



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
La République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de L'Enseignement Supérieur & la Recherche Scientifique  
جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم  
Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الهندسة الميكانيكية  
Département Génie Mécanique



N° d'ordre : M...../GM/2019

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

## *Thème*

ETUDE DE LA COMBUSTION DES HYDROCARBURES

Présenté par :

- ❖ ISSOUFOU KASSO Mahamadou Moustapha
- ❖ NGAMPIKA NGUISSALIKI Timarli

**Soutenu le 06/ 07 / 2019 devant le jury composé de :**

Président	Dr. KHALDI Abdelaziz	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. MEDJAHED Bendida	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Dr. FLITTI Abdelmadjid	Université de Mostaganem UMAB

**Année Universitaire : 2018 / 2019**

## Résumé

---

Dans ce travail, à caractère purement pédagogique, on s'est intéressé à la combustion des hydrocarbures, notamment les calculs : des pouvoirs calorifiques inférieur et supérieur, la quantité de chaleur incluant le rapport air-carburant puis le calcul de la température de flamme adiabatique.

Pour cela, on a procédé à l'élaboration des outils de calcul dont leur création se fera grâce au logiciel Matlab. Pour s'y faire, dans un premier temps, on a donné une vue d'ensemble des hydrocarbures, s'en est suivi les généralités sur la combustion, puis enfin l'élaboration de trois programmes Matlab, à savoir :

1. Le programme du calcul des pouvoirs calorifiques inférieur et supérieur ;
2. Le programme du calcul de la quantité de chaleur incluant le rapport air-carburant qui a conduit à la création d'une fonction et d'une interface graphique. Après exécution ce programme affichera les valeurs : des températures, du facteur d'air, l'équation de la réaction, des enthalpies, de la quantité de chaleur puis du rapport air-carburant.
3. Le programme du calcul de la température de la flamme adiabatique dont le processus de sa mise en place est le même que celui de la quantité de chaleur. Après exécution ce programme affichera les valeurs : des températures, du facteur d'air, l'équation de la réaction, des enthalpies et de la température adiabatique.

A la fin de l'élaboration de chaque programme s'en est suivi des exemples d'application

**Mots clés :** combustion, hydrocarbures, quantité de chaleur et température adiabatique.

## Abstract

---

In this purely educational work, we have been interested by the combustion of hydrocarbons, in particular the calculations of: lower and higher calorific values, the quantity of heat including the air-fuel ratio and the adiabatic flame temperature calculation. For this, we developed the powerful computing tools that will be created with Matlab software. Firstly, we made an overview of the hydrocarbons, secondly the generalities of the combustion, then finally the development of the various programs.

1. The program that calculate the lower and higher calorific values;
2. The program that calculate the quantity of heat including the calculation of the air-fuel ratio. For this, we have proced to the creation of a function and then a graphical interface. After excution, this program will display the values of: the temperatures, the air factor, reaction equation, the enthalpies, the quantity of heat and the air-fuel ratio.
3. The program that calculate the adiabatic flame temperature, his process creation is the same as that of the quantity of heat. This program will display too the values of : the temperatures, the air factor, reaction equation, the enthalpies and the flame adiabatic temperature. solution proposed by the program. Then, finally, other uses that can be made of these programs.

At the end of the development of each program is followed by application examples.

**Key words:** combustion, hydrocarbons, heat quantity and adiabatic temperature.

# REMERCIEMENTS

Toutes les louanges sont à notre Seigneur, le miséricordieux de nous avoir accordé parmi ces innombrables grâce, santé et courage depuis le début de nos études jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Nos remerciements vont également à notre cher encadreur, Docteur **FLITTI Abdelmadjid**, enseignant chercheur au département du Génie Mécanique de la faculté de sciences et de technologie de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour sa patience, sa disponibilité, sa rigueur scientifique et surtout ses conseils judicieux qui ont alimenté notre réflexion.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance au Docteur **KHALDI Abdelaziz** pour avoir accepté de présider le jury de notre projet de fin d'études.

Nous remercions, très vivement, Docteur **MEDJAHED Bendida** de l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger notre travail.

