEMPS

Les moteurs à deux temps sont des moteurs à combustion interne. Ils sont d'une composition simple par rapport aux moteurs quatre temps. Ils ne comportent généralement que très peu de pièces mobiles ce qui leur confère puissance, légèreté et simplicité.

I.1 GENERALITES SUR LES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE :

Les moteurs à combustion interne sont des machines à fluide thermique, c'est-à-dire qu'ils fonctionnent grâce à l'énergie mécanique fournie par la combustion d'un mélange air-carburant. Le terme « interne » désigne que tous les processus de travail ont lieu dans un espace à l'intérieur du moteur appelé cylindre de travail.

Comme l'énergie à l'intérieur du cylindre est transmise par un volume variable, les moteurs à combustion interne font partie des machines appelées machines motrices volumétriques.

Les moteurs à combustion interne sont souvent utilisés pour entraîner des véhicules, des bateaux ou des locomotives. On utilise également les moteurs à combustion interne pour les entraînements qui doivent fonctionner de manière fiable en permanence, sans dépendre du réseau électrique; c'est le cas par exemple pour les groupes électrogènes de secours, les machines de chantier ou dans l'agriculture.

On distingue quelques types de moteurs à combustion interne selon leurs caractéristiques. Le tableau suivant montre trois types de moteurs qui se différencient par leurs caractéristiques :

Tableau 1: Comparaison entre moteur à 2 temps, moteur à essence à 4 temps et moteur diesel à 4 temps [3]

	Moteur à 2 temps	Moteur à essence à 4 temps	Moteur diesel à 4 temps
Chargement	Mélange air-carburant	Mélange air-carburant	Air pur
Alimentation en carburant	Carburateur	Carburateur	Pompe à injection
Allumage	Etincelle d'allumage	Etincelle d'allumage	Compression
Taux de compression	5 à 8	5 à 12	14 à 21
Coefficient d'air	0,8 à 1,2	0,8 à 1,2	1,5 à 10
Carburant	Essence ou pétrole lampant	Essence	diesel

1.2 ORIGINES DU MOTEUR A DEUX TEMPS

1.2.1 Découvertes

- 1859 : Le premier moteur à deux temps a été conçu par l'ingénieur belge Jean Joseph Etienne Lenoir. Ce moteur s'appelait Moteur Lenoir et consommait 3000 litres par cheval-heure en gaz d'éclairage (gaz de houille), un gaz destiné à l'origine pour l'éclairage. Ce moteur était surtout destiné à l'usage industriel du fait de sa grande taille et de sa puissance ;
- 1879 : Le moteur Lenoir a ensuite été amélioré par l'ingénieur écossais Dugald Clerk en proposant de réaliser en un tour de vilebrequin ce que le quatre temps faisait en deux tours ;
- 1880 : L'allemand Sohnlein brevète un moteur à deux temps industriel fonctionnant au carburant liquide [3].

1.2.2 Evolution

- 1889 : Le moteur à deux temps dans une forme à peu près identique à celui que l'on connaît aujourd'hui a été conçu par un autre ingénieur anglais, Joseph Day.
- 1897 : Les débuts du moteur deux temps à distributeur rotatif sont marqués en cette année par l'invention du moteur Ixion par Léon Cordonnier [4].

Après ces années, le moteur deux temps ne se développe plus pour une raison fiscale. Effectivement, comme il y a un temps moteur par tour de vilebrequin, la puissance est double de celle des moteurs quatre temps pour un même cylindrée, et c'est pour cela que les impôts sur les moteurs deux temps ont été doublés par les fonctionnaires des impôts de l'époque, qui décourage fortement les constructeurs.

- 1920 : La loi visant à doubler les impôts sur ce type de moteur est finalement annulée ce qui permet ensuite la reprise de recherches sur son amélioration
- 1945 : Des firmes Allemandes et Tchécoslovaques ont eu beaucoup de succès en ayant recours à l'emploi de ces types de moteurs.

Aujourd'hui : Le monde du cyclomotoriste est dominé par les moteurs deux temps tandis que le domaine de l'automobile a abandonné l'usage de ces moteurs [5].

Selon ces données, le moteur deux temps n'a pas vraiment subi beaucoup de modifications depuis ses origines du fait de sa simplicité. Ces caractéristiques de simplicité, seront une des raisons pour lesquelles ce type de moteur a été utilisé pour notre projet.

1.3 CARACTERISTIQUES DU MOTEUR A DEUX TEMPS ET COMPARAISON ENTRE MOTEUR DEUX ET QUATRE TEMPS

1.3.1 Caractéristiques du moteur à deux temps

Le moteur deux temps est polluant car il rejette en moyenne 151 grammes d'hydrocarbures par kWh [7]. En comparaison, un moteur à quatre temps de même puissance n'émet que 4 grammes par kWh [7]. La conversion de l'énergie chimique en travail mécanique du moteur à deux temps, cependant, a un rendement presque égal au

double de celui d'un moteur quatre temps ce qui donne plus de couple moteur et donc confère au moteur deux temps plus de puissance pour un même cylindrée par rapport au moteur quatre temps.

Il se distingue du moteur quatre temps aussi par l'absence de soupapes et d'organes de commandes (arbres à cames, culbuteurs).

Cette technologie permet donc la fabrication de moteurs de petites tailles avec de grandes performances. Elle permet notamment d'équiper des appareils portatifs tels que : tronçonneuses, tailles haies, groupes électrogènes, tondeuses etc.

Il est aujourd'hui très répandu dans les cyclomoteurs ou d'autres engins à moteur comme le karting.

Ce type de moteur peut fonctionner à partir de nombreuses sources d'énergie comme l'essence ou le pétrole lampant.

Les composantes fondamentales du moteur deux temps qui sont représentées dans le schéma qui suit sont :

- un cylindre borgne muni d'une lumière ou canal d'admission et d'une lumière d'échappement et aussi d'un canal de transfert
- un piston (muni d'un déflecteur pour les anciens modèles)
- un carter : Bielle, maneton, vilebrequin et masse d'équilibrage
- une Bougie d'allumage

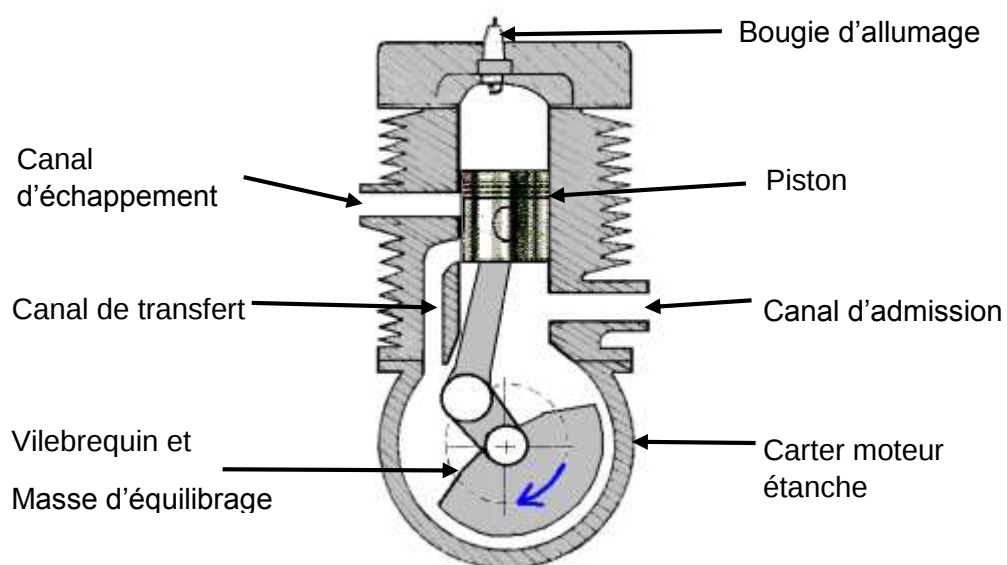


Figure 1: Schéma du moteur deux temps [8]

Il n'y a pas de carter d'huile mais le graissage se fait par adjonction d'huile spéciale moteur deux temps à l'essence.

Les moteurs deux temps sont:

- simples car par rapport aux moteurs quatre temps il n'y a pas de distribution, ni d'arbre(s) à cames ni de soupapes
- facilement reconnaissables par l'implantation basse de l'échappement et du carburateur sur le cylindre, et non sur la culasse
- des moteurs ayant une puissance spécifique voisine de 1,7 fois celle d'un moteur quatre temps
- lubrifiés par mélange (huile dans l'essence) ou par injection d'huile (graissage séparé), d'où une émission de fumée importante
- dotés d'un faible taux de compression géométrique (environ 7), compensé par l'effet de compresseur effectué par la face inférieure du piston dans le cylindre, et le pot accordé [3]. Le taux de compression est déterminé théoriquement par le rapport entre la différence de volume du cylindre au PMB et au PMH et le volume du cylindre au point mort haut.
- reconnaissables par leur bruit spécifique qui est plus aigu que celui d'un moteur à quatre temps.

1.3.2 Fonctionnement d'un moteur à essence à quatre temps

Le moteur à quatre temps est un moteur à combustion interne dont le cycle de fonctionnement s'effectue en 4 étapes. Ce cycle se fait ainsi en deux allés/retours du piston.

Les pièces principales qui le composent sont : les cames, les soupapes d'admission et d'échappement, la bougie d'allumage, le piston, la bielle et la chambre de combustion.

La lubrification des pièces est assurée par une huile présente dans le carter qui lubrifie les pièces situées sous le piston. Elle lubrifie le vilebrequin, la bielle, et le piston.

1^{er} Temps : L'admission

Le point mort haut constitue le départ du cycle. Pendant cette étape, la soupape d'admission est ouverte tandis que celle de l'échappement est fermée. La descente du piston crée une dépression dans la chambre de combustion qui aspire un mélange gazeux d'air et d'essence provenant du carburateur ou de l'injection via la soupape d'admission.

2^e temps : La compression

A cette étape, les deux soupapes sont fermées. Arrivé au point mort bas, le piston remonte pour comprimer le mélange air-essence. Cette compression élève la température du mélange jusqu'à environ 300°C [6].

3^e temps : La détente

Un peu avant le deuxième point mort haut, le mélange comprimé air/essence est enflammé par une étincelle produite par les électrodes de la bougie d'allumage. Cette combustion provoque une élévation de pression et de température engendrant l'expansion des gaz, ce qui repousse le piston vers le deuxième point mort bas.

4^e temps : L'échappement

A cette étape du cycle, la soupape d'échappement s'ouvre pour évacuer les gaz brûlés qui sont chassés par la remontée du piston.

Ces informations sur le moteur quatre temps sont nécessaires pour faire une comparaison entre celui-ci et le moteur deux temps.

1.3.3 Fonctionnement du moteur à deux temps

- Premier temps

Lorsque le piston au point mort bas PMB remonte, il crée une dépression dans le carter. En continuant son ascension, le piston dévoile une lumière, celle de l'admission provoquant ainsi une aspiration des gaz frais qui pénètrent dans le carter.

Le premier temps du cycle à deux temps est représenté par la figure suivante :

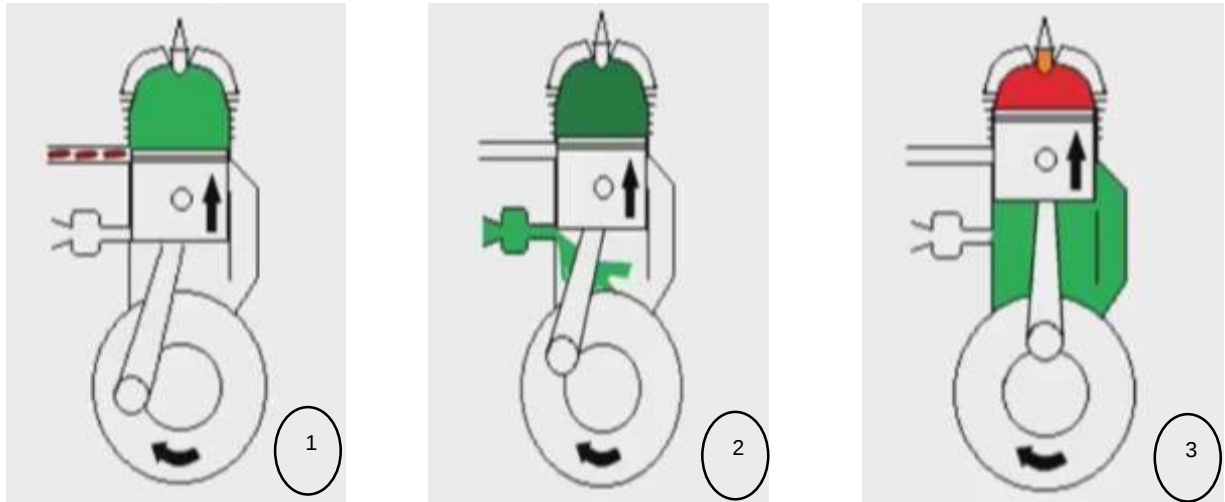


Figure 2: 1er temps du cycle deux temps [4]

1. Le canal d'échappement est ouvert, le cylindre se vide de ses gaz brûlés. Le canal d'admission et le canal de transfert sont fermés, le piston crée une dépression dans le carter.
2. L'ascension du piston provoque la compression du mélange. Les gaz frais en provenance du carburateur pénètrent dans le carter grâce à l'ouverture du canal d'admission.
3. A la fin de la compression s'effectue l'allumage du mélange comprimé suite à l'éclatement de l'étincelle entre les électrodes de la bougie. A ce moment, le remplissage du carter est en phase final.

Le piston arrive au point mort haut PMH et comprime les gaz « frais » provenant du cycle précédent. L'étincelle à la bougie enflamme les gaz et ces derniers repoussent le piston vers le PMB.

- Deuxième temps

Le deuxième temps du cycle à deux temps est représenté par la figure suivante :

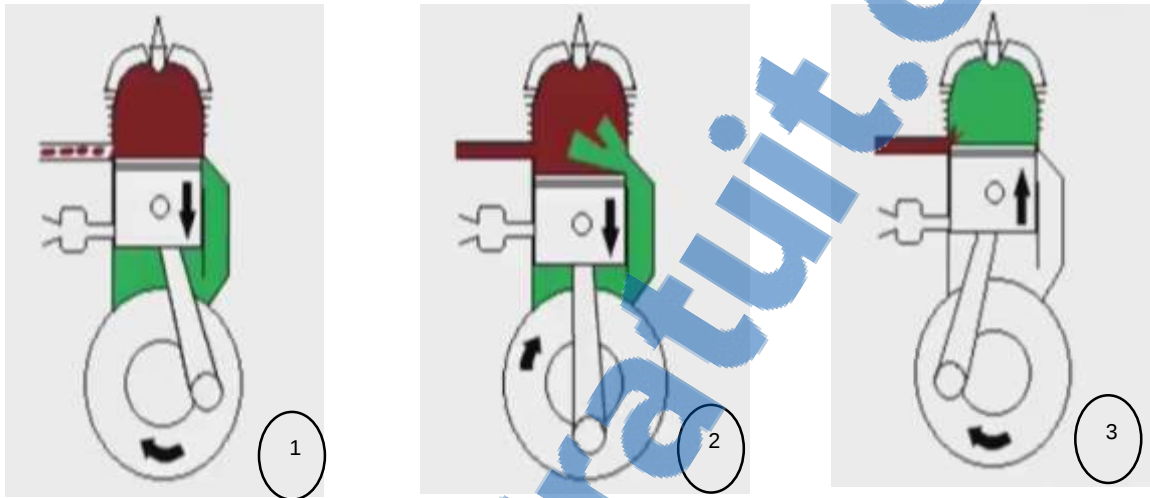


Figure 3: 2e temps du cycle deux temps [4]

En descendant, le piston révèle d'autres lumières. Il dévoile d'abord, en partie, la lumière d'échappement puis les transferts qui communiquent avec le carter, ce qui permet aux gaz admis précédemment dans le carter de pénétrer dans le cylindre. Les gaz frais chassent le reste des gaz brûlés dans l'échappement ce qui s'appelle le « balayage ». Le piston remonte, masque les transferts et dévoile à nouveau l'admission, les gaz frais pénètrent dans le carter et ainsi de suite.

1. La forte montée en pression chasse le piston vers le bas. Tandis que le canal d'échappement s'ouvre pour permettre l'évacuation des gaz brûlés, le canal d'admission est fermé.

2. Le canal de transfert s'ouvre. Le piston qui descend comprime le mélange dans le carter ce qui le chasse, par le canal de transfert, vers la chambre de combustion. Les gaz frais chassent à leur tour les gaz brûlés vers le système d'échappement.

3. En remontant, le piston ferme le canal de transfert. Les derniers gaz brûlés ou gaz d'échappement sont alors évacués et un nouveau cycle recommence.

Le rendement du moteur à deux temps n'est pas forcément meilleur que celui du moteur à quatre temps. Ceci s'explique par le fait que la séparation des deux gaz (gaz brûlé et gaz frais) n'est pas parfaite et une certaine quantité des gaz frais sort avec le gaz d'échappement. En plus, dans sa course, le piston a tendance à refouler les gaz frais.

Pour ce dernier, les constructeurs ont installé un clapet d'admission, une lame métallique qui s'ouvre dans le sens de l'admission et qui se ferme quand le piston redescend [5].

I.4 PERFORMANCES – AVANTAGES ET INCONVENIENTS

I.4.1 Performances

Il existe quelques perfectionnements possibles à faire sur le moteur à deux temps pour améliorer ses performances comme :

- l'utilisation d'un système de graissage séparé pour limiter la quantité d'huile brûlée,
- l'utilisation de système d'injection du carburant et limiter les pertes aux imbrûlés.

Les performances théoriques du moteur à deux temps peuvent être lues à partir d'un diagramme reliant la pression dans la chambre de combustion et le volume de cette chambre.

La figure suivante représente les performances théoriques d'un cycle à deux temps :

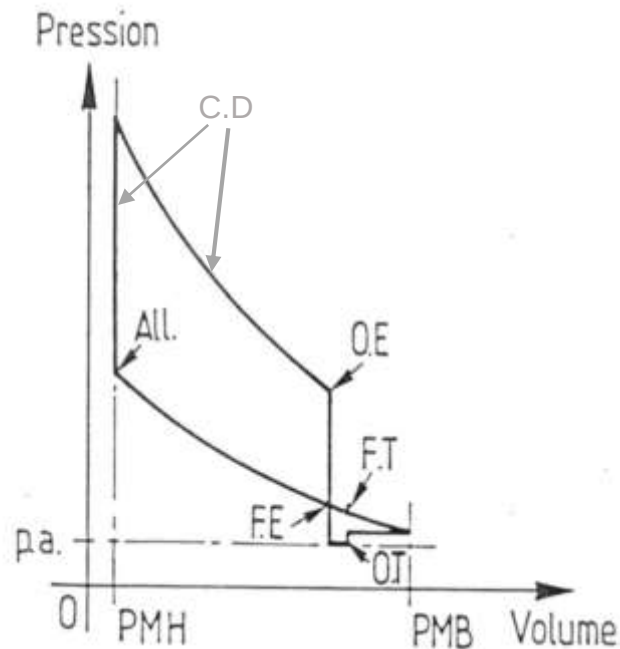


Figure 4: Diagramme théorique du moteur à deux temps [8]

Légendes de la figure 4 : Diagramme théorique du moteur à deux temps

Pa : pression atmosphérique

PMH : point mort haut

PMB : point mort bas

OT : Ouverture Transfert

FT : Fermeture Transfert

OE : Ouverture Echappement

ALL : Allumage

CD : Combustion Détente

On voit que la surface utile est beaucoup plus grande que la surface de préparation du cycle, ceci montre qu'à cylindrée égale, un moteur à deux temps est plus performant que celui à quatre temps.

