



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ BATNA 2
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

Cours de Monsieur

/MCA/ Dr Bouchlaleg

Lazhar

Aux étudiants d'Aéronautique
Master2

2^{ieme} semestre 2020

Intitulé de la matière : Carburants

Des avions et pollution

Objectifs de ce cours :

-Définir la composition des carburants usuels

-Compositions et caractéristiques des carburants et réaction chimiques

-Notions sur le délai d'auto-inflammation pouvoir calorifique, richesse et différents indices et leur influence sur le comportement du moteur

-Protection de l'environnement, normes d'émissions et systèmes de dépollution

Chapitre I

I.1 Les Carburants [1,2]:

I.1.A Introduction :

-Les carburants sont usages surtout en aviation est principalement dû à leur fort pouvoir calorifique l'exemple du Jet A1 son pc est de l'ordre de 43,15MJ/Kg qui permet d'alléger la masse totale à emporter à autonomie constante (autorise une plus grande autonomie à masse embarquée égale), en Europe la première démonstration publique d'un liquide d'éclairage qu'il nomme Kérosène c'étée en 1846 par Abraham Pineo Gesner(1797-1864),alors que la distillation du pétrole permettant d'obtenir du pétrole d'éclairage au X^e siècle, dans le livre des secrets par le savant perse Muhammad Al-Razi.

La combustion au sein du moteur à combustion interne est une réaction chimique entre deux composants chimiques gazeux : un carburant (essence, GPL, gazole) + comburant (air).

La combustion dans un moteur thermique est la réaction chimique de la combinaison de deux corps (carburant et comburant) avec un apport calorifique.

La chaleur ainsi dégagée par la combustion engendre une pression à l'intérieur du cylindre et exerce une poussé sur le piston.

L'énergie fournie par le moteur est proportionnelle à l'énergie contenue dans le mélange carburé ainsi que la qualité du déroulement de la combustion.

I.1.B La carburation

La carburation consiste à réaliser un mélange carburé qui permette au moteur de fonctionner en toute circonstance.

Le mélange carburant + comburant devra satisfaire plusieurs conditions pour permettre une combustion la plus parfaite possible :

a)-Etre à l'état gazeux : (la vaporisation) Pour mélanger et enflammer le mélange carburant + comburant, il est nécessaire que les 2 corps aient le même état (gazeux).

Pour réaliser et rendre plus active la vaporisation d'un liquide, 3 solutions s'offrent à nous. Il faut agir sur 3 facteurs (La **température** en effet la vaporisation d'un liquide ne peut se faire sans absorption de chaleur, **La pression** car plus celle-ci est basse, plus l'évaporation est élevée, La **surface d'évaporation**, en pulvérisant l'essence, on augmente la surface en contact avec l'air donc il n'ya plus de volatilisation).

En conclusion, si je veux obtenir une vaporisation maximum, il faut : augmenter la vitesse de l'air, augmenter la surface, donc l'efficacité de la pulvérisation, augmenter la dépression à l'admission ; utilisé un carburant de grande volatilité)

b)-Etre homogène : l'homogénéité il faut donc créer des turbulences lors du remplissage moteur, afin de favoriser le brassage de l'air et des molécules de carburant L'homogénéité du mélange est réalisée par la forme des tubulures d'admission et du piston.

c)-Etre parfaitement dosé : (le dosage) La formation du mélange débute par l'introduction du carburant dans l'air aspiré. Le remplissage des cylindres dépend des conditions de fonctionnement du moteur.

I.1.C Composition des carburants

Chaque carburant est composé d'un mélange hydrocarbures exemple d'automobile cette composition est environ 97% à 98%, l'hydrocarbure ces composants chimique formés de deux corps simples le carbone et l'hydrogène, les résidus, d'impuretés et additifs sont à un pourcentage de 2-3% exemple : Eau, Soufre, Plomb, etc.

a)- L'essence

Définition : l'essence est produite à partir du pétrole brut par raffinage, c'est un mélange d'hydrocarbures qui contient de quatre à sept atomes de carbone.

Caractéristiques :

- Masse volumiques est entre 0,72 à 0,78 Kg/dm³ à 15°C
- Très volatile (hydrocarbures légers)
- Température d'ébullition -30°C à 190°C

b)- Le gazole

Définition : le gazole est produit à partir du pétrole brut par raffinage c'est un mélange d'hydrocarbures qui contient de 12 à 22 atomes de carbone.

Caractéristiques :

- Masse volumiques est entre 0,82 à 0,85 Kg/dm³ à 15°C
- Peu volatile (hydrocarbures lourds)
- Température d'ébullition -180°C à 360°C

c)- Le GPL-C

Définition : Le gaz pétrole liquéfié (GPL-C) est produit à partir du pétrole brut ou par purification du gaz naturel, les deux principaux hydrocarbures qui composent le GPL-C sont (le Butane C_4H_{10} et le propane C_3H_8), mais la réglementation actuelle impose un volume de propane compris entre 19 et 50%.

