

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	I
TABLE DES MATIERES .....	II
LISTE DES FIGURES .....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	V
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1: MOTEUR A ALLUMAGE COMMANDE .....	3
1-1 Définition .....	4
1-2 Moteur à allumage commandé .....	5
Chapitre 2: COMBUSTION .....	10
2-1 Equation de combustion.....	10
2-2 Emission des gaz polluants .....	11
Chapitre 3: CARACTERISTIQUES DU MOTEUR.....	13
3-1 Couple moteur et pression moyenne effective [3].....	13
3-2 Rendement.....	14
3-3 Puissance .....	15
3-4 Consommation.....	15
Chapitre 4: MOTEUR PANTONE.....	16
4-1 Généralité .....	16
4-2 Réacteur .....	18
4-3 Bulleur.....	28
4-4 Caractéristiques du mélange .....	32
Chapitre 5: REALISATION .....	35
5-1 Réalisation du réacteur.....	36
5-2 Réalisation du bulleur .....	36

5-3 Réalisation des raccordements et la gradateur .....	37
Chapitre 6: MISE EN ŒUVRE ET ESSAIS .....	38
6-1 Fonctionnement en groupe électrogène classique .....	38
6-2 Fonctionnement en moteur Pantone .....	41
6-3 Comparaison entre fonctionnement Pantone et fonctionnement classique.....	46
Chapitre 7: ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	49
7-1 Importance du sujet.....	49
7-2 Mise en contexte du projet .....	49
7-3 Protocole de Kyoto .....	50
7-4 Impacts positifs.....	51
7-5 Impacts négatifs.....	51
7-6 Mesures d'atténuation.....	51
CONCLUSION .....	52
BIBLIOGRAPHIE .....	i
WEBOGRAPHIE.....	ii
ANNEXES.....	iii

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 Schéma d'un moteur [7] .....	4
Figure 1-2 : Cycle Beau de Rochas [10].....	6
Figure 1-3 : Cycle à 4 temps d'un moteur à allumage commandé [7] .....	8
Figure 1-4: Diagramme de Clapeyron pour un cycle réel et le cycle enveloppe associé [7].....	8
Figure 2-1 : Evolution des émissions de polluants en fonction de la richesse [2] .....	11
Figure 3-1 : Allure générale de rendement en fonction de charge .....	14
Figure 4-1: Plan du processeur multi-carburant [12] .....	17
Figure 4-2 : Tube d'écoulement d'un fluide .....	26
Figure 4-3 : Schéma simplifié d'un bulleur .....	28
Figure 4-4 : Schéma d'un bulleur chauffé par l'eau du moteur [8].....	29
Figure 4-5 : Schéma d'un bulleur chauffé par le gaz d'échappement [8] .....	30
Figure 4-6 : Schéma d'un bulleur chauffé par une résistance externe .....	31
Figure 5-1 : Photo du groupe électrogène 4 temps.....	35
Figure 5-2 : Photo du moteur Pantone monté sur un groupe électrogène .....	35
Figure 5-3 : Schéma du réacteur Pantone .....	36
Figure 5-4 : Schéma d'un bulleur.....	37
Figure 5-5 : Schéma de circuit d'un gradateur.....	37
Figure 6-1 : Flux de procédé en fonctionnement classique .....	38
Figure 6-2 : Courbe de la consommation en fonctionnement classique d'un groupe électrogène .....	39
Figure 6-3 : Courbe du rendement du groupe électrogène classique .....	40
Figure 6-4 : Moteur Pantone à deux bulleurs.....	41
Figure 6-5 : Evolution du flux de carburant du procédé Pantone .....	42
Figure 6-6 : Consommation horaire du moteur en fonctionnement à vide pour chaque mode d'alimentation .....	43
Figure 6-7 : Courbe de consommation en fonction de température de l'essence .....	44
Figure 6-8 : Courbe de consommation en fonctionnement Pantone .....	45
Figure 6-9 : Courbe de rendement en fonctionnement Pantone.....	45
Figure 6-10 : Courbe de comparaison de consommation .....	46
Figure 6-11 : Courbe de comparaison de rendement .....	47

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Moteur à combustion interne et externe [6] .....	3
--	---

## LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

SYMBOLES	DESIGNATION	UNITES
$\varepsilon$	Taux de compression	[-]
$\rho$	Taux de dilatation de volume	[-]
$\tau$	Nombre de temps du moteur	[-]
$\mu$	Viscosité cinématique	[m <sup>2</sup> /s]
$\lambda$	Coefficient de perte de charge linéaire	[-]
$\lambda_p$	Taux de dilatation de pression	[-]
$\Delta P$	Perte de charge	[Pa]
$\Delta t$	Variation de temps	[s]
$\eta$	Rendement	[-]
C	Couple	[N.m]
C <sub>s</sub>	Consommation spécifique	[l/h]
D	Diamètre	[m]
D <sub>re</sub>	Dosage réel	[-]
D <sub>st</sub>	Dosage stœchiométrique	[-]
E	Energie	[KJ]
g	Force de pesanteur	[N/kg]
GEET	Global Environmental Energy Technology	[-]
HC	Hydrocarbure imbrulé	[-]
K	Constante de la perte de charge singulière	[-]
N	Régime du moteur	[tr/mn]
NO <sub>x</sub>	Oxyde d'azote	[-]
P	pression	[bars]
PCI	Pouvoir calorifique inférieur	[KJ/Kg]
P <sub>e</sub>	Puissance effective	[W]
P <sub>m</sub>	Puissance moyenne	[W]
PMB	Point mort bas	[-]
PMC	Processeur multi carburant	[-]

Pme	Pression moyenne effective	[bars]
PMH	Point mort haut	[-]
Pmi	Pression moyenne indiqué	[bars]
ppm	Partie par million	[-]
Q <sub>ess</sub>	chaleur fournie par l'essence	[J]
Q <sub>v</sub>	Débit volumique	[l/s]
Re	Nombre de Reynolds	[-]
S	Surface	[m <sup>2</sup> ]
T	Température	[°K]
V	Volume	[l]
V <sub>es</sub>	Volume essence	[l]
V <sub>h</sub>	Volume de cylindré	[cm <sup>3</sup> ]
W	Travail	[J]

## INTRODUCTION

L'énergie joue un rôle important dans le développement social et économique d'un pays. L'homme utilise toutes les sources d'énergie existant autour d'eux pour répondre à leurs besoins.

La majorité des Pays en voie de développement tel que Madagascar utilise des combustibles fossiles pétroliers importés. Pourtant ces énergies fossiles deviennent de plus en plus rares à cause de leurs quantités limitées et leurs prix sur le marché mondial sont imprévisibles et augmentent de façon incontrôlable. De plus, en 2010, l'International Energy Agency (IEA) annonce que 80% de la production mondiale d'énergie est basée sur les combustibles fossiles. Et durant cette année, la consommation s'est élevée de 6% par rapport à celle de 2009. Cette augmentation provoque un accroissement d'émission de CO<sub>2</sub>, et ce dernier atteint un niveau record en 2010.

Ce mémoire de fin d'étude est intitulé « **ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR PANTONE** ». Le but est de connaître la réduction de la consommation par rapport au moteur classique et d'évaluer l'effet de la température du carburant et de l'eau dans le bulleur sur cette consommation. Pour ce faire, nous avons divisé notre travail en trois grandes parties.

Nous allons parler dans la première partie la généralité sur le moteur à essence 4 temps. La deuxième partie concerne la méthodologie. Dans cette partie, on va annoncer les caractéristiques du moteur et le principe du réacteur Pantone. La dernière partie montre la réalisation et l'expérimentation qui va nous permettre de comparer la performance d'un moteur en fonctionnement classique et d'un réacteur Pantone.

# **PARTIE I: GENERALITES**



## Chapitre 1: MOTEUR A ALLUMAGE COMMANDE

En 1860, les Français Jean Joseph Lenoir et Lebon ont construit un moteur à essence de cycle deux temps dont l'admission, la combustion et la détente pour un temps et l'échappement pour l'autre.

Le moteur à allumage commandé à 4 temps fut trouvé par l'ingénieur français Beau de Rochas en 1862. Et en 1879, l'ingénieur Allemand OTTO a aussi construit son premier moteur selon ce principe.

Selon le type, le caractère de la combustion et l'état du fluide ; on peut classer les machines dans le tableau suivant :

Type de combustion	Caractère de la combustion	Processus	Etat du fluide	Type du moteur
Externe	Continue	A capsulisme	Gaz	STIRLING
			Biphasique	Moteur alternatif à vapeur
		A flux continu	Gaz	Turbine à gaz en circuit fermé
			Biphasique	Turbine à vapeur en circuit fermé
	Discontinue	A capsulisme	Gaz	Cycle de TAILER
		Ecoulement alterné	Biphasique	Pulsoréacteur à vapeur
Interne	Continue	A capsulisme	Gaz	Moteur alternatif avec chambre de combustion séparée
		A flux continu	Gaz	Turbine à gaz
	Discontinue	A capsulisme	Gaz	<b>Moteur à allumage commandé</b>
		A flux discontinu	Biphasique	<b>Moteur DIESEL et IDE</b>
			Gaz	Pulsoréacteur

**Tableau 1-1 : Moteur à combustion interne et externe [6]**

## 1-1 Définition

Le moteur à allumage commandé (AC) est un moteur alternatif à combustion interne. A l'aide de la combustion du mélange air-carburant dans le cylindre, le travail se produit par le déplacement du piston en mouvement alternatif. Ce mouvement est limité, aux deux extrémités, par deux points appelés point mort haut (PMH) et point mort bas (PMB). Le volume balayé entre ces deux points constitue la cylindrée unitaire.

Au PMH, le volume résiduel est appelé volume mort ; il détermine ce que l'on nomme la chambre de combustion, qui est donc la portion de volume délimitée par la culasse, le haut de chemise et la partie supérieure du piston.

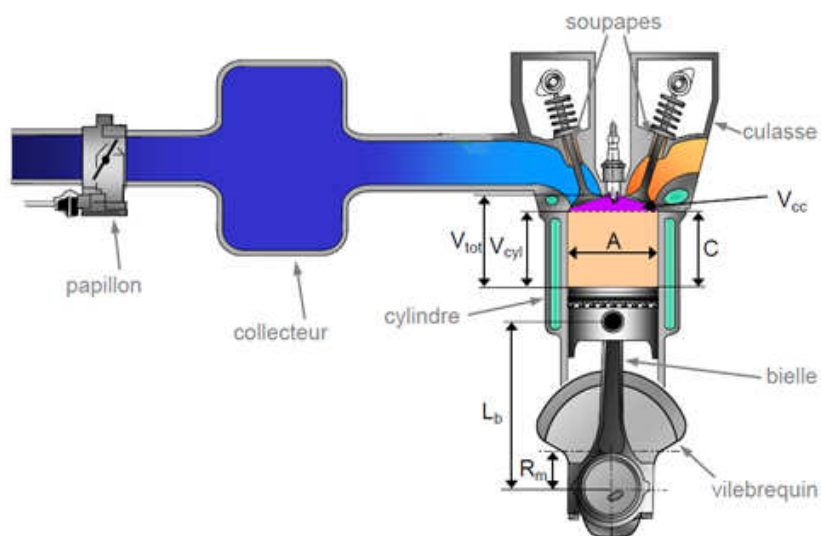
Le rapport volumétrique de compression est donné par la formule :

$$\tau = \frac{V_h + V_{cc}}{V_{cc}} [7] \quad (1.1)$$

$V_{cyl}$  est la cylindrée

$V_{cc}$  le volume mort

La figure suivante représente un moteur à allumage commandé en coupe avec ses principaux éléments.



**Figure 1-1 Schéma d'un moteur [7]**

La combustion et les modes d'alimentations sont les particularités essentielles du moteur AC. En effet, le moteur est alimenté avec un mélange air-carburant réalisé soit avant son introduction dans le cylindre (mélange préalable), soit dans le cylindre (injection directe).

Le rôle du papillon est de régler la quantité d'air admise dans le cylindre tandis que le dosage du carburant est assuré par le carburateur ou le système d'injection. Le travail fourni dépend de la quantité de mélange (air-carburant) introduite. Le rapport entre la masse d'air réellement présente dans le cylindre et la masse idéale qu'il contiendrait dans des conditions standards définit le remplissage en air qui caractérise le niveau de charge du moteur. Et ce rapport devient le rendement volumétrique si les conditions de référence sont celles régnant à l'admission. Le couple et la puissance délivrés par le moteur sont en fonction de la quantité d'air. A l'intérieur du cylindre, l'air et le carburant se transforment en un mélange gazeux combustible ; le déclenchement de l'allumage provoque une élévation locale de la température ainsi que l'apparition d'un noyau enflammé. Le front de flamme se propage ensuite dans le volume de la chambre. Le moment d'allumage est donc contrôlable, d'où la dénomination : moteur à allumage commandé. Le moyen universellement choisi pour avoir ces différents phénomènes consiste à provoquer une étincelle électrique en un point de la chambre.

## **1-2 Moteur à allumage commandé**

### *1-2-1 Cycle Beau de Rochas*

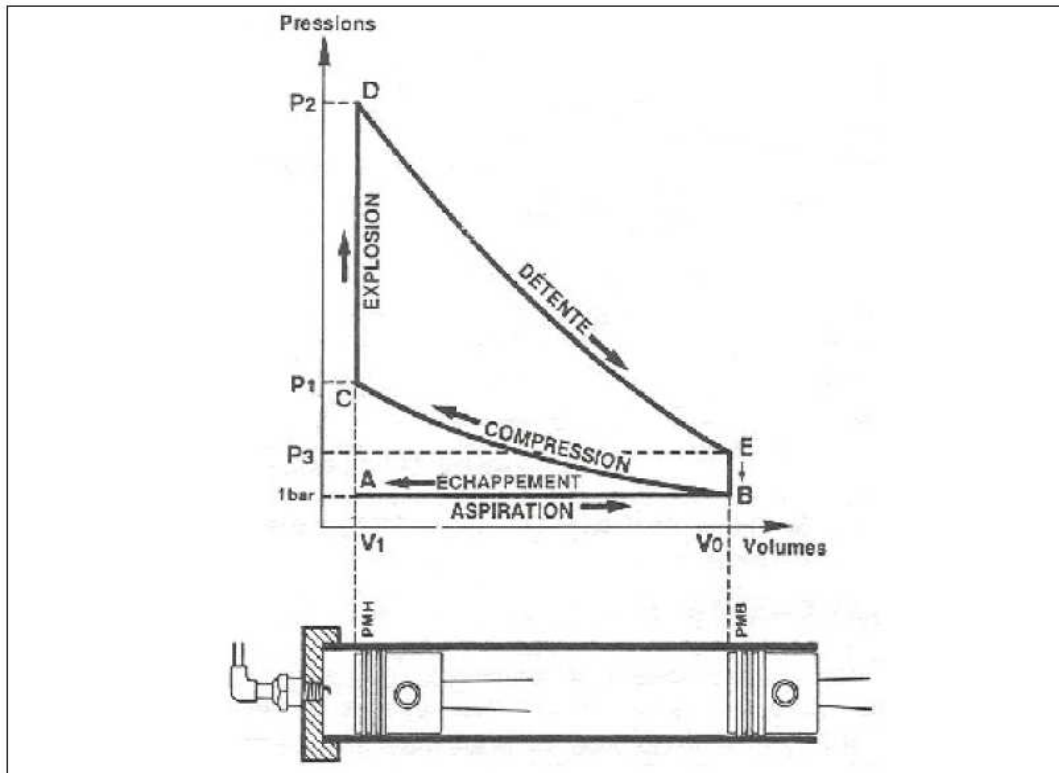
Les moteurs à quatre temps réalisent le cycle Beau de Rochas dont l'allure générale est donnée par la figure 1.2. Ce cycle correspond à quatre courses de piston dans le moteur à quatre temps.

Aspiration du gaz à la pression atmosphérique dans le cylindre le long de la droite isobare AB ( $P_0 = 1 \text{ Bar}$ ,  $V_1 V_0$ ).