- Le cognement :

C'est un bruit et une sollicitation mécanique des pièces du moteur par l'onde de choc qui survient lorsque l'explosion est du type « détonation » [9].

Un cognement excessif engendre une usure plus rapide du moteur. Pour limiter ce phénomène, on ajoute des additifs aux carburants [10].

L'additif historique est le tétraéthyle de plomb. Comme il est poison des catalyseurs destinés à dégrader les oxydes d'azote (NOx) et le monoxyde de carbone CO, il a été remplacé par des additifs de synthèse, d'où l'appellation d'essence sans plomb [11].

1.4.2 Avantages et inconvénients

1.4.2.1 Avantages par rapport au quatre temps

Les moteurs à deux temps n'ont pas de mécanique complexe (distributions, soupapes) à démonter lors de l'ouverture du moteur ce qui entraîne une facilité d'entretien.

Ils sont moins encombrants qu'un moteur quatre temps de même cylindrée, environs 40 % plus ce qui les rend plus légers.

Théoriquement, les moteurs deux temps sont 1,7 fois plus puissants que ceux à quatre temps.

La plage d'utilisation possible est très étendue. Par exemple : un moteur de trial à fort couple et souple à bas régime, destiné au grand public fonctionne à mi-régime entre 3 000 à 8 000 tr/min, tandis qu'un moteur de karting à haut régime pour la compétition tourne à plus de 18 000 tr/min et même jusqu'à 35 000 tr/min dans les cas extrêmes [3].

L'utilisation de lumières d'échappements à hauteur variable permet de limiter les pertes de charge gazeuse particulièrement pour les bas et mi-régimes afin de limiter la consommation et d'augmenter le couple et la souplesse.

Le rendement possible du moteur est de l'ordre de 430 chevaux vapeur par litre de cylindre sans turbo ni compresseur.

I.4.2.2 Inconvénients

- Pertes d'hydrocarbures imbrulés :

Ces pertes sont occasionnées par la longueur de la distance parcourue par le piston avant la fermeture de la lumière d'échappement. L'utilisation d'un simple pot d'échappement, peut provoquer une perte pouvant aller jusqu'à 30% pendant la phase d'admission/échappement.

- Polluant

La raison de cette pollution vient surtout de l'utilisation du lubrifiant qui est utilisé pour graisser le cylindre. L'huile utilisée est en effet mélangée avec l'essence (environ 1,5 à 5 %) rendant ainsi les rejets plus chargée en particules imbrulées et en CO₂. En plus, elle est accentuée par le rejet d'hydrocarbures imbrulés.

Selon une étude américaine, un moteur deux temps conventionnel émet 151 grammes d'hydrocarbures par kWh, un moteur deux temps à injection directe environ 40 grammes par kWh, un moteur quatre temps de même puissance émettrait 4 grammes par kWh [3].

- Surchauffe

Les moteurs deux temps ont tendance à chauffer très vite et ne peuvent supporter une utilisation soutenue.

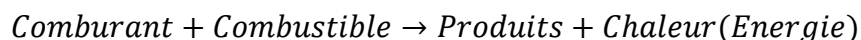
CHAPITRE II : LA COMBUSTION

II.1 GENERALITES SUR LA COMBUSTION :

La combustion est une réaction chimique d'oxydoréduction d'un combustible par un comburant. Cette réaction est exothermique. Elle fournit de l'énergie calorifique et émet généralement de la lumière. La chaleur libérée provoque une dilatation des gaz. Lorsque la combustion est vive, elle se traduit par une flamme, mais si le front de flamme dépasse la vitesse du son, on l'appelle explosion [12].

La flamme est la zone de l'espace où se déroule la réaction d'oxydation. Sa température est très élevée du fait du dégagement de chaleur qui s'y produit.

Les produits de la combustion sont les gaz brûlés ou aussi appelés fumées.



Cette réaction chimique nécessite souvent un amorçage. Cet amorçage est une énergie d'activation, généralement une flamme, ou de la chaleur.

Le triangle de feu explique l'association des éléments indispensable pour la réaction de combustion.

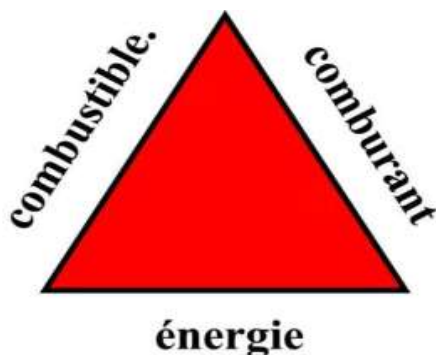


Figure 5: Triangle de feu [13]

II.1.1 Combustible

Ce sont des corps capables de réagir avec l'oxygène par une réaction exothermique d'oxydation. Pour simplifier, ce sont les corps contenant l'agent réducteur. Il y a trois sortes de combustibles selon leurs natures : les combustibles solides, les combustibles liquides et les combustibles gazeux. Pour qu'un combustible soit efficace,

c'est-à-dire pour que la réaction se poursuive normalement après l'amorçage, il faut que l'oxydation soit assez vive.

II.1.1.1 Combustible solide :

Ils sont d'origine végétale sauf pour les propergols (carburants pour fusées).

Exemples :

- le bois, qui est encore largement utilisé dans le monde dans sa forme brute
- le charbon, qui résulte de la décomposition ou de la fossilisation des végétaux
- la biomasse.

Une des caractéristiques de ces combustibles solides est la formation de braise lors de leur combustion. En général l'efficacité des combustibles solides dépend de la quantité de carbone qu'ils contiennent.

Le tableau suivant montre quelques exemples de combustible solide avec leur teneur en carbone :

Tableau 2 : Exemples de combustibles solides [10]

PRODUIT	TENEUR EN CARBONE EN%
CHARBON MARRON	12-16
BOIS	15-20
TOURBE	< 50
LIGNITE	50 - 60
FLAMBANT	70 - 80
CHARBON GRAS OU BITUMINEUX A COKE	75 - 90
CHARBON DE BOIS	80 - 85
CHARBON DEMI-GRAS OU SEMI- BITUMINEUX	80 - 90
CHARBON MAIGRE ET HOUILLE ANTHRACITEUSE	90 - 93
ANTHRACITE	93 - 97

II.1.1.2 Combustible liquide :

Généralement, ce sont des mélanges d'hydrocarbures liquides. Les combustibles liquides les plus utilisés proviennent du pétrole mais il y a aussi d'autres sources issues du traitement des végétaux (bioéthanol, biodiesel, ...).

- Les industries pétrolières distillent le pétrole brut en différentes fractions.

Parmi les fractions les plus légères, on retrouve l'essence qui contient des hydrocarbures avec des chaînes hydrocarbonées composée de 4 à 12 atomes de carbones.

La fraction moyenne de cette distillation est le kérosène ou encore appelé pétrole. Les hydrocarbures de cette fraction comptent de 12 à 16 en nombre d'atomes de carbones dans les chaînes.

Les hydrocarbures les plus lourds sont regroupés dans la fraction appelée mazout. Le gazole est la partie la plus légère de cette fraction de distillation. Il vient ensuite le mazout mi-lourd et le mazout lourd qui est la partie la plus lourde.

- Le biodiesel est un combustible liquide obtenue à partir du traitement de certaines huiles végétales ou de graisses animales. Ce combustible peut aussi être récupéré à partir du traitement des huiles de frites usagers.
- Le bioéthanol est produit à partir des produits de l'agriculture (maïs et canne à sucre par exemple) par le biais de procédés de fermentations. Cet alcool éthylique est une substance très volatile et hautement inflammable.

II.1.1.3 Combustibles gazeux :

Les combustibles gazeux sont des combustibles déjà à l'état gazeux lors de leur extraction dans les mines ou lors de leur récupération à partir d'autres exploitations.

Les combustibles gazeux les plus utilisés sont les mélanges d'hydrocarbures gazeux avec éventuellement de l'azote et ou du dioxyde de carbone. Ils peuvent provenir de gisements naturels ou de fractions gazeuses obtenues par traitement du pétrole brut.

Le dihydrogène aussi est un combustible gazeux de plus en plus utilisé sauf que sa réaction avec l'oxygène de l'air produit des molécules d'eau contrairement aux combustibles gazeux contenant des chaînes hydrocarbonées.

Il existe aussi des combustibles gazeux obtenus par forage. Ce sont les gaz de schiste qui sont des gaz naturels générés par la décomposition de l'argile. On trouve des gisements de gaz de schiste partout dans le monde.

Le tableau suivant montre quelques exemples de combustibles gazeux :

Tableau 3: Combustibles gazeux [9]

GAZ	FORMULE BRUTE
METHANE	CH ₄
ETHANE	C ₂ H ₆
PROPANE	C ₃ H ₈
BUTANE	C ₄ H ₁₀

II.1.2 Le comburant :

Le comburant est l'autre réactif de la réaction de combustion. C'est l'agent qui contient les espèces oxydantes.

Le plus souvent, l'air ambiant sert de comburant à la plupart des réactions de combustion. En fait, le dioxygène qui y est présent participe à la réaction d'oxydation du combustible. Il est important de connaître la composition de l'air ambiant dans ce cas.

Tableau 4: Composition de l'air [9]

COMPOSANT	PRESSION PARTIELLE EN BAR	MOL PAR MOL D'AIR
N₂	0,7665	0,7565
O₂	0,2056	0,2030
AR	0,0091	0,0090
H₂O	0,0316	0,0312
CO₂	0,0003	0,0003

Dans certains cas on utilise de l'oxygène « pur » pour effectuer la combustion. Ceci permet non seulement d'améliorer le rendement mais aussi d'augmenter considérablement la température de la flamme.

On peut aussi incorporer le comburant préalablement avec le combustible sous forme d'alliage chimique comme le cas de la nitroglycérine de formule $C_3H_5N_3O_9$ où le comburant et le combustible sont « greffés » ensemble sur le même corps.

Remarque :

Seuls des matériaux sous forme gazeuse peuvent brûler car ils offrent la possibilité de très bien se mélanger avec un comburant, ce qui n'est pas le cas des liquides ou des solides où le comburant principal, le dioxygène, ne peut pénétrer au cœur de la substance.

II.1.3 Les produits de la réaction de combustion

Les produits de la combustion sont principalement :

- Le dioxyde de carbone (CO_2)
- Le monoxyde de carbone (CO)
- La vapeur d'eau (H_2O)
- Les anhydrides sulfureux (SO_2) dans le cas de combustion de produits contenant du soufre.

Eventuellement on peut y classer des espèces présentes lors de la réaction mais n'y ayant pas participé, car ils font quand même partie de la fumée :

- Le dioxygène (O_2)
- Le dihydrogène (H_2)
- Les imbrûlés solides (suies,...) ou gazeux (hydrocarbures).

Dans des cas où la température de la flamme avoisine les 2000 kelvins, il peut se produire la combustion de l'azote (N_2) qui conduit à la formation de NO et NO_2 [14].

Les études sur ces produits de la combustion sont très importantes pour déterminer et améliorer le rendement de la réaction et ainsi améliorer son efficacité.

II.1.4 Activateur

La réaction est déclenchée par une énergie d'activation, généralement de la chaleur ou une flamme ou aussi une étincelle dans le cas des hydrocarbures.

Exemples :

- l'allumette brûle grâce l'échauffement par frottement
- l'allume gaz et la pierre à briquet produisent une étincelle, pour activer la combustion des hydrocarbures
- la bougie d'allumage dans la chambre de combustion d'un moteur à allumage commandé provoque la combustion du carburant par la production d'étincelle électrique.

Il existe d'autres formes d'énergies d'activation comme l'arc électrique, la radiation, ou encore l'élévation de la température par compression de l'air.

Il existe cependant des cas où le facteur déclenchant la combustion n'est pas l'énergie d'activation. Par exemple, l'explosion de fumées est une combustion très violente des gaz imbrûlés présents dans les fumées (voir combustion incomplète) provoquée par un apport soudain d'air. L'intervalle dans lequel le mélange air/gaz pourra brûler est borné par les limites d'explosivité. Cet intervalle peut varier de quelques pour cent (kérosène) à plusieurs dizaines de pour cent (acétylène).

La production de chaleur par la combustion permet à la réaction de s'auto-entretenir dans la plupart des cas, voire de s'amplifier en une réaction en chaîne.

II.2. CARACTERISTIQUES :

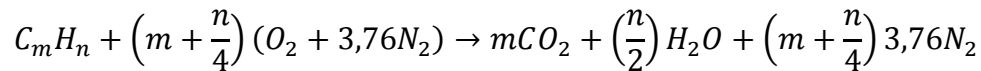
II.2.1 Combustion stœchiométrique

Pour que la combustion soit stœchiométrique, il faut qu'il y ait exactement assez de comburant pour oxyder totalement le combustible. Il n'y aura donc plus de produits oxydables parmi les produits de la réaction en même temps qu'il n'y a plus d'oxygène dans ces fumées. De ce fait, ce type de réaction conduit à la température la plus élevée

que l'on peut atteindre pour les fumées car il n'y a pas d'excès d'air et pas d'atténuation de la température.

La combustion stœchiométrique est considérée ainsi comme une combustion idéale (température maximum, pas de gaspillage de réactifs).

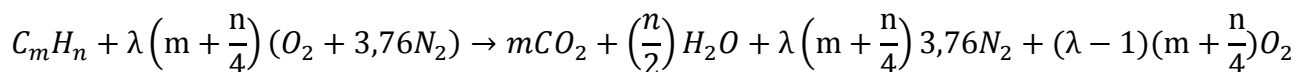
Par exemple, pour un hydrocarbure, l'équation de la réaction de combustion stœchiométrique (en ne considérant que la présence de l'azote comme espèce neutre dans la réaction) est :



II.2.2. Combustion non stœchiométrique

Dans la pratique, les réactions de combustion sont non stœchiométriques. En effet pour que l'on puisse arriver à une combustion complète, on a tendance à opérer sous un excès d'air pour pouvoir éliminer tous les éléments oxydables du combustible. Cela a pour effet de diluer la température des fumées la rendant moins élevée que pour une combustion idéale.

Les réactions de combustion sont par conséquent caractérisées par un coefficient d'air λ et l'équation de la réaction pour l'hydrocarbure pris auparavant s'écrit :



Deux autres manières existent pour caractériser l'écart à la stœchiométrie :

- L'excès d'air $e = \lambda - 1$ qui est utilisé dans le domaine des chaudières,
- La richesse: $R = \Phi = \frac{1}{\lambda}$ qui est utilisée dans le domaine des moteurs automobiles.

Par définition, la richesse R est le rapport du nombre de moles de combustible contenu dans une quantité déterminée de mélange au même nombre dans le mélange stœchiométrique.

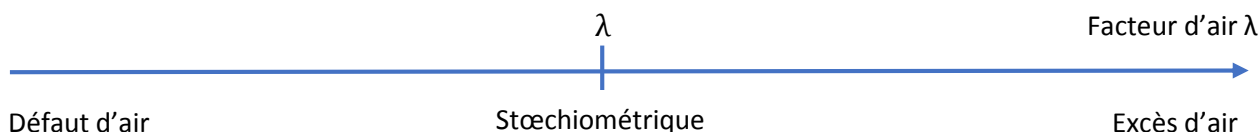


Figure 6: Stœchiométrie de la combustion par rapport à λ

II.2.3 Combustion non complète (combustion incomplète)

Le cas d'une combustion incomplète se produit lorsqu'à la fin de la combustion une certaine quantité d'espèces non oxydées existent encore. Ces matières non oxydées restantes sont appelées « imbrûlés ».

Les causes principales de la présence de ces imbrûlés sont souvent :

- Un mélange combustible-comburant non homogène qui entraîne un manque local d'oxygène
- Une température trop basse qui entraîne une combustion peu réactive.

Habituellement incomplète, seul le contrôle des conditions permet d'obtenir une combustion presque complète, en apportant un excès de dioxygène à haute température par exemple. En cas de combustion incomplète, il est possible de traiter les fumées pour réduire les imbrûlés ainsi que le font les pots d'échappement et les filtres à particules des moteurs d'automobiles. La présence de catalyseurs assure alors une seconde combustion à plus faible température. Des filtres à particules sont également développés pour les équipements de combustion du bois, qui est particulièrement exposé au risque de combustion incomplète.

Analytiquement, la combustion d'un hydrocarbure devrait aboutir aux produits : CO_2 et H_2O . Comme la réaction n'est pas complète, la formation de CO_2 et de H_2O n'est pas la même que lors d'une combustion complète. Il en résulte les constantes de dissociation du CO_2 et de H_2O que l'on notera k_1 et k_2 .

L'équation va se réécrire en y retrouvant ces deux constantes :

$$\begin{aligned}C_m + \lambda \left(m + \frac{n}{4}\right) (O_2 + 3,76N_2) \\ \rightarrow (1 - k_1)mCO_2 + k_1mCO + (1 - k_2) \left(\frac{n}{2}\right) H_2O + k_2 \left(\frac{n}{2}\right) H_2 + \\ \lambda \left(m + \frac{n}{4}\right) 3,76N_2 + \left[(\lambda - 1) \left(m + \frac{n}{4}\right) + m \left(\frac{k_1}{2}\right) + \left(\frac{n}{4}\right) k_2\right] O_2\end{aligned}$$

Ceci explique que:

- pour une combustion complète : $k_1 = k_2 = 0$ les espèces oxydables ont toutes été oxydées en CO_2 et H_2O
- pour la combustion incomplète : $k_1 \neq 0$ et/ou $k_2 \neq 0$ il reste des espèces non oxydées : CO , H_2 ou C_mH_n

Les constantes de dissociation k_1 et k_2 du CO_2 et de l'eau sont liées par la constante K_P caractérisant la réaction d'équilibre entre les imbrûlés :



Par la loi d'action de masse on obtient la relation :

$$K_p = \frac{[CO][H_2O]}{[CO_2][H_2]}$$

D'après la réaction de combustion :

$$\frac{[CO]}{[CO_2]} = \frac{k_1 m}{(1 - k_1)m}$$

Et

$$\frac{[H_2O]}{H_2} = \frac{(1 - k_2) \left(\frac{n}{2}\right)}{k_2 \left(\frac{n}{2}\right)}$$

D'où :

$$K_p = \frac{k_1(1 - k_2)}{k_2(1 - k_1)}$$

Par conséquent :

- si K_P est strictement supérieure à 1, l'équilibre est déplacé vers la droite et les espèces stables sont CO et H₂O
- si K_P est strictement inférieure 1, l'équilibre est déplacé vers la gauche et les espèces stables sont CO₂ et H₂

L'analyse des fumées permet de connaître les constantes de dissociation k_1 et k_2 puis de calculer la constante K_P .

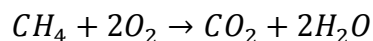
Remarque :

En tant que réaction chimique, la combustion peut être favorisée par l'utilisation d'un catalyseur. En introduisant un catalyseur dans la réaction, la réaction peut se produire à des températures moins élevées pour un rendement plus haut. Ceci permet une combustion complète comme dans le cas des pots catalytiques. La présence de métaux catalytiques brûle les résidus des gaz d'échappement à une température inférieure à celle régnant dans le moteur [9].

II.3. CHIMIE DE LA COMBUSTION

La combustion est une réaction chimique qui se déroule de façon à ce que les molécules complexes soient dissociées pour subir ensuite un réarrangement des liaisons atomiques et former des molécules plus petites et plus stables. Les liaisons C-C, C-H et O=O sont brisées pour former des liaisons C=O et O-H.