Caractéristiques :

Etat gazeux à température ambiante (20°C) et pression atmosphérique

La température d'ébullition (Butane 0°C, Propane -40°C)

Gaz incolore inodore plus lourd que l'air

Additif colorant pour le déceler (Mercaptan)

Masse volumiques est entre 0,51 à 0,58 Kg/dm³ à 15°C (liquide)

Remarque : Le Butane et le Propane se liquéfient dès qu'ils sont soumis à une faible pression (à 15°C, une pression de 1,5bar suffit pour liquéfier le Butane et une pression de 7,5 bar suffit pour liquéfier le Propane ce qui implique réservoir sous P : 4 à 15b suivant la température

Le GPL-C se dilate très fortement sous l'emprise de la chaleur, les réservoirs de GPL-C ne doivent être remplis qu'à 85% de leur capacité.

I.2-Les Carburants alternatifs :

La législation actuelle de plus en plus en rigoureuse vis-à-vis des émissions de polluants, induit une recherche de carburants de substitution moins polluants que ces trois carburants principaux.

I.2.-a- L'avenir avec les biocarburants de nouvelle génération

Les biocarburants, produits à partir de la biomasse, sont utilisés sous forme d'additifs ou de complément aux carburants fossiles (gazole, essence, ou kérosène). Il existe deux grandes filières de production des biocarburants pour le transport routier : la filière éthanol qui comprend l'éthanol pour les véhicules à essence et la filière des huiles végétales avec l'EMHV (esters méthyliques d'huile végétales) pour les véhicules diesel, noté biodiesel.

I.2-1-Gaz naturel, le biogaz

Carburant naturel à base de Méthane et de CO_2 qui offre de bonnes performances motrices mais qui pose des problèmes de sécurité (explosion en cas des fuites) et de stockage (600 bars).

I.2-2 -Le Méthanol

Carburant (Alcool) produit à partir du bois qui offre de bonnes performances moteur mais qui pose deux problèmes majeurs : l'alcool nécessite une chaleur assez importante pour être vaporisée ce qui provoque un problème à froid, il fournit moins d'énergie que les trois autres carburants ce qui nous donne une consommation élevée.

I.2-3-L'Ethanol

Carburant (Alcool) produit à partir de céréales qui offre les mêmes avantages et inconvénients que le Méthanol.

I.2-4-Carburant avion

Son usage en aviation est principalement dû à son fort pouvoir calorifique de 43,15 MJ/Kg pour le jet A1, qui autorise une plus grande autonomie à masse embarquée égale, ou, en d'autres termes, qui permet d'alléger la masse totale à emporter à autonomie constante.

Comme carburant pour l'aviation, le kérosène doit remplir des conditions particulières, notamment au niveau des propriétés physiques. Le carburant pour avion est ainsi un kérosène particulier ayant notamment un point de congélation très bas (-47°C pour le Jet A1), car à 11000m d'altitude, la température externe est proche de -56,5°C.

I.2-4-1 Le kérosène

Le kérosène est un dérivé de la distillation du pétrole brut, issu d'une distillation entre 150 et 250°C, dite coupe kérosène. Selon l'origine du pétrole, la coupe kérosène ne donne pas le même résultat (Kirk 78) et des normes ont été définies pour standardiser le

Kérosène, qui appartient à la classe nommée (pétroles lampants) et nécessite des précautions de manipulation et d'utilisation.

Le kérosène est un carburant utilisé dans l'aviation pour alimenter les turboréacteurs et les turbopropulseurs. Il porte également le nom de jet fuel ou de carburéacteur. Sa viscosité est plus importante que celles du fioul et de l'essence, mais il lubrifie mieux les pièces mécaniques. Il se compose d'alcane ayant des formules brutes de la forme $C_n H_{2n+2}$, allant de $C_{10}H_{22}$ à $C_{14}H_{30}$

Propriétés Physiques

Le kérosène est un mélange d'hydrocarbures obtenu par raffinage du pétrole. Selon le niveau de raffinage il est classé en plusieurs catégories dont les plus connues sont :

- Le TR0 de densité moyenne 0,79 est le plus répandu ;
- Le TR4 plus volatil que le TR0 mais de densité équivalente (de moins en moins utilisé car il pose des problèmes de tenue des pompes à carburant) ;
- Le TR5 qui a un haut point d'éclair et qui a une densité moyenne 0,81, il est employé sur les porte-avions.
- Le coefficient de dilatation volumique du kérosène est $0,0007K^{-1}$

Propriétés chimique

Le kérosène est un hydrocarbure saturé de premier type Alcane. Sa formule moyenne est $C_{10}H_{22}$. L'oxydation du kérosène par l'oxygène donne de la vapeur d'eau et du gaz carbonique en dégageant de la chaleur. Le pouvoir calorifique inférieur de cette combustion est de 10300 kcal/kg de carburant. Le pouvoir calorifique inférieur d'une réaction chimique exothermique est la quantité de chaleur cédée à l'extérieur quand on a ramené les produits de la réaction dans leur état vapeur sans récupérer leur chaleur latente de vaporisation.



On définit la richesse en carburant du mélange carburant/Oxygène par le rapport de masse de carburant à la masse d'oxydant.