Le principe de fonctionnement de piston dans le moteur, en suivant le cycle de Beau de Rochas est détaillé comme suit :

- ✓ Compression adiabatique BC jusqu'au volume minimal  $V_1$ , la pression devient  $p_1$ .
- ✓ Combustion instantanée du gaz à volume constant le long de la droite isochore CD avec une forte élévation de température  $T_2$  et de la pression à  $p_2$ .
- ✓ Détente du gaz chaud le long de l'adiabatique DE qui ramène le volume à  $V_0$ , mais à une pression  $p_3$  supérieure à celle de l'atmosphère.
- ✓ Ouverture de l'échappement des gaz dont la pression tombe instantanément à la pression atmosphérique le long de l'isochore EB, la température redescend à  $T_1$ .

- ✓ Vider le cylindre des gaz brulés, en décrivant l'isobare BA, pour revenir au point de départ A.



PMH : Point Mort Haut ; PMB : Point Mort Bas

**Figure 1-2 : Cycle Beau de Rochas [10]**

Le cycle de Beau Rochas se déroule comme suit :

- A à B : Admission
- B à C : Compression adiabatique
- C à D : Explosion très rapide
- D à E : Détente adiabatique avec production de travail
- E à B : Baisse de pression lors de l'ouverture de la soupape
- B à A : Echappement

### 1-2-2 Moteur AC à 4 temps

Il comprend 4 phases : admission, compression, combustion-détente, échappement.

a) Admission

Pendant la phase d'admission, le piston descend du PMH au PMB, qui entraîne une dépression dans le cylindre. Les vitesses des gaz sont plutôt élevées (qui peut atteindre la vitesse du son lors du passage du papillon) et l'inertie des masses gazeuses ne peut pas être négligée. A cause de la perte de charge dans le circuit d'admission, le remplissage du cylindre ne se réalise pas complètement : le remplissage naturel d'un moteur est inférieur à l'unité. Dans ce cas, on avance l'ouverture de soupape d'admission avant le PMH pour améliorer ce taux. Ces décalages sont de quelques degrés et leurs importances dépendent de la gamme du régime de fonctionnement du moteur : ils sont plus élevés pour les hauts régimes. La quantité du mélange admis ne dépend pas de la pression à l'entrée du circuit d'admission mais dépend de l'ouverture de papillon, qui détermine aussi la pression régnant en amont des soupapes. La charge du moteur est donc en rapport avec la pression d'admission.

b) Compression

Les deux soupapes étant fermées, la masse gazeuse enfermée est comprimée par le piston vers le PMH et qui entraîne l'accroissement de la pression dans le cylindre mais sans combustion. L'allumage intervient quelques instants avant le PMH pour développer la combustion. Pour réaliser la charge partielle des moteurs à injection directe, il faut faire la modulation de quantité de carburant injecté, c'est à dire que dans la chambre de combustion, la répartition de la charge est hétérogène pour que localement une faible quantité de carburant puisse être associée à une faible part de l'air et que le mélange soit combustible.

c) Combustion

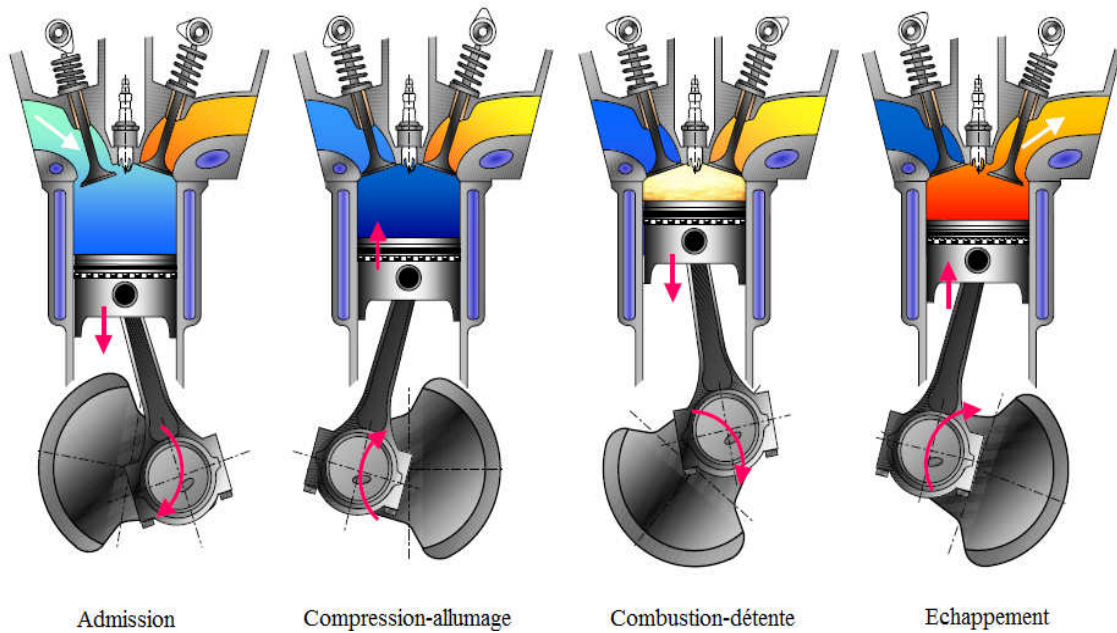
Les deux soupapes sont toujours fermées, la combustion se développe. La pression augmente pour arriver à son maximum après PMH et atteint les valeurs supérieures à 60bar en pleine charge. Les gaz possèdent à ce moment une température très élevée (2000 à 3000 K) et les transferts thermiques vers les parois sont intenses. Le piston descend vers le PMB et provoque la rotation du vilebrequin, la pression et la température des gaz diminuent.

d) Echappement

Lorsque le piston arrive au PMB, le gaz d'échappement est expulsé vers la soupape d'échappement par la remontée du piston. L'échappement s'ouvre avant le PMB et se ferme

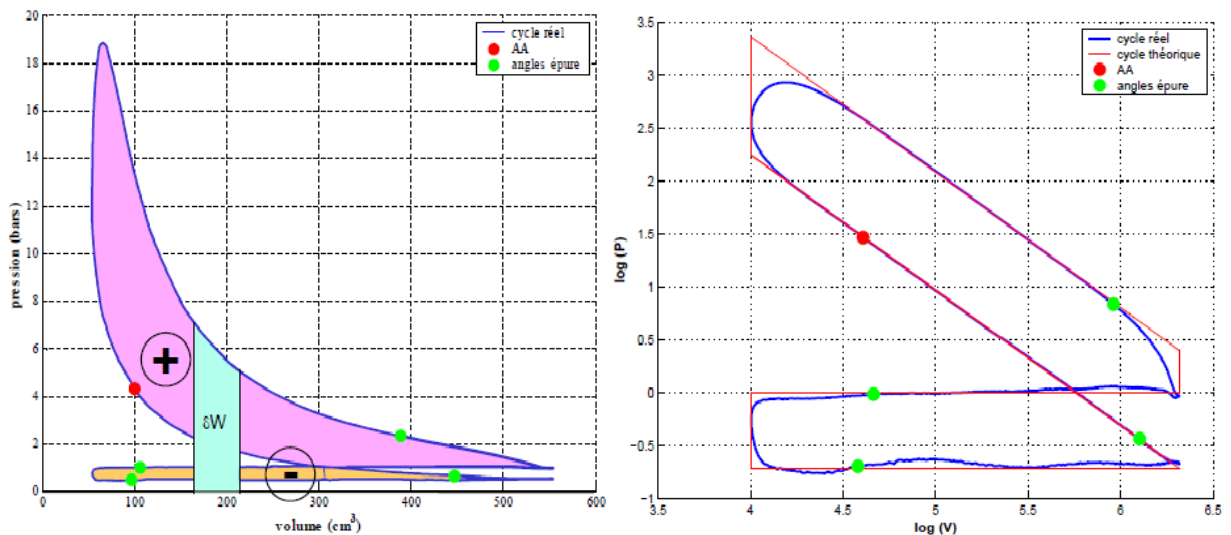
après le PMH pour tenir compte des inerties des gaz

Le schéma suivant décrit le cycle à 4 temps d'un moteur à allumage commandé.



**Figure 1-3 : Cycle à 4 temps d'un moteur à allumage commandé [7]**

Le cycle décrit est très souvent représenté sous la forme d'un diagramme.



**Figure 1-4: Diagramme de Clapeyron pour un cycle réel et le cycle enveloppe associé [7]**

Ce diagramme de Clapeyron constitue une représentation des états d'un fluide au moyen de courbes donnant la pression du fluide en fonction de son volume à une température donnée. Ce diagramme est pratique pour visualiser les cycles des moteurs à combustion interne. La surface délimitée par l'abscisse de deux points et la courbe de l'évolution du fluide représente le travail du fluide lors de la transformation. La surface bleue sur la figure 1-3 correspond à une partie du travail moteur. En effet, le travail du moteur est donné par la relation

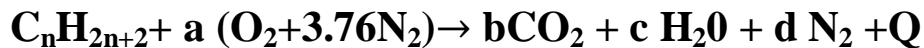
$$W = - \int p dV \quad (1.2)$$

Par convention le travail est négatif lorsque le moteur produit du travail car il est cédé par le système. Par la suite, le travail sera considéré comme positif lorsque le système cède de l'énergie et sera négatif quand il gagne. La surface rose correspond à la boucle haute pression, elle représente le travail fourni par le moteur. La surface orange est la boucle basse pression, elle correspond au travail nécessaire pour introduire le mélange frais dans le cylindre. La figure 1-3 représente un cycle moteur réel et son cycle enveloppe dans un diagramme de Clapeyron. Le cycle enveloppe correspond au cycle obtenu dans le cas où les transformations sont considérées comme isochores et polytropiques. A la différence d'un cycle théorique, l'ouverture et la fermeture des soupapes sont décalées. On bénéficie alors de l'inertie des gaz et cela permet d'augmenter la quantité de gaz admise dans le cylindre. La combustion du mélange ne se faisant pas à volume constant, il est nécessaire de débiter celle-ci quelques degrés avant l'arrivée du piston au PMH. En optimisant l'avance à l'allumage ainsi que les angles d'ouverture et de fermeture des soupapes, la puissance délivrée par le moteur et la température maximale sont augmentées au détriment de la formation des  $\text{NO}_x$ .

## Chapitre 2: COMBUSTION

**2-1 Equation de combustion***2-1-1 Equation générale de la combustion*

L'équation générale de combustion des alcanes est de la forme

*2-1-2 Richesse du mélange*

On appelle la richesse  $\phi$  le rapport entre le dosage stœchiométrique et le dosage réel notés respectivement  $D_{st}$  et  $D_{re}$

$$\phi = \frac{D_{st}}{D_{re}} \quad (2-1)$$

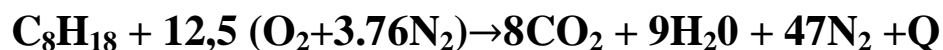
Cette richesse définit la nature de mélange à l'intérieur de cylindre.

Le mélange est dit pauvre, c'est-à-dire avec excès d'air, si la richesse est inférieure à l'unité

Et dans le cas contraire, le mélange est riche, c'est à dire avec excès de carburant

*2-1-3 Equation de combustion d'essence*

L'équation stœchiométrique de combustion d'essence est :

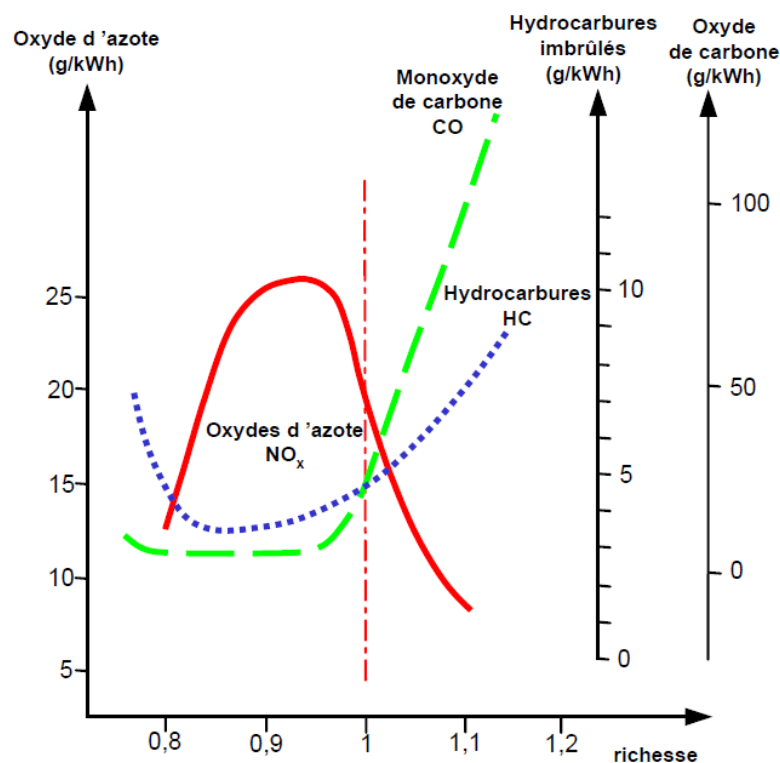


Q est l'énergie ou la chaleur dégagée par la combustion



## 2-2 Emission des gaz polluants

D'après l'équation stœchiométrie de combustion, les produits principaux lors de la combustion complète des hydrocarbures sont le dioxyde de carbone et de l'eau. Mais les gaz d'échappement sont constitués d'un grand nombre de molécules, dont certaines sont des polluants comme le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les hydrocarbures imbrûlés. La richesse du mélange carburé  $\phi$  est le paramètre déterminant pour la production des polluants.



**Figure 2-1 : Evolution des émissions de polluants en fonction de la richesse [2]**

D'après cette figure, le dégagement de  $\text{NO}_x$  est maximum quand la richesse est voisine de 1 (voisinage de stœchiométrie). Le monoxyde de carbone CO et les hydrocarbures imbrûlés HC sont minimum dans le mélange pauvre c'est-à-dire à la richesse inférieure à 1, et augmente à partir de la stœchiométrie.

---

# **PARTIE II: METHODOLOGIE**

## Chapitre 3: CARACTERISTIQUES DU MOTEUR

### 3-1 Couple moteur et pression moyenne effective [3]

La puissance effective  $P_e$  est le produit du couple  $C$  mesuré sur l'arbre de sortie du moteur, par la vitesse angulaire  $\omega$  de cet arbre

$$P_e = C\omega \quad (3-1)$$

$\omega$  : [rad/s]

$C$ : [N.m]

Soit en introduisant le régime du moteur  $N$  en [tr/min]

$$P_e = \frac{\pi}{30} CN \quad (3-2)$$

En connaissant cette puissance effective, on peut déduire :

➤ Couple moteur :

$$C = \frac{30P_e}{\pi N} \quad (3-3)$$

➤ Pression moyenne effective  $pme$  :

Les motoristes utilisent aussi la notion de pression moyenne effective ( $pme$ ), qui est la pression constante qu'il faudrait appliquer au piston pendant un cycle pour obtenir le même travail effectif.