Exemple : la combustion du méthane :



Cette réaction montre la dissociation du méthane considéré comme instable pour donner des molécules plus stables: le dioxyde de carbone CO₂ et l'eau H₂O.

Il faut fournir suffisamment d'énergie à un produit inflammable (qu'il soit solide ou liquide) pour qu'il commence à se vaporiser ou se décomposer en éléments vaporisables et combustibles.

Le seuil de température atteint à cette occasion est appelé point d'éclair. Certains produits ont leur point d'éclair largement en dessous de la température ambiante, ce qui en fait des substances très inflammables, car il suffit de peu d'énergie d'activation comme une simple étincelle pour amorcer la combustion.

Par exemple, une allumette jetée dans un bac de gazole à température ambiante n'aura aucun effet, car son point d'éclair étant de 68 °C, la flamme sera noyée dans le gazole avant d'avoir pu transmettre assez de chaleur pour en vaporiser suffisamment. À l'inverse, une allumette jetée dans un bac d'essence, dont le point d'éclair est d'environ -40 °C, suffira pour enflammer les vapeurs déjà présentes sous forme de gaz à la surface du liquide.

Lorsque la combustion produit suffisamment d'énergie pour s'entretenir d'elle-même, la température a dépassé le point d'inflammation [9].

II.3.1 Equations chimiques de base :

Les équations chimiques de base lors de la combustion du carbone C et de l'hydrogène H sont:

Carbone C :



Hydrogène H :



Δh_0 est l'enthalpie standard de la réaction ou aussi la chaleur de la réaction par unité de masse du combustible (le carbone et l'hydrogène). Elle est définie pour les conditions standards :

P_0 =pression atmosphérique=1 bar

T_0 =température ambiante= 25°C ou 298,15K

En reliant les grandeurs massiques avec les grandeurs molaires par la relation :

$$\Delta_r H^0 = M \cdot \Delta_r h^0$$

Où M est la masse molaire du combustible.

Les enthalpies de réaction de chaque réaction ci-dessus deviennent :

$$\Delta_r H^0 = -393500 \text{ J/mol} \quad (1)$$

$$\Delta_r H^0 = -110500 \text{ J/mol} \quad (2)$$

$$\Delta_r H^0 = -283000 \text{ J/mol} \quad (3)$$

$$\Delta_r H^0 = -285900 \text{ J/mol} \quad (4)$$

$$\Delta_r H^0 = -241800 \text{ J/mol} \quad (5)$$

Dans la combustion des hydrocarbures, des équations plus complexes surviennent.

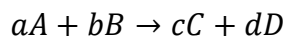
Exemple : la combustion du méthane CH_4 donne :



II.3.2 Pouvoir calorifique

La quantité de chaleur dégagée lors de la combustion complète d'une unité (en masse ou en mole) de combustible est appelée « pouvoir calorifique ».

Soit une réaction de combustion :



a, b, c et d sont les coefficients stœchiométriques de chacun des réactifs et produits présent dans la réaction.

On définit le pouvoir calorifique comme l'opposé de l'enthalpie standard de la réaction :

$$PC = -\Delta_r H^0$$

avec : $\Delta_r H^0 = (c \cdot \Delta_f H_C^0 + d \cdot \Delta_f H_D^0) - (a \cdot \Delta_f H_A^0 + b \cdot \Delta_f H_B^0)$

Et $\Delta_f H^0$ est l'enthalpie standard de formation de chaque composé.

D'après la deuxième relation, on voit que $\Delta_f H^0$ est fonction de a, b, c et d. D'une manière générale, maîtriser la stœchiométrie de la combustion permet de maîtriser la quantité d'énergie libérée par unité de matière de combustible et ainsi de maximiser le rendement [9].

Selon l'état physique des produits (liquide ou vapeur), on distingue le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS). Evidemment, le PCS est supérieur au PCI. La distinction entre les pouvoirs calorifiques inférieurs et supérieurs n'intervient que pour les combustibles contenant de l'hydrogène ou de l'eau.

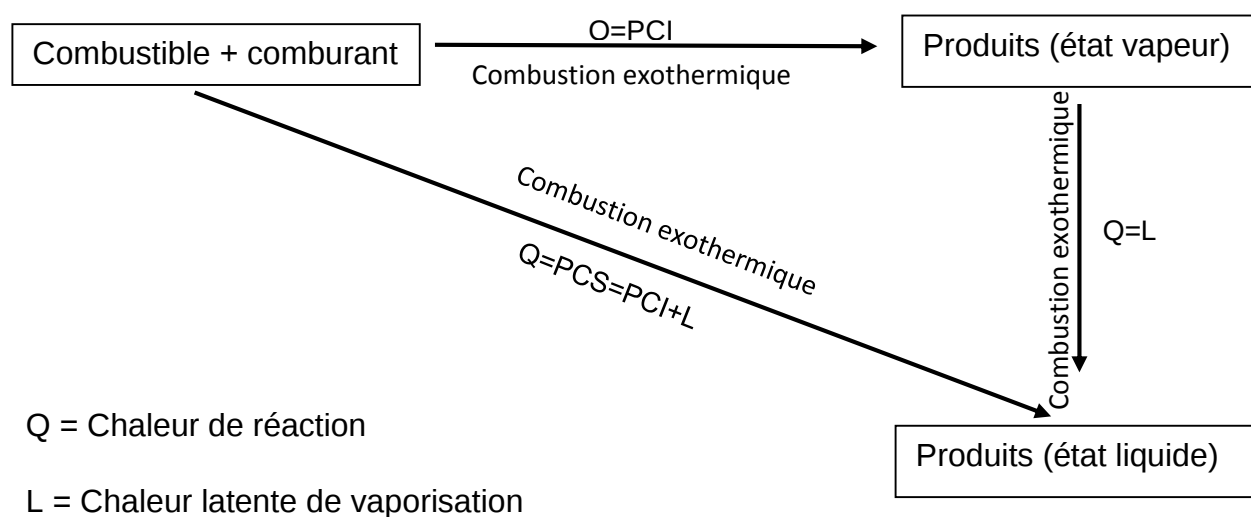


Figure 7: Différence entre PCI et PCS [15]

Le tableau suivant présente quelques valeurs de PCI :

Tableau 5: Exemples de PCI [15]

Combustible	Etat physique	PCI [MJ/kg]
Tourbe	solide	13
Bois	solide	15,3
Anthracite	Solide	34
Ethanol	Liquide	26,9
Fuel domestique	Liquide	42
Diesel	Liquide	43
Essence	Liquide	44
Butane	Gazeux	45,8
Propane	Gazeux	46,4
Méthane	Gazeux	50
Dihydrogène	Gazeux	121

II.4 L'EXPLOSION

L'explosion est une transformation rapide d'une matière en une autre matière ayant un volume plus grand, généralement sous forme de gaz.

Il existe des causes diverses d'explosions mais dans le cas de la combustion, l'explosion résulte d'une réaction chimique.

Elle a pour conséquence une surpression locale et momentanée qui met en mouvement la matière vers les zones où règne une pression ambiante plus faible. Plus la transformation s'effectue rapidement, plus la surpression est forte et plus le mouvement des produits de combustion est rapide [16].

On distingue deux types d'explosion : la déflagration et la détonation.

II.4.1 La déflagration

La déflagration se produit lorsque la température du mélange frais ou la concentration en carburant est suffisamment élevée.

Dans ce cas, la quantité de chaleur dégagée par la combustion dans le réacteur est supérieure à la quantité de chaleur transférée à l'extérieur du système en réaction.

La vitesse du front de flamme de la combustion caractérise les phénomènes physiques de l'explosion. Cette vitesse est en rapport avec le nombre de Mach.

Le nombre de Mach, noté Ma , est le rapport entre la vitesse d'un gaz et celle du son dans le même milieu. Si Ma est inférieur à 1 : l'inflammation se fait par transfert thermique et diffusion de radicaux libres [15].

Le tableau suivant montre les caractéristiques de la déflagration :

Tableau 6: Caractéristiques de la déflagration [9]

	Carctéristiques
Vitesse du front de flamme	0,2 à 5m/s Elle dépend de la forme et des dimensions de l'enceinte de combustion.
Sens du mouvement des produits de la combustion	Les produits ont une vitesse de sens opposé à celui du front de la flamme
Différence de pression au front de flamme	Faible ou très faible
Onde de pression	En avant du front de flamme
Limite de déflagration	Limites d'inflammabilités
Energies minimales d'amorçage par étincelles	Inférieur à 1 milli-J
Mécanisme	Transmission de chaleur et diffusion de centres actifs

II.4.2 La détonation :

La détonation se produit lorsque l'explosion est violente. Elle se traduit par la présence d'une onde de choc. Elle se produit dans un mélange homogène de gaz combustible et de comburant, ou pré mélange, mais aussi dans des explosifs condensés. Elle est constituée par une onde de choc se propageant dans le mélange, immédiatement suivie par une zone de réaction où se produit la combustion.

La flamme de pré-mélange se propage dans le mélange à une vitesse inférieure à celle du son (subsonique).

À l'arrière du front d'une onde de choc dans un mélange combustible, il peut y avoir une flamme créée par l'augmentation de pression et de température du mélange frais dans le front de l'onde de choc. La flamme se déplace avec le front de l'onde de choc.

Si Ma est supérieur à 1, l'inflammation se fait par compression (adiabatique) [15].

Le tableau suivant montre les caractéristiques de la détonation :

Tableau 7: Caractéristiques de la détonation [9]

	Carctéristiques
Vitesse du front de flamme	Plus de 1000 m/s Peu sensible aux formes et dimensions de l'enceinte de combustion
Sens du mouvement des produits de la combustion	Les produits sont lancés dans le même sens que le front de flamme
Différence de pression au front de flamme	15 à 40 bars
Onde de pression	Confondue avec le front de flamme
Limite de déflagration	Plus resserrées que les limites d'inflammabilités
Energies minimales d'amorçage par étincelles	1000 fois les énergies minimales des déflagrations
Mécanisme	L'onde de choc, par compression, provoque l'échauffement et l'inflammation

CHAPITRE III : LES CARBURANTS

III.1 GENERALITES SUR LES CARBURANTS :

III.1.1 Définitions :

Un carburant est un combustible dont la combustion est directement utilisée pour faire fonctionner des moteurs thermiques. Lors de la combustion des carburants, une partie de l'énergie chimique libérée est transformée en énergie mécanique qui servira à faire fonctionner le moteur. L'autre partie de l'énergie libérée se dissipe sous forme de chaleur.

Les carburants ont la particularité d'avoir une grande densité énergétique. Ils peuvent dans ce cas libérer beaucoup d'énergie lors de la combustion pour une masse ou un volume plus réduit que la plupart des combustibles.

Dans la plupart des cas, les carburants se trouvent sous forme liquide. Ceci constitue un avantage sur le plan de la compacité, de la facilité de manipulation et de la sécurité. Il existe toutefois des carburants à l'état gazeux, dont il est nécessaire de prendre certaines dispositions lors de l'emploi et le stockage.

Les carburants sont caractérisés par leur :

- densité,
- point d'éclair,
- pouvoir calorifique,
- température d'ébullition
- température d'auto-inflammation,
- pression de vapeur,
- densité de vapeur,
- viscosité.

Remarque :

Bien que le terme 'carburant' désigne des substances dont les molécules comportent des atomes de carbone, le dihydrogène H_2 est considéré comme étant un carburant du fait de son utilisation dans l'alimentation des moteurs thermiques.

Les carburants peuvent être classés de différentes manières. Selon leurs méthodes d'extractions on distingue les :

- carburants pétroliers,
- biocarburants,
- gaz naturels pour véhicules,
- carburants synthétiques.

III.1.2 Les carburants pétroliers :

Ce sont les carburants obtenus à partir du traitement du pétrole brut par distillation fractionnée. Cette distillation permet la récupération de divers produits. Le schéma suivant montre les différentes coupes de cette distillation.

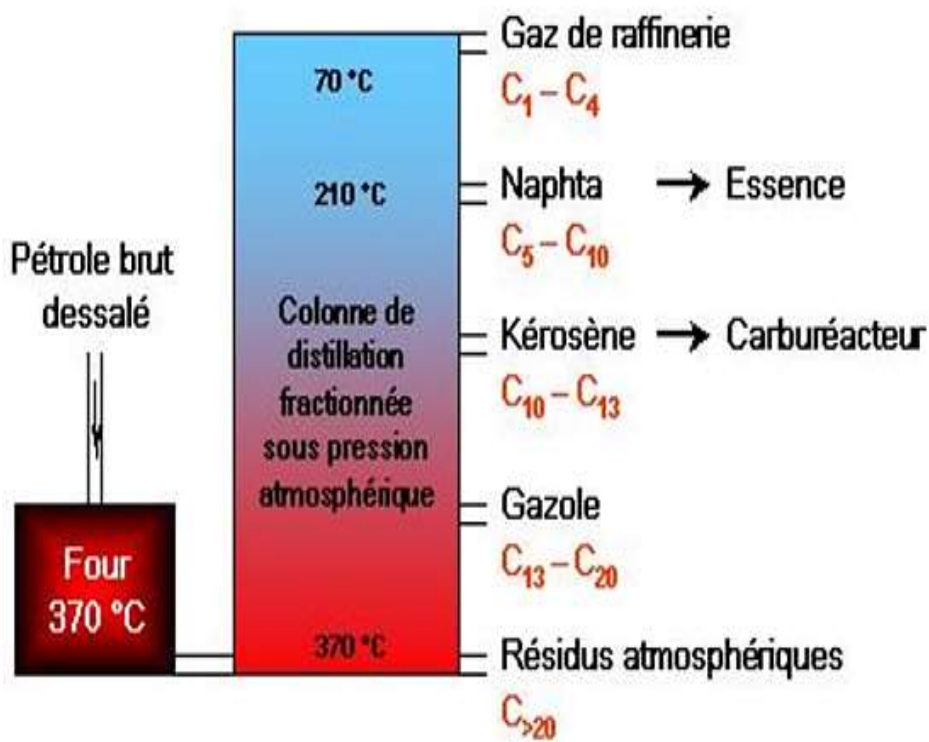


Figure 8: Les différentes coupes lors de la distillation fractionnée du pétrole [17]

Les colonnes de distillations utilisées ont généralement une hauteur de soixante mètres où règne une température variant de 370 à 70 degrés qui décroît en hauteur. Elles sont aménagées de telle sorte que les coupes puissent être retirées à des hauteurs différentes.

Les hydrocarbures les plus lourds (avec des molécules ayant plus de 20 atomes de carbone chacun) sont en fond de colonne car ils ont le point d'ébullition le plus haut. Il vient ensuite, par ordre décroissant du point d'ébullition : le gazole, le kérosène et le naphta. Les éléments les plus volatils sont récupérés à l'état gazeux en tête de colonne.

Le tableau suivant montre les caractéristiques de quelques carburants pétroliers :

Tableau 8: Propriétés physiques de quelques carburants pétroliers [18]

	Essence	Kérosène	Gazole
Densité	0,755	0,77 à 0,83	0,845
Point d'éclair (°C)	-40	49 à 55	55
Pouvoir calorifique (kJ/kg)	44000	43105	43000
Température d'ébullition (°C)	20 à 200	150 à 300	170 à 390
Température d'auto-inflammation (°C)	300	220	250
Pression de vapeur (kPa)	45-90 (à 37,8 °C)	Inférieur à 0.01 (à 20°C)	100 (à 20 °C)
Densité de vapeur	3 à 4	4,5	5
Viscosité (mm²/s)	0,5-0,75 (à 20 °C)	-	7

Les applications des carburants pétroliers sont très nombreuses mais c'est surtout dans l'industrie de l'automobile, des cyclomoteurs, de l'aviation et du transport maritime que leur utilisation prospère.

III.1.3 Les Biocarburants et carburants synthétiques :

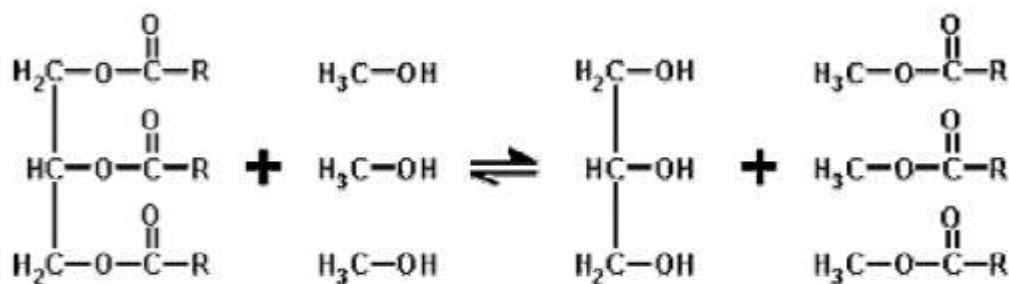
III.1.3.1 Les biocarburants

Ce sont les carburants produits à partir de la biomasse, c'est-à-dire à partir de matières organiques non fossiles. Les biocarburants ou agro-carburants sont les substituts aux combustibles fossiles. Ils peuvent être utilisés purs ou comme additifs aux carburants fossiles. Il existe deux filières principales de production de biocarburants : les biocarburants obtenus à partir d'huiles et ceux obtenus à partir d'alcools.

- La filière huile :

L'huile végétale carburant et le biodiesel sont obtenus par traitement de l'huile végétale issue de graines oléagineuses comme le colza ou le tournesol, mais aussi à partir de graisses animales ou d'autres acides gras et même de certaines algues.

Le procédé de transestérification permet la production du biodiesel. Ce procédé consiste à faire réagir à froid un mélange d'huiles végétales, de graisses animales ou d'huiles à base de micro algues avec un alcool (souvent de l'éthanol ou du méthanol) en présence d'un catalyseur : l'hydroxyde de sodium ou l'hydroxyde de potassium.



Les produits esters méthyliques ou éthyliques ont une masse moléculaire égale au tiers de celles des acides gras des huiles et des graisses. Ces produits ont alors des propriétés physiques proches du diesel.

Le tableau suivant illustre une comparaison entre le diesel l'huile de colza et l'ester méthylique obtenu à partir de l'huile de colza.

Tableau 9: Comparaison des caractéristiques entre le diesel, l'huile de colza et l'ester méthylique [19]

	Point de fusion	Densité	Indice de cétane
Diesel	-12°C	0,84	48/52
Huile de colza	Inférieur à 2°C	0,91	32/36
Ester méthylique	-10°C	0,88	49/50

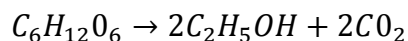
- La filière alcool :

Les biocarburants alcools sont principalement produits par la fermentation alcoolique des sucres, de l'amidon, de la cellulose ou encore des lignines hydrolysées. Il existe cependant d'autres sources de biocarburants alcools comme la synthèse du méthanol à partir du méthane.

L'éthanol C_2H_5OH est le produit de la fermentation des sucres. Le bio éthanol est l'éthanol obtenu à partir de la fermentation des sucres fermentescibles contenus dans la biomasse. Le bio éthanol peut être produit à partir de substrats riches en sucrose (canne à sucre, betterave sucrière, ...) ou en amidon (maïs, orge, blé, ...), mais aussi à partir de substrats cellulosique tels que les résidus agricoles ou les résidus forestiers.

La fermentation alcoolique est assurée par une levure du genre *Saccharomyces*. Ces levures exécutent cette transformation en l'absence d'oxygène, la fermentation alcoolique est considérée dans ce cas comme un processus anaérobie.