- Dans le cas de la réaction complète équilibrée, on dit de cette richesse qu'elle est stœchiométrique

- Dans le cas du turboréacteur, la combustion du kérosène se fait dans l'air et non dans l'oxygène pur ; l'équation de la réaction est alors la suivante :



La température de fin de combustion du mélange carburé (kérosène /air) est donnée par l'équation suivante : $C_p \times (T_2 - T_1) = \alpha \times P_{\text{ceff}}$ avec :

C_p : chaleur massique à pression constante de l'air

T_2 : température de fin de combustion

T_1 : température d'entrée du mélange carburé

P_{ceff} : pouvoir calorifique efficace, inférieur à P_{ci} (pouvoir calorifique inférieur), car la vapeur d'eau et le gaz carbonique, en se dissociant sous l'effet de la forte température, absorbent une partie des calories libérées par la combustion

α : richesse injectée ou quantité de carburant suffisante et inférieure à la richesse stœchiométrique dans l'oxygène pur

I.2-4-2 Bio-kérosènes : sont des alternatives au kérosène, produits à partir de la biomasse ou issu de la fermentation du sucre de canne.

I.2-4-3 Carburéacteur : (jet fuel) carburant utilisé en aviation pour les réacteurs qui a plusieurs usages différents (Alimentation des avions à réaction, emploi comme combustible de chauffage ou d'éclairage)

I.2-4-4 Carburants aéronautiques actuels : turboréacteurs et turbopropulseurs qui équipent la majorité des avions ou des hélicoptères (civils ou militaires) utilisent du kérosène.

I.2-4-5 Turbines à gaz : Le foyer flammes, ou est admis en premier l'air primaire mélangé au kérosène au moyen d'injecteurs. Dans la première partie de ce tube est organisée une combustion stœchiométrique. L'air secondaire enveloppe ensuite ce tube, assurant ainsi une protection thermique, et des perforations réalisées dans ce dernier contribuent à organiser les recirculations....

Chapitre II

II- Température d'auto-inflammation [1,2]

Définition :- La température d'auto-inflammation d'un carburant est la température à laquelle le mélange carburant-comburant s'enflamme de lui-même

Quelques valeurs : super, super sans plomb : 450°C, gazole : 250°C

II.1 Délai d'auto-inflammation (dai)

A partir de l'instant où le mélange gazeux (carburant-comburant) est porté à la température d'auto-inflammation, le mélange ne s'enflamme pas instantanément.

Le délai d'auto-inflammation est le temps qui sépare le moment où la température d'auto-inflammation est atteinte et le début de la combustion. soit : t (s) t ordre de grandeur 1ms

t_0 : instant où la température d'auto-inflammation est atteinte

t_1 : début de la combustion

$t_1 - t_0$: délai d'auto-inflammation

II.2 La capacité calorifique

Définition :- La capacité calorifique d'un carburant est la quantité de chaleur que peut fournir un kg de ce carburant pendant la combustion cette grandeur est appelée PCI (pouvoir calorifique inférieur) quelques valeur : PCI de l'essence (super, super sans Plomb) : 42700kJ/Kg

PCI du Gazole : 42600kJ/kg

PCI du GPL-C : 45800kJ/kg

-La connaissance du PCI est importante car elle permet de quantifier, à partir de la masse introduite dans le moteur, l'énergie calorifique disponible pour la combustion.

II.3 Indice d'octane et de cétane L'indice d'octane (pour l'essence et le GPL-C) et l'indice de cétane (pour le gazole) sont des caractéristiques importantes des carburants, ils déterminent le comportement du carburant pendant la combustion, les réglages et performances du moteur.

II.4 L'indice d'octane :(LO)

Définition : L'indice d'Octane (LO) est un nombre qui caractérise le délai d'inflammation du carburant (essence et GPL-C). Plus LO est élevé, plus le délai d'inflammation est élevé le carburant résiste bien à la détonation

LO élevé ce qui implique dai élevé : combustion contrôlée

LO faible ce qui implique dai faible risque de combustion de combustions incontrôlées (cliquetis)

II.5 Différents Indice d'octane (io) il existe deux types d'indice d'octane

-L'indice d'octane RON (indice recherche) qui est déterminé dans des conditions d'essais très éloignées de la réalité de fonctionnement des moteurs thermiques.

-L'indice d'octane MON (indice moteur) qui est plus sévère et plus juste car il est déterminé dans des conditions plus proche de la réalité de fonctionnement des moteurs

L'indice moteur est inférieur environ de 10 points à l'indice recherche

Exemple : si RON = 95 , MON = 85 c'est le cas de super plomb.

Remarque : pour avoir des carburants ayant io compatible avec les exigences actuelles, il faut faire appel à des additifs antidétonants, jusqu'à présent cet additif était le plomb l'arrivée des nouvelles normes anti-pollution (PREMIER JANVIER 1993) , les pétroliers ont trouvé un nouvel antidétonant pour remplacer le Pb celui-ci détruit les pots catalytiques qui a été remplacé par le benzène qui révèle être cancérigène.

II.6 L'indice de Cétane (ic)

Définition : L'ic est un nombre qui caractérise la capacité du gazole à s'enflammer rapidement après avoir atteint la température d'auto-inflammation pour assurer un bon déroulement de combustion dans le moteur Diesel (contrainte mécaniques et thermiques modérées, bruit modéré) il faut un indice de cétane élevé.