La  $pme$  sert à exprimer le niveau de charge du moteur, elle est inférieure à 2 bar à faible charge et varie de 8 à 12 bar à pleine admission en aspiration naturelle.

$$pme = \frac{1200P_e}{V_h N} \quad (3-4)$$

$V_h$  : Cylindrée unitaire [cm<sup>3</sup>]

### 3-2 Rendement

#### 3-2-1 Rendement thermique théorique

Le rendement thermique théorique  $\eta_{th}$  d'un moteur est donné par la formule suivante :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\lambda_p \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [\lambda_p - 1 + k \lambda_p (\rho - 1)]} \quad (3-5)$$

$\rho$  : Taux de dilatation de volume

$\varepsilon$  : Taux de compression

$\lambda_p$  : Taux de dilatation de pression

$k$  : Exposant adiabatique

#### 3-2-2 Rendement effectif

Le rendement effectif  $\eta_e$  est le rapport du travail effectif  $W_e$  produit par le moteur par l'énergie introduite dans les cylindres via le pouvoir calorifique (PCI) du carburant :

$$\eta_e = \frac{W_e}{Cs \cdot PCI} \quad (3-6)$$

Cs étant la masse de carburant consommé pour produire le travail  $W_e$

La figure suivante montre l'allure générale de rendement du moteur :

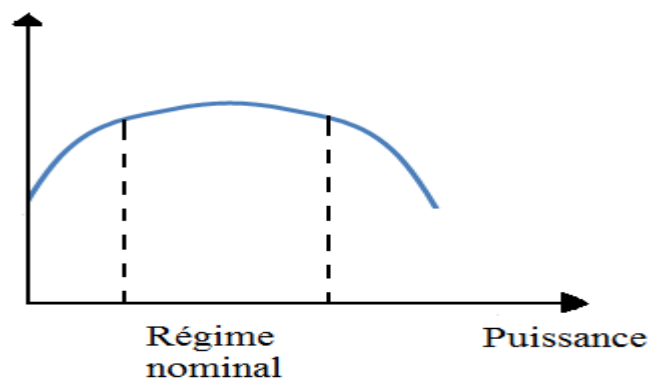


Figure 3-1 : Allure générale de rendement en fonction de charge

### 3-3 Puissance

La puissance indiquée est la puissance totale développée dans le cylindre et résultant de la pression des gaz sur les pistons :

$$P_i = pmi \frac{V_h N i}{30\tau} \quad (3-7)$$

$pmi$  : Pression moyenne indiquée

$N$  : Régime du moteur

$i$  : Nombre du cylindre

$\tau$  : Nombre de temps du moteur

$V_h$  : Cylindrée unitaire [ $\text{cm}^3$ ]

Or la pression moyenne indiquée  $pmi$  se calcule comme suit :

$$pmi = \frac{p_a \epsilon^k}{(k-1)(\epsilon-1)} [\lambda_p - 1 + k\lambda_p(\rho - 1)] \eta_{th} \quad (3-8)$$

### 3-4 Consommation

La consommation du moteur est le poids du combustible consommé par kilowattheure. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Cs = \frac{V_{es}}{E} \quad (3-9)$$

$V_{ess}$  : Volume d'essence consommé en [l]

$E$  : énergie fournie par le moteur en [KJ]

Avec

$$E = P_m \times \Delta t \quad (3-10)$$

$P_m$  : Puissance moyenne utilisée en [W]

$\Delta t$  : Temps en [s]

## Chapitre 4: MOTEUR PANTONE

### 4-1 Généralité

#### *4-1-1 Description de Paul Pantone*

Paul Pantone, né en 1950 à Détroit , ingénieur électricien américain, a passé quatre ans d'essais et en a raté plus de 350 avant de découvrir le premier réacteur endothermique appelé : Processeur Multi Carburant ou PMC. Il met son brevet international n° US005794601A1 pour son recherche en 1998.

Paul et Molley Pantone forment les vœux suivants : "Que l'on puisse vivre dans un monde en paix débarrassé des déchets du développement technique dont les rejets souillent l'eau, l'air et le sol et qui nous a amené aux frontières de l'auto-destruction, que les gens s'entraident et que règne l'abondance."

Quand on demande à Paul Pantone s'il accepte de traiter avec tous les pays, il répond calmement : "Bien sûr, car tant qu'un pays déversera des déchets toxiques dans l'écosystème, la pollution continuera. [18]

#### *4-1-2 Plan du réacteur selon Pantone*

Le PMC est composé de :

- Bulleur, réservoir et centre de volatilisation de carburant
- Réacteur, composé de deux tubes coaxiaux et une tige ferromagnétique, où la réaction est endothermique
- 4 vannes qui assurent le réglage du moteur

Ce plan est valable pour un moteur thermique dont la puissance est inférieure à 20 CV. Selon ce plan, ces moteurs fonctionnent avec 25% de carburant et 75% de l'eau.

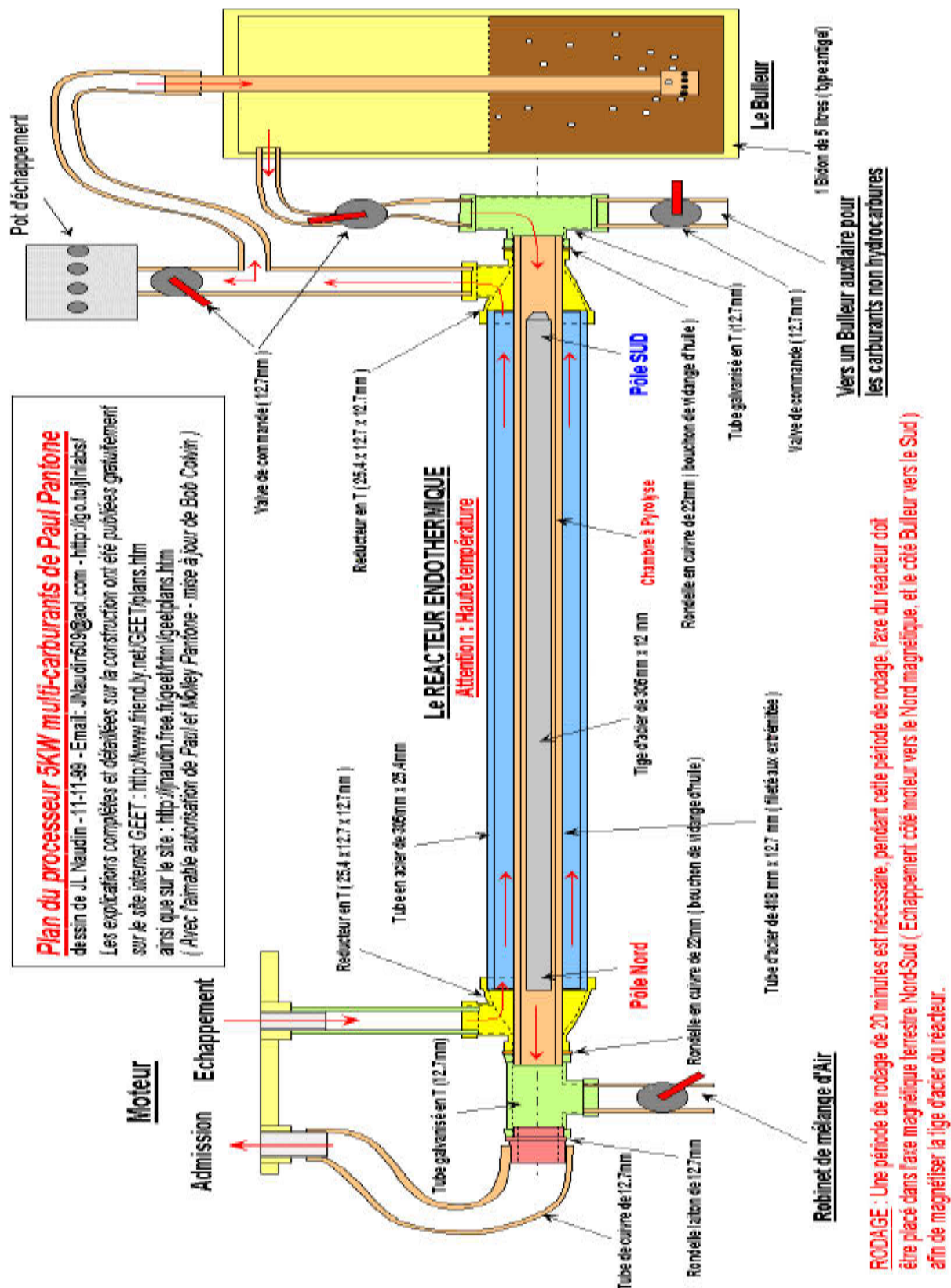


Figure 4-1: Plan du processeur multi-carburant [12]

#### *4-1-3 Principe de fonctionnement*

Le principe de fonctionnement du PMC consiste à utiliser la vapeur d'eau et la vapeur d'essence comme carburant. L'eau et l'essence sont versées dans un réservoir appelé bulleur. Le gaz perdu par l'échappement est récupéré et passe dans la partie extérieure du réacteur avant d'arriver dans le bulleur pour volatiliser le mélange. Le mélange des vapeurs de carburant dégagées par la volatilisation traverse l'espace entre le tube intérieur et la tige du réacteur où la transformation de ces deux vapeurs est due aux réactions chimiques et thermiques.

### **4-2 Réacteur**

#### *4-2-1 Le phénomène dans le réacteur*

Quelques réactions se passent dans le réacteur : l'électrification statique et le cracking.

##### a) Electrification statique

M. David pense que lors du passage forcé dans le petit intervalle entre la tige centrale et le tube, la vapeur de carburant s'électrifie et se décompose en gaz combustible qui est bien différent de la simple vapeur de carburant. Ce gaz, qui est à base de molécule d'hydrogène, d'oxygène, carbone, etc. , est obtenu si les conditions sont suffisantes.

Comme dans les plans de M. Pantone, la vapeur du carburant se dirige vers la soupape d'admission ; quant au gaz d'échappement, il circule dans le sens inverse pour chauffer le réacteur. Au début du tube de réacteur, c'est à dire au premier centimètre, à cause du gaz d'échappement, la vapeur de carburant se change en vapeur sèche, puis s'électrifie en passant le long de tube du réacteur.

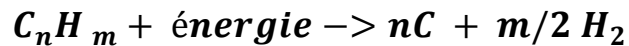
Le chaud (gaz d'échappement) et le froid (vapeur de carburant), se déplaçant en sens inverse, produisent une charge et une décharge électrique. Les molécules de la vapeur électrifiée, se déchargent quand elles s'approchent de la paroi du tube ou quand elles se rapprochent entre elles.

Chaque charge et décharge produisent une petite étincelle qui favorise le morcellement de vapeur jusqu'en atome et toutes ces étincelles produisent l'élévation de température dans le réacteur.



### b) Reformage et cracking

On peut considérer le réacteur Pantone comme une micro raffinerie. On peut envisager alors, qu'il y se passe des reformages et cracking. Ensuite, un phénomène nommé plasma va se produire du fait de la magnétisation de la tige centrale. Mais avec la température qui est très élevée à l'intérieure du réacteur, ce champ magnétique rend la réaction de cracking par voie plasma plus complexe. On peut quand même la généralisée comme suit :



#### ❖ Enthalpie de cracking des hydrocarbures

Nous allons étudier de façon simplifiée l'enthalpie de reformage de l'octane en fonction des températures.

On sait que l'enthalpie standard de formation des corps purs simples dans leur état de référence est nulle par convention et à 25°C, la variation de l'enthalpie ( $\Delta H^\circ$ ) est :

$$\Delta H^\circ(CH_4) = -74,8KJ/mole$$

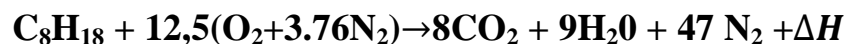
$$\Delta H^\circ(C_2H_8) = -84,7KJ/mole$$

$$\Delta H^\circ(CO_2) = -392,04KJ/mole$$

$$\Delta H^\circ(H_2O) = -285,50KJ/mole$$

#### Equation de la combustion d'octane

L'équation stœchiométrique de combustion d'octane est :



La somme de variation de l'enthalpie de produit est égale à la somme de variation de l'enthalpie du réactif, alors :

$$\Delta H^\circ(\text{reaction}) = 8\Delta H^\circ(CO_2) + 9\Delta H^\circ(H_2O) - \Delta H^\circ(C_8H_{18})$$

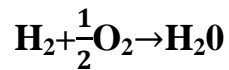
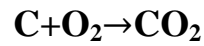
Et on détermine la  $\Delta H^\circ \text{reaction}$  à partir de la PCI d'essence :

Avec PCI=42000KJ/Kg

Et  $M_{C_8H_{18}} = 114 \text{ g/mole}$ .

$$\Delta H^\circ(\text{reaction}) = -4788 \text{ kJ/mole}$$

On a l'équation de formation :



Or d'après la formule :

$$\frac{d\Delta H^\circ}{dT} = \Delta C_p(\text{produit} - \text{reactif}) \quad (4-1)$$

Nous avons la variation d'enthalpie en fonction de la température :

$$dH^\circ(CO_2) = [C_p(CO_2) - C_p(O_2) - C_p(C)]dT$$

Avec  $C_p(CO_2) = 0,02T + 30,6 \text{ J/mole } ^\circ K$

$C_p(O_2) = 0,006T + 27,5 \text{ J/mole } ^\circ K$

$C_p(C) = 8,6 \text{ J/mole } ^\circ K$

Après integration on a:

$$\Delta H^\circ(CO_2) = 0,006T^2 - 5,5T - 392040 \text{ J/mole}$$

De plus,

$$dH^\circ(H_2O) = [C_p(H_2O) - \frac{1}{2}C_p(O_2) - C_p(H_2)]dT$$

Avec  $C_p(H_2O) = 0,011T + 30,38 \text{ J/mole } ^\circ\text{K}$

$$C_p(O_2) = 0,006T + 27,5 \text{ J/mole } ^\circ\text{K}$$

$$C_p(H_2) = 29,4 \text{ J/mole } ^\circ\text{K}$$

Et après intégration, on a aussi :

$$\Delta H^\circ(H_2O) = 0,004T^2 - 12,77T - 282500 \text{ J/mole}$$

Or on a :

$$\Delta H^\circ(\text{reaction}) = 8\Delta H^\circ(CO_2) + 9\Delta H^\circ(H_2O) - \Delta H^\circ(C_8H_{18})$$

Donc

$$\Delta H^\circ(C_8H_{18}) = 0,088T^2 - 158,93T - 890820 \text{ J/mole}$$

Cette variation est :

- à  $25^\circ\text{C}$        $\Delta H^\circ(C_8H_{18}) = -894,73 \text{ KJ/mole}$
- à  $800^\circ\text{C}$        $\Delta H^\circ(C_8H_{18}) = -961,64 \text{ KJ/mole}$

Nous étudions le cas de l'essence dans l'atmosphère neutre.

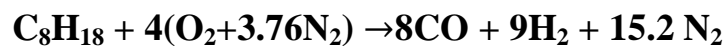
On a:



Où l'énergie est égale à :

$$\Delta H^\circ(\text{réaction}) = \Delta H^\circ(C_8H_{18}) = 0,088T^2 - 158,93T - 890820 \text{ J/mole}$$

Dans l'atmosphère réelle, l'équation s'écrit :



La variation d'enthalpie de la réaction est :

$$\Delta H^\circ(\text{réaction}) = 8\Delta H^\circ(CO) + 9\Delta H^\circ(H_2) - 4\Delta H^\circ(O_2) - \Delta H^\circ(C_8H_{18})$$

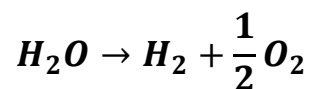
$$\Delta H^\circ (\text{réaction}) = -0.08825T^2 + 99.73T + 23740 \text{ J/mole}$$

A partir de la variation de l'enthalpie de réaction, la réaction dans l'atmosphère réelle est endothermique jusqu'à la température environ 1500°C, et au-delà de cette température, elle devient exothermique.

De même dans l'atmosphère neutre, la réaction est endothermique jusqu'à la température environ 4200°C.

### ❖ Enthalpie de cracking d'eau

Etudions le cas de vapeur d'eau :



La variation d'enthalpie est :

$$dH^\circ(H_2O) = \left[ \frac{1}{2}Cp(O_2) + Cp(H_2) - Cp(H_2O) \right] dT$$

Après intégration, on a :

$$\Delta H^\circ(H_2O) = -0,004T^2 + 12,77T + 282500 \text{ J/mole}$$

L'enthalpie de reformage d'essence est de 420KJ/Kg en atmosphère réel à la température 800°C. Cette température n'est pas suffisante, elle nécessite une température élevée (environ 1500°C) pour que le cracking soit spontané. Considérons qu'il y a 10% de pertes dans l'échappement d'un moteur à fonctionnement en essence, on a récupéré plus d'énergie.

Le craquage de vapeur d'eau nécessite beaucoup d'énergie et une température très élevée. La température de gaz d'échappement à l'entrée du réacteur est environ de 700°C. D'où provient alors l'augmentation de la température ?

Ce ne sont pas seulement le reformage et le cracking qui se passent dans le réacteur, on peut envisager, par hypothèse que le phénomène des éclairs est considéré comme source d'augmentation de la température.