Nous désirons aussi remercier l'ensemble du corps professoral du département du Génie Mécanique pour leur écoute et encadrement durant tous notre cursus.

Nous témoignons également nos remerciements à l'ensemble du staff administratif et technique de la faculté de sciences et de technologie de l'université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem pour leur écoute et aide dès notre premier jour d'études supérieure.

Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers nos amis et camarades de classe pour leur soutien moral et intellectuel durant nos études.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à ma famille, elle, qui m'a toujours doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement

A ma très chère mère, SAHARA

Quoi que je fasse, quoi que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance m'a toujours guidé et votre présence malgré la distance a toujours été ma source de force pour affronter les obstacles.

A mon très cher père, ISSOUFOU

Qui a consacré toute son existence à bâtir la mienne. Pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi vous avez toujours été là, à me soutenir et encourager dans mes projets. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

A mes très chères tantes, Hadjia RABI et AMINA, mon oncle Hamza et mon très cher papi  
elh ADA

Aucunes dédicaces ne sauraient exprimer tout l'amour que j'ai pour vous. Je suis très reconnaissant et je ne vous remercierai jamais assez pour votre amabilité, votre générosité et aide précieuse.

A mes adorables sœurs et frères, mes cousins et cousines

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse, aucunes dédicaces ne sauraient exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, votre joie et votre gaieté me comble de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre chemin et vous aide à réaliser à votre tour, vos rêves les plus chers.

A mes amis de toujours : Sofiane, Aboubacar, Abass , Abdoul-Aziz, Adoum, Abdoul-Wahab,  
Oumar, Issaka

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

A toutes les personnes que j'ai omises instinctivement de citer

*MAHAMADOU MOUSTAPHA*

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire mon très cher et défunt père NGUISSALIKI Joseph.  
J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme.

A mes mamans Okomby Marie Chantal, Ngoli Martine, Obambi Carine, qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant ces études, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance

A mes Frères NGUISSALIKI Marliti, Aubamby Jean-Christ qui ont partagé avec moi, tous les moments de la réalisation de ce travail, ils m'ont chaleureusement encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à tous ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès

A tous ceux que j'aime

Merci

*Timarli*

# Notations

$A$	Somme des nombres de moles des produits	[-]
$AC$	Rapport air-carburant	[Kg <sub>air</sub> /Kg <sub>fuel</sub> ]
$atm$	Atmosphère	[-]
$CO$	Molécule du monoxyde de carbone	[-]
$CO_2$	Molécule du dioxyde de carbone	[-]
$Cp_p$	Capacité calorifique des produits à pression constante	[J/K]
$Cp_r$	Capacité calorifique des réactifs à pression constante	[J/K]
$C_xH_y$	Formule brute d'un hydrocarbure	[-]
$dt$	Différentiel de la température	[K]
$E$	Excès d'air	[%]
$h$	L'enthalpie sensible, enthalpie à l'état spécifié,	[KJ/Kmol]
$h^\circ$	L'enthalpie sensible à l'état de référence de 298k et 1 atm	[KJ/Kmol]
$h_f^\circ$	L'enthalpie de formation à l'état de référence standard	[KJ/Kmol]
$H_r$	Somme des enthalpies des réactifs	[KJ/Kmol]
$H_p$	Somme des réactifs des produits	[KJ/Kmol]
$H_r^\circ$	Somme des enthalpies des réactifs à l'état initial	[KJ/Kmol]
$H_p^\circ$	Somme des réactifs des produits à l'état initial	[KJ/Kmol]
$H_2O$	Molécule d'eau	[-]
$hO_2$	Représente l'enthalpie du Dioxygène à 25°C	[KJ/Kmol]
$hN_2$	Représente l'enthalpie du Diazote à 25°C	[KJ/Kmol]
$hCO_2$	Représente l'enthalpie de carbone à 25°C	[KJ/Kmol]
$hH_2O$	Représente l'enthalpie de l'eau à 25°C	[KJ/Kmol]
$hCO$	Représente l'enthalpie du monoxyde de carbone à 25°C	[KJ/Kmol]
$h1H_2O$	Représente l'enthalpie de l'eau à la température des produits	[KJ/Kmol]
$h2H_2O$	Représente l'enthalpie de l'eau à la température de l'air	[KJ/Kmol]
$h1CO_2$	Représente l'enthalpie du dioxyde de carbone à la température des produits	[KJ/Kmol]
$h2CO_2$	Représente l'enthalpie du dioxyde de carbone à la température de l'air	[KJ/Kmol]
$h1O_2$	Représente l'enthalpie du dioxygène à la température des produits	[KJ/Kmol]
$h2O_2$	Représente l'enthalpie du dioxygène à la température de l'air	[KJ/Kmol]
$h1N_2$	Représente l'enthalpie du diazote à la température des produits	[KJ/Kmol]
$h2N_2$	Représente l'enthalpie du diazote à la température de l'air	[KJ/Kmol]
$hH_2O(g)$	Enthalpie de formation de l'eau à l'état gazeux	[KJ/Kmol]