-ic élevé ce qui implique dai faible ce qui donne un moteur peu bruyant, contraintes modérées

-ic faible ce qui implique dai élevé ce qui donne un moteur bruyant, contraintes élevées

(Longévité moteur réduite) soient :

T_0 : le début injection constant

T_1 : le début combustion

T_2 : l'instant de fin injection constant

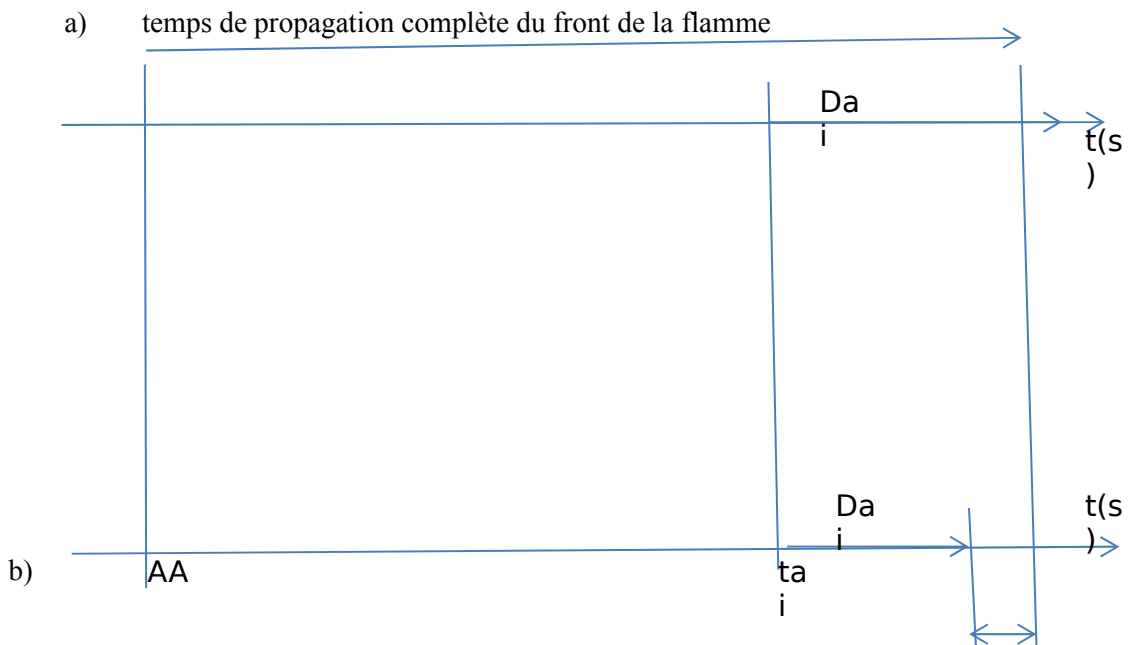
T: le temps total d'injection constant

La quantité de gazole injectée entre T_0 et T_1 ne dépend que du dai à l'instant T_1 , fin du dai toute la quantité de gazole injectée entre T_0 et T_1 va s'auto enflammer spontanément plus cette quantité est importante, plus la montée en pression spontanée dans le cylindre va être forte d'où chocs de pression sur le piston ; contraintes mécaniques élevées, bruit important.

II.7 Le cliquetis est avant tout un phénomène de combustion anormale dans les moteurs à allumage commandé, perceptible entièrement par un bruit métallique venant du moteur

Pour le moteur à allumage commandé, le cliquetis est la combustion incontrôlée la plus fréquente est la plus destructive (destruction rapide du piston, des soupapes,.....)

- Le cliquetis est l'explosion d'une partie de masse de mélange, qui pendant la combustion, n'a pas été atteint par le front de flamme. Il résulte du cliquetis une augmentation très brutale de la pression et de la température locales suivie d'une onde de choc (vibrations) très importante soient :
 - t_{ai} l'instant où les (end gaz) atteignent la T d'auto-inflammation ;
 - d_{ai} le délai d'auto-inflammation
 - AA : l'instant d'allumage
- a)- D_{ai} élevée b)- D_{ai} faible



Cliquetis

Les End gaz s'auto enflamment (cliquetis) avant l'arrivée du front de flamme si le d_{ai} est insuffisant

II.8 Principe de base

La masse d'essence à injecter dans les cylindres est déterminée à chaque instant par la mesure de la masse d'air aspirée par le moteur

II.9 Dosage du mélange carbure: Le dosage stœchiométrique correspond au dosage théorique permettant une combustion complète de l'essence dans l'air $d_s = (m_{essence} / m_{air}) = 1/15,1$

Exemple : l'équation chimique de la combustion de l'heptane (C_7H_{16}) dans l'air donne

Lorsque le moteur aspire 15,1g d'air il faut injecter exactement 1g d'essence C_7H_{16} dans ce cas, la richesse du mélange est exactement égale à 1 la combustion de l'essence dans l'air est complète

II.10 Tableau de Présentation du système de régulation de richesse et le coefficient d'air

Mélange riche	Excès d'essence combustion incomplète	Richesse $r = d_{\text{réel}} / d_s$	Coefficient d'air $\lambda = 1/r$
Mélange stœchiométrique	Combustion complète	$r = 1$	$\lambda = 1$
Mélange pauvre	Excès d'air combustion incomplète	$r < 1$	$\lambda > 1$

Remarque : λ est inversement proportionnel à r ces deux coefficients représente la même notion de carburation exprimée selon deux formes différentes. Par analogie au coefficient d'air et la richesse représente en fait le coefficient d'essence

II.11 Présentation du système de régulation de richesse

II-12 Emission des polluants en f(r)

-r diminue de 1,2 à 0,9

Le CO et les HC diminuent simultanément

Les HC et les NO_x évoluent de façon inverse

Les NO_x augmentent en raison de la température de combustion en mélange pauvre

-r < 0,85

Le CO atteint un niveau très bas (excès d'air)

Les HC augmente (imbrûlés) en raison de phénomènes d'extinction de flamme

Lorsque la r augmente de 1 à 1,2 le CO et les HC augmentent fortement en raison d'une combustion incomplète (mélange riche)

Conclusion :

Il est très difficile d'amener simultanément les 3 polluants à leur niveau minimums, tout en conservant une richesse permettant un bon fonctionnement du moteur. Avant catalyse, le meilleur compromis en termes d'émission de polluants et de fonctionnement du moteur, se situe autour de la richesse 1.