La réaction chimique globale pour la fermentation alcoolique du glucose s'écrit:



Le procédé de fabrication de l'éthanol suit les étapes représentées sur la figure suivante:

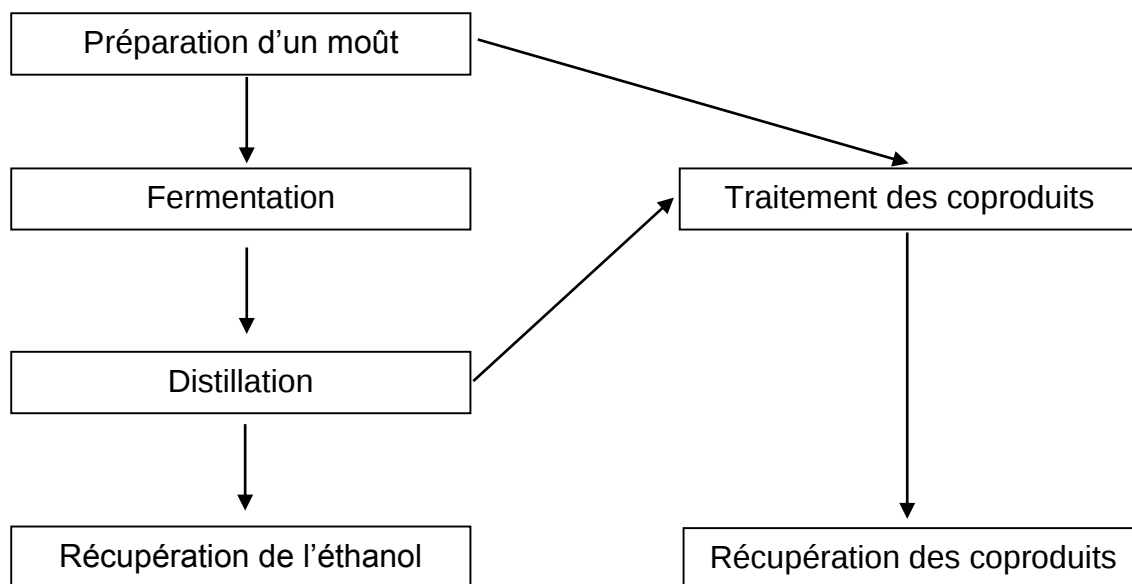


Figure 9: Différentes étapes du procédé de production du bioéthanol [20]

III.1.3.2 Les carburants synthétiques

Les carburants synthétiques sont obtenus par traitement d'un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène appelé gaz de synthèse.

Ces carburants sont plus performants, plus légers et plus propres que les carburants pétroliers correspondants. Cela est surtout dû au fait que le carburant synthétique est plus pur que les carburants pétroliers.

Cette différence se voit dans la comparaison représentée par la photo qui suit :

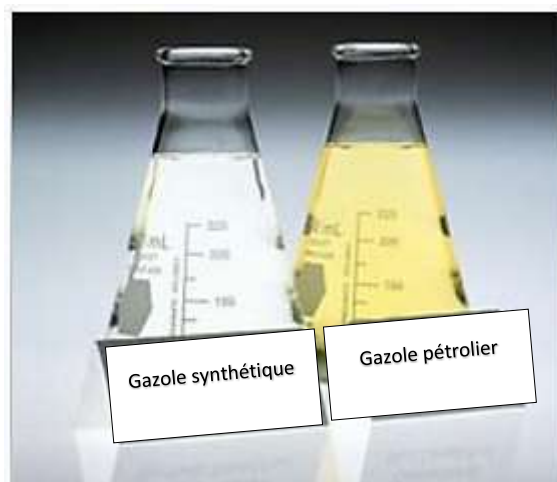


Photo 1: Comparaison du gazole synthétique et du gazole pétrolier [21]

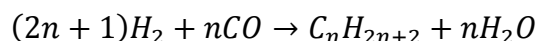
La réaction chimique principale qui permet la synthèse de ce type de carburant est appelé procédé ou réaction de Fischer-Tropsch et utilise fortement des catalyseurs tels que le fer ou le cobalt et aussi le nickel [22].

Les étapes du procédé peuvent être divisées en trois grandes parties :

- La production d'un gaz de synthèse,
- La transformation de ce gaz par le procédé Fischer-Tropsch (ou réaction de Fischer-Tropsch),
- L'hydrocraquage du brut de synthèse en produits finaux (naphta, kérosène, essence ou gazole, huiles de base pour lubrifiants, cires, produits de spécialité).

Le gaz de synthèse peut être obtenu à partir de charbon, de la biomasse ou de gaz naturel. En fonction de la matière première, il y a le CTL (coal to liquids, du charbon vers les liquides), le BTL (biomass to liquids, de la biomasse vers les liquides) et le GTL (gas to liquids, des gaz vers les liquides).

La réaction de Fischer-Tropsch est donnée par l'équation :



Lors de cette réaction, il peut se former des 1-alcènes (en quantité importante pour l'utilisation du nickel comme catalyseur) et une infime quantité d'alcools, de cétones, d'aldéhydes et d'esters.

Les produits de la réaction se présentent sous la forme de cires solides à température ambiante ou d'un mélange liquide d'hydrocarbures. Ces produits sont ensuite transformés par hydro-isomérisation pour obtenir le carburant synthétique désiré.

III.2 L'ESSENCE

III.2.1 Propriétés de l'essence

L'essence est un liquide inflammable obtenue par la distillation du pétrole. Elle est prélevée à partir de la coupe de distillation appelé naphta qui contient des hydrocarbures ayant dans chaque molécule 5 à 10 atomes de carbone. C'est un mélange

d'hydrocarbures, auxquels peuvent être ajoutés des additifs pour carburant. Elle est utilisée comme carburant dans les moteurs à combustion interne.

L'essence est essentiellement composée par les paraffines, les cyclo paraffines, les hydrocarbures oléfiniques et les aromatiques.

Les propriétés physiques de l'essence sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 10: Propriétés physiques de l'essence [23]

Température de fusion	Inférieure à 60°C
Température d'ébullition	20 à 200°C
Solubilité	100 à 250 mg.l ⁻¹ dans l'eau
Masse volumique	680 à 790 kg.m ⁻³ à (15 °C)
T° d'auto-inflammation	Environ 300 °C
Point d'éclair	-40 °C
Limites d'explosivité dans l'air	1,3–7,1 %vol
Pression de vapeur saturante	350900 hPa (37,8 °C)

D'après le tableau, l'essence est pratiquement non soluble dans l'eau. Son point d'éclair très bas le rend très inflammable.

III.2.2 Composition de l'essence

Les carburants usuels n'ont pas une composition bien définie. Ce sont des mélanges d'hydrocarbures qui varient avec l'origine géographique du pétrole utilisé et les procédés de raffinage appliqués.

Les proportions, en pourcentage, des différents composés hydrocarbonés présents dans l'essence sont :

- 20 % à 30 % d'alcane, hydrocarbures saturés de formule C_nH_{2n+2}
- 5 % de cyclo alcane, hydrocarbures saturés cycliques
- 30 % à 45 % d'alcènes, hydrocarbures insaturés
- 30 % à 45 % d'hydrocarbures aromatiques, de la famille du benzène
- et divers additifs techniques [23].

L'analyse élémentaire d'un échantillon d'essence pure non mélangé avec un additif montre qu'elle est constituée (en masse) de 84 % de carbone et 16 % d'hydrogène.

Ces proportions permettent d'établir une formule chimique empirique pour l'essence. Après calcul, l'essence a pour formule chimique fictive C_8H_{18}

III.2.2.1 Caractéristiques de quelques composants

Parmi les alcanes contenus dans l'essence, deux jouent un rôle particulier : l'octane C_8H_{18} et l'heptane C_7H_{16} . Ils possèdent en effet des propriétés radicalement différentes du point de vue de leur tendance à l'auto-allumage.

- L'octane :

Les propriétés de l'octane à ne pas s'enflammer facilement inhibent l'auto-allumage pour permettre un allumage uniquement par l'intermédiaire de la bougie. Par conséquent, la déflagration provoquée par la combustion ne sera créée qu'au moment voulu créant ainsi une stabilité dans le fonctionnement du moteur.

Pour les moteurs à allumage commandé (cas du moteur deux temps), une essence riche en octane est donc plus appropriée.

- L'heptane :

Contrairement à l'octane, l'auto-allumage est plus facile avec l'heptane : pour des taux de compression élevés, l'allumage aura lieu sans que la bougie n'intervienne.

On appelle ce phénomène le cliquetis. Il provoque, en outre, la formation d'ondes de choc dans le cylindre caractérisant un bruit distinctif. Dans le pire des cas, il peut y avoir création d'une détonation qui peut aller jusqu'à faire fondre le piston, le front de flamme se déplaçant plus vite que le son en se couplant à l'onde de choc.

III.2.2.2 Indice d'octane

L'indice d'octane mesure la résistance de l'essence utilisé dans un moteur à allumage commandé à l'auto-allumage.

Par exemple, une essence a un indice d'octane de 95 lorsqu'elle se comporte comme un mélange à 95% d'isooctanes au point de vue auto-allumage, et de 5% de n-heptane.

Par définition, le 2, 2,4-triméthylpentane qui est très résistant à l'auto inflammation possède un indice d'octane de 100, tandis que celui du n-heptane est de 0.

On comprend par ailleurs que les mélanges composés exclusivement d'heptane et d'isooctane auront tous des indices d'octane compris entre 0 et 100.

Des mélanges avec d'autres produits permettent néanmoins d'avoir des indices d'octane supérieur à 100, il faut alors les définir par extrapolation : certaines essences de compétition, dites « essences aviation » atteignent environ 110.

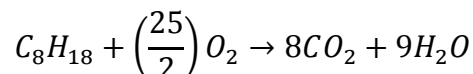
Pendant de très nombreuses années, pour diminuer la tendance à la détonation, on ajoutait à l'essence une certaine quantité de plomb tétra-méthyle $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ ou mieux de plomb tétra-éthyle $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$. Ce procédé conduisait à l'augmentation artificielle conséquente de l'indice d'octane. Par exemple : pour l'ajout de 1 gramme de plomb tétra-éthyle par litre d'essence on gagnait jusqu'à 10 point sur l'indice d'octane. Cela permettait aussi de favoriser la lubrification des moteurs. Néanmoins, cette astuce a été abandonnée à cause du fort rejet de plomb dans l'environnement. Malgré cela, des alternatives existent maintenant pour continuer à augmenter cet indice d'octane par ajout de substances antidétonant.

Un carburant dont l'indice d'octane est trop faible a tendance à provoquer une combustion trop brutale. En plus, il présente aussi une fâcheuse tendance à l'auto-inflammation lors de la compression dans les cylindres du moteur et au cliquetis. Plus le taux de compression du moteur est élevé, plus la température atteinte lors de la compression des gaz sont élevée et plus l'indice d'octane doit se rapprocher de 100. L'augmentation du taux de compression améliore, conformément aux lois de la thermodynamique, le rendement du moteur, en augmentant l'écart des températures de la source chaude et de la source froide. Un moteur conçu pour fonctionner avec un carburant ayant un certain indice d'octane peut sans problème être alimenté avec un autre carburant d'indice plus élevé, mais pas l'inverse.

III.2.3 Combustion de l'essence dans le moteur

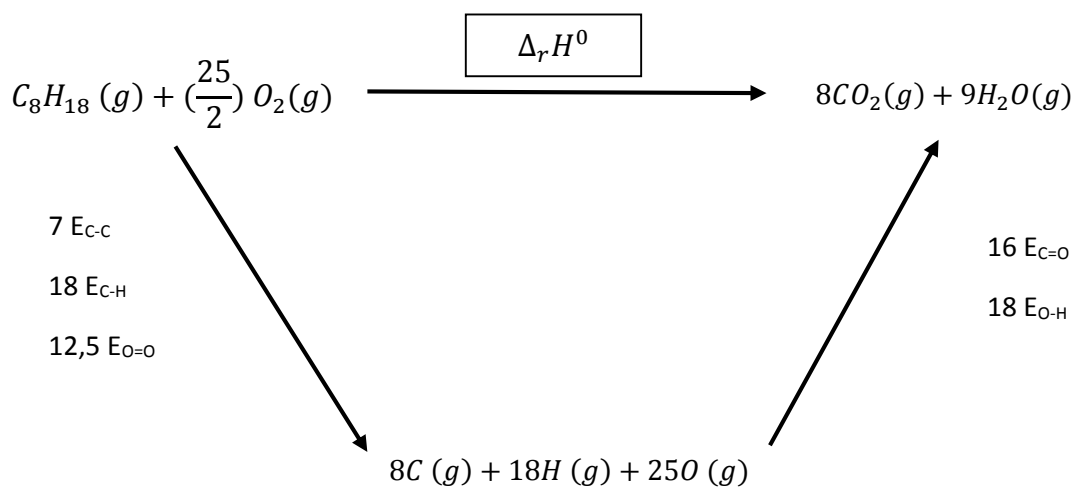
III.2.3.1 Chimie de la combustion de l'essence

La réaction simplifiée de combustion de l'octane est :



Dans un moteur, c'est la réaction de combustion de l'essence qui dégage l'énergie nécessaire au fonctionnement.

Le cycle thermodynamique qui permet de retrouver la valeur de $\Delta_r H^0$ par les énergies de liaisons est représenté dans le schéma suivant :



Avec :

$E_{C-C}=348$ kJ/mol, $E_{C-H}=410$ kJ/mol, $E_{O-H}=460$ kJ/mol, $E_{C=O}=795$ kJ/mol, $E_{O=O}=494$ kJ/mol

D'après les énergies de liaisons on peut calculer $\Delta_r H^0$:

$$\Delta_r H^0 = 7E_{C-C} + 18E_{C-H} + 12,5E_{O=O} - 16E_{C=O} - 18E_{O-H} = -5000 \text{ kJ/mol}$$

L'enthalpie standard de réaction, $\Delta_r H^0$ de cette combustion est de l'ordre de -5000 kJ/mol elle est donc très exothermique. Ceci montre qu'une grande quantité d'énergie est

disponible, stockée sous une forme chimique dans le carburant qu'est l'essence. Cette énergie est libérée principalement au cours du réarrangement des liaisons chimiques.

L'essence est caractérisée par son Pouvoir Calorifique (PC), qui est la quantité d'énergie libérée par la combustion complète d'une masse d'un kg.

$PC = - \Delta_r H^0 / M$ où M est la masse molaire de la substance considérée. Dans le cas de l'octane, $PC(\text{octane}) = 44.103 \text{ kJ/kg}$. On constate que cette valeur est très proche de celle obtenue expérimentalement pour les essences réelles, cela justifie a posteriori le choix de l'octane pour modéliser l'essence. Le pouvoir calorifique du gazole est légèrement inférieur à celui de l'essence [24].

III.2.3.2 Rendement d'un moteur usuel

Même dans des conditions d'utilisation optimales (travail à pleine charge), le rendement des moteurs à essence ne dépasse pas 36 % (42% pour le diesel) [2]. Le reste de l'énergie est dissipée en chaleur. Pour une utilisation à charge réduite (courts trajets en ville par exemple), le rendement devient inférieur à 15 %. C'est pourquoi les moteurs sont encore aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches visant à optimiser leur fonctionnement.

C'est dans ce contexte qu'intervient notre recherche sur l'adaptation d'un réacteur Pantone sur un moteur deux temps utilisant l'essence comme carburant.

***PARTIE II : REALISATION
EXPERIMENTALE D'UN REACTEUR
PANTONE***

CHAPITRE IV : PRESENTATION DU REACTEUR PANTONE

IV.1. OBJECTIFS ET INTERETS DU PMC PANTONE

Le réacteur Pantone est proposé comme une solution miracle pour la lutte contre l'effet de serre généré par l'utilisation grandissante et déjà très intensive de moteurs à combustion interne qui génèrent beaucoup trop de gaz polluants. Effectivement, d'après les principes de fonctionnement, quel que soit son efficacité, le système élimine significativement les rejets de gaz à effet de serre c'est-à-dire l'absence significative de CO₂ vers l'échappement.

Un autre intérêt très intéressant, plus intéressant même, est la baisse considérable de la consommation de carburant du moteur équipé avec le système. La perspective de pouvoir diminuer les consommations d'énergies est d'autant plus, actuellement, l'obsession de chacun car le coût en énergie ne cesse de grimper.

L'application de cette technologie est aussi vaste et elle s'adresse à un grand public. Depuis les gros moteurs industriels jusqu'aux modestes tondeuses à gazon, en passant par les moteurs de voitures et les groupes électrogènes, les applications du Processeur Multi-Carburant pantone sont très nombreuses. Il est évident dans ce cas que le développement de cette technologie est plein d'avenir.

D'après son concepteur, les avantages du système pantone sont:

- l'élimination des rejets polluants jusqu'à 99%
- l'économie sur le carburant
- l'amélioration du rendement en puissance du moteur
- l'augmentation de la durée de vie grâce à l'accroissement de la performance du moteur (optimisation de la combustion dans la chambre de combustion). En effet, le système diminue la probabilité de présence des résidus de carbone qui se comportent habituellement comme du sable dans les moteurs classiques [2].

En résumé, l'objectif du système pantone est de diminuer la consommation du moteur, d'améliorer les performances du carburant, de diminuer le rejet polluant, tout en augmentant la durée de vie du moteur.

Le tableau suivant résume la prévision des performances d'un moteur adapté au système pantone :

Tableau 11: Prévision des performances du moteur en utilisant le réacteur pantone [2]

	Consommation	Rejets de CO ₂	Rejets d'hydrocarbures	Durée de vie	Autonomie
Prévisions	-50%	-99%	Aux environs de 0	Multiplié par 10	300%

IV.2. HISTORIQUE

IV.2.1 Paul Pantone

Paul Pantone est un ingénieur électricien, né en 1950 à Détroit, Etats Unis. A la suite de l'accomplissement d'expériences dans le domaine du traitement de carburants, il s'est converti dans le secteur de l'énergétique.

Par la suite, depuis 1979 il s'est mobilisé à rechercher et à mettre au point des articles sollicités par un vaste public.

Après un peu plus de quatre ans et quelques 350 fois d'essais infructueux, il fit enfin fonctionner un premier appareil qu'il appela en premier lieu « carburateur Pantone » qui sera connu ensuite sous le nom de « réacteur endothermique » et plus tard désigné par « Processeur Multi-carburant Pantone ». Il brevètera ensuite son invention du brevet n° US5794601 [2]. En 12 ans de recherches, Paul Pantone put enfin élaborer une théorie plus ou moins plausible sur le fonctionnement de son appareil.

Avec sa femme Molley, il bâti son entreprise qu'il appela GEET (Global Environmental Energy Technology) pour permettre l'expansion de ses travaux.

En octobre 1999 Paul et Molley Pantone, en raison de vains accords avec des sociétés pour financer leurs recherches, publient sur internet les plans de leur Processeur Multi Carburant GEET (PMC-GEET) pour permettre au grand public de s'adjuger de cette technologie [25].

IV.2.2 Evolution

Le développement de cette technologie tarde et peine à se concrétiser. Cela est surtout dû aux échecs des accords entre Paul Pantone et les investisseurs. En effet, pour progresser et produire plus rapidement, il aurait fallu laisser le contrôle de la technologie aux mains de groupes visant le profit, une option que Paul Pantone a toujours déclinée.

Il eut aussi un grand manque d'intérêt de la part des scientifiques et des chercheurs pour cette découverte. A part quelques travaux plus ou moins sérieux d'une poignée chercheurs, le réacteur pantone n'a pas vraiment suscité la mise en œuvre de recherches solides et sérieuses visant à expliquer son fonctionnement et ainsi permettre son développement à long terme.