Considérons les éclairs naturels, ce phénomène est dû à une décharge électrique qui se produit entre le nuage et la terre, ou entre deux nuages. La particule chargée se déplace et provoque l'ionisation de l'air qui entraîne l'éclair. Tout cela se passe dans le champ magnétique terrestre. Ce phénomène est semblable au phénomène qui se passe dans le réacteur car on imagine dans l'électrification qu'il y a une particule chargée qui se déplace. Cette particule se décharge et ce phénomène se passe dans le champ magnétique créé par la tige centrale. La magnétisation de la tige est due à l'orientation du réacteur dans l'axe Nord-Sud terrestre pendant le premier essai et/ou par la circulation de la particule ionisée dans l'espace annulaire. Si l'éclair est vraiment passé dans le réacteur, il est suffisant pour casser facilement les molécules d'hydrocarbures et l'eau.

#### 4-2-2 Débit volumique et vitesse du fluide dans le réacteur

Pour le calcul du débit et de la vitesse du fluide dans le réacteur et dans le moteur, on admet que le gaz qui y circule est considéré comme gaz parfait.

#### ***Loi de gaz parfait***

$$PV = m r T \quad (4-2)$$

**P** : pression [Pa]

**V** : volume [m<sup>3</sup>]

**m** : masse de gaz [Kg]

**r** : constante de gaz parfait

**T** : température [°K]

#### a) Débit volumique $Q_v$

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (4-3)$$

**t** : temps[s]

$Q_v$  : débit volumique [m<sup>3</sup>/s]

- **Calcul :**

Dans le calcul suivant on prend quelques hypothèses :

- Le moteur utilisé est le groupe de vitesse 3000tours/min et de cylindre 300cm<sup>3</sup> dont le débit d'air aspiré à l'admission est :  **$Q_v = 6.5 \text{ l/s}$**
- Pression constante dans le réacteur
- Dépression d'aspiration : **0,15bar**
- Conservation de la masse
- r constant

Tous les gaz qui circulent à l'intérieur du réacteur sont considérés comme gaz parfait

Soit :

$Q_{v1}$  : débit de gaz en entrée du réacteur

$Q_{v2}$  : débit du gaz à la sortie du réacteur égal à 6,5 l/s

$Q_{v3}$  : débit du gaz d'échappement à l'entrée du réacteur

$Q_{v4}$  : débit du gaz d'échappement à la sortie

D'après la formule (4-3), on a :

- **$Q_{v1}=4,63 \text{ l/s}$**
- **$Q_{v2}=6,5 \text{ l/s}$**
- **$Q_{v3}=14,41 \text{ l/s}$**
- **$Q_{v4}=7,2 \text{ l/s}$**

b) Vitesse du fluide

$$v = \frac{Q_v}{S} \quad (4-4)$$

v : vitesse [m/s]

S : surface de cylindre [m<sup>2</sup>]

Dans le calcul suivant on prend la valeur moyenne du débit du gaz d'admission  
 $Q_v = 5,56 \text{ l/s}$

On a :

- $v_1 = 42,1 \text{ m/s}$
- $v_2 = 278 \text{ m/s}$

Où  $v_1$  la vitesse du gaz juste à l'entrée du réacteur et  $v_2$  la vitesse du gaz au milieu du réacteur.

#### 4-2-3 Equation de Bernouilli et perte de charge

##### a) Nombre de Reynolds $Re$ :

Le nombre de Reynolds est un nombre adimensionnel caractérisant la nature du régime d'écoulement d'un fluide en mouvement donné par la formule :

$$Re = \frac{v D_H}{\mu} \quad (4-5)$$

$v$ : vitesse moyenne d'écoulement du fluide dans la conduite [m/s]

$D_H$  : diamètre hydraulique [m]

$\mu$  : viscosité cinématique [m<sup>2</sup>/s]

Avec

$$D_H = 4 \frac{S}{p} \quad (4-6)$$

$S$  : l'aire de la section mouillée [m<sup>2</sup>]

$p$  : périmètre mouillé [m]

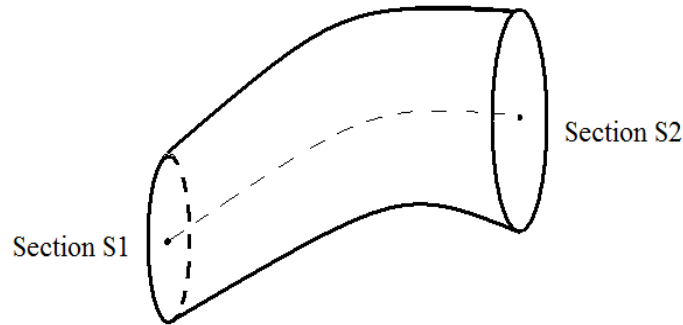
$$\mu = \frac{\gamma}{\rho} \quad (4-7)$$

$\gamma$ : Viscosité dynamique [kg/m<sup>3</sup>.s]

$\rho$ : Masse volumique du fluide [kg/m<sup>3</sup>]

### b) Equation de Bernoulli

Pour un écoulement de fluide parfait dans une portion de conduite délimitée par les sections  $S_1$  et  $S_2$ , telle que entre  $S_1S_2$  il n'y a pas de machine hydraulique, on a en terme de charge :



**Figure 4-2 : Tube d'écoulement d'un fluide**

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z + \Delta P \quad (4-8)$$

$P$  : pression statique

$v$  : vitesse moyenne du fluide [m/s]

$z$  : altitude du point par rapport à un plan de référence [m]

$\Delta P$  : perte de charge

### c) Perte de charge :

La perte de charge dépend de la forme, de la dimension, de la rugosité du canal, de la vitesse d'écoulement et de la viscosité du fluide mais non de la valeur absolue de la pression qui règne dans le fluide.

✓ Perte de charge linéaire donnée par la formule :

$$\Delta P = \lambda \frac{\rho v^2}{2} \frac{L}{D} \quad (4-9)$$

$L$  : longueur de la conduite [m]

$v$  : vitesse moyenne dans la conduite [m/s]

$\lambda$  : coefficient sans dimension de la perte de charge linéaire avec :



$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (4-10)$$

✓ Perte de charge singulière exprimée par :

$$\Delta P = K \frac{\rho v^2}{2} \quad (4-11)$$

K : coefficient sans dimension de la perte de charge singulière

$\Delta P$  en [Pa]

#### 4-2-4 Calcul de PCI du mélange

C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une quantité de combustible.

Pour calculer le PCI du mélange, on utilise la formule suivante :

$$PCI[Kcal/m^3] = 2580[H_2] + 3500[CO] + 8530[CH_4] + 17000[C_8H_{18}] \quad (4-12)$$

[H<sub>2</sub>] : Pourcentage d'hydrogène

[CO] : Pourcentage de monoxyde de carbone

[CH<sub>4</sub>] : Pourcentage de méthane

[C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>] : Pourcentage de l'alcane

Et on a :

$$PCI = PCI_0 \frac{P}{760} \frac{273}{273 + T} \quad (4-13)$$

PCI : Pouvoir calorifique à la température T en [Kcal/m<sup>3</sup>]

PCI<sub>0</sub> : Pouvoir calorifique dans les conditions normales (0°C, 760mmHg) en [Kcal/m<sup>3</sup>]

P : Pression en [mm Hg]

T : Température en [°C]

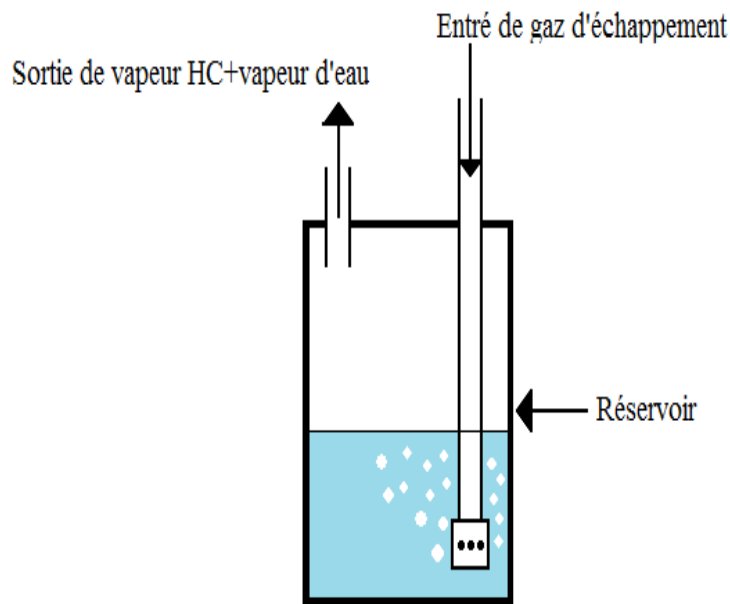
### 4-3 **Bulleur**

#### 4-3-1 *Description du bulleur*

Pour le plan publié par Pantone, le bulleur est un récipient hermétiquement fermé. C'est le centre de volatilisation de mélange de carburant et de l'eau en vapeur. Le gaz d'échappement injecté dans le bulleur volatilise et vaporise le mélange avant de l'introduire dans le réacteur.

Pour assurer l'alimentation du réacteur il faut que:

- la vapeur d'eau dans le bulleur soit la plus chaude possible mais sa température doit être en dessous de 90°C pour ne pas inonder le réacteur.
- la température dans le bulleur reste constante.



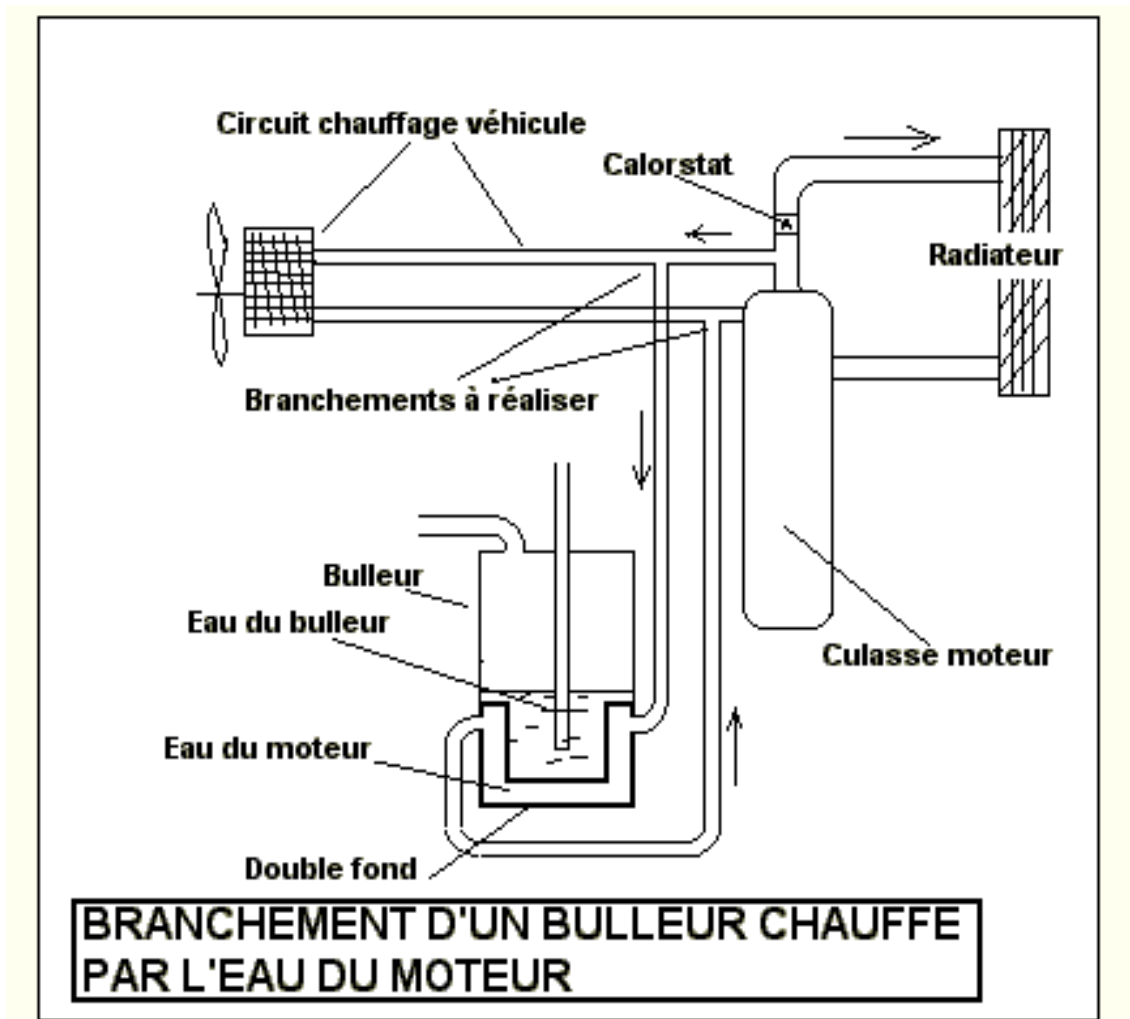
**Figure 4-3 : Schéma simplifié d'un bulleur**

#### 4-3-2 *Différents modes de chauffage du bulleur*

Différents montages sont possibles pour le chauffage du bulleur, à savoir:

- ❖ Chauffage par l'eau de moteur
- ❖ Chauffage le gaz d'échappement
- ❖ Chauffage par source externe

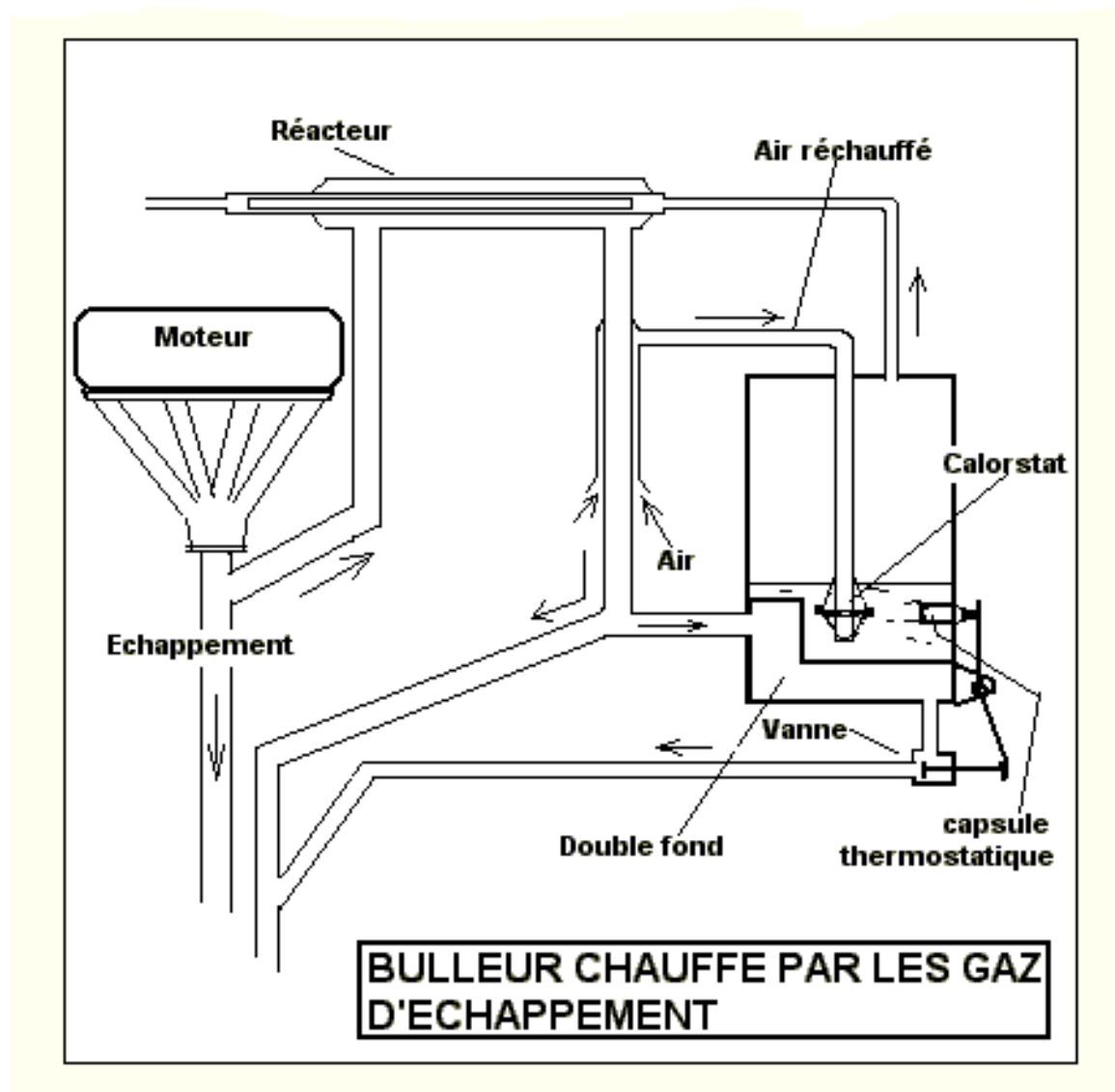
a) Chauffage par l'eau du moteur



**Figure 4-4 : Schéma d'un bulleur chauffé par l'eau du moteur [8]**

Ce montage est valable pour le moteur avec radiateur. Il est facile à réaliser car il suffit de prélever l'eau avant le calorstat. L'eau chaude venant du moteur chauffera le bulleur à l'aide d'un double fond situé juste au dessous du bulleur.