Chapitre III Chimie de la combustion [2,3]

III-1 Introduction :

C'est une science pluridisciplinaire qui concerne la réaction entre un combustible et l'oxygène pur, l'oxygène dilué (air) ou espèce chimique riche en oxygène (Ozone, Peroxyde d'hydrogène, Acide nitrique) la réaction chimique globalement et généralement fortement exothermique autonome, susceptible de s'accélérer brutalement et d'être accompagnée d'émission de rayonnements (vis, proche UV, et proche IR). Le dégagement de chaleur de réaction de combustion : expansion rapide du milieu réactionnel forte augmentation de pression (jusqu'à l'explosion), pour une combustion lente (phase du processus qui précède l'éventuelle accélération brutale de la réaction ou vive (phase du processus débutant avec l'accélération brutale et caractérisée par une vitesse réactionnelle élevée formation d'une flamme).

III.2 Application industrielles de la combustion -Dans une combustion

complète $C_xH_y + (X+Y/4)(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow XCO_2 + Y/2 H_2O + (X+Y/4)3,76N_2$

Composition en volume d'air sec : 21% O₂ + 79% de N₂

Expression d'une mole d'air : 137,3g M(O) = 16g/mol, M(N) = 14g/mol

III.3 Richesse du mélange carburé

$$\Phi = (mc/ma)_{\text{réel}} / (mc/ma)_{\text{stoech}} = \varphi_s (mc/ma)_{\text{réel}} = \varphi_s F = F/F^*$$

Φ : la richesse, mc : la masse du carburant, ma = la masse d'air

$$\varphi_s : \text{rapport stœchiométrique} = (ma/mc)_{\text{stoech}} \quad 14 < \varphi_s < 14,5$$

Pour les carburants liquides classiques (essence, gazole, carburacteur) φ_s augmente avec le rapport H/C F : dosage, F* : dosage stœchiométrique

Mélange riche ou pauvre si carburant en excès ou en défaut par rapport à la stœchiométrie

Coefficient d'excès d'air (ou d'aération) : $\lambda = 1/\Phi$

Moteur Diesel et réacteur d'avion :

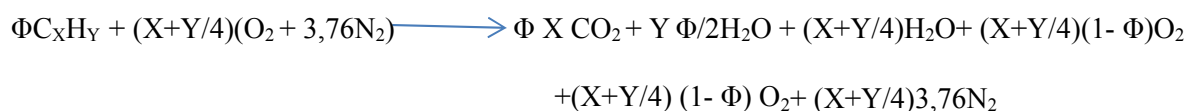
Mélange pauvre ($\Phi = 0,1$ à $0,80$), milieu très hétérogène

Moteur essence selon les technologies

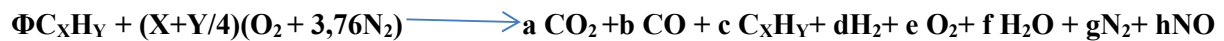
Mélange riche, stœchiométrique ou pauvre ($\Phi = 0,98$ à $1,02$)

Moteur HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition)

Mélange pauvre et homogène ($\Phi = 0,5$)



Cas réel :



Application

EX1)- Ecrire la réaction de combustion du n-heptane(Φ)

EX2)- Calculer le volume d'air pour brûler stoechiométriquement 1mole de Propane gazeux dans l'air à 298°K sous 0,98bar

III.4 Calcul de la richesse à partir de l'analyse des gaz d'échappement

-CO- CO₂ (photométrie d'absorption)

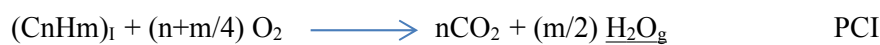
-O₂ (paramagnétisme)

-NO_x (NO + NO₂: chimiluminescence)

- HC totaux (détection par ionisation de flamme : FID)

$$\Phi = 3(X+4)[(CO)+(CO_2)+(CH_x)] / (3X+4)(CO)+3(x+4)(CO_2)+12(O_2)+6(NO_x) \quad \text{Avec } X = H/C$$