## Notations

$h_{CO_2}(g)$	Enthalpie de formation du dioxyde de carbone à l'état gazeux	[KJ/Kmol]
$h_{CO}(g)$	Enthalpie de formation du monoxyde de carbone à l'état gazeux	[KJ/Kmol]
$\bar{H}_f(C_xH_y)$	Enthalpie de l'hydrocarbure	[KJ/Kmol]
$h_{c1}$	La différence entre la somme des enthalpies des produits et celle de l'hydrocarbure	[KJ/Kmol]
$h_{c2}$	La différence entre la somme des enthalpies des réactifs et celle de l'hydrocarbure	[KJ/Kmol]
$M$	La masse molaire de l'hydrocarbure	[Kg/Kmol]
$MCO_2$	Tableau des enthalpies sensibles du $CO_2$	[-]
$MH_2O$	Tableau des enthalpies sensibles du $H_2O$	[-]
$MN_2$	Tableau des enthalpies sensibles du $N_2$	[-]
$MO_2$	Tableau des enthalpies sensibles du $O_2$	[-]
$m_{air}$	La masse de l'air	kg
$m_{fuel}$	La masse de l'hydrocarbure	kg
$m$	Nombre de réactifs ;	[-]
$N_2$	Molécule du diazote	[-]
$N_{pi}$	Nombre de moles du produit i	[-]
$N_{ri}$	Nombre de moles du réactif i	[-]
$n$	Nombre de produits	[-]
$n_j$	Nombre de groupe d'atomes de type j	[-]
$O_2$	Molécule du dioxygène	[-]
$PCS$	Pouvoir Calorifique Supérieur	[KJ/Kg]
$PCI$	Pouvoir Calorifique Inférieur	[KJ/Kg]
$Q$	Quantité de chaleur dégagée	[KJ/Kmol]
$Q_p$	Quantité de chaleur des produits	[KJ/Kmol]
$Q_r$	Quantité de chaleur des réactifs	[KJ/Kmol]
$T_0$	Température à l'état initial	[ °C]
$T_r$	Température des réactifs	[ °C]
$T_1$	Température de l'hydrocarbure à l'entrée dans la chambre de combustion	[ °C]
$T_2$	Température de l'air	[ °C]
$T_3$	Température des produits	[ °C]
$T_{ad}$	Température de la flamme adiabatique	[ °C]
$W$	Travail	[KJ/Kmol]
$x$	Valeur du nombre de carbones dans l'hydrocarbure	[-]
$y$	Valeur du nombre d'hydrogènes dans l'hydrocarbure	[-]
$(\Delta H^\circ)_{298}$	Enthalpie de formation estimée grâce à la méthode de JOBACK	[KJ/mol]
$\lambda$	Facteur de l'air	[-]

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Différents types d'Hydrocarbures cycliques.....	7
--	---