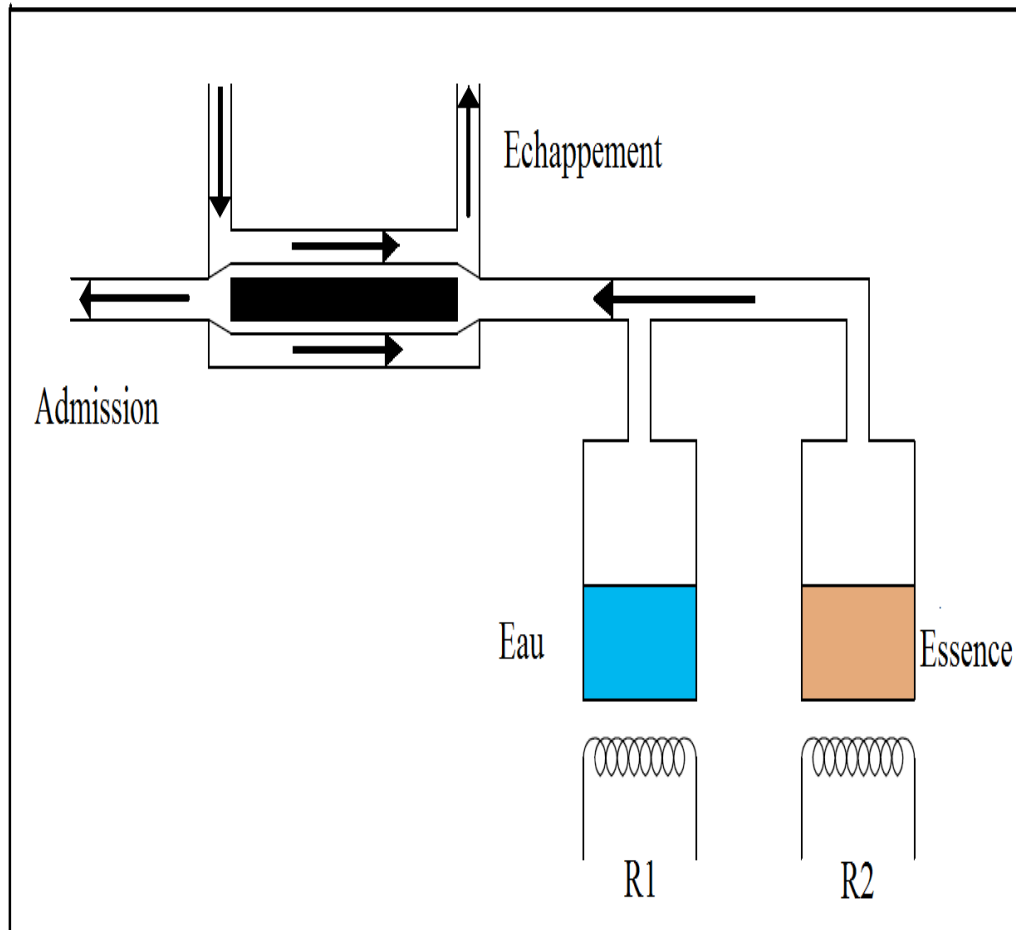
L'inconvénient de ce montage est l'augmentation très lente de la température du mélange eau-carburant dans le bulleur.

b) Chauffage par le gaz d'échappement

**Figure 4-5 : Schéma d'un bulleur chauffé par le gaz d'échappement [8]**

Certes ce montage est un peu difficile à réaliser par rapport au montage précédent, mais il s'avère plus avantageux car d'une part la température du mélange y croît plus rapidement et d'autre part la capsule thermostatique contrôle la température du mélange afin de satisfaire les conditions de l'alimentation du réacteur. Le gaz d'échappement chauffe le bulleur par l'intermédiaire du double fond.

c) Chauffage par la source externe



**Figure 4-6 : Schéma d'un bulleur chauffé par une résistance externe**

Dans ce cas, on n'utilise pas le gaz d'échappement et l'eau du moteur pour le chauffage de bulleur. On utilise des résistances R1 et R2 pour chauffer les réservoirs d'eau et d'essence. L'alimentation de ces deux résistances est réglable, cela à pour but de gérer le chauffage de chaque réservoir.

#### 4-4 Caractéristiques du mélange

- ❖ On schématise l'octane  $C_8H_{18}$  sous la forme  $H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$  ou  $H_3C-(CH_2)_6-CH_3$

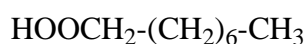
La molécule est symétrique donc il y a 4 possibilités d'attaque radicalaire

- $^{\circ}H_2C-(CH_2)_6-CH_3$
- $H_3C-^{\circ}CH-(CH_2)_5-CH_3$
- $H_3C-CH_2-^{\circ}CH-(CH_2)_4-CH_3$
- $H_3C-(CH_2)_2-^{\circ}CH-(CH_2)_3-CH_3$

A partir de là, on aura la formation de 4 peroxydes :

- $^{\circ}OOCH_2-(CH_2)_6-CH_3$
- $H_3C-HCOO^{\circ}-(CH_2)_5-CH_3$
- $H_3C-CH_2-HCOO^{\circ}-(CH_2)_4-CH_3$
- $H_3C-(CH_2)_2-HCOO^{\circ}-(CH_2)_3-CH_3$

En arrachant un  $H^{\circ}$  sur une molécule d'eau, et en prenant le premier cas, il se formera le hydroperoxyde correspondant:



Qui peut conduire à un alcool primaire :  $HOCH_2-(CH_2)_6-CH_3$

Ou un aldéhyde :  $OCH-(CH_2)_6-CH_3$

- ❖ Nous avons donc déterminé la masse volumique de la phase initiale et la phase finale de chaque solution :

✓ Phase initiale

$$V_{\text{eau}}=250\text{ml et } M_{\text{eau}}=249,5\text{g}$$

$$\rho_{\text{eau}} = 0,998\text{kg/l}$$

$$V_{\text{essences}}=250\text{ml et } M_{\text{essence}}=188\text{g}$$

$$\rho_{\text{essence}} = 0,752\text{kg/l}$$

✓ Phase finale

$$V_{\text{eau}}=100\text{ml et } m_{\text{eau}}=99,7\text{g}$$

$$\rho_{\text{eau}} = 0,997\text{kg/l}$$

$$V_{\text{essences}}=100\text{ml et } m_{\text{essence}}=84,5\text{g}$$

$$\rho_{\text{essence}} = 0,845\text{kg/l}$$

La masse volumique de l'eau à la phase finale est presque identique à celle à la phase initiale alors que la masse volumique d'essence à la phase finale est bien supérieure à celle de l'essence pure. Ceci justifie ce que nous venons de dire précédemment : l'essence s'appauvrit au fur et à mesure que le temps d'utilisation augmente. Seuls les composés les plus lourds restent dans l'essence, d'où une augmentation de sa masse volumique.

Nous avons déterminé aussi la masse volumique du mélange et la durée de la combustion directe dans l'atmosphère réelle du mélange (essence+eau) et celle de l'essence ordinaire

On prend 20ml du mélange (10ml essence et 10ml eau) on a :

$$V_{\text{mélange}}=20\text{ml}$$

$$M_{\text{mélange}}=17\text{g}$$

La masse volumique du mélange après calcul est  $\rho_{\text{mélange}} = 0,85\text{kg/l}$

---

# **PARTIE III: PRESENTATION DE LA REALISATION-ESSAIS - IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX**



## Chapitre 5: REALISATION

Le moteur utilisé pendant la réalisation est le groupe électrogène à quatre temps de marque HUNDA de puissance nominale 3KVA et de puissance maximale est 3,5KVA. Il délivre une tension de 220V et ayant une vitesse nominale de 3000 tour/min.



**Figure 5-1 : Photo du groupe électrogène 4 temps**

On a réalisé l'essai en utilisant l'essence pour connaître la consommation et le rendement en fonctionnement normal du groupe. Après on démonte le réservoir, le carburateur et le pot d'échappement. Nous avons construit le réacteur et on l'a monté sur le groupe avec quelques pièces intermédiaires.



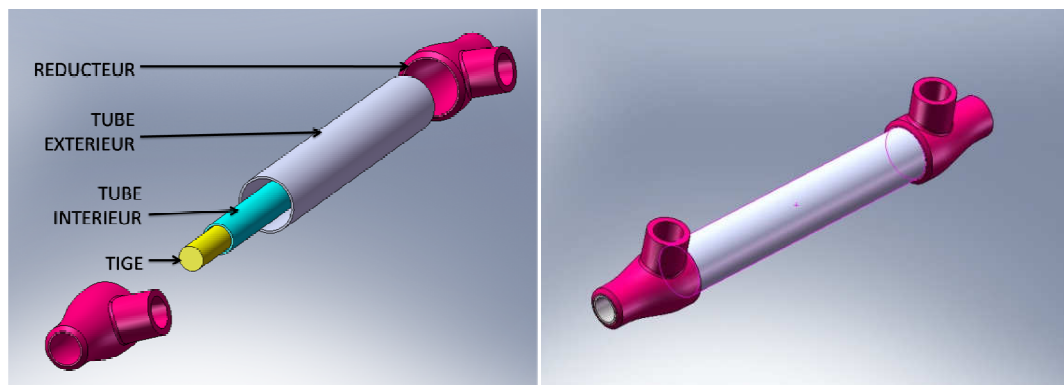
**Figure 5-2 : Photo du moteur Pantone monté sur un groupe électrogène**

## 5-1 Réalisation du réacteur

Nous avons construit le réacteur à partir du plan approprié au moteur de puissance inférieure à 20 CV qui est déjà publié par Pantone.

Le réacteur est composé d'une tige ferromagnétique de 300mm de long et de 12mm de diamètre et deux tubes coaxiaux. Pour assurer l'emplacement de la tige au milieu du réacteur, on ajoute trois points de soudure sur l'extrémité de la tige, puis on fait l'usinage pour avoir la dimension exacte. Le tube extérieur de diamètre 26mm, de longueur 305mm est un tube de plomberie standard en acier galvanisé déjà fileté donc on l'a utilisé directement au montage du réacteur. Le tube intérieur de diamètre intérieur 12,7mm, de longueur 418mm est en acier galvanisé dont on fait le filetage de chaque extrémité.

On ne trouve pas sur le marché le réducteur en T, mais on le fait à partir d'un simple réducteur et d'un manchon de diamètre 12mm par soudage.



**Figure 5-3 : Schéma du réacteur Pantone**

La figure ci- dessus présente la vue éclatée (figure gauche) et la vue d'ensemble (figure droite) d'un réacteur.

## 5-2 Réalisation du bulleur

On utilise deux bulleurs dont l'un pour l'essence et l'autre pour l'eau. Mais pour créer un bulleur, on a acheté un réservoir métallique (dont la contenance est de 1 litre). Sur le couvercle de celui-ci a été aménagée une pièce de raccord permettant de soutirer le fluide. Ce raccordement est réalisé par brasage d'un tube en cuivre de diamètre 13mm et d'un embout.

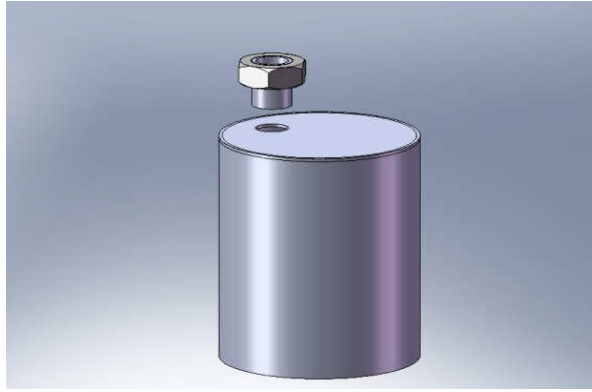


Figure 5-4 : Schéma d'un bulleur

### 5-3 Réalisation des raccordements et la gradateur

La pièce d'admission est une pièce que nous avons spécialement fabriquée pour pouvoir connecter notre réacteur sur l'admission du moteur. Cette pièce est faite à partir d'une tôle noire d'épaisseur 3 mm et de tube en cuivre de diamètre 13 mm par brasage.

Les raccords entre les différents organes du montage sont réalisés à l'aide de tube en cuivre de diamètre 13mm, des coudes de diamètre 14mm et des différents raccords de plomberie nécessaires.

Nous réalisons la pièce d'échappement pour modifier l'échappement. Cette modification permet de connecter la soupape d'échappement du moteur et le réacteur Pantone. La pièce est réalisée par soudage d'un tube galvanisé de diamètre 12 mm et d'une tôle noire d'épaisseur.

Nous avons réalisé le générateur réglable appelé GRADATEUR pour régler les deux résistances de chauffage de bulleur. Il est composé de plusieurs composantes électroniques dont le schéma équivalent du circuit est le suivant.

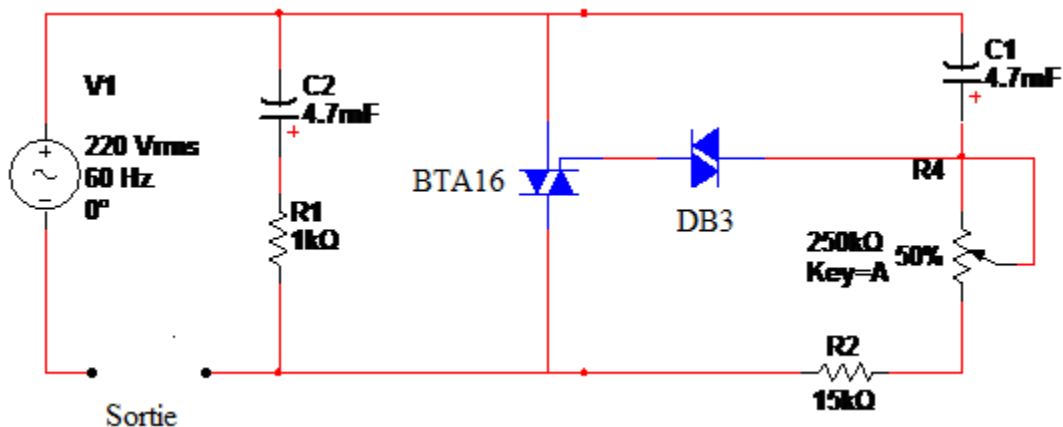
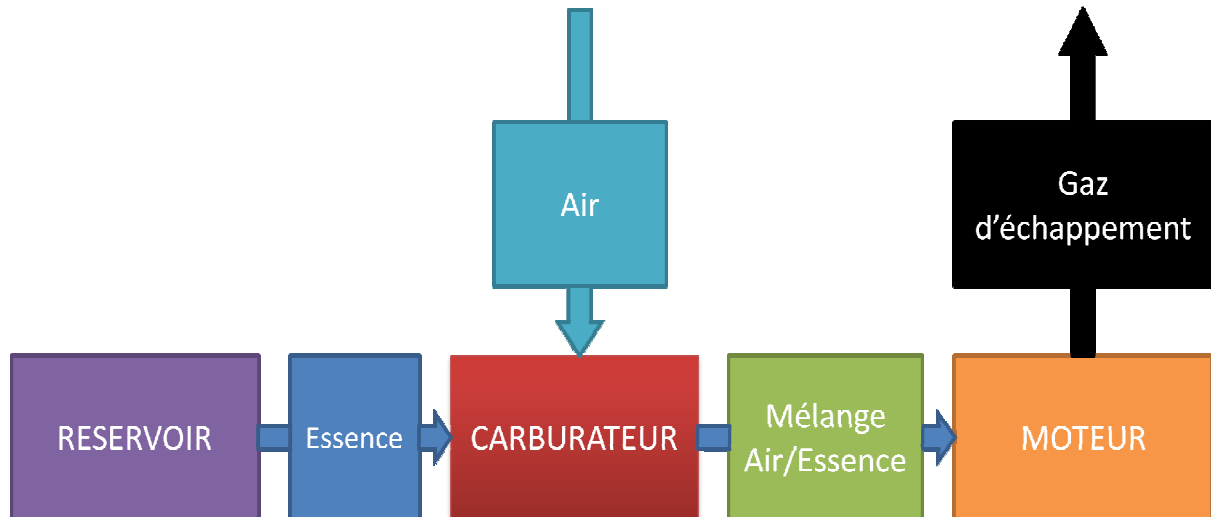


Figure 5-5 : Schéma de circuit d'un gradateur

## Chapitre 6: MISE EN ŒUVRE ET ESSAIS

### 6-1 Fonctionnement en groupe électrogène classique

Le schéma suivant donne le flux de procédé en groupe électrogène classique :



**Figure 6-1 : Flux de procédé en fonctionnement classique**

#### 6-1-1 But de l'essai

Le but de cet essai est de déterminer le rendement et la consommation du groupe électrogène à essence avec trois charges différentes.