Depuis la publication sur internet des plans du réacteur à nos jours, il n'y a eu visiblement qu'une poignée documents écrits ainsi que des vidéos amateurs diffusés sur internet pour montrer la mise en œuvre du système ainsi que son efficacité.

Néanmoins, même si en considérant que cette technologie n'est encore qu'une ébauche mal gérée et toutefois très sous-estimée, elle commence peu à peu à soulever des intérêts en vue de trouver des solutions aux problèmes de pollutions et problèmes énergétiques grandissant dont la planète entière souffre actuellement.

Des forums ont peu à peu émergés suite au nombre grandissant de particuliers intrigués par ce système, et c'est dans ces lieux que les « passionnés » échangent leurs idées et leurs connaissances sur ce sujet. Ces échanges se sont accrus et interpellent peut être l'intérêt des chercheurs à l'étude du fonctionnement du Réacteur Pantone, et ainsi contribuer à son développement.

IV.3 DESCRIPTION DU REACTEUR

Le système pantone est un genre nouveau de carburateur. C'est un appareil qui permet de procéder d'une manière différente à celui des carburateurs classique à l'injection de carburant dans les moteurs à combustion internes.

Il est assimilé par certains, en rapport avec les théories sur son fonctionnement, comme étant une micro raffinerie qui produit le carburant destiné à alimenter le moteur grâce au recyclage des gaz d'échappements par l'intermédiaire de systèmes souvent perçus comme rudimentaires mais dont le fonctionnement est expliqué par des hypothèses compliquées et difficiles à prouver scientifiquement.

Ce système est aussi considéré comme un générateur de plasma auto-induit dont le principe de fonctionnement est en corrélation avec les lois de la thermodynamique. Cette définition permet en outre d'avancer quelques phénomènes théoriques (phénomène d'éclair, orages, et magnétisation du réacteur) proposés par certaines personnes pour expliquer de manière assez confuse les lois qui régissent le fonctionnement du réacteur.

En combinant ces définitions, le réacteur Pantone est un carburateur possédant sa propre raffinerie.

IV.4 STRUCTURE DU REACTEUR

Le réacteur pantone est relativement simple et est plutôt facile à construire. Le fabriquer ne nécessite pas de connaissances avancées car il suffit en effet de suivre les instructions proposées par les plans distribués gratuitement sur internet. Toutefois, des compétences scientifiques dans le domaine de l'ingénierie pourront apporter une aide conséquente sur l'explication du fonctionnement de l'appareil et aussi sur son élaboration.

Le schéma du réacteur publié par GEET, montrant les différentes parties du réacteur avec les dimensions de base est présenté sur la figure suivante :

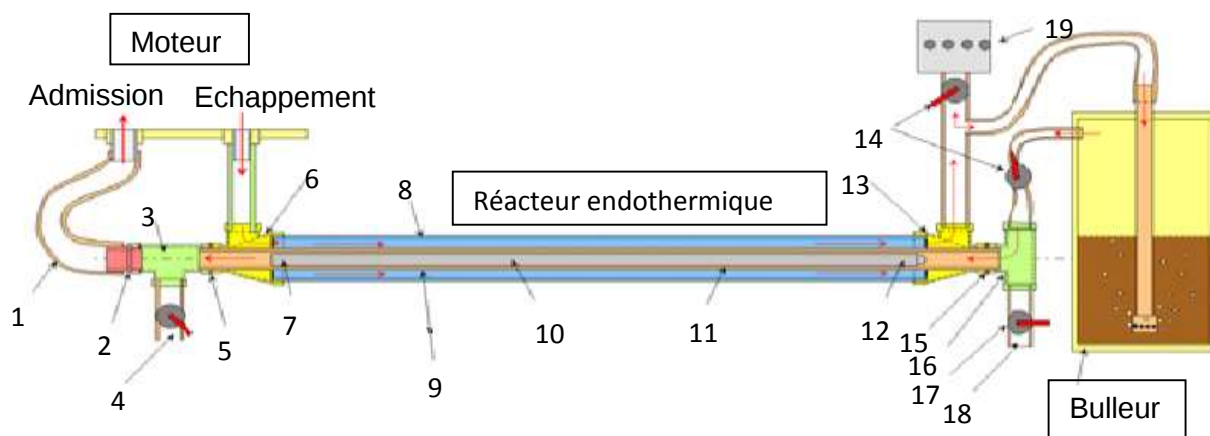


Figure 10: Schéma du réacteur pantone proposé par GEET [25]

- 1 : Tube de cuivre de 12,7 mm
- 2 : Rondelle en laiton de 12,7 mm
- 3 : Tube galvanisé en T 12,7 mm
- 4 : Robinet de mélange d'air
- 5 : Rondelle en cuivre de 22 mm
- 6 : Réducteur en T (25,4 x 12,7 x 12,7 mm)
- 7 : Pôle nord
- 8 : Tube en acier de 305mm x 25,4 mm
- 9 : Tube d'acier de 418 mm x 12,7 mm (fileté aux extrémités)
- 10 : Tige d'acier de 305mm x 12 mm
- 11 : Chambre à pyrolyse
- 12 : Pôle sud
- 13 : Réducteur en T (25,4 x 12, 7 x 12,7 mm)
- 14 : Valve de commande (12,7 mm)
- 15 : Rondelle en cuivre de 22 mm
- 16 : Tube galvanisé en T (12,7 mm)
- 17 : Valve de commande (12,7 mm)
- 18 : Vers un bulleur auxiliaire pour les carburants non hydrocarbures
- 19 : Pot d'échappement

D'après ce schéma, les dimensions utilisées ici ne sont pas standards et certaines pièces sont plus ou moins rares sur le marché local à l'exemple du réducteur en T (en jaune sur le schéma). Pour pouvoir construire facilement ce dispositif, on peut adapter des matériaux aux dimensions plus courantes.

La photo suivante montre l'assemblage d'une partie d'un réacteur pantone en utilisant des matériaux plus courants :

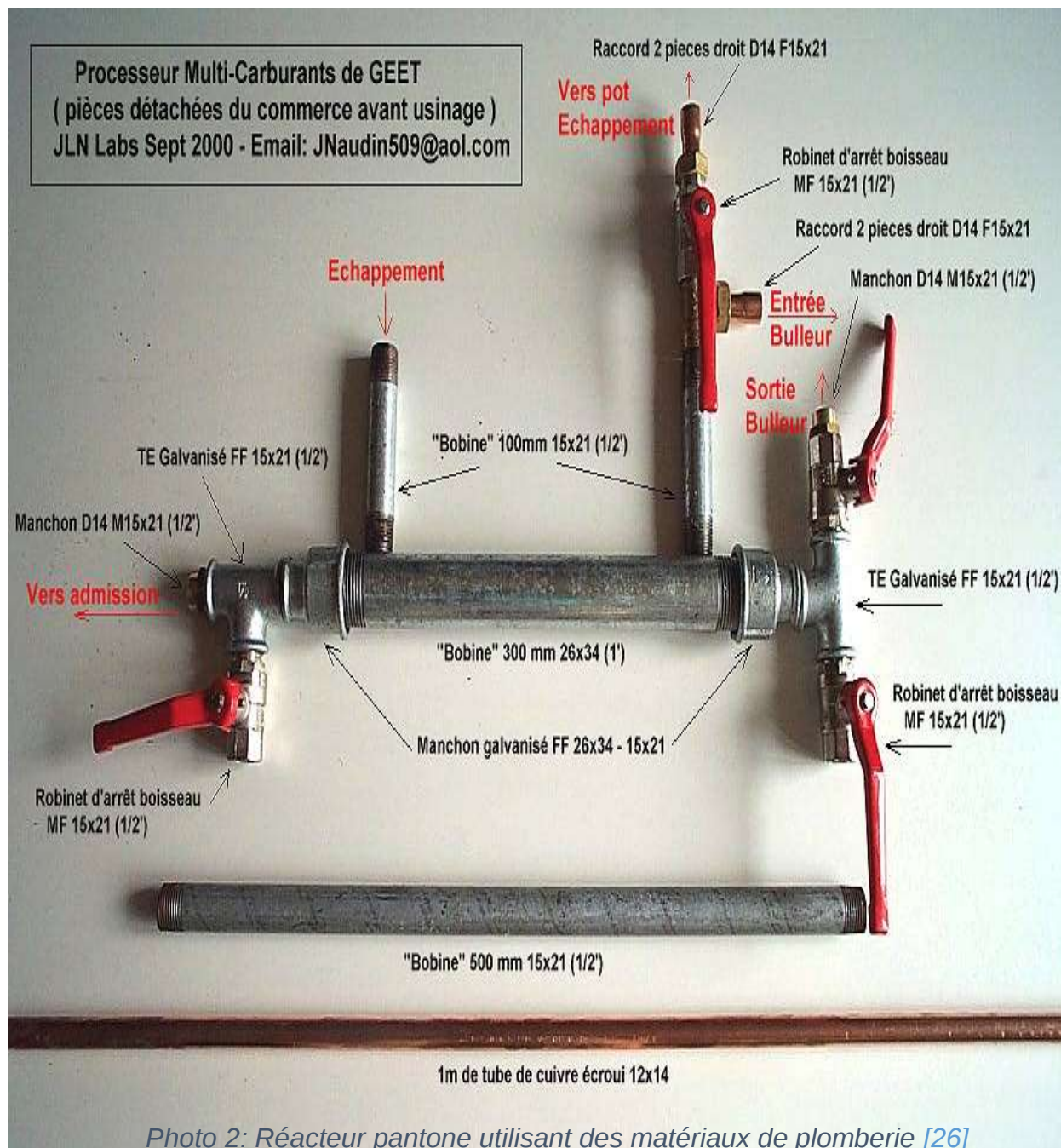


Photo 2: Réacteur pantone utilisant des matériaux de plomberie [26]

Les parties fondamentales du réacteur sont:

- le réacteur endothermique
- un récipient de contenance appelé Bulleur
- les tubes ou raccords en cuivre
- les vannes de réglage de débit.

IV.5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'idée consiste à récupérer l'énergie dissipée sous forme de chaleur, normalement perdue, pour augmenter les performances du carburant.

Cette chaleur est récupérée en captant les gaz d'échappements et en les faisant circuler dans le réacteur. Il se passe ensuite des phénomènes physiques et chimiques à l'intérieur du réacteur. En réalité, on ne sait pas exactement la nature de ces phénomènes. Plusieurs théories sont proposées pour expliquer ces phénomènes mais la plupart d'entre eux n'ont pas de fondement scientifique.

En considérant le dispositif comme étant un carburateur, le schéma simplifié du procédé Pantone en fonctionnement continu montrant les flux des gaz qui y circulent est présenté par la figure suivante :

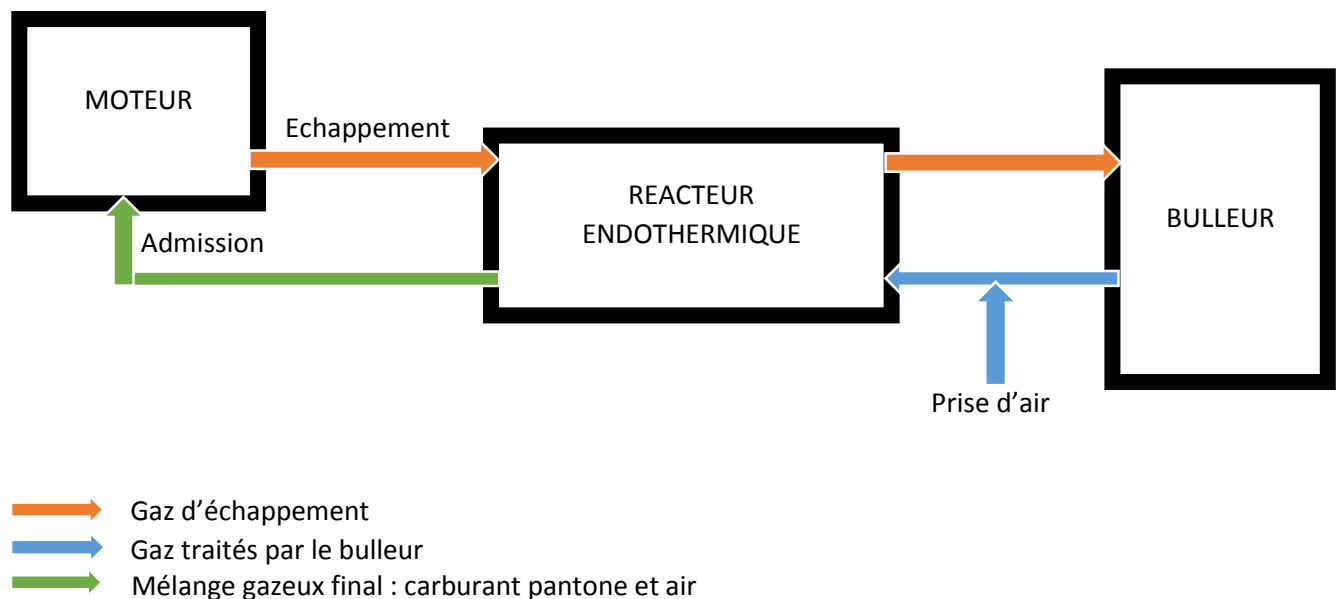


Figure 11: Circulation des gaz dans le système pantone

Afin de mieux comprendre le fonctionnement du système, il faut expliquer un à un le rôle de chaque parties du réacteur.

IV.5.1 Le Bulleur :

Le schéma suivant montre les différentes parties qui composent le bulleur ainsi que les phénomènes qui s'y produisent, notamment la circulation des gaz :

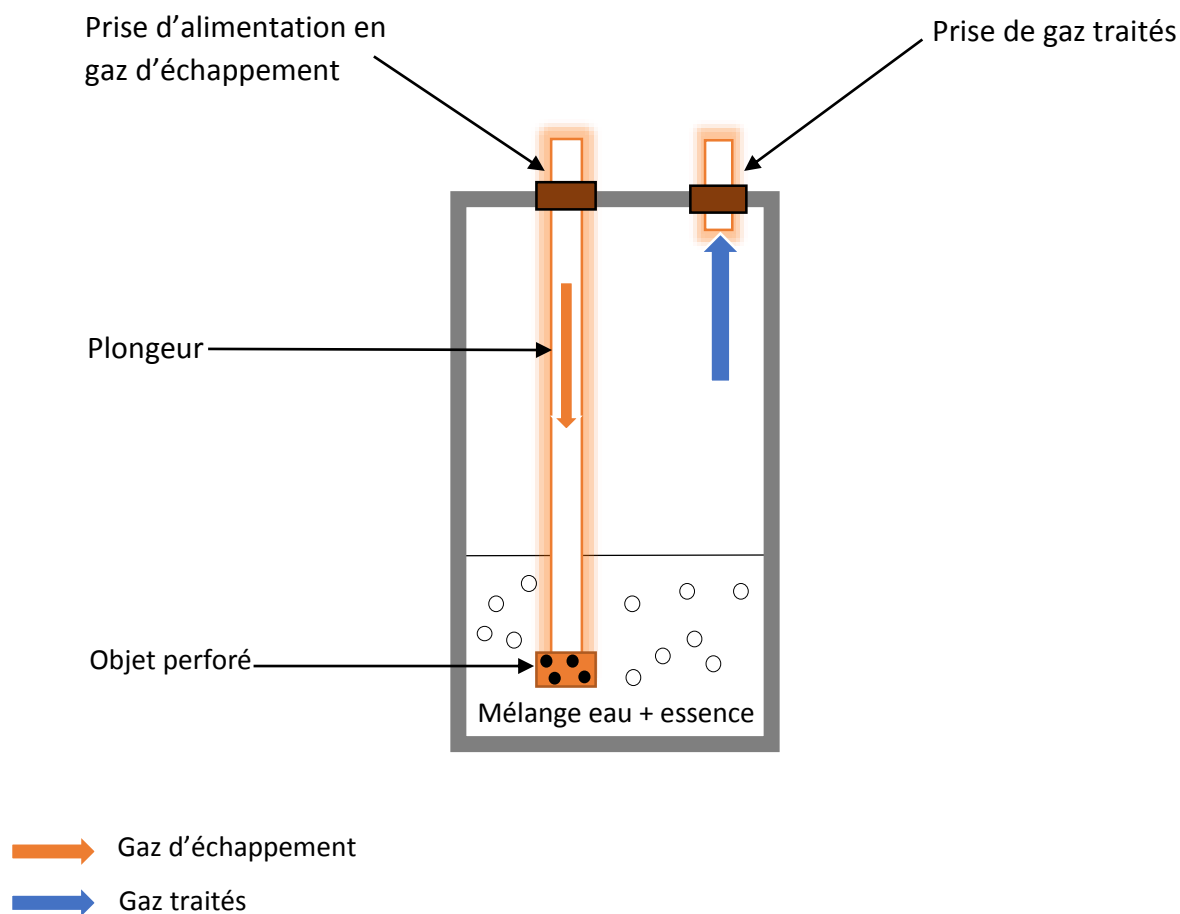


Figure 12: Fonctionnement du Bulleur

Le bulleur est constitué principalement d'un récipient de volume préférentiellement invariable, hermétique, qui dispose de prises (trous) permettant la circulation des gaz. Il permet le traitement primaire des gaz d'échappement en le faisant mélanger avec le mélange eau-essence.

La première prise raccordée avec la sortie de gaz du réacteur endothermique, est munie d'un plongeur qui achemine les gaz d'échappement vers le mélange eau-essence. La deuxième prise capte les gaz issus du traitement par le bulleur pour les renvoyer au réacteur endothermique.

Le terme bulleur vient entre autre du mot « bulle » qui décrit bien les phénomènes qui s'y produisent.

Le fonctionnement du Bulleur selon la circulation des gaz peut être divisé en 3 étapes :

- 1ere étape :

Les gaz d'échappement ayant traversé au préalable le réacteur endothermique arrivent par la première prise, celle qui est raccordée avec le plongeur. Par l'intermédiaire du plongeur, ces gaz arrivent directement dans le mélange eau et essence antérieurement introduit dans le bulleur.

- 2^e étape :

En contact avec le mélange eau-essence, les gaz d'échappement forment avec celui-ci des bulles de gaz qui remontent dans le bulleur et augmentent ainsi la pression qui y règne.

- 3^e étape :

Le gaz ainsi formé contenant le carburant et de la vapeur d'eau, que l'on appellera gaz prétraité, est évacué vers le réacteur endothermique par la deuxième prise du bulleur qui est relié à celui-ci.

D'après cela, le bulleur est considéré comme étant un évaporateur/vaporisateur et constitue le réservoir pour l'ensemble du système.