## Liste des Figures

<b>Figure I.1</b> : Puit pétrolier .....	2
<b>Figure I.2</b> : Suintement naturel d'hydrocarbure .....	4
<b>Figure II.1</b> : a) Triangle de feu.....	8
<b>Figure II.1</b> b) Tétraèdre du feu.....	8
<b>Figure II.2</b> : Flamme de prémélange.....	11
<b>Figure II.3</b> : La flamme conique .....	12
<b>Figure II.4</b> : La flamme d'expansion .....	12
<b>Figure II.5</b> : La flamme de stagnation.....	13
<b>Figure II.6</b> : La flamme de diffusion.....	13
<b>Figure III.1</b> : Organigramme du programme des pouvoirs calorifiques .....	18
<b>Figure III.2</b> : Résultats de l'exemple de calcul des pouvoirs calorifiques .....	18
<b>Figure. III.3</b> Organigramme de la fonction chaleur déga.....	23
<b>Figure. III.4</b> Interface graphique pour le calcul de la quantité de chaleur .....	24
<b>Figure III.5</b> : Introduction des données de l'exemple 1 avant d'appuyer sur le bouton 'calculer' .....	25
<b>Figure III.6</b> : Affichage des résultats de l'exemple 1 après avoir appuyé sur le bouton 'calculer' .....	26
<b>Figure III.7</b> : Résultats exportés de l'exemple 1.....	27
<b>Figure III.8</b> : Introduction des données de l'exemple 2 avant d'appuyer sur le bouton 'calculer' .....	28
<b>Figure III.9</b> : Affichage des résultats de l'exemple 2 après avoir appuyé sur le bouton 'calculer' .....	28
<b>Figure III.10</b> : Résultats exportés de l'exemple 2.....	29
<b>Figure. III.11</b> Organigramme de la fonction sam .....	33
<b>Figure III.12</b> : Interface graphique pour le calcul de la température adiabatique .....	34

<b>Figure III.13 :</b> Introduction des données de l'exemple, pour $\lambda = 1$ , avant d'appuyer sur le bouton 'calculer'.....	35
<b>Figure.III.14 :</b> Affichage des résultats de l'exemple, pour $\lambda = 1$ , après avoir appuyé sur le bouton 'calculer'.....	35
<b>Figure III.15 :</b> Résultats exportés de l'exemple, pour $\lambda = 1$ .....	36
<b>Figure III.16:</b> Résultats exportés de l'exemple, pour $\lambda = 4$ .....	36
<b>Figure III.17 :</b> Résultats exportés de l'exemple, pour $\lambda = 0.9$ .....	37
<b>Figure III.18 :</b> Effet de la température de l'air sur la quantité de chaleur dégagée par $C_2H_2$	38
<b>Figure III.19 :</b> Effet du facteur d'air sur la température adiabatique du $C_2H_4$ .....	39

# Sommaire

Introduction Générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I Les Hydrocarbures

I.1. Historique .....	2
I.2. Définition .....	3
I.3. Localisation des hydrocarbures .....	4
I.4. Les différents types d'hydrocarbures .....	4
I.4.1. Les hydrocarbures acycliques.....	4
I.4.1.1 Les alcanes .....	4
I.4.1.2 Les alcènes .....	5
I.4.1.3 Les hydrocarbures diéniques ou diènes .....	5
I.4.1.4 Les polyènes.....	5
I.4.1.5 Les alcynes .....	5
I.4.1.6 Les diyynes .....	5
I.4.1.7 Les polyynes .....	6
I.4.2. Les hydrocarbures à carbone non tétravalent.....	6
I.4.3 Les hydrocarbures cycliques.....	6

## Chapitre II Les Généralités sur la combustion

II.1. Introduction .....	8
II.2. Le comburant .....	9
II.3. Le combustible .....	9
II.4. Classification des combustibles .....	9
II.4.1 Les biocombustibles .....	9
II.4.2 Les combustible d'origines fossiles.....	9
II.5. Différents types de combustion .....	10

II.5.1 La combustion rapide.....	10
II.5.2 La combustion lente.....	10
II.5.3 La combustion stœchiométrique.....	10
II.5.4 La combustion non stœchiométrique .....	10
II.6. Différents types de flamme de combustion .....	11
II.6.1 La flamme de prémélange.....	11
II.6.2 La flamme conique .....	11
II.6.3 La flamme expansion.....	12
II.6.4 La flamme de diffusion .....	13
II.7. La qualité de la combustion.....	13
II.8. Limite d'inflammabilité et température d'inflammation.....	14
II.8.1. Limite d'inflammabilité.....	14
II.8.2. La température d'inflammation.....	14
II.9. Les propriétés thermodynamiques des espèces en réaction.....	14
II.9.1 Le pouvoir calorifique.....	14
II.9.2 Enthalpie de formation .....	15
II.9.3 La chaleur de la réaction .....	15
II.9.4 La température de la flamme adiabatique.....	15