#### 6-1-2 Dispositif expérimental

On utilise les matériels suivants pour réaliser l'expérience :

- ✓ Wattmètre / Joulemètre pour mesurer la puissance moyenne
- ✓ Resistance de 650W, 1360W, 2000W
- ✓ Groupe électrogène (3000W à 3500W)

#### 6-1-3 Mode opératoire

Comme le constructeur annonce dans le cahier de charge, avant de commencer toute les mesures, on chauffe le groupe électrogène pendant 10 minutes et le Wattmètre pendant 15 minutes.

On prend la valeur de la puissance moyenne donnée par le Wattmètre pour les différentes charges (650W, 1360W, 2000W)

On relève la durée de fonctionnement du groupe pour qu'une certaine quantité d'essence versée soit consommée.

#### 6-1-4 Résultats

Données :

$m_{es} = 0,3755Kg$  : Masse d'essence

$PCI_{es} = 42000KJ/Kg$  : Pouvoir calorifique interne d'essence

$Q_{es} = 15855KJ$

Volume d'essence utilisé  $V_{ess}=0,5$  litre

Durée $\Delta t$	Puissance moyenne des charges
$\Delta t_1 = 2160s$	$P_{m1} = 650W$
$\Delta t_2 = 1680s$	$P_{m2} = 1360W$
$\Delta t_3 = 1320s$	$P_{m3} = 2000W$

Les courbes suivantes donnent le résultat de la consommation et du rendement en fonction de charge

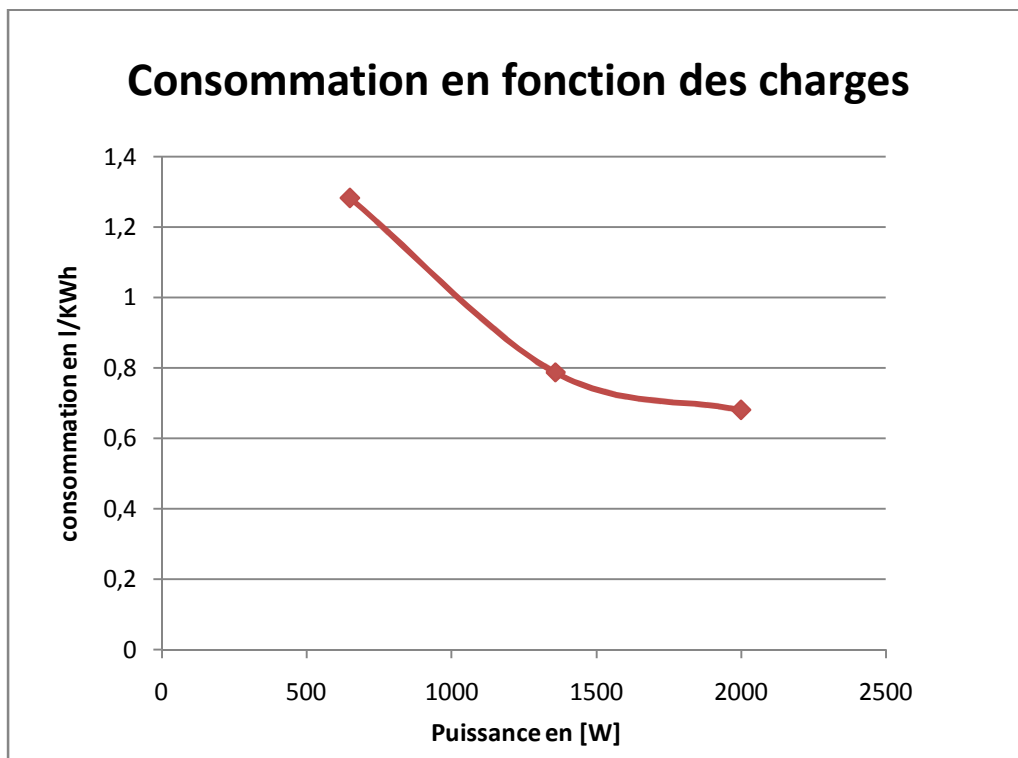
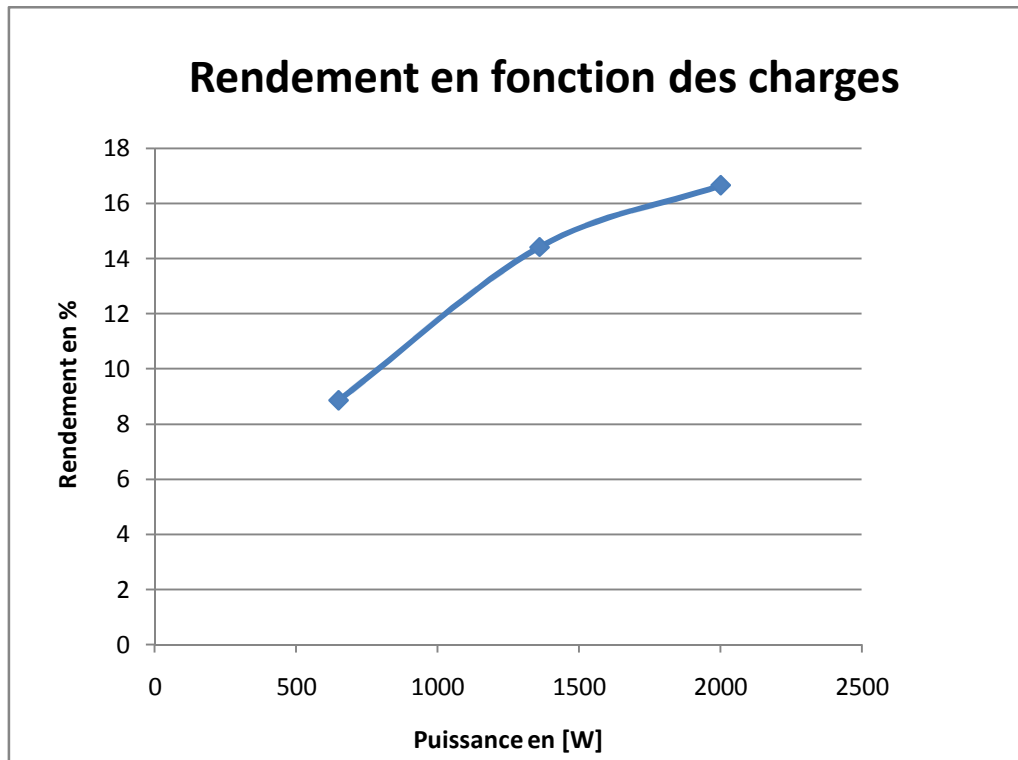


Figure 6-2 : Courbe de la consommation en fonctionnement classique d'un groupe électrogène

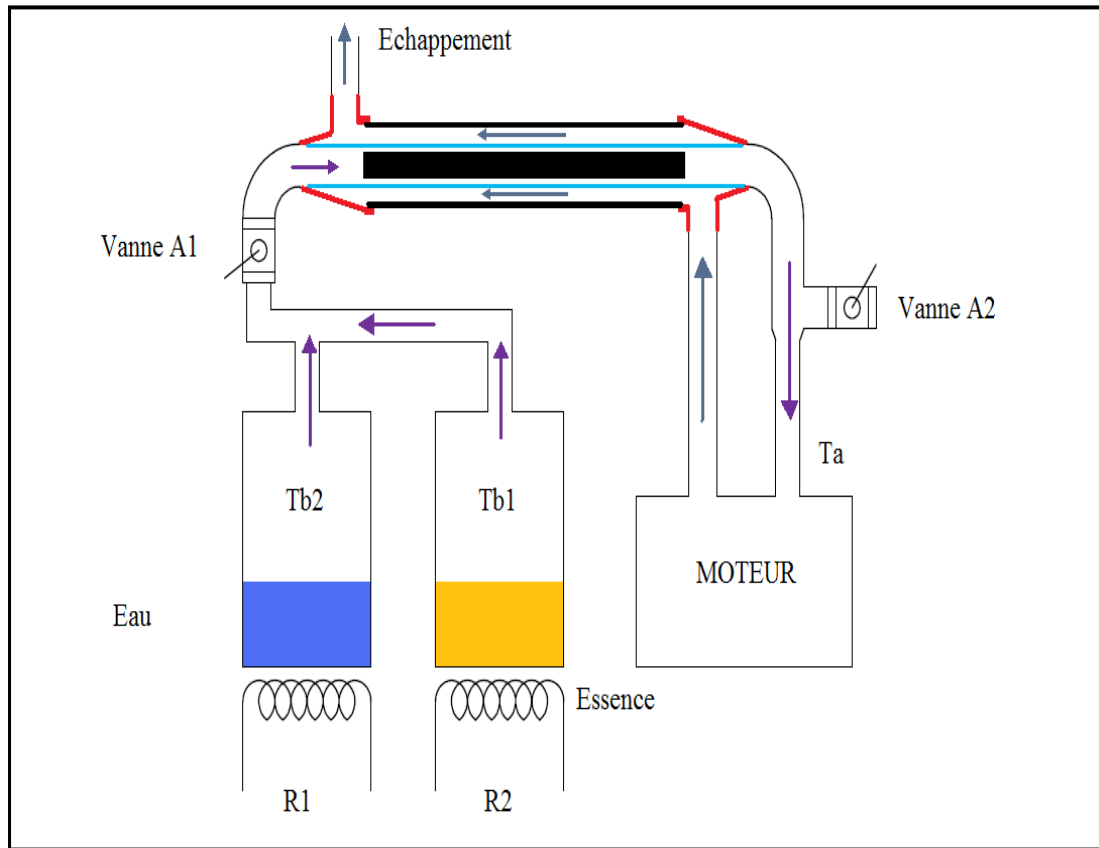


**Figure 6-3 : Courbe du rendement du groupe électrogène classique**

Le rendement et la consommation varient en fonction de la charge connectée. Comme la consommation est inversement proportionnelle à celle de rendement, la Figure 3-1 montre que si la charge est inférieure à la puissance nominale, le rendement augmente. Dans cette phase, le moteur a besoin d'une certaine quantité de carburant pour qu'il soit en fonctionnement normale mais la charge utilisée n'est pas proportionnelle à celle de l'énergie fournie. La consommation diminue et atteint son minimum en régime nominal car à cette phase la puissance fournie par le moteur est optimale.

Pour avoir un meilleur résultat, il faut utiliser une charge au minimum égale à la puissance nominale du groupe.


## 6-2 Fonctionnement en moteur Pantone




**Figure 6-4 : Moteur Pantone à deux bulleurs**

 Eau

 Essence

 Mélange de vapeur d'eau et d'essence vers l'admission

 Sens de gaz d'échappement

Ta : Température avant l'admission

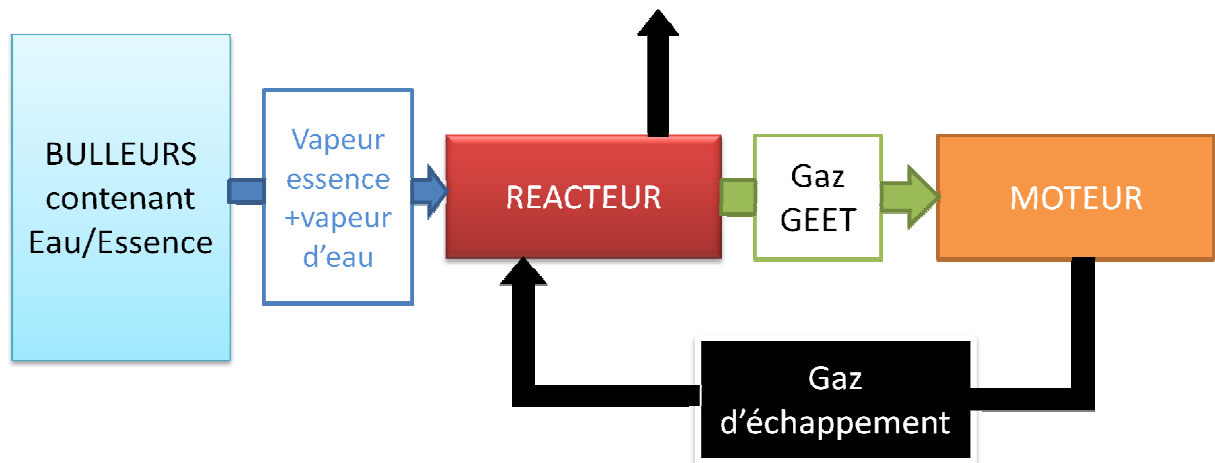
Tb1 : Température de la vapeur de l'essence

Tb2 : Température de la vapeur d'eau

A1 : Vanne de réglage du régime

A2 : Vanne de mélange d'air (richesse du mélange)

La figure suivante illustre l'évolution du flux de carburant dans le procédé Pantone.



**Figure 6-5 : Evolution du flux de carburant du procédé Pantone**

Nous avons effectué quelques essais sur le groupe dont le but est de connaître la consommation et le rendement en fonction de différentes charges.

#### 6-2-1 Essai

Nous avons effectué trois modes d'alimentations du moteur en fonctionnement Pantone. La première série d'expérience consiste à faire fonctionner le moteur avec un réacteur Pantone en utilisant uniquement de l'essence ordinaire dans le bulleur. Dans la seconde série, on a alimenté le moteur avec un mélange d'eau et d'essence dans un même bulleur. Dans la troisième série, on a fait fonctionner le même moteur en utilisant de l'eau et de l'essence, mais dans deux bulleurs distincts.

Au démarrage, il est nécessaire d'injecter quelques gouttes d'essence sur la vanne d'admission d'air, étant donné que la quantité de vapeur d'essence volatilisée à la température ambiante n'est pas suffisante pour alimenter le moteur. Ensuite, on chauffe le bulleur pour accentuer la volatilisation du carburant. Plusieurs essais ont permis de déterminer la température idéale du bulleur (contenant l'essence), garantissant le fonctionnement normal du moteur (régime stabilisée). Cette température est de 60°C. Ainsi, on a adopté ce niveau de température pour chacune des modes d'alimentation du moteur. Parallèlement à ceci, la température optimale de l'eau est de 50°C pour le cas des bulleurs séparés.

La vanne A2 est indispensable dans tous les régimes du moteur car si on ferme cette vanne, le moteur cale. En effet cette vanne permet d'ajuster la richesse du mélange en fonction du débit du mélange carburant et de la température de l'eau dans le bulleur.