IV.5.2 Le réacteur endothermique

Le schéma suivant décrit la circulation des gaz dans le réacteur endothermique :

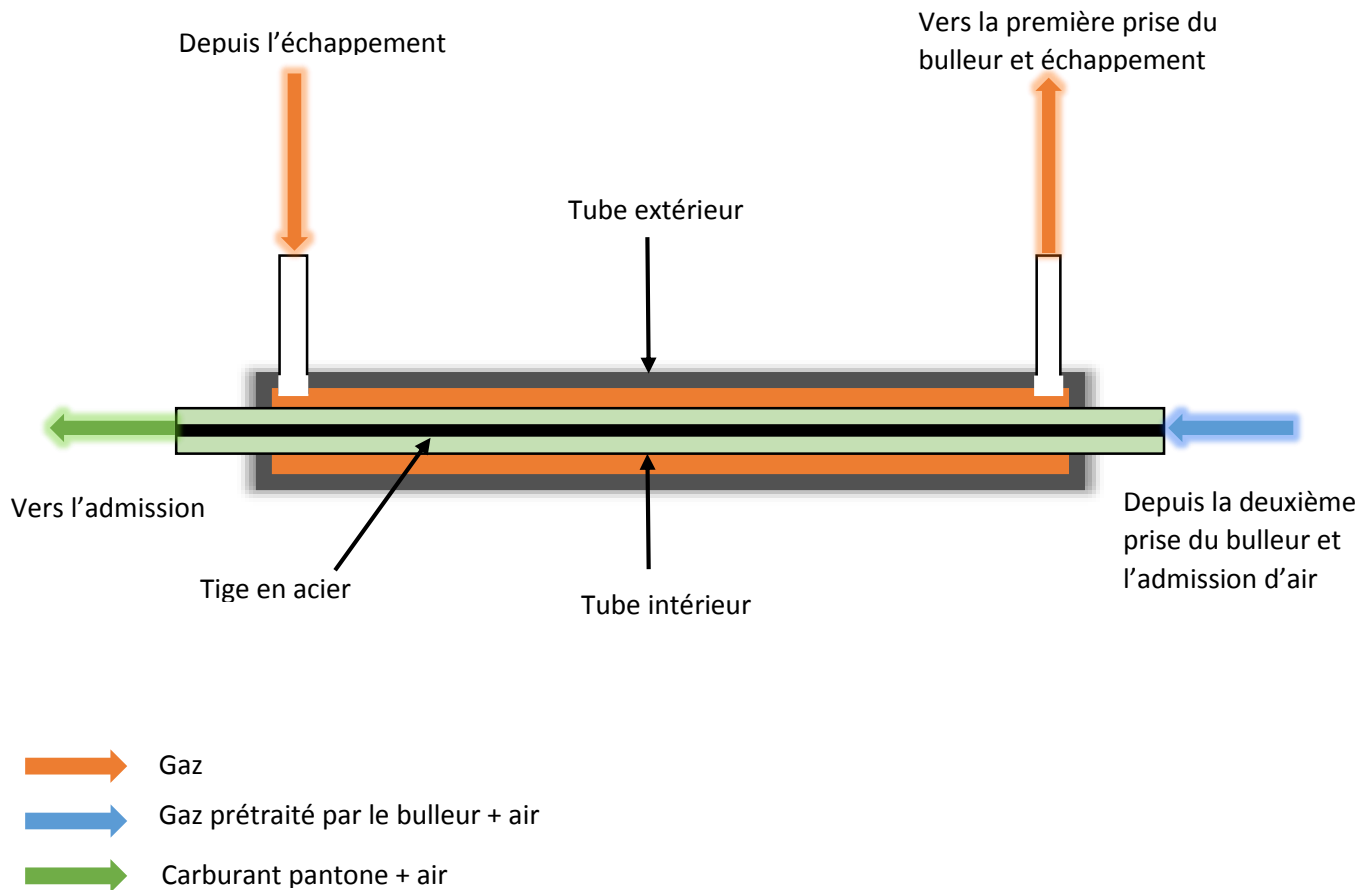


Figure 13: Le Réacteur endothermique

Comme son nom l'indique, ce réacteur est le siège de transferts thermiques. Il s'agit de la récupération de la chaleur apportée par les gaz d'échappement. Les étapes du fonctionnement du réacteur endothermique selon le flux des gaz qui y circulent sont :

- 1ere étape :

Les gaz d'échappement entrent dans le réacteur, plus exactement dans l'espace du tube extérieur de grand diamètre, par l'entrée du tube relié avec l'échappement du moteur. Il se produit alors un premier échange calorifique entre le réacteur et les gaz d'échappement. Cette chaleur chauffe la partie externe du réacteur ainsi que le tube intérieur et notamment la tige d'acier.

- 2^e étape :

Les gaz d'échappement ayant fini le parcours du réacteur endothermique sont évacués vers le bulleur et/ou vers l'extérieur du cycle selon la nécessité, par le biais tube relié avec le bulleur et vers une sortie du cycle.

- 3^e étape :

La troisième étape met en jeu le cylindre intérieur muni co-axialement de la tige en acier. Ce tube raccordé avec la deuxième prise du bulleur et aussi avec la prise d'air accueille les gaz prétraités mélangé avec de l'air. Ces gaz recevront ainsi la chaleur cédée par les gaz d'échappement qui circulent à contre-courant avec ceux-ci dans le tube extérieur en subissant théoriquement d'autres changements (physiques et/ou chimiques).

- 4^e étape :

Les gaz finalement traité par le réacteur endothermique, préalablement mélangé avec de l'air sont envoyés directement à l'admission du moteur. Celle-ci constitue donc la dernière étape du cycle.

CHAPITRE V : DISCUSSIONS SUR LES THEORIES DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR PANTONE

Le manque d'intérêts scientifiques, notamment de recherches aboutissant à des hypothèses convaincantes vis-à-vis du principe de fonctionnement du système dans son intégralité pose un grand problème dans la compréhension du fonctionnement de cet appareil. Les recherches scientifiques prises au sérieux sur le sujet étant rares, voire inexistantes, montre qu'il faut prendre une certaine précaution en avançant des théories sur le fonctionnement de l'appareil. Néanmoins, les quelques idées avancées par certains partisans du réacteur Pantone méritent d'être examinées, même étant souvent imprécises et approximatifs.

V.1 EXPLICATIONS SELON PAUL PANTONE (PRINCIPE DE MICRO-RAFFINERIE) [2] [27]

Paul pantone décrit le fonctionnement de son système comme étant le traitement des carburants par « plasma de décharge ». Une affirmation plutôt obscure et imprécise du fait de sa difficulté à pouvoir être prouvée scientifiquement. Selon lui, la dépression, la chaleur, le magnétisme terrestre et le magnétisme interne sont les causes du fonctionnement du procédé.

- Les gaz d'échappement en entrant dans réacteur endothermique cèdent leur chaleur à ce qu'il appelle chambre de pyrolyse (le tube intérieur comportant la tige d'acier).
- Le carburant prétraité par le bulleur circule dans cette chambre et reçoit cette chaleur et y subit ensuite un deuxième traitement grâce à des phénomènes mixtes physiques et chimique.

Le réacteur fonctionnerait grâce au vide créé par le moteur. Ce vide permettrait ou favoriserait la décomposition des éléments lourds présents dans le gaz prétraité mélangé

avec de la vapeur d'eau arrivant du bulleur. De ce point de vu, l'ensemble du dispositif joue le rôle de « micro-raffinerie ».

Cependant, pour expliquer la cassure de ces molécules relativement lourdes les explications de Paul Pantone font intervenir des phénomènes physico-chimiques très complexes. Il cautionne ainsi la formation de plasma (forme ionisé de gaz) à l'intérieur du réacteur pour produire un mélange très fin de particules de gaz combustible comprenant de l'hydrogène, de l'azote et de l'oxygène. La formation de ce plasma est la conséquence de phénomènes similaire à un orage se produisant au cœur du réacteur (formation d'éclairs et analogies aux tornades). Il y fait aussi intervenir des phénomènes d'électromagnétisme qui sont désignés non pas comme cause mais comme conséquences des précédents faits mais qui aurait sans doute une influence majeure sur le fonctionnement en continu du réacteur. Paul Pantone recommande d'orienter le réacteur vers le Nord magnétique terrestre pour qu'il fonctionne.

Le carburant final mélangé à de l'air (ayant aussi capté de la chaleur du réacteur) est directement envoyé vers l'admission du moteur pour le faire tourner et ainsi le cycle peut se répéter.

V.2 L'INJECTION D'EAU DANS LES MOTEURS

L'injection d'eau dans les moteurs à combustion interne est une méthode pas très connue mais encore plus vieille que la technologie de Pantone, l'objectif est d'améliorer les performances du moteur.

Citons quelques exemples d'engins bénéficiant d'une injection d'eau dans leur moteur :

- les moteurs diesel fonctionnant à l'aquazoles,
- des avions utilisés durant la Seconde Guerre mondiale.

Ce procédé améliore les performances de la combustion car en présence d'eau, les réactions d'oxydation sont plus faciles. Cela est dû au fait que la présence de vapeur d'eau qui augmente la compression. Au moment de la combustion, l'eau se vaporise et augmente la pression dans la chambre de combustion, de la même manière qu'un turbocompresseur.

L'emploi de cette méthode est aussi lié aux problèmes de surchauffe, donc de refroidissement, des moteurs. Les moteurs très puissants utilisent une injection d'eau pour assurer leur refroidissement en limitant la surchauffe.

En plus, l'injection d'eau améliore les performances du moteur en réduisant la température de la flamme dans la chambre de combustion pour éliminer la production de NO_x durant la combustion [28].

L'injection d'eau est donc une possibilité d'explication du fonctionnement du réacteur Pantone. En effet, le rôle du bulleur est de former avant tout des bulles par le moyen du plongeur emmenant les gaz d'échappement en contact avec le mélange eau-essence. L'aspiration du moteur contribue aussi à favoriser la formation de vapeurs d'eau dans le bulleur. Il est donc évident que le gaz résultant de ce procédé contienne une quantité suffisante de vapeur d'eau qui sera emmenée vers le réacteur puis vers le moteur [28].

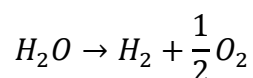
V.3 LIBERATION DE DIHYDROGENE

Une des explications possibles sur les phénomènes se déroulant dans le système pantone est la libération d'hydrogène. En effet, une formation de dihydrogène serait une belle hypothèse pour expliquer le succès du système Pantone. Malheureusement, cette supposition n'est pas fiable car les lois thermodynamiques et électrochimique ne permettent pas de justifier la formation des molécules de dihydrogènes.

En effet, il y a plusieurs manières d'obtenir du dihydrogène à partir de l'eau.

- L'électrolyse de l'eau :

Elle se déroule selon l'équation suivante :



Avec une enthalpie de dissociation: $\Delta_r H = 285$ kJ/mol.

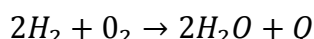
Cette décomposition nécessite un apport d'énergie électrique, dépendant essentiellement de l'enthalpie et de l'entropie de réaction. Le potentiel théorique de la décomposition est de 1.481 V à 298 K.

L'électrolyse de l'eau est très efficace pour former le dihydrogène avec un haut rendement. Néanmoins, pour que ce phénomène se produise, il faudrait le passage d'un courant dans le réacteur, ce qui n'est pas le cas [29].

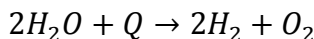
- La thermolyse de l'eau :

La thermolyse de l'eau est la décomposition de l'eau pour obtenir de l'oxygène et de l'hydrogène. Les réactions sont les suivantes :

Pour produire de l'eau :



Pour la thermolyse de l'eau :



Selon les deux équations, il faut la même quantité d'énergie Q que lors de la formation d'une molécule d'eau pour pouvoir dissocier une molécule d'eau et ainsi obtenir du dihydrogène. Pourtant, cette réaction ne peut s'effectuer qu'à des températures avoisinant les 2000°C et en sachant que dans les moteurs les plus sollicités à cycle de Beau de Rochas la température maximale que l'on peut atteindre est de 800°C [29], ajouté au fait que la molécule d'eau est plus stable que le dihydrogène et le dioxygène pris séparément, il est impossible d'envisager le déroulement de cette réaction.

- le vapocraquage :

Selon certaines explications, la formation du dihydrogène à l'intérieur du réacteur est due au vapocraquage des hydrocarbures présents dans le carburant prétraité. Il pourrait donc se produire une formation de dihydrogène conséquente avec la rupture des liaisons moléculaires des hydrocarbures. Seulement, les pressions et le temps mis en jeu du système Pantone ne prouvent pas le processus d'un vapocraquage conventionnel [30].

V.4 LA RECUPERATION DE LA CHALEUR ET RECYCLAGE DU GAZ D'ÉCHAPPEMENT

Le fonctionnement du réacteur Pantone peut être expliqué de façon plus pratique en éliminant les problèmes d'incohérences entre les théories avancées et les lois de la physique. Dans ce cas, le système en entier peut être considéré comme un « recycleur » des gaz d'échappement combiné à un carburateur utilisant la chaleur de ce même gaz pour augmenter la performance du carburant.

Le rendement de la combustion de l'essence est très bas (environ 30%), la majeure partie de l'énergie fournie par cette combustion étant de l'énergie calorifique. En fonction du taux de compression à l'intérieur de la chambre de combustion, et la stoechiométrie des systèmes comburant-carburant, il y a des restes conséquents d'imbrulés qui partent vers l'échappement du moteur (présence de carburant potentiel dans les gaz d'échappement). Cela confirme un gaspillage important de l'énergie par les moteurs classiques.

Les résultats sur la performance du réacteur pantone résident peut être sur l'augmentation de ce rendement par des principes simples n'impliquant pas des phénomènes complexes [2].

V.4.1 Ce qui se passe dans le bulleur

Les gaz d'échappement qui contiennent encore des imbrulés cèdent leur chaleur durant leur parcours dans le réacteur. Ils arrivent directement en contact avec de l'eau mélangée avec de l'essence par l'intermédiaire du plongeur. Le barbotage de ce gaz dans l'eau élimine une partie du dioxyde de carbone présent par l'absorption dans l'eau, sachant que le CO_2 est soluble dans l'eau. Le gaz d'échappement est lavé en quelque sorte par ce système de barbotage. L'eau contenue dans le bulleur noircit peu à peu à cause de la présence de ces imbrulés. Les molécules d'hydrocarbures montent ensuite puisqu'elles sont moins denses que l'eau et forment un mélange gazeux prêt à être évacuer par la seconde prise du bulleur qui va vers le réacteur endothermique.

Ce barbotage entraîne aussi la formation de vapeur d'eau, ce qui explique la présence de vapeur d'eau sur l'échappement du moteur.

V.4.2 Ce qui se passe dans le réacteur endothermique

Le réacteur endothermique est le siège des échanges thermiques du système. En considérant qu'il est très difficile d'éclaircir les différentes opinions évoquées sur les théories expliquant les réactions présumées se déroulant dans le réacteur endothermique, il pourrait suffire de proposer qu'il n'y a pas de réactions chimiques ou de transformations physique qui se déroulent dans celui-ci. En considérant le réacteur endothermique comme un simple échangeur thermique, le fonctionnement devient très simple. Les gaz qui viennent de l'échappement cèdent leur chaleur au réacteur endothermique et celui-ci la transmet au gaz prétraité venant du bulleur et qui circule à contre-courant vers l'admission du moteur. L'augmentation de chaleur du gaz d'admission rend donc le moteur plus performant car le carburant s'enflamme plus facilement.

Enfin l'injection d'eau fait aussi partie du système grâce à la présence de vapeur d'eau dans le carburant Pantone ainsi formé. Cela explique l'implication de la vapeur d'eau dans le succès du réacteur pantone c'est-à-dire la hausse de performance des moteurs utilisant celui-ci comme carburateur.

Remarque :

- Dans tous les cas de fonctionnement, le réacteur pantone ne peut être utilisé qu'après une certaine période de rodage ou temps de chauffage. Effectivement, tous les essais entrepris par les adeptes du système montrent, selon eux, qu'il est nécessaire de préchauffer le réacteur endothermique pendant une période aux alentours de 20 minutes avant de pouvoir faire fonctionner le moteur avec le carburant traité par celui-ci. Cette étape est importante puisque selon chaque cas, c'est-à-dire les théories sur le fonctionnement du système, la chaleur joue le plus grand rôle dans le fonctionnement du réacteur [31].
- Certains adeptes du PMC affirment aussi qu'il faut placer le réacteur dans un axe Nord-Sud, l'embouchure du réacteur étant placée vers le Nord magnétique terrestre, pour que le système puisse fonctionner correctement. Ceci expliquerait peut être la magnétisation des parties du réacteur durant certaines expériences sur le système [2].

CHAPITRE VI : REALISATION ET ESSAIS

L'objectif majeur de notre réalisation est de réussir à faire fonctionner un moteur en installant avec celui-ci le réacteur pantone comme nouveau carburateur. Ensuite, nous essayons de tirer une conclusion concernant le système pantone son fonctionnement.

VI.1 LE MOTEUR UTILISE POUR LA REALISATION

VI.1.1 Propriétés du Groupe électrogène

Pour notre étude, nous avons adapté le PMC-Pantone à un Groupe électrogène avec les spécificités suivantes :

- Marque et modèle : MIYOTA Japan, KJ1200 Gasoline Generator
- Type de carburant : essence
- Puissance maximale : 0,7 KVA
- Puissance Evaluée : 0,65 KVA
- Tension évalué : 220 V
- Vitesse : 3400 tours/min
- Fréquence : 50Hz
- Phase : 1
- Facteur de puissance : $\cos \varphi=1,0$
- Poids 18kg



Photo 3: Groupe électrogène du Projet

Le moteur utilisé ici est un moteur deux temps et présente donc les caractéristiques exposées précédemment.

VI.1.2 Modifications sur le Groupe électrogène :

Le groupe électrogène a été aménagé pour pouvoir accueillir le système. Les modifications apportées sont énumérées dans les paragraphes suivants :

- Le réservoir a été enlevé car avec le PMC il n'a plus d'utilité et aussi en raison de gain d'espace pour d'autres aménagement sur le groupe électrogène;
- Le tableau de commande qui comporte les prises de courant venant de l'alternateur a été supprimé ;
- Le carburateur initial du moteur a été enlevé, ou plus exactement déplacé
- Une prise qui sera reliée avec l'entrée du réacteur endothermique a été soudée à la sortie de l'échappement.



Photo 4: Modifications du groupe électrogène

VI.2 REALISATION DU PMC PANTONE

VI.2.1 Matériaux

La réalisation du système pantone, mis à part quelques modifications selon les contraintes, se résume à l'assemblage des matériaux qui forment pièces par pièces les différentes parties du réacteur.

Les tableaux suivants présentent les listes exhaustives des pièces utilisées pour la confection du système Pantone :

- Le réacteur endothermique :

Tableau 12: Liste des matériaux pour la confection du réacteur endothermique

Désignation	Dimensions	Référence (mm)	Nombre
Tube en acier galvanisé	30 cm	20x27	01
Tube en acier galvanisé	50 cm	15x21	01
Tube en acier galvanisé	13 cm	15x21	02
Tige en acier noir	50 cm	14	01

- Le bulleur :

Tableau 13: Liste des matériaux pour la confection du Bulleur

Désignation	Dimensions	Référence (mm)	Nombre
Bidon propre en plastique	5l	-	01
Tube en cuivre	28 cm	12x14	01
Raccord 2 pièces	-	15x21 D14	02
Mamelon	-	15x21	01

- Les raccords :

Tableau 14: Raccords et vannes de contrôle

Désignation	Dimensions	Référence (mm)	Nombre
Tube galvanisé en T	-	15x21	04
Vanne d'arrêt	-	15x21	06
Coude en acier galvanisé	-	15x21	03
Mamelon	-	15x21	13
Tube en cuivre	1m	12x14	01
Coude en cuivre	-	12x14	03
Raccords 2 pièces	-	15x21 D14	05
Bidon propre	1l		01

Pour limiter le coût de l'investissement, nous avons utilisé des pièces de plomberies courantes qui sont à la fois abordables et sont plus disponibles sur le marché local.

Les dimensions des pièces utilisées correspondent à peu près à celle des pièces utilisées généralement dans les constructions du réacteur par les différents adeptes du système.

VI.2.2 Procédures de fabrication :

VI.2.2.1 Usinage des pièces du réacteur endothermique

La confection du réacteur commence par la préparation des matériaux. En effet, les tubes galvanisés ici utilisés ont dû être lavés avec de l'eau et du détergent pour enlever les saletés résiduelle de leur provenance.