## Chapitre III Présentation des programmes élaborés

III.1. Introduction.....	16
III.2. La méthode de JOBACK.....	16
III.3. Calcul du rapport air-carburant (AC).....	17
III.4. Le pouvoir calorifique.....	17
III.5. Calcul de la quantité de chaleur dégagée .....	19

III.5.1 Interface graphique graphique de la quantité de chaleur.....	24
III.5.1.1 Fonctionnement de l'interface graphique graphique de la quantité de chaleur.....	24
III.5.2 Exemples d'applications.....	25
III.5.2.1 Exemple 1.....	25
III.5.2.2 Exemple 2.....	27
III.6. Calcul de la température de la flamme adiabatique .....	29
III.6.1 Interface pour le calcul la température de la flamme adiabatique .....	30
III.6.2 Exemple d'application .....	34
III.7. Autres utilisations du programmes .....	37
III.7.1. Exemple 1 : Effet de la température de l'air sur la quantité de chaleur .....	37
III.7.2. Exemple 2 : Effet du facteur d'air sur la température de la flamme adiabatique....	38
Conclusion Générale et perspectives .....	40
Références bibliographiques	
Annexes.....	i
Annexe 1 : Les contributions pour la formule de JOBACK.....	i
Annexe 2 : Programme de calcul des pouvoirs calorifiques.....	iii
Annexe 3 .....	iv
Programme 2 : Programme de la fonction de calcul de la quantité de chaleur.....	iv
Programme 3 : Programme de l'interface graphique pour le calcul de la quantité de chaleur.....	xii
Annexe 4 .....	xvi
Programme 4 : Programme de la fonction de la température de la flamme adiabatique.....	xvi
Programme 5 : Programme de l'interface graphique pour le calcul de la température de la flamme adiabatique.....	xii

# Introduction Générale

La combustion occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. Cette combustion ne peut avoir lieu que grâce à une recette respectant une certaine proportion d'ingrédients, dont les éléments de base sont : le comburant et le carburant qui peut être solide (charbon par exemple), liquide ou gazeux (hydrocarbure).

L'étude de la combustion est l'un des thèmes de recherche les plus rencontrés dans le domaine de l'énergétique. En effet, les combustions sont des réactions chimiques suivies d'un fort dégagement de la chaleur, qui interviennent dans plusieurs secteurs. Mais généralement la chaleur dégagée est utilisée pour le chauffage ou pour la production de l'énergie utile (électrique, mécaniques).

Dans ce contexte, ce travail, à caractère pédagogique, a pour objectif de mettre en place des programmes Matlab qui permettent de calculer les grandeurs thermodynamiques de la combustion. Les programmes élaborés, dans ce travail, cherchent à aider :

- Les étudiants à résoudre les exercices de la thermodynamique et de la combustion ;
- Les enseignants des matières : « conversion d'énergie, moteurs à combustion interne et combustion » à préparer les fiches des travaux dirigés et à proposer des travaux (mini-projet) qui permettent de mettre en évidence quelques notions importantes.

Ainsi donc, notre travail est subdivisé en trois chapitres qui sont :

- Le premier chapitre présente un aperçu général sur les hydrocarbures ;
- Le deuxième chapitre donne des généralités sur la combustion ;
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des programmes élaborés.

# Chapitre

# I

# Les Hydrocarbures

## I.1. Historique

Tout a commencé par le plancton qui selon **Victor Hensen** est un groupe polyphylétique d'organismes généralement unicellulaires vivant dans les eaux douces, saumâtres et salées, le plus souvent en suspension et apparemment passif : gamètes, larves, animaux inaptés à lutter contre le courant, végétaux et algues microscopiques, ces espèces ayant vécu plusieurs années avant notre ère ont disparu. Tout en se décomposant dans les fonds marins, après putréfaction ces organismes morts forment les atomes d'hydrogènes qui se lient à celles du carbone sous forme de chaîne pour former ce composé organique qu'on appellera plus-tard « hydrocarbure ».