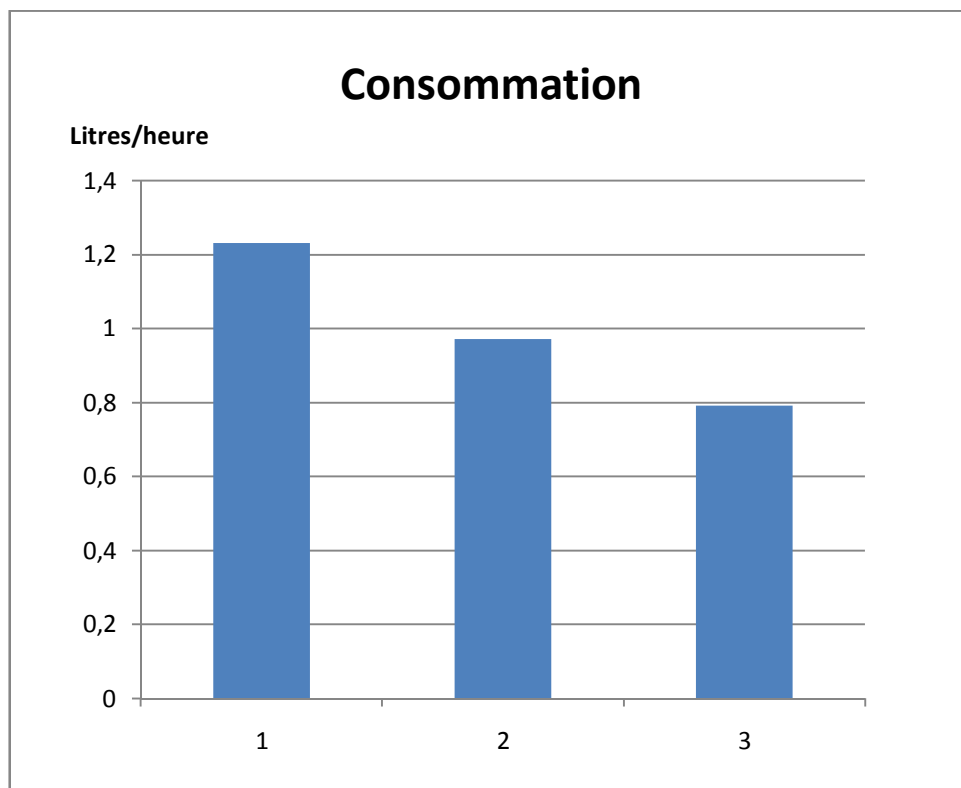


D'un côté, si on augmente le débit de mélange (ouverture de la vanne A1), on doit également augmenter la quantité d'air correspondant à ce débit (ouverture de la vanne A2). De l'autre côté, si la température de l'eau dans le bulleur augmente, on doit réduire l'ouverture de la vanne A2 en conséquence. En effet, plus la température est élevée, plus la quantité de comburant apportée par l'eau augmente et si l'ouverture de la vanne A2 restait inchangée, le mélange arrivant dans le moteur serait trop pauvre. Si l'ouverture est de 100% (débit maximal) l'ouverture de A2 correspondant est de 30%.

Pour chaque essai, le moteur fonctionne aussi longtemps qu'il peut soutirer du mélange carburant dans les bulleurs et s'arrête au bout d'un certain temps. A l'arrêt du moteur, on constate qu'il existe des restes d'essence non consommée dans le bulleur correspondant.

#### a) Essai à vide

Dans tous les essais, on utilise 250ml d'essence et 250ml d'eau. La température d'essence est de 60°C et celle de l'eau à 50°C. Plusieurs essais ont permis d'obtenir les résultats qui sont illustrés par le diagramme suivant. Il est à noter que dans les calculs on a considéré la quantité de carburant résiduel.

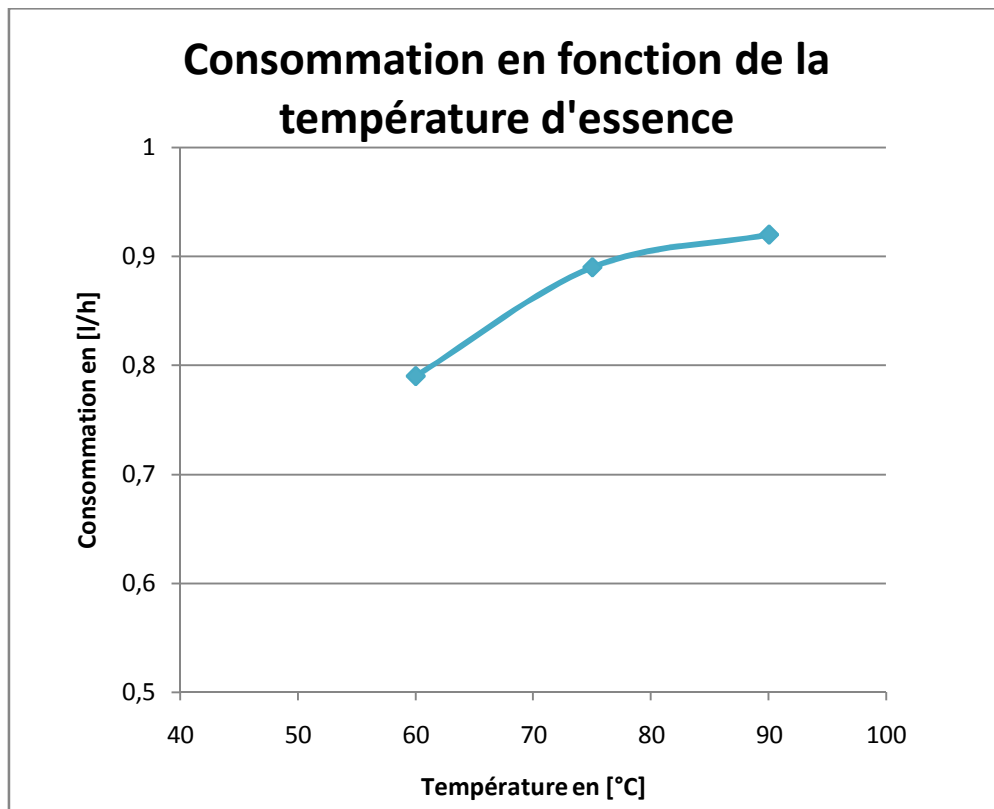


**Figure 6-6 : Consommation horaire du moteur en fonctionnement à vide pour chaque mode d'alimentation**

L'axe horizontal représente le type de mélange de combustible :

1. Essence uniquement
2. Essence+Eau dans un même bulleur
3. Essence/Eau dans deux bulleurs séparés

La courbe suivante illustre la variation de la consommation d'essence en fonction de la température de celle-ci dans le bulleur, correspondant au troisième mode d'alimentation (Essence/Eau dans deux bulleurs séparés)



**Figure 6-7 : Courbe de consommation en fonction de température de l'essence**

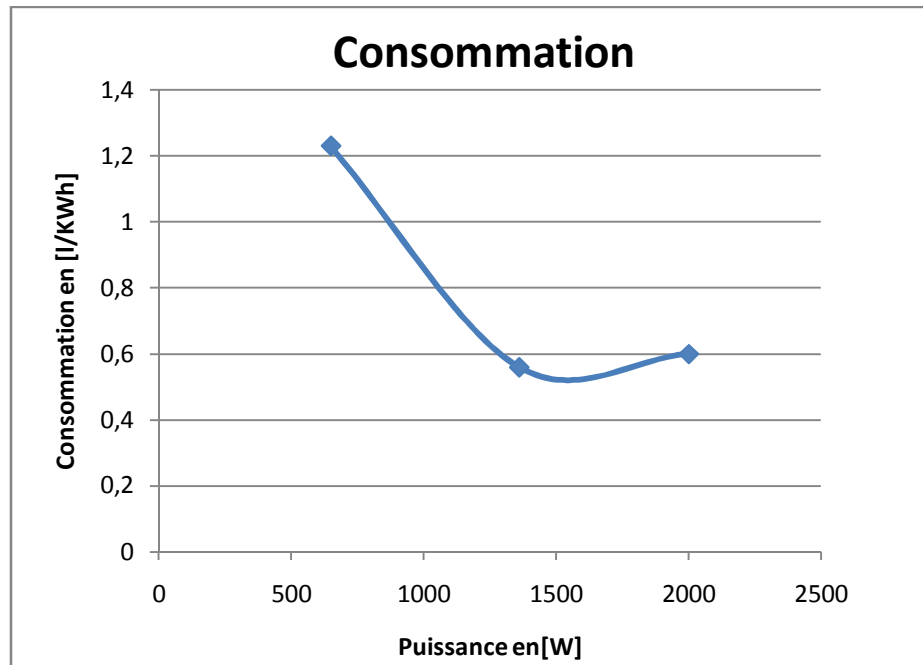
D'après ces courbes, la consommation à vide du moteur varie selon le type de combustible et la température des bulleurs. Le taux de vapeur d'essence volatilisé est en fonction de la température. Si cette dernière croît, le taux de vapeur d'essence augmente mais on a remarqué que le moteur fonctionne si l'essence est à 60°C donc il est inutile d'augmenter la température d'essence.

On constate que le bulleur séparé offre le meilleur résultat et tous les résultats suivants seront donnés par ce système.

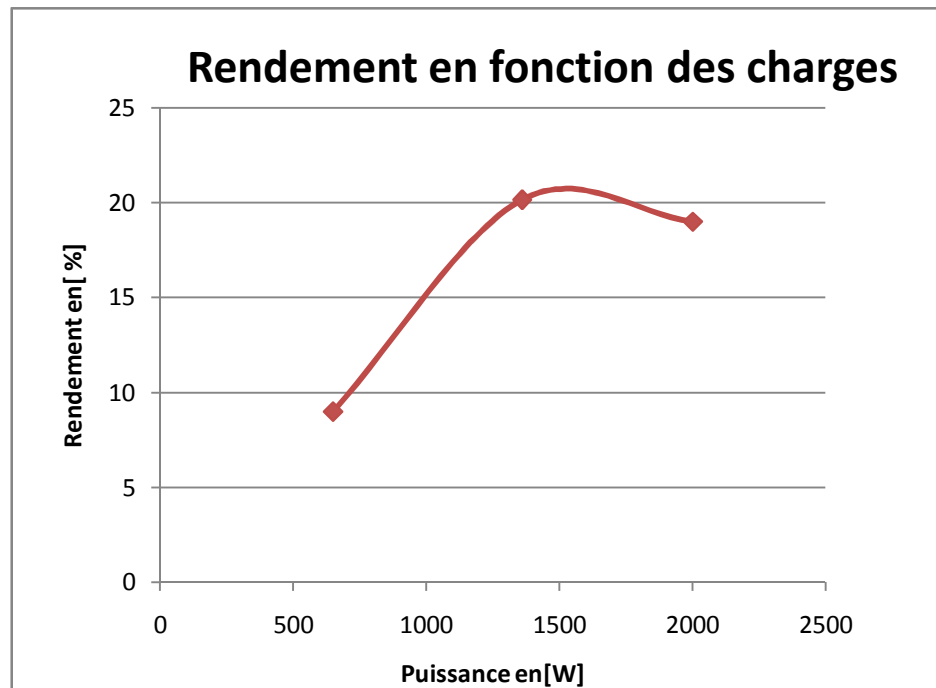
**b) Essai en charge**

Nous avons utilisé la même variation de charge comme dans l'essai en groupe classique  
( $P_{m1} = 650W, P_{m2} = 1360W, P_{m3} = 2000W$ )

Les courbes suivantes donnent le résultat de l'expérience :



**Figure 6-8 : Courbe de consommation en fonctionnement Pantone**



**Figure 6-9 : Courbe de rendement en fonctionnement Pantone**

Pour le fonctionnement Pantone, la consommation et le rendement varient en fonction de la charge. Nous avons vu dans la courbe ci-dessus que le meilleur rendement est obtenu quand la charge est proche de 1500W. Ce rendement s'élève à 21 % ce qui correspond à une consommation spécifique minimale de 0,55 Litre /kWh. Comme dans le fonctionnement classique, le rendement en moteur Pantone suit l'allure de la courbe représentée par la figure (3-1) mais la puissance nominale du moteur diminue.

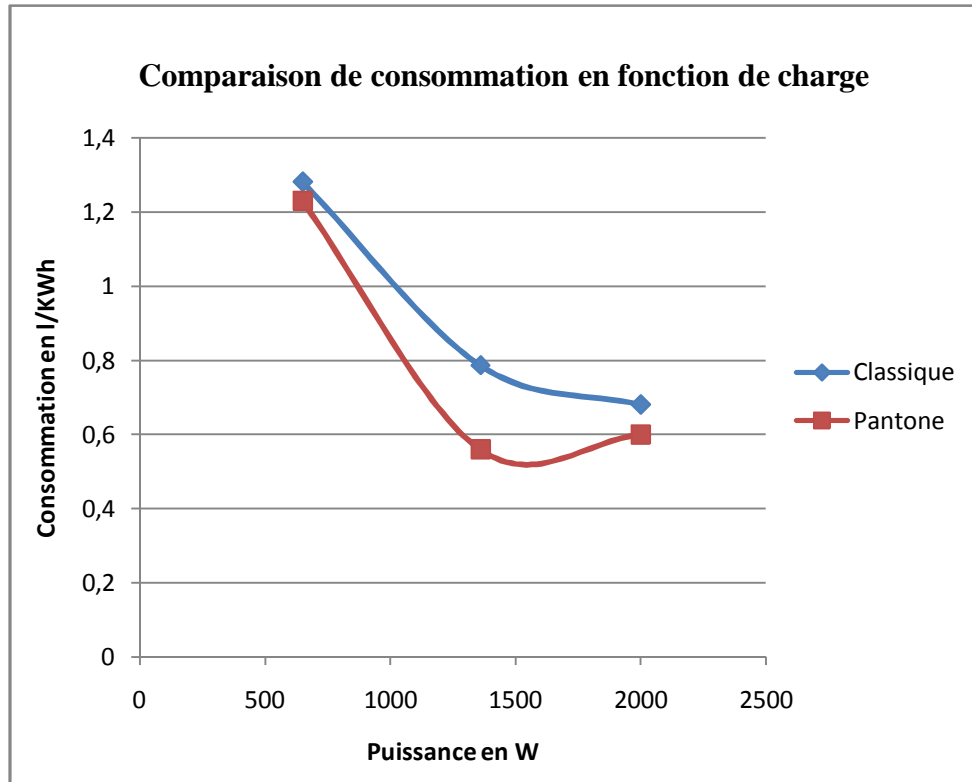
En fonctionnement Pantone, la performance du moteur est semblable au groupe classique mais la puissance nominale diminue.

### 6-3 Comparaison entre fonctionnement Pantone et fonctionnement classique

Nous avons déterminé le rendement et la consommation en effectuant quelques tests en faisant varier la puissance.

#### 6-3-1 Comparaison au niveau consommation

La courbe suivante donne la comparaison de la consommation :



**Figure 6-10 : Courbe de comparaison de consommation**

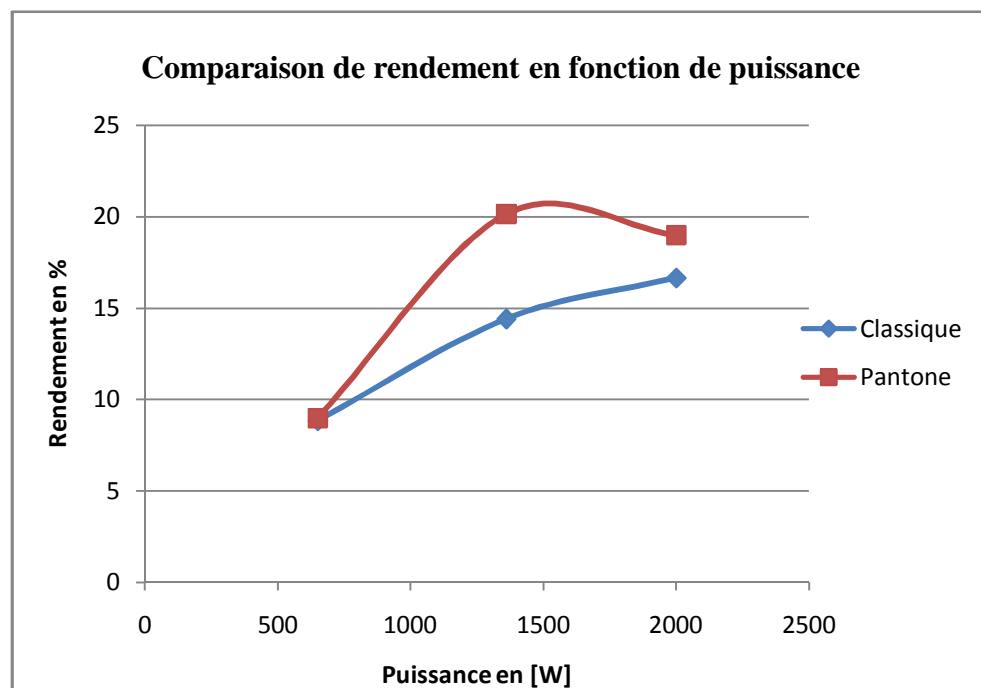
D'après la courbe de consommation, dans la plage de puissance adoptée pour les séries d'expériences, la courbe représentant la consommation spécifique du moteur en fonctionnement classique est toujours au dessus de celle du même moteur fonctionnant en Pantone. En effet, l'utilisation du moteur Pantone offre un gain en consommation important par rapport au fonctionnement en groupe classique. Avec une puissance de 1500 W, on obtient le gain maximum qui s'élève à 20%.