Par la suite, le tube intérieur de 50 cm a été usiné afin d'être fileté à ses deux extrémités. Nous avons fileté aussi les deux tubes courtes chacun d'une extrémité.

Le tube extérieur a été percé de trous à ses deux extrémités pour permettre la fixation des deux tubes qui vont permettre la circulation du gaz d'échappement depuis l'échappement et de les évacuer par l'autre extrémité vers le bulleur.

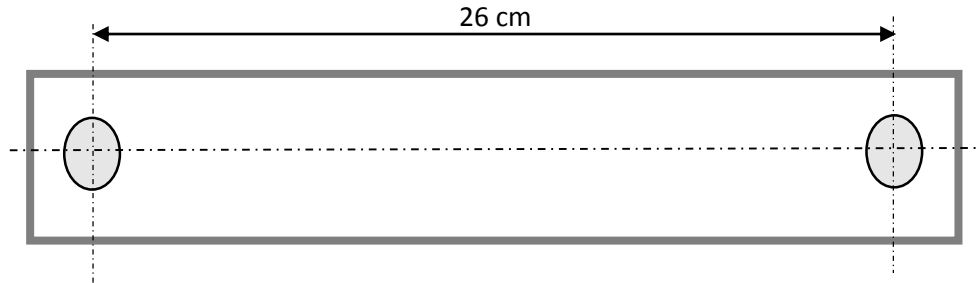


Figure 14: Tube extérieur percée de deux trous- Vue de dessus

VI.2.2.2 Assemblage du réacteur endothermique

L'assemblage des pièces maitresses du réacteur endothermique suit les plans du réacteur originel hormis les points de soudures que nous avons effectué pour les réunir. Ces soudures sont nécessaires pour faciliter le travail et à défaut de matériaux, notamment le réducteur en T qui n'est malheureusement pas disponible sur notre marché.

- La tige d'acier a été fixé dans le tube intérieure par des points de soudures sur chacune des sorties de ce tube. Puis le tout assemblé avec le tube de plus grand diamètre.

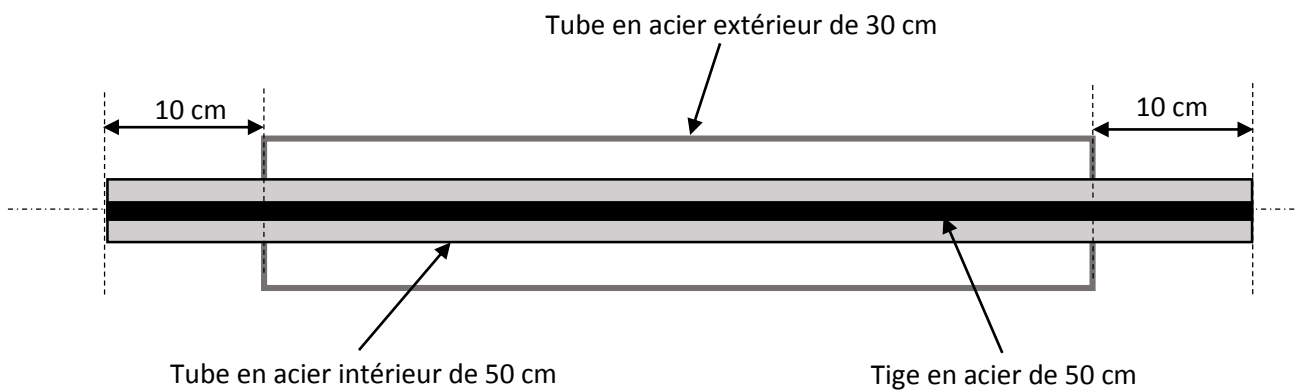


Figure 15: Tube intérieur muni de la tige d'acier fixé Co axialement avec le tube extérieur – Coupe transversale vue de face

- Les deux tubes plus courts ont été chacun fixés par soudure avec le tube extérieur sur les trous précédemment percés.

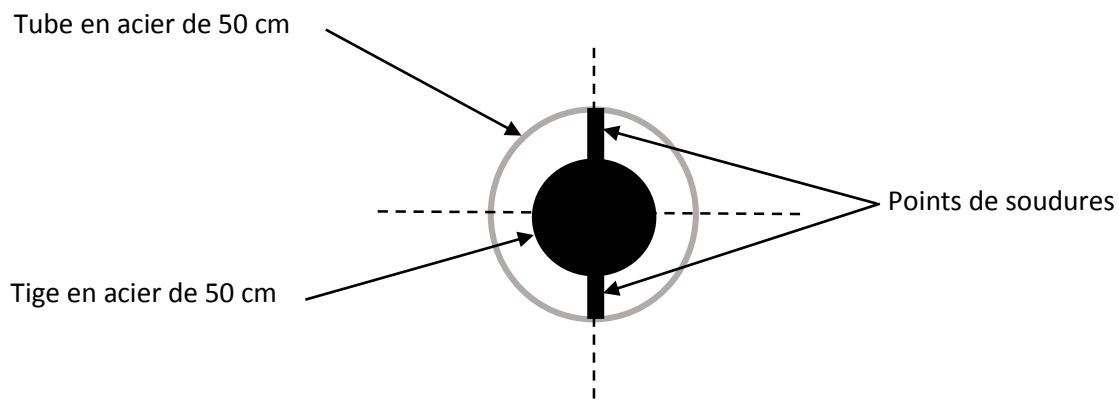


Figure 16: Tube intérieur muni de la tige d'acier - Vue de gauche

Le tube intérieur est ensuite fixé à l'intérieur du tube extérieur par soudure en veillant à ce qu'elle soit bien étanche pour terminer la confection du réacteur endothermique.



Photo 5: Le réacteur endothermique

VI.2.2.3 Fabrication du bulleur :

Cette fabrication a été la plus facile car il a juste fallu percer les deux ouvertures qui serviront de prises pour relier le bidon en plastique de 5l au réacteur endothermique, la première prise étant juste raccordée avec le plongeur fait en tube de cuivre.



Photo 6: Le bulleur

VI.2.2.4 Les raccords et autres

Les raccords ont été posés selon les plans généraux du réacteur. Le placement de chaque vanne d'arrêts permet de maîtriser le débit des gaz qui circulent durant le cycle et permet la fermeture et l'ouverture du cycle.

Nous avons cependant procédé à quelques changements, la plus importante étant celle qui permet de « greffer » l'ancien carburateur au système pantone. En effet, cette disposition a été prise pour une raison majeure : le chauffage du réacteur. D'après cette modification, le réacteur est chauffé en utilisant l'ancien carburateur relié avec un réservoir d'essence. La pose de vannes de contrôles permet d'alterner, par simple ouverture ou fermeture des vannes, l'admission par système pantone ou par voie usuelle (utilisant l'ancien carburateur).

Les figures ci-après montrent ces modifications :

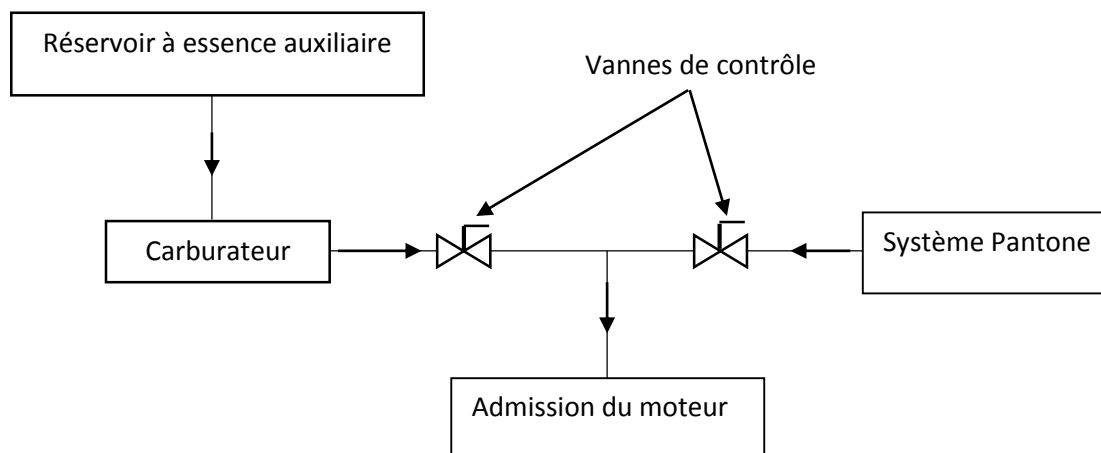


Figure 17: aménagement du système de chauffage du réacteur



Photo 7: Montage permettant le chauffage du réacteur

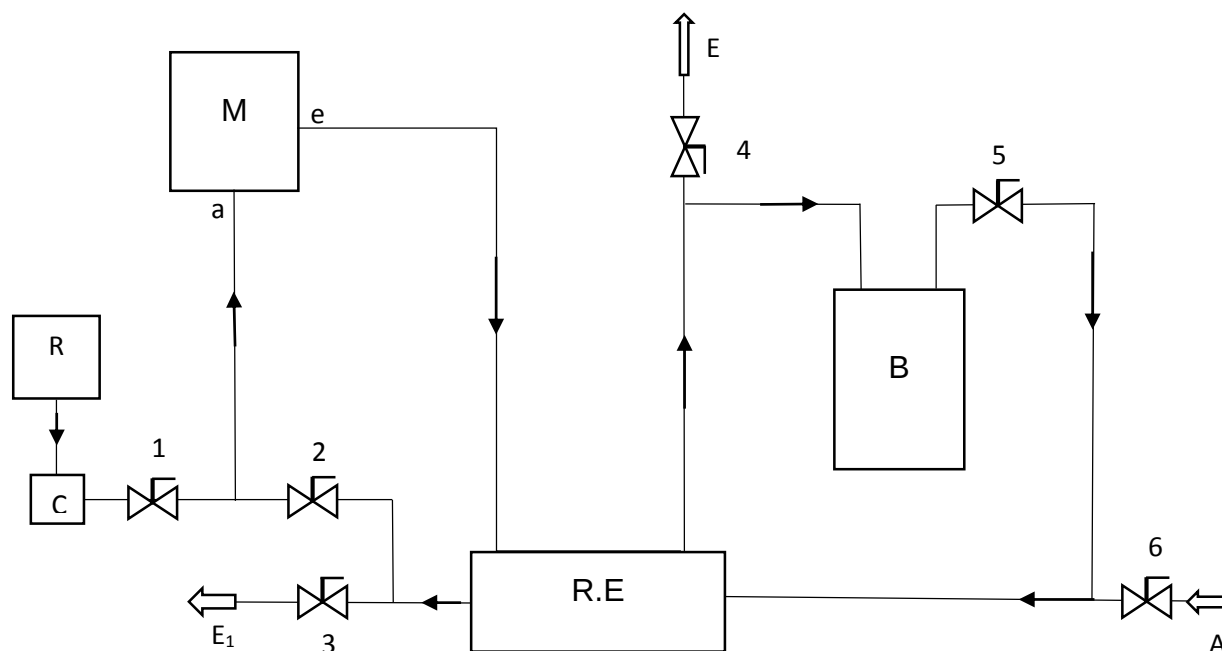
Le tube en acier est nécessaire pour surélever la position du carburateur usuel pour qu'il soit plus facile à greffer avec la sortie du réacteur endothermique, de là où sortent le carburant pantone.

VI.3 ESSAIS

Une fois ensemble, le montage dans son intégralité est présenté sur les figures suivantes :



Photo 8: Montage intégral



R : Réservoir auxiliaire (réservoir à essence)

C : Carburateur d'origine

M : Moteur

R.E : Réacteur endothermique

B : Bulleur

a : admission du moteur

e : échappement du moteur

E₁, E₂ : échappements de gaz vers l'extérieur

A : Admission d'air

1, 2, 3, 4, 5, 6 : vannes de contrôle de débits

Figure 18: Schéma du montage en entier

VI.3.1 Consommation moyenne du groupe électrogène fonctionnant avec le carburateur d'origine.

Pour évaluer la consommation moyenne du groupe électrogène sans utiliser le réacteur pantone nous avons mesuré le temps nécessaire au moteur pour consommer 1l de carburant.

Conditions expérimentales :

- L'accélérateur est réglé sur sa vitesse maximale
- Le groupe électrogène fonctionne sans charge
- Fermeture de toutes les vannes sauf 1 et 4.

Pour un volume de carburant $V = 1l$, nous obtenons la durée :

$$t = 1h\ 26mn\ 48s$$

Nous obtenons ainsi la consommation de carburant par heure :

$$c = 0,70l/h$$

VI.3.2 Essais avec le réacteur pantone :

VI.3.2.1 Préparations :

Nos essais sur le réacteur pantone commencent par la préparation du dispositif.

Mode opératoire :

- Le réservoir raccordé au carburateur d'origine est rempli d'un quart de litre d'essence pour être utilisé pour le chauffage du réacteur,
- La quantité d'eau et d'essence avec les proportions définis au préalable est ajoutée dans le bulleur,
- Ces deux réservoirs sont ensuite fixés à leurs places respectives.

VI.3.2.2 Chauffage du réacteur :

D'après l'étude bibliographique, pour que le réacteur puisse fonctionner, un temps de chauffage d'environ 20mn est nécessaire.

Lors de ce processus, la circulation des gaz d'échappement est contrôlée par la fermeture et l'ouverture des vannes composant le système. Ainsi les vannes 1, 4 sont ouvertes tandis que les autres sont fermées.

VI.3.2.3 Démarrage :

Il existe deux manières de procéder pour l'usage du carburateur pantone.

La première, en couplant l'utilisation du carburateur pantone avec le carburateur originel du moteur, vers la fin du processus de chauffage, pour éviter de devoir éteindre le moteur et ainsi permettre un virage progressif vers l'utilisation total du réacteur pantone. Cette manière de procéder permet une « activation » plus facile de l'utilisation du réacteur pantone.

La deuxième, démarrer le moteur en supprimant le carburateur d'origine (fermeture de la vanne 1) et utiliser exclusivement le bulleur comme réservoir à carburant. Cette méthode nécessite toutefois un minimum d'écart temporel entre le chauffage et le démarrage car les parties du réacteur risquent de vite refroidir et de rendre difficile le démarrage.

Il est annoté que le bon fonctionnement du système réside dans un chauffage optimal et dans une bonne gestion des débits des gaz qui circulent dans le réacteur.

VI.3.3 Observations lors du fonctionnement du moteur avec le système pantone :

VI.3.3.1 Pendant la marche du moteur:

En ayant réalisé des essais avec les proportions eau-essence égales à 50-50 nous obtenons les observations suivantes relatant les faits qui se produisent pendant la marche du système et après l'arrêt complet du moteur.

- Baisse du régime du moteur :

Lors des essais, nous avons constaté que la vitesse du moteur diminue et atteint difficilement son niveau maximum même en essayant de bien jauger le débit d'admission d'air et le débit de sortie du bulleur vers le carburateur.

Il faut notamment une surveillance accrue de la gestion des débits d'air et de carburant car le moteur s'arrête facilement.

- Présence de vapeur d'eau à l'échappement :

A l'échappement nous avons aperçu de la vapeur d'eau qui se dégage avec la fumée d'échappement, qui, elle est devenue plus propre.

- Axe du réacteur :

Lors des essais, la direction de l'axe du réacteur n'influe pas sur son fonctionnement. Il n'y a pas non plus d'apparition d'une quelconque magnétisation des parties du réacteur.

VI.3.3.2 Après l'arrêt du système et du moteur :

- Au niveau du bulleur :

Après l'utilisation, nous remarquons que l'eau contenue dans le bulleur est devenue légèrement plus sombre.

L'essence restante dans le bulleur est devenue d'une consistance plus ou moins laiteuse par rapport à l'essence normale et est devenue plus noire.

Au repos, il y a une apparition d'une substance à l'aspect gélatineuse plus lourde que l'essence mais plus légère que l'eau.

- Présence d'eau condensée

Après avoir retiré la prise du bulleur qui va vers le réacteur, nous observons qu'il y a de la vapeur d'eau condensée avec une odeur d'essence.

VI.3.4 Interprétations

Ces observations permettent d'affirmer les théories suivantes sur le fonctionnement du réacteur pantone :

VI.3.4.1 Formation de vapeur d'eau dans le bulleur :

La baisse de régime du moteur est un signe caractéristique de l'injection d'eau dans celui-ci. Effet, l'une des théories sur le fonctionnement du réacteur et de sa performance est expliquée par cette injection d'eau. Nous savons que la vapeur d'eau est responsable du ralentissement de la combustion interne dans le cylindre du moteur en diminuant la température de la flamme.

Cette formation de vapeur d'eau est aussi confirmée par la présence d'eau condensée lors du retraitement de la prise du bulleur vers le réacteur qui n'est pas directement en contact avec l'eau du bulleur. Cette présence affirme qu'il y a bel et bien eu de la vapeur d'eau mais que celle-ci s'est condensée après le refroidissement du système.

→ Cette première constatation est en cohérence avec une des théories sur le fonctionnement du réacteur pantone, relatées auparavant, c'est-à-dire la formation de vapeur d'eau qui ralentit la combustion réduisant ainsi la quantité en oxydes d'azote formés lors de la combustion ce qui favorise une combustion plus complète du carburant dans le cylindre.

VI.3.4.2 Réelle influence du réacteur pantone

Les observations que nous avons retenues nous amènent aux conclusions suivantes :

- Les gaz d'échappement ayant chauffé préalablement le réacteur endothermique en lui cédant de la chaleur arrivent dans le bulleur et bullent en contact avec l'eau du bulleur, ce qui provoque la formation de vapeur d'eau.
- Ces mêmes gaz d'échappement qui contiennent encore des matières imbrulées libèrent celles-ci en se mélangeant avec l'eau, car ces hydrocarbures imbrulés ne sont pas solubles dans l'eau tandis que le CO_2 se dissout facilement.

- Le mélange eau-carburant (ou carburant pantone) ainsi obtenu est ensuite aspiré vers l'admission du moteur en passant par le réacteur endothermique où il va capter la chaleur de celui-ci pour permettre une combustion plus facile.
- En réalité, la présence de vapeur d'eau dans le système en entier et surtout dans la chambre de combustion du moteur est plutôt nuisible car elle diminue d'une façon radicale la vitesse de combustion. La transmission de chaleur du réacteur endothermique vers le carburant pantone vise dans ce cas la compensation de cette baisse de température en préchauffant le mélange carburant pantone et air et permettre ainsi de préserver un rendement de combustion abordable du point de vu température.
- Finalement, le système pantone vise donc à récupérer les résidus d'imbrulés présentes dans les gaz d'échappement pour les réinjecter dans l'admission du moteur ceci en récupérant la chaleur normalement perdue pour le rendre au carburant pantone pour compenser l'influence de la vapeur d'eau lors de la combustion.

VI.4 RESULTATS

VI.4.1 Mesures

Afin de connaître les performances du moteur adapté au système pantone, nous avons cherché à connaître l'évolution de la consommation en essence du système.