Pouvoir calorifique supérieur et inférieur



La différence entre PCS qui est en fonction de l'état de l'eau sous forme liquide et PCI qui est en fonction de l'état de l'eau sous forme gazeux

$$(\Delta_r H^\circ)_s = (\Delta_r H^\circ)_i + m/2 L_v \quad \text{Avec } L_v \text{ est la chaleur molaire de vapeur de l'eau (43,2KJ/mol)}$$

$$\text{PCI} = - (\Delta_r H^\circ) / M_{\text{Combustible}} \text{ [J/Kg de combustible]}$$

$$M = 12n + m \text{ (masse molaire du combustible } C_n H_m)$$

$(PC)_l = (PC)_v + RT (m/4) / (12n+m)$ Le pouvoir calorifique est mesuré expérimentalement par les dispositifs suivants : Calorimètre de Junkers ou Bombe Mahler, PC_m ou PC_v est le pouvoir calorifique massique ou volumique dans une réaction de combustion c'est la quantité d'énergie dégagée/unité de masse (carburant) ou volume $PCI_v = \rho PCI_m$

$$(PCI)_m = 10/2 W_H M_{H_2O} \quad \text{pour 1Kg de carburant}$$

Avec PCI [KJ/Kg] utilisé pratiquement car l'eau se trouve sous forme vapeur

W_H : Teneur massique en H du carburant

$$PCI_m = PCS_m - 10/2 (W_H M_{H_2O} \Delta h) \text{ ce qui implique } PCI_m = PCS_m - 212,2 W_H$$

III.5 Equation stœchiométrique de combustion: La composition du mélange air + carburant requise pour obtenir une combustion complète $(CH_YO_Z)_x$ est fonction de la masse il n'y a pas d'influence sur le dosage air+ carburant



Le rapport stœchiométrique $13 < r = (m_a/m_c)_{st} < 15$

Expression et calcul de la richesse $(\Phi) = (m_c/m_a)_{re} / (m_c/m_a)_{st}$

$(m_c / m_a)_{re}$ = rapport des masses respectives m_c et m_a de carburant et d'air effectivement utilisées

$$(\Phi) = (q_{mc}/q_{ma}) r$$

q_{mc} : Débit –masse de carburant, q_{ma} : Débit –masse d'air

Application :

EX1)-Calculer le PCI et PCS de la combustion du méthane sachant que : $\Delta H^{\circ}_f(CH_4) = -75KJ/mol$, $\Delta H^{\circ}_f(CO_2) = -393KJ/mol$, $\Delta H^{\circ}_f(H_2O)g = -241 KJ/mol$ $\Delta H^{\circ}_f(H_2O)l = -285 KJ/mol$

EX2)- la composition du gazole ; %C =87%, %H = 13% indiquer la formule chimique et la réaction de combustion

EX3)-Si un moteur diesel consomme 1kg de gazole pour produire une énergie de 5KWH, sachant que la combustion d'un kg de gazole libère une $E = 41,7$ millions de joule, calculer le rendement de ce moteur

EX4)- l'équation complète



A partir des masses nécessaires pour cette combustion complète

M carburant	M comburant
C_xH_y	$10,5(O_2 + 3,76N_2)$
M	M

Si la masse de carburant est de 1g quelle sera la masse de comburant ?

Indiquer la valeur pour un dosage stœchiométrique

M Carburant	M Comburant	Valeur du dosage stœchiométrique
1g	15	

Sachant que lorsqu'on mélange parfait le dosage réel est de 1/15, calculer la valeur de la richesse à cet instant

EX5)- Le PCS du Kérosène qui contient en masse de carbone 86% et de 14% de H est égal à 46890kj/kg

Sachant que la condensation d'une mole de vapeur d'eau dégage une chaleur égale à 41,1 kj

Calculer le PCI du Kérosène.

Chapitre IV

IV.1 Impact du trafic aérien sur l'environnement [4, 5,6]

IV.2 Emission de polluants : Des comparaisons des voyages effectués par différents moyens de transport indiquent que ,en règle générale ,l'avion est le moyen de transport qui présente la plus grande consommation d'énergie primaire et le taux le plus élevé d'émissions de CO₂, selon l'altitude de vol, les émissions des avions se composent d'oxyde d'azote (NO_x), de vapeur d'eau (H₂O) de monoxyde de carbone (CO),d'anhydride sulfureux (SO₂) et l'hydrocarbures (HC),notamment le méthane (CH₄).D'autres émissions qui, jusqu'à présent, ont fait l'objet de peu d'études sont les additifs ajoutés au carburants (notamment les antioxydants, les additifs visant à baisser la conductibilité électrique, les antigels et les biocides).