L'hydrogène de la vapeur d'eau et l'hydrogène de l'essence s'additionnent et contribuent à l'amélioration du pouvoir calorifique de l'ensemble. Ceci montre que pour produire un même travail, la quantité d'essence nécessaire est moins élevée dans un moteur Pantone. Ce phénomène entraine une économie d'essence.

Par ailleurs, la quantité d'oxygène fournie par la vapeur d'eau augmente. Ceci a pour effet d'améliorer la qualité de la combustion du mélange et d'optimiser davantage le rendement du moteur en réduisant la quantité d'imbrûlés. L'analyse de M. Christophe montre que l'émission de ppm HC (carburant imbrûlé) est réduite à 0,02% .Quant au fonctionnement classique, ces émissions sont de 1,25%. Ceci montre que le carburant dans le cylindre est totalement brûlé.

#### 6-3-2 Comparaison au niveau rendement

La courbe suivante met en parallèle les variations respectives du rendement du moteur en fonctionnement classique et en Pantone.



**Figure 6-11 : Courbe de comparaison de rendement**

Le rendement du moteur augmente quand la puissance augmente et il atteint son maximum avec 1500 W. D'après la courbe ci-dessus, du point de vue rendement, le groupe à moteur Pantone est plus performant que le groupe électrogène classique. Cet écart est environ 10% pour une puissance de 1500 W.

Le rendement des moteurs dépend de la quantité d'air et de celle de la chaleur. Le rendement augmente si la quantité d'air croît.

La formule (3-6) aussi montre que le rendement du moteur est en fonction de l'énergie fournie et de la quantité de chaleur du combustible, et cette dernière dépend de la masse et du PCI du combustible. On est sûr que ces deux paramètres changent en fonction du pourcentage de chaque vapeur qui entre dans le réacteur.

## Chapitre 7: **ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX**

L'exploitation de dispositif pour réduire la consommation de carburant et la pollution comme le réacteur Pantone nécessite une étude complète et approfondie sur le plan économique, social et surtout dans le domaine environnemental dont la protection de l'environnement et le développement de notre pays sont les buts de cette étude.

Nous avons orienté nos recherches sur l'impact de l'utilisation d'un réacteur Pantone dont la mémoire fait l'objet de « **L'étude du fonctionnement d'un moteur Pantone** » en tenant compte de la réduction de la pollution de gaz éjecté par l'échappement.

Pour mener à bien, nous allons traiter l'étude de ces impacts environnementaux. Voici le plan de notre étude :

- Importance du sujet
- Evaluation des impacts environnementaux

### **7-1 Importance du sujet**

Le réchauffement climatique dans le globe terrestre est causé par l'émission massive des gaz à effet de serre comme CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>. Chaque année, l'homme émet quelques dizaines de milliards de tonnes de ces gaz à effet de serre surtout le CO<sub>2</sub>.

L'utilisation de l'énergie fossile produit beaucoup de gaz polluant du fait que la combustion de carburant libère de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

### **7-2 Mise en contexte du projet**

#### *7-2-1 Cadre juridique et politique*

##### **a) Charte de l'environnement**

Dans l'article 3 du DECRET N°99-954 DU 15 DECEMBRE 1999 modifié par le décret 2004-167 du 03 février 2004

Conformément aux principes énoncés dans la loi n° 90.033 du 21 décembre 1990 portant Charte de l'Environnement, notamment dans ses dispositions concernant les objectifs du Programme d'Action Environnemental ainsi que l'impact des projets d'investissement et des

actions de développement, la présente Loi définit le cadre général d'une politique de gestion rationnelle et de contrôle des pollutions industrielles.

Toute activité de fabrication ou de production à l'échelle industrielle, toute création ou travaux de transformation, d'aménagement ou d'extension de ces activités portent atteinte à l'environnement soit par le seul fait de l'occupation du sol, soit par l'utilisation de ressources naturelles, soit par l'usage d'intrants ou de produits susceptibles de générer des effets polluants, soit encore par la production dans l'atmosphère ou dans les eaux de rejets ou de nuisances.

#### Décret MECIE

### **Loi N° 99- 021 sur la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles**

**Art.34 :** Il y a pollution atmosphérique quand il y a émission dans l'air de substances polluantes, fumées, poussières, gaz toxiques ou corrosifs, odeurs pouvant porter atteinte à la santé de l'homme et à la qualité de l'environnement.

Relatif au trouble de voisinage et nuisance, dans l'article n°37 précise que :  
Conformément à l'article 218 de la Loi sur la Théorie Générale des Obligations, les troubles de voisinage tels que bruits, odeurs, nuisances de toutes sortes ayant pour origine une activité industrielle engagent la responsabilité de celui qui les a provoqués ou aggravés par sa faute.

**Art.38 :** Cependant, en cas de troubles ou nuisances anormales et excédant les inconvénients ordinaires du voisinage, celui qui les a causés en est responsable même en l'absence de faute.

L'appréciation du caractère normal ou anormal de trouble ou de la nuisance prend notamment en compte la localisation de l'activité industrielle, la densité et la nature des milieux humains avoisinants, la réalité et l'intensité des atteintes subies ainsi que leur perpétuation.

**Art.39 :** Une réglementation particulière sera établie sur les dispositions à prendre en vue de limiter les troubles ou nuisances occasionnés par des activités industrielles et pouvant causer une gêne excessive au voisinage.

### **7-3 Protocole de Kyoto**

Le protocole de Kyoto est issu de la convention cadre des Nations unies sur le changement climatique adoptée à l'issue du Sommet de la Terre, qui s'est tenu en juin 1992 à Rio de Janeiro, au Brésil.

L'article 2 de la Déclaration de Rio affirme que « L'objectif ultime de la présente Convention [...] est de stabiliser, conformément aux dispositions pertinentes de la Convention,



les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

En Décembre 1997, 160 pays se réunissent à Kyoto (Japon) pour discuter des mesures à prendre contre le réchauffement de la planète. Le but de cette discussion est de réduire les émissions de gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , l'oxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$  sont les plus importants, de 5,2% entre 2008 et 2012, par rapport aux niveaux de 1990. Beaucoup des pays industrialisés doivent réduire leurs émissions : les États-Unis doivent réduire leurs émissions de 7 %, le Canada de 6 %, et l'Union européenne de 8 %. La Chine, deuxième pollueur du monde, obtient une exemption.

#### **7-4 Impacts positifs**

Economiquement, l'utilisation du réacteur Pantone apporte une progression rapide et importante à notre pays car à Madagascar, le carburant occupe une plus grande place dans l'économie nationale. La diminution de consommation du carburant entraîne alors une réduction d'importations.

Du point de vue écologique, l'émission des gaz polluants comme le  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$ , ... éjectés par l'échappement est réduite et le volume d' $\text{O}_2$  augmente à 10 fois plus.

#### **7-5 Impacts négatifs**

Même si on a utilisé ce réacteur, l'élimination à 100% des gaz polluants (exemple : émission de  $\text{CO}_2$  à 4,4% et CO à 0,1%) n'est pas atteint.

L'utilisation d'eau comme carburant peut entraîner son gaspillage si on utilise les données publiées par l'inventeur (25% d'essence + 75% d'eau) alors que l'expérience nous a montré que le moteur ne consomme que 30% de l'eau versée.

#### **7-6 Mesures d'atténuation**

Injecter le gaz d'échappement dans le bulleur pour recycler le carburant imbrulé.

Il faut utiliser une énergie autre que le carburant fossile (exemple : huile de jatropha pour le moteur diesel, éthanol pour le moteur à essence)

Comme nous l'avons dit précédemment, un projet présente toujours des impacts négatifs et positifs. On remarque que les impacts négatifs sont moins majorés que les impacts positifs. De plus, des mesures de compensation sont déjà prises pour pallier les impacts négatifs. Ce qui nous amène à affirmer donc que ce projet est faisable du point de vue environnemental.

## CONCLUSION

L'utilisation de l'énergie demeure un des problèmes prédominants à nos jours du fait que les besoins ne cessent jamais de s'accroître alors que certaines ressources s'appauvrissent. De plus, la croissance absolue et relative à l'utilisation des carburants fossiles a un impact considérable sur l'environnement suite à l'augmentation des gaz à effet de serre. Face à ces problèmes, l'amélioration de la combustion des sources d'énergie est primordiale.

Ce travail a donné l'occasion d'étudier, concevoir, réaliser et mettre en œuvre un réacteur Pantone sur un groupe électrogène fonctionnant classiquement à l'essence. Les expériences montrent que le moteur s'adapte parfaitement au fonctionnement avec de l'eau et de l'essence dans deux bulleurs séparés. Les résultats de nos expériences amènent à dire que dans ce mode d'alimentation, le rendement s'est amélioré de 10% et la consommation spécifique en essence est réduite de 20% par rapport au fonctionnement classique. Par ailleurs, les recherches montrent qu'il est nécessaire d'ajuster la température des bulleurs en fonction de la charge du moteur, pour éviter le gaspillage de carburant.

Bref, l'utilisation de réacteur Pantone dans le moteur à essence présente plusieurs avantages comme la réduction de consommation d'essence, augmentation de rendement du moteur et diminution des émissions des gaz polluants. La vulgarisation de cette technologie peut être envisagée. Cependant, des études complémentaires en collaboration avec différents spécialistes seront nécessaires pour continuer la caractérisation et l'amélioration du procédé.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BLANCKE Rémi et DESSAINT Renaud, Rapport de TX, Université de Technologie de Troyes
- [2] J.C. GUIBET. Carburants et Moteurs tome 1
- [3] Jean TRAPY, Docteur ès sciences, Ingénieur principal à l'Institut français du pétrole (IFP), Moteur à allumage commandé
- [4] LEFEBVRE Julien et NGUYEN Marc, rapport TX-Etude expérimentale, Université de Technologie Compiègne, Expérimentation du réacteur PMC Pantone sur un moteur de type Citroën 2CV, 2005.
- [5] MARTZ Christophe, Projet de Fin d'Etudes Génie Mécanique option Energétique Industrielle réalisé à l'ENSAIS, Elaboration d'un banc d'essai et caractérisations du procédé GEET de P. Pantone à reformage, 2001
- [6] P. GIANSETTI, C. PERRIER, P. HIGELIN, Y. CHAMAILLARD, A.CHARLET and S.COUE.T.A Model for Residual Gas Fraction Prediction in Spark Ignition Engines *.Society of Automotive Engineers*, 2002.
- [7] P. GIANSETTI. Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans, Energétique, contrôle moteur à allumage commandé, 2005.
- [8] M. David, conseils et idées pour la réalisation des bulleurs à eau destinés aux réacteurs Pantone, page 9, 2001.
- [9] Sylvie VAVIZARA, Mémoire en DEA, Université d'Antananarivo, Faculté des sciences, Option Energétique. Utilisation d'éthanol comme carburant dans un groupe électrogène à essence, 2007.
- [10] Télésphore RANDRIAMAINISO (2006), Rapport de recherche, Mémoire en DEA, Université d'Antananarivo, Faculté des sciences, Option Energétique, adaptation du groupe électrogène à essence à l'utilisation du biogaz comme carburant, à Madagascar

## WEBOGRAPHIE

- [11] <http://bobisat.ifrance.com/depollution/ELECTRISATION.pdf>
- [12] [www.éconologie.com](http://www.éconologie.com)
- [13] [www.econologie.com/articles.php ...&ppt=2](http://www.econologie.com/articles.php...&ppt=2)
- [14] [www.educauto.org](http://www.educauto.org)
- [15] [www.esdjournal.com](http://www.esdjournal.com)
- [16] [www.exoticresearch.com/store/catalog/geet/geet.htm](http://www.exoticresearch.com/store/catalog/geet/geet.htm)
- [17] [www.fr.wikipedia.com](http://www.fr.wikipedia.com)
- [18] [www.geet.com](http://www.geet.com)
- [19] [www.onpeutlefaire.com](http://www.onpeutlefaire.com)
- [20] [www.quanthomme.fr](http://www.quanthomme.fr)
- [21] [www.quanthomme.org](http://www.quanthomme.org)

# **ANNEXES**

## ANNEXE1

### Essai en moteur classique

Charge [W]	650	1360	2000
Temps en [s]	2160	1680	1320
Volume d'essence consommé [l]	0,5	0,5	0,5

### Essai en moteur Pantone

#### Essai à vide

1. Essence
2. Essence + eau dans un bulleur
3. Essence + eau dans le bulleurs séparés

Type	T <sub>ess</sub> en °C	T <sub>eau</sub> en °C	V <sub>ess</sub> [l]	V <sub>eau</sub> [l]	Temps[s]	Reste ess[l]	Reste eau[l]	Cs [l/h]
1	60	-	0,25	-	600	0,045	-	1,23
2	60	50	0,25	0,25	720	0,055	0,23	0,97
3	60	50	0,25	0,25	900	0,053	0,23	0,79

#### Essai à vide de deux bulleurs

T <sub>ess</sub> en °C	T <sub>eau</sub> en °C	V <sub>ess</sub> [l]	V <sub>eau</sub> [l]	Temps[s]	Reste ess[l]	Reste eau[l]	Cs [l/h]
60	50	0,25	0,25	900	0,053	0,23	0,79
75	50	0,25	0,25	780	0,060	0,23	0,88
90	70	0,25	0,25	600	0,065	0,21	0,92

Essai en charge avec T essence 90°C T eau 70°C

Première essai

Puissance [W]	V essence[l]	V eau[l]	Temps[s]	Reste ess[l]	Reste eau[l]	Cs [l/KWh]
650	0,25	0,25	900	0,05	0,23	1,23
1360	0,25	0,25	780	0,084	0,22	0,56
2000	0,25	0,25	540	0,07	0,21	0,6

Deuxième essai

Puissance [W]	V essence[l]	V eau[l]	Temps[s]	Reste ess[l]	Reste eau[l]	Cs [l/KWh]
650	0,5	0,25	1980	0,06	0,18	1,23
1360	0,5	0,25	1860	0,1	0,19	0,57
2000	0,5	0,25	1320	0,07	0,19	0,59

**Auteur: RANDRIANARIVO Arson Pierrot**

**Adresse: logt 974 cité de 67Ha Nord Ouest**

**Téléphone : (+261) 34 10 826 23**

**Filière : Génie Industriel**

**Titre : ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR PANTONE**

Nombre de pages : 52

Nombre de figures : 27

Nombre de tableaux : 01

### **Résumé**

Ce travail a pour objectif de faire fonctionner un groupe électrogène en utilisant de l'eau et d'essence comme carburant, grâce au réacteur Pantone. La réalisation et l'expérimentation a permis d'évaluer la consommation et le rendement du moteur à réacteur Pantone. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation du réacteur est plus avantageuse par rapport au fonctionnement classique du groupe.

### **Abstract**

The objective of this work is to use water and gasoline as fuel for a power generating, thanks to the Pantone reactor. The realization and the experimentation permitted to estimate consumption and the efficiency of the Pantone modified engine. The results show that using Pantone modified engine is more advantageous compared with classical working.

**Mots clés :** Réacteur Pantone, Bulleur, Processeur Multi Carburant, Cracking