Pour connaître les conditions optimales, nous avons pris les résultats de six expériences, différentes entre eux par les proportions eau-essence dans le bulleur, que nous avons effectués. Le tableau suivant montre la consommation en essence du moteur dans les différentes proportions en eau et essence :

Tableau 15: Consommation du moteur par proportion eau-essence

Expériences	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7
Proportions (eau-essence) %	25-75	30-70	40-60	50-50	60-40	70-30	80-20
Consommation (l/h)	0,69	0,67	0,61	0,60	0,60	0,61	-

D'après le tableau la consommation du moteur adapté avec le réacteur pantone en fonction des proportions eau-essence dans le bulleur est présentée dans la figure suivante :

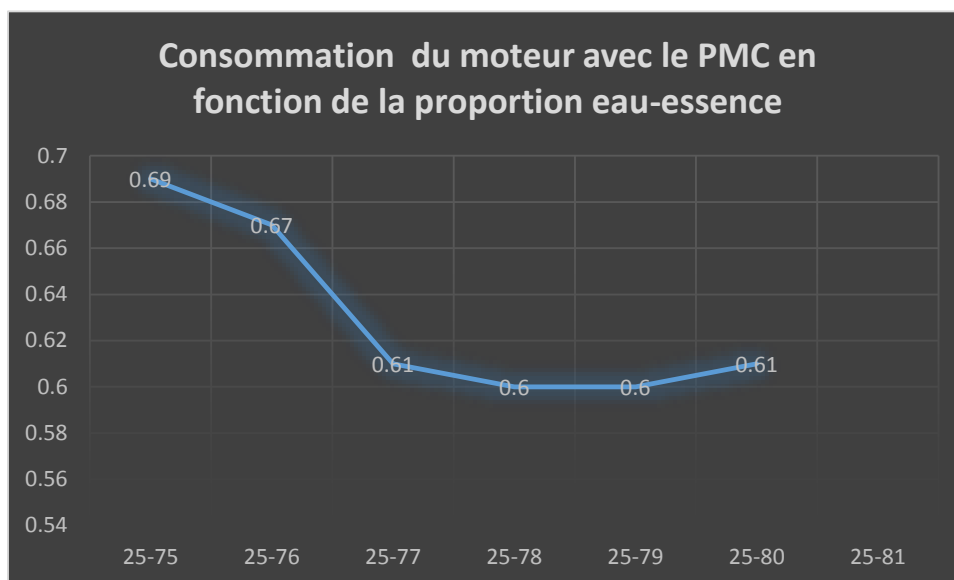


Figure 19: Consommation du moteur en fonction de la proportion eau-essence

Nous observons d'après le graphique une variation significative de la consommation du moteur avec le système pantone en fonction des proportions eau-essence mélangé dans le bulleur.

- Les valeurs entre les essais 1 et 2 nous montrent qu'il n'y a pas trop de diminution de la consommation du moteur avec une moindre proportion d'eau.
- Les valeurs des essais 3, 4, 5, et 6 qui sont très proches montrent que les conditions optimales pour une diminution conséquente de la consommation sont les proportions équilibrées en eau et essence.
- Le septième essai nous montre une valeur non-définie car dans ces proportions, le moteur n'arrive pas à marcher correctement.

En conséquence, pour obtenir le meilleur rendement, la proportion 60-40 est la plus conseillé.

VI.4.2 Rendement

Pour comparer le rendement du moteur fonctionnant avec le carburateur d'origine uniquement et avec le réacteur pantone, nous allons prendre la valeur de la consommation avec le plus haut rendement.

Rappelons que la consommation moyenne du moteur avec son carburateur d'origine est de :

$$c_0 = 0,70\text{l/h}$$

La consommation minimale avec le réacteur pantone est de :

$$c_{\text{pantone}} = 0,60\text{l/h}$$

Il y a une différence de :

$$\delta = 0,70 - 0,60$$

$$\delta = 0,10\text{ l/h}$$

Soit une diminution en pourcentage de 14,29 % de la consommation.

L'utilisation du réacteur pantone accroît donc de 14,29 % le rendement du moteur.

Ces chiffres nous montrent que nous sommes encore loin des résultats espérés, soit une diminution pouvant aller jusqu'à 50% qui est le rendement tant évoqué par les partisans du système.

Conclusion générale

L'amélioration du rendement des moteurs fonctionnant à l'essence est devenue plus une nécessité qu'un simple désir technologique. Une nécessité car le souci de préserver l'environnement et l'économie du pétrole en dépendent.

La première partie de ce mémoire nous a fait appréhender le fonctionnement du moteur deux temps fonctionnant à l'énergie issue de la combustion de l'essence. Cela nous a permis de comprendre l'origine du rendement très bas de cette combustion ce qui nous a amené à trouver des solutions pour y remédier.

Dans la deuxième partie nous avons utilisé le réacteur pantone pour atténuer ce problème de gaspillage de carburant. L'utilisation de celui-ci a en effet permis d'abaisser de 14% la consommation d'essence du moteur que nous avons choisi pour le projet.

Ce travail a montré qu'il est possible d'optimiser l'efficacité d'un moteur sans devoir procéder à des changements importants ou avoir recours sans cesse aux additifs pour carburant qui sont d'autant plus onéreux. Même si l'objectif 50% n'a pas été atteint, nous pouvons dire qu'il y a eu une nette optimisation de l'efficacité du moteur. Pour cela, une vulgarisation de cette technologie est donc envisageable. Toutefois, cette technologie nécessite encore de nombreuses modifications (au niveau de la gestion des valves de commandes par exemple) et aussi des études plus approfondies et ainsi permettre au grand public d'apprécier pleinement ses fonctionnalités grâce à une plus grande compréhension.

Bibliographies

- [5] Patrick NEGRO (octobre 2005), Restaurer sa moto Technique pour l'automobile et l'industrie, ETAI
- [11] Université Marine-Faculté des sciences et Techniques (1996), Projet combustion, Le Mans
- [12] Joel R (1996), Basic engineering thermodynamics, Addison-Wesley
- [15] 1988, Combustion fundamentals, RC Flagan
- [20] SADI Meriem (2008), Le bioéthanol : une véritable alternative pour une énergie propre, Division Bioénergie et Environnement CDER
- [26] JLN Labs (septembre 2000), réacteur pantone
- [28] Jean Pierre Chambrin (1970), A reactor for transforming water and comburant for use as fuel mixture

Webographies

- [1] Wikipédia.com/Rendement du moteur deux temps, janvier 2016
- [2] Quant'homme.com, janvier 2016
- [3] fr.wikipedia.org/moteurdeuxtemps date de consultation janvier 2016, janvier 2016
- [4] www.youtube.com/exposédumoteurdeuxtemps, janvier 2016
- [6] www.toussurlamoto.com/le-moteur-4-temps, janvier 2016
- [7] Le moteur deux temps conventionnel (celui muni d'un carburateur) : une technologie complètement dépassée [archive], sur le site lacbowker.org, février 2016

- [8] lpjp.moto.free.fr/images/file/2T4T/Cycles_2t_prof.pdf, février 2016
- [9] Ecole Nationale Supérieure de Mines Saint Etienne, combustion EMSE, mines-stetienne.fr février 2016
- [10] www.manicore.com/documentation/formation_petrol consultation, février 2016
- [13] circfecamp.spip.ac-rouen.fr/IMG/pdf/Formation_incendie.pdf, février 2016
- [14] fr.wikipedia.org/combustion, février 2016
- [16] www.combustiontheorie.com/chap2, février 2016
- [17] Culture sciences chimie.fr, février 2016
- [18] [Econologie.com/carburants petroliers](http://Econologie.com/carburants_petroliers), mars 2016
- [19] www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/CAOL/transport/publications/biodiesel/biodiesel4fr.htm, mars 2016
- [21] Wikipedia.org/biocarburants, mars 2016
- [22] [Econologie.com/carburants synthétiques](http://Econologie.com/carburants_synthetiques), mars 2016
- [23] [fr.wikibooks.essence/propriétés physiques](http://fr.wikibooks.essence/propriétés_physiques), mai 2016
- [24] www.adilca.com , mai 2016
- [25] www.GEET.com , mai 2016
- [27] www.pfgtechnologie.be , juin 2016
- [29] [wikipedia.com/réacteur pantone](http://wikipedia.com/réacteur_pantone), juin 2016
- [30] www.emse.fr, août 2016
- [31] forums.futura-sciences.com, août 2016

Introduction	1
PARTIE I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	2
CHAPITRE I : LES MOTEURS A DEUX TEMPS.....	3
I.1 GENERALITES SUR LES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE :	3
I.2 ORIGINES DU MOTEUR A DEUX TEMPS.....	4
I.2.1 Découvertes	4
I.2.2 Evolution.....	5
I.3 CARACTERISTIQUES DU MOTEUR A DEUX TEMPS ET COMPARAISON ENTRE MOTEUR DEUX ET QUATRE TEMPS	5
I.3.1 Caractéristiques du moteur à deux temps.....	5
I.3.2 Fonctionnement d'un moteur à essence à quatre temps.....	7
I.3.3 Fonctionnement du moteur à deux temps.....	8
I.4 PERFORMANCES – AVANTAGES ET INCONVENIENTS.....	11
I.4.1 Performances	11
I.4.2 Avantages et inconvénients	13
I.4.2.1 Avantages par rapport au quatre temps	13
I.4.2.2 Inconvénients.....	14
CHAPITRE II : LA COMBUSTION	15
II.1 GENERALITES SUR LA COMBUSTION :	15
II.1.1 Combustible	15
II.1.1.1 Combustible solide :	16
II.1.1.2 Combustible liquide :	17
II.1.1.3 Combustibles gazeux :	17
II.1.2 Le comburant :	18
II.1.3 Les produits de la réaction de combustion.....	19
II.1.4 Activateur	20
II.2. CARACTERISTIQUES :	20
II.2.1 Combustion stœchiométrique	20
II.2.2. Combustion non stœchiométrique	21
II.2.3 Combustion non complète (combustion incomplète).....	22
II.3. CHIMIE DE LA COMBUSTION	24
II.3.1 Equations chimiques de base	25
II.3.2 Pouvoir calorifique	26
II.4 L'EXPLOSION	28
II.4.1 La déflagration.....	29

II.4.2 La détonation :	30
CHAPITRE III : LES CARBURANTS	31
III.1 GENERALITES SUR LES CARBURANTS :	31
III.1.1 Définitions :	31
III.1.2 Les carburants pétroliers	32
III.1.3 Les Biocarburants et carburants synthétiques :	34
III.1.3.1 Les biocarburants.....	34
III.1.3.2 Les carburants synthétiques	36
III.2 L'ESSENCE	37
III.2.1 Propriétés de l'essence	37
III.2.2 Composition de l'essence	38
III.2.2.1 Caractéristiques de quelques composants	39
III.2.2.2 Indice d'octane	39
III.2.3 Combustion de l'essence dans le moteur	41
III.2.3.1 Chimie de la combustion de l'essence	41
III.2.3.2 Rendement d'un moteur usuel	42
PARTIE II : REALISATION EXPERIMENTALE D'UN REACTEUR PANTONE	43
CHAPITRE IV : PRESENTATION DU REACTEUR PANTONE	44
IV.1. OBJECTIFS ET INTERETS DU PMC PANTONE	44
IV.2. HISTORIQUE	45
IV.2.1 Paul Pantone.....	45
IV.2.2 Evolution	46
IV.3 DESCRIPTION DU REACTEUR.....	47
IV.4 STRUCTURE DU REACTEUR	47
IV.5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	50
IV.5.1 Le Bulleur :	51
IV.5.2 Le réacteur endothermique	53
CHAPITRE V : DISCUSSIONS SUR LES THEORIES DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR PANTONE	55
V.1 EXPLICATIONS SELON PAUL PANTONE (PRINCIPE DE MICRO-RAFFINERIE) [2] [27].....	55
V.2 L'INJECTION D'EAU DANS LES MOTEURS	56
V.3 LIBERATION DE DIHYDROGENE	57
V.4 LA RECUPERATION DE LA CHALEUR ET RECYCLAGE DU GAZ D'ECHAPPEMENT	59
V.4.1 Ce qui se passe dans le bulleur	59

V.4.2 Ce qui se passe dans le réacteur endothermique.....	60
CHAPITRE VI : REALISATION ET ESSAIS	61
VI.1 LE MOTEUR UTILISE POUR LA REALISATION.....	61
VI.1.1 Propriétés du Groupe électrogène.....	61
VI.1.2 Modifications sur le Groupe électrogène :	62
VI.2 REALISATION DU PMC PANTONE	63
VI.2.1 Matériaux	63
VI.2.2 Procédures de fabrication :	64
VI.2.2.1 Usinage des pièces du réacteur endothermique	64
VI.2.2.2 Assemblage du réacteur endothermique	65
VI.2.2.3 Fabrication du bulleur :	67
VI.2.2.4 Les raccords et autres	67
VI.3 ESSAIS	68
VI.3.1 Consommation moyenne du groupe électrogène fonctionnant avec le carburateur d'origine.....	71
VI.3.2 Essais avec le réacteur pantone :	71
VI.3.2.1 Préparations :	71
VI.3.2.2 Chauffage du réacteur :	72
VI.3.2.3 Démarrage :	72
VI.3.3 Observations lors du fonctionnement du moteur avec le système pantone :	72
VI.3.3.1 Pendant la marche du moteur:.....	72
VI.3.3.2 Après l'arrêt du système et du moteur :	73
VI.3.4 Interprétations	74
VI.3.4.1 Formation de vapeur d'eau dans le bulleur :	74
VI.3.4.2 Réelle influence du réacteur pantone.....	74
VI.4 RESULTATS	75
VI.4.1 Mesures	75
VI.4.2 Rendement	77
Conclusion générale.....	78
Bibliographies.....	79
Webographies	79

ANNEXES

Annexe 1 : Inconvénients mineurs du moteur deux temps

Il existe quelques inconvénients mineurs du moteur de temps qui peuvent influencer la bonne marche du réacteur pantone.

Cependant ces inconvénients mineurs peuvent aussi aider à mieux comprendre le fonctionnement du réacteur.

- Le faible frein moteur.
- Il cale souvent à bas régime.
- L'usure plus rapide de la segmentation (et donc du piston) qui contrairement à un moteur quatre temps, pénètre légèrement dans les différentes lumières d'admission et d'échappement lors du mouvement dans le cylindre. Cependant l'usure plus rapide est aussi due au fait que la plage d'utilisation d'un moteur deux temps est en général sur un régime moteur plus élevé que sur les moteurs quatre temps.

Annexe 2 : Triangle de feu

La combustion est la combinaison de trois facteurs : le combustible, le comburant et l'énergie. Cette combinaison est résumée par le triangle de feu :

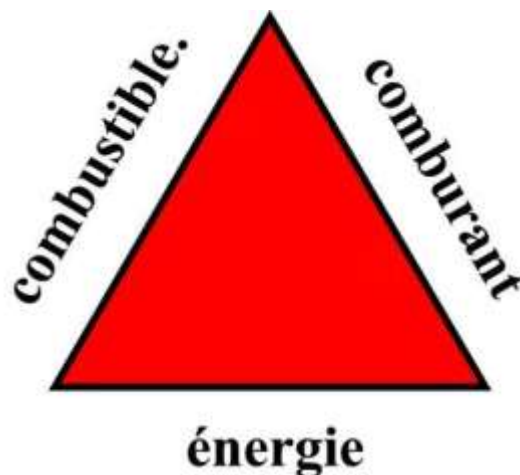


Figure : Triangle de feu

Un feu est la résultante de la combinaison de ces trois éléments mais si l'on en supprime un seul, le feu s'arrête.

- Energie :

L'énergie a pour origine : le frottement (origine mécanique), électrique (foudre, électricité statique), chimique, biochimique, solaire.

- Combustible :

On peut subdiviser les types de combustible en quatre classes :

- ✓ Classe A : Bois, carton, papier, tissu, charbon... tout ce qui laisse des braises
- ✓ Classe B : Essence, white-spirit, fuel, huile, paraffine... ce qui brûle sans laisser de braises
- ✓ Classe C : Tous les gaz, propane, butane, acétylène, hydrogène, méthane. ...
- ✓ Classe D : Les métaux finement divisés, en poudre ou en filaments, poudre d'aluminium, laine d'acier, uranium, zinc, magnésium, sodium...

- Comburant :

Les quelques composés suivants sont des exemples de comburants :

Oxygène de l'air, chlore, eau oxygénée, acide nitrique, oxylithe, acide sulfurique, nitrate de potasse, chlorates, perchlorates. ...

Annexe 3 : Turbulence

La turbulence est le phénomène mécanique qui repousse le piston du moteur et est ainsi à l'origine du mouvement convoité dans l'utilisation des moteurs.

La turbulence désigne l'état de l'écoulement d'un fluide, liquide ou gaz, dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire : tourbillons dont la taille, la localisation et l'orientation varient constamment. Les écoulements turbulents se caractérisent donc par une apparence très désordonnée, un comportement difficilement

prévisible et l'existence de nombreuses échelles spatiales et temporelles. De tels écoulements apparaissent lorsque la source d'énergie cinétique qui met le fluide en mouvement est relativement intense devant les forces de viscosité que le fluide oppose pour se déplacer. À l'inverse, on appelle laminaire le caractère d'un écoulement régulier.

Le comportement complexe des écoulements turbulents est la plupart du temps abordé par la voie statistique. On peut ainsi considérer que l'étude de la turbulence fait partie de la physique statistique. Pour traduire le fait que, dans un écoulement, les forces d'inertie l'emportent sur les forces de viscosité, un nombre de Reynolds convenablement choisi doit être supérieur à un certain seuil. Ce seuil varie en fonction de l'application. Pour l'étude de la turbulence en milieu naturel, il est préférable d'utiliser le nombre de Richardson plutôt que celui de Reynolds, car ce dernier considère la densité du fluide comme constante, ce qui n'est pas vrai dans le cas des écoulements compressibles.

Annexe 4 : Controverse du Réacteur pantone

- Controverse scientifique :

Ce dispositif de carburation est sujet à de nombreuses controverses. Mais les critiques principales sont sur le volet scientifique: en particulier, l'explication d'un réacteur à «plasma» utilisé dans le système Pantone, réaction physique/chimique qui est auto-entretenue, mais apporte tout de même de l'énergie au moteur, est contraire au principe de conservation de l'énergie. Des personnes tentent d'expliquer le phénomène par une thermolyse de l'eau grâce à la chaleur des gaz d'échappement mais celle-ci n'est pas suffisante. Si, cependant, elle l'était, cette thermolyse aurait lieu d'abord dans les gaz d'échappement eux-mêmes ou dans la chambre de combustion, ce qui n'est pas le cas.

- Controverse législatives

En 2005, aucune équipe ou compagnie industrielle ne commercialise le procédé. Paul Pantone a été condamné pour escroquerie et incarcéré pendant deux semaines le 21 août 2005, à cause de clients peu satisfaits. Il a ensuite été hospitalisé dans un hôpital psychiatrique de l'Utah, dont il est sorti le 28 mai 2009.

Annexe 5 : Aquazole

L'aquazole est un nouveau type de carburant destiné à rendre plus écologique les moteurs Diesel. Il s'agit en fait d'une émulsion de gazole (85%) et d'eau (13%) par laquelle on fait tourner les moteurs diesel. Les deux substances non miscibles sont stabilisées par des produits organiques d'une teneur de 2 à 3%. Le carburant est facile à utiliser, il requiert tout simplement une suppression du pré-filtre à gazole pour les voitures diesel ou une réinstallation du circuit d'alimentation s'il s'agit d'autobus.

Les avantages du carburant aquazole portent essentiellement sur le respect de l'homme et de l'environnement. L'aquazole permet une diminution significative de la pollution, surtout en milieu urbain. En effet, une réduction de 10 à 20% d'émission de monoxyde d'azote, de dioxyde d'azote ou encore de tétraoxyde de diazote (les fameux NOx) est constatée après utilisation de ce nouveau carburant. Les fumées noires se font également de plus en plus rares en ville. Par ailleurs, l'aquazole est un carburant propre et son utilisation ne nécessite nullement une modification majeure du moteur.