- 1- Dioxydes de carbone(CO₂) :** A l'échelle planétaire, 20% du dioxyde de carbone émis à la suite de combustion de combustibles fossiles (pétrole, charbon, bois, etc.) sont imputables au secteur des transports, dont 2/3 provient des pays industrialisés ou s'accorde à cet égard à reconnaître que le dégagement de CO₂ concourt à ce que l'on appelle **l'effet de serre**. Ceci inclut également les émissions de CO₂ engendrées par le trafic aérien. Il convient de considérer que les émissions de CO₂ générées par le trafic aérien contribuent au changement climatique (l'effet de serre).
- 2- Monoxyde de carbone(CO) :** La combustion incomplète de combustibles fossiles dégage du monoxyde de carbone qui, dans l'atmosphère s'oxyde pour former du CO₂ qui dégrade le climat.
- 3- Oxyde d'azote(NO_x) :** A l'échelle de la planète ,2/3 des Oxydes d'azote provient de la combustion de combustibles fossiles chaque année, l'aviation internationale rejette 2,8 million de tonnes d'oxyde d'azote dans l'atmosphère sous l'effet de l'intensité d'ensoleillement, les (NO_x) et les hydrocarbures volatils (COV, composés organiques volatils) forment de l'ozone troposphérique (O₃) qui participe à l'effet de serre à hauteur de 7% et qui, lorsqu'il s'accumule dans la région voisine de la tropopause(à une altitude de 6-18km) exerce sur le climat une influence dont l'ampleur quantitative demeure inconnue. Vu leur longue durée de vie, ces substances peuvent, sous l'effet de phénomènes de transport dans l'atmosphère voyager sur de longues distances notamment aussi dans des couches supérieures de l'atmosphère.
Lorsque, sous l'action de transports verticaux. Les oxydes d'azote émis par les avions parviennent dans la couche d'ozone stratosphère situé à une altitude supérieure, ils peuvent détruire l'ozone.
- 4- Vapeur d'eau :** La vapeur d'eau émet par le trafic Aérien dans la stratosphère accentue l'effet de serre et influence ainsi le climat. Le carburant aviation se compose essentiellement d'hydrocarbures qui, combinés à l'oxygène de l'air se consomment dans les groupes motopropulseurs et forment du dioxyde de carbone et de l'hydrogène
La lumière solaire atteint certes la surface terrestre même en présence de nuages de glace minces, mais la dissipation de la chaleur terrestre diminue déjà notablement en présence de nuage mince, ceci fait monter la température à la surface de la terre.
- 5- Anhydride sulfureux(SO₂) :**Le carburant kérosène aviation contient en général du soufre qui, sous l'effet de la combustion, est libérée sous forme SO₂ , les quantités de SO₂ émises sont suffisamment importantes pour engendrer une augmentation sensible des aérosols sulfatés dans la stratosphère inférieure et partant contribuer à l'ozonolyse

IV- 3 Les émissions totales des particules spécifiques des moteurs Diesel [4,5] : ont cessé de croître suite à l'installation des pots catalytiques d'oxydation, cette installation étant rendue possible par l'abaissement de la teneur en soufre dans les gazoles. Cependant, les émissions de particules fines de suie, qui ne sont pas suivies spécifiquement faute de moyens dans l'inventaire des émissions de particules, ne sont pas encore traitées de façon efficace au niveau des filtres à particules.

IV.4 Normes d'émissions et systèmes de dépollution [5,6]:

Le gaz carbonique tient une place essentielle parce que sa durée de vie est très longue - de l'ordre du siècle - et que l'aviation ne produit pas directement d'autres gaz à effet de serre parmi les six gaz recensés par le protocole de Kyoto.

Cependant, les moteurs d'avions émettent d'autres gaz, et notamment de la vapeur d'eau, qui ont un fort impact sur le réchauffement climatique, du fait de leur production à haute altitude par les avions. On estime que le pouvoir radiatif (ou réchauffant) de ces gaz est 2,7 fois plus élevé que celui du CO₂ lui-même et s'ajoute à celui-ci.

Les mécanismes de formation des nuages de haute altitude dans le sillage des avions (contrails) ou sous forme de voile nuageux (cirrus) sont mal connus, il importe néanmoins, d'une part, de poursuivre des efforts de connaissance et de compréhension de ces phénomènes, d'autre part et sans doute, d'envisager des mesures préventives qui, en première étape, porteraient sur la composition du carburéacteur .

Les émissions de l'aviation ne représentent que 2,0% des émissions mondiales de gaz à effet de serre et 2,5% des émissions de CO₂. En Europe, le volume des émissions de CO₂ du transport aérien en 2002 est estimé à 119 millions de tonnes pour 746 millions de passagers transportés : il se répartit en 16% attribuable au transport intérieur aux Etats-membres, 29 % au trafic entre Etats-membres et 56 % au trafic international avec des Etats-tiers².

Dans le monde, plus de la moitié de ces émissions est due au transport aérien international et les préoccupations des responsables proviennent de ce que : - la croissance de ce transport international est supérieure à celle du reste de l'économie, - le transport international n'est pas couvert par le protocole de Kyoto et par l'objectif affiché de stabilisation voire de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

En conséquence, à très long terme (2050), même si le taux de croissance des émissions (+1,7 % par an) de CO₂ est inférieur à celui du trafic (+3,1 %), on peut s'attendre que les émissions de CO₂ de l'aviation seraient - sans une attention particulière - multipliées par 3 entre 1990 et 2050³, alors que l'objectif sur les autres émissions d'origine humaine est une réduction par deux et bien davantage encore dans les pays industrialisés.

IV.5 Le transport aérien et le protocole de Kyoto [6]

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC), adoptée à Rio en Juin 1992, a marqué le début d'une politique mondiale de lutte contre le changement climatique. L'objectif de la convention est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans L'atmosphère à un niveau qui empêche toute « perturbation anthropique dangereuse du système Climatique ».

La « Conférence des Parties » à l'UNFCCC se réunit tous les ans depuis 1995 afin de définir les Modalités de la mise en œuvre de cette politique de lutte contre l'effet de serre. Le **protocole de Kyoto**

a été signé lors de la troisième Conférence des Parties en décembre 1997. Les pays industrialisés ont, en majorité, souscrit à des réductions précises de leurs émissions sur la période 2008-2012 (réduction de 5% par rapport à 1990).