Ces huiles qui autrefois découvert en creusant des puits afin de s'approvisionner en eau potable ont permis aux hommes de l'antiquité de s'en servir pour des usages comestibles. Il est utilisé aussi par les amérindiens pour ses supposés vertus médicinales et aussi vendu aux Etats-Unis au XIX<sup>e</sup> siècle comme remède miracle et grâce à son pouvoir combustible, alimenter des lampes à huile.



**Figure I.1** : Puit pétrolier [1].

D'après certaines revues [1], c'est en 1855 en Pennsylvanie aux Nord-est des États-Unis que **George Bissell et Jonathan Eveleth** s'informèrent de l'existence du pétrole qui jusque-là était facilement utilisé par les Indiens et les colons. Pouvant être utile à la mise en place du pétrole lampant, et ce, par distillation ce qui permit la création de la première raffinerie en 1857 en Roumanie qui alimente 1000 lampes. De cette innovation, l'or noir à commencer à prendre son envol sur le marché. En effet dans les années 1910 d'important champs pétrolier sont remarqués dans les pays comme le Canada, l'Indonésie, au Venezuela, au Mexique, au Pérou, aux USA et en Arabie Saoudite.

Grâce au progrès de l'industrie, les raffineries se dotent des outils beaucoup plus puissants ce qui conduit à l'extraction des quantités importantes d'hydrocarbures.

Dans les années 1878, plusieurs inventions sont réalisées à savoir l'ampoule électrique qui amorça l'utilisation de la lampe à pétrole qui jusque-là était le seul débouché du pétrole, en 1905 Henry Ford inventa le premier véhicule à moteur à combustion. De par cette innovation l'extraction de l'hydrocarbure se résuma à un liquide inflammable, c'est ainsi que les premiers carburants ont vu le jour et on assiste alors à une course à la recherche de cette matière première, plusieurs centaines de millions d'unités de pétrole sont extraites en un siècle.

Par la suite, on assiste à une diversification de certains matériaux fabriqués grâce à ce composé à savoir des polymères, qui permettent de fabriquer de nouveaux matériaux adaptés à l'extrusion et au moulage (objets en polyéthylène, polypropylène), de la graisse pour la mécanique, de l'huile de graissage pour les moteurs, le méthane et bien d'autres composés. Dans certaines roches organiques du gaz s'en échappe naturellement, cette connaissance permit l'extraction du gaz naturel qui a conduit à l'alimentation en énergie de plusieurs centres industriels.

Il sied d'ajouter dans cette partie de l'historique que les conflits géopolitiques enregistrés durant les années antérieures en Afrique et dans d'autres continents ont eu pour cause principale l'extraction de cette matière première qui au fil des années et ce grâce au développement de nouvelles technologies a eu une place importante dans l'économie mondiale et ce jusqu'à nos jours.

## I.2. Définition

Les hydrocarbures encore appelés carbures d'hydrogène sont des restes de matières organiques mortes, qui par décomposition après plusieurs années forme sous terre un composé organique. C'est à ce composé organique qu'on attribua la formule  $C_nH_m$ , (n et m étant des entiers naturels). On distingue les hydrocarbures saturés (les alcanes), des hydrocarbures possédant une ou plusieurs insaturations (les alcènes, les alcynes, et les composés aromatiques). À température ambiante, les hydrocarbures sont inflammables, à l'image du pétrole et du gaz naturel, deux carburants importants. Par ailleurs, ils ne se mélangent pas à l'eau. Leur densité est variable. Et leurs températures d'ébullition et de fusion ainsi que leur masse volumique et indice de réfraction, notamment pour les alcanes, dépendent de la longueur de leur chaîne carbonée ainsi que de ses ramifications [2,3].

### I.3. Localisation des hydrocarbures

Dans sa terminaison « hydrocarbure » on se concentre plus au gaz naturel et au pétrole qui sont les deux principales sources d'énergie les plus utilisés. Étant