Tandis que les émissions des vols intérieurs aux États sont inclus dans les inventaires d'émissions qui font l'objet d'engagements précis de réduction pour les pays signataire du protocole de Kyoto, les «Soutes internationales», constituées par l'ensemble du carburant utilisé pour des liaisons Internationales, sont exclues des émissions « plafonnées » des États. Elles font l'objet d'un objectif Général de limitation ou de réduction à l'article 2.2 du protocole :

« Les Parties visées à l'Annexe I cherchent à limiter ou réduire les émissions de gaz à effet de serre Non réglementées par le Protocole de Montréal provenant des combustibles de soute utilisés dans les Transports aériens et maritimes, en passant par l'intermédiaire de l'Organisation de l'aviation civile Internationale et de l'Organisation maritime internationale respectivement ».

IV.6 Conclusion générale :

La formulation des carburants s'avère la mesure la plus efficace pour réduire la pollution photo-oxydante cette démarche offre un double avantage, elle est applicable à tous les véhicules en circulation équipés ou non d'un pot catalytique, et son impact sur l'environnement est immédiat. De plus, elle n'entraîne pas de modifications ni des moteurs ni des stations de services. Enfin comme sa généralisation ne pose de problèmes particuliers au niveau des usagers, elle peut immédiatement se traduire par une réduction de la pollution atmosphérique et, par conséquent, avoir des effets bénéfiques rapidement observables sur l'environnement et la santé humaine.

Sur le plan économique, selon les choix effectués ou les contraintes réglementaires imposées, le coût de la reformulation des carburants peut être plus ou moins important. Ainsi, les dernières propositions de directive européenne concernant la diminution de la teneur en soufre dans les essences et les gazoles pose un véritable défi sur le plan technologique et financier aux raffineurs. Mais la question qui se pose comment assurer une meilleure qualité de l'air ? L'approche essentiellement qualitative et phénoménologique qui a été utilisée dans cette polycopie prouve qu'il est possible d'initier des étudiants aux Carburants usuelles, leur combustions et en limitant les concepts des moteurs qui leur sont présentés ainsi que l'écologie de notre environnement et ces normes de sa protection.

L'aviation civile s'est trouvée confrontée plus tardivement que les autres activités économiques et les autres modes de transport aux questions d'environnement. Le problème des nuisances sonores est apparu en premier lieu et l'on peut considérer qu'il a été sérieusement pris en charge par les autorités publiques et les acteurs du transport aérien dans la plupart des pays et sur le plan international : réglementation locale assortie d'incitations économiques, progrès technique stimulé par des normes et réglementations internationales. La maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, dont la nécessité n'est plus l'objet de controverses, est un nouveau défi pour ce secteur, probablement plus difficile que le précédent. Ceci tout d'abord en raison du caractère « global » de ce phénomène, de son impact différé dans le temps, et donc d'une perception plus diffuse dans les opinions publiques. Mais ces spécificités ne sont pas propres au transport aérien et n'ont pas empêché les autres secteurs économiques d'agir. En revanche la croissance de la demande de déplacements aériens qui est sans équivalent dans le domaine des transports résulte de certains facteurs spécifiques comme l'absence de possibilité de substitution modale pour l'essentiel des déplacements dès que l'on raisonne à l'échelle mondiale (la seule pertinente par rapport au problème posé). Dans ce contexte, l'inexistence, sauf à très long terme, d'alternative technologique crédible qui permettrait au transport aérien d'éviter une totale dépendance de carburants liquides hydrocarbonés constituent bien des contraintes ou des facteurs qui limitent les marges de manœuvre. Pourtant il nous est apparu qu'il en existait et que certaines n'avaient pas été beaucoup explorées jusqu'à présent. Nul ne s'étonnera que nous n'ayons pas trouvé de mesure miracle, sorte de panacée qui permettrait de répondre à ce défi. Notre conviction est au contraire qu'il faut combiner différents types d'action qui se renforceront mutuellement : l'action au quotidien des acteurs du transport (compagnies, aéroports, contrôle aérien) qui pourrait être stimulée par un engagement volontaire solidarissant l'ensemble des partenaires et favorisant l'émulation. Ensuite le progrès technique qui sera accéléré par un effort de recherche renforcé et mieux ciblé sur des objectifs environnementaux qui ne peuvent être portés par le seul marché. Ce pourrait être l'objet d'un des grands programmes technologiques dont l'Europe a besoin. Il concernerait aussi bien l'aérodynamisme des avions et les performances des moteurs que les nouveaux matériaux et les carburants. En troisième lieu un renforcement de l'action normative sur les mêmes sujets qui ne peut progresser qu'en liaison étroite avec l'ensemble des industriels concernés.

Enfin par la mise en place d'outils économiques dont les finalités premières doivent être d'encourager un comportement responsable des acteurs et la recherche d'une réduction des émissions au meilleur coût. Au total, on pourrait espérer à l'horizon de 2020 de réduire enfin l'impact du transport aérien sur le climat (émissions nettes de CO₂ et effets dus à d'autres facteurs).

Références bibliographiques :

1. W.G.Dukek, Aviation and Other Gas Turbine Fuels, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co, coll, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 1992.
2. G.J.Bishop, Aviation Turbine Fuels, Wiley-VCH Verlag GmbH&cO, coll.Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2000.
3. Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile n° 2004-0217-01 mars 2005
Rapport élaboré dans le cadre d'un groupe de travail interministériel présidé par Jean-Pierre GIBLIN
4. « Les biocarburants s'envolent », Air et Cosmos, No 2155, 16 janvier 2009
J,C,Guibert, Carburants et Moteurs, Ed Technip, Automobiles et pollutionmoteurs, Ipp publications, Ed technip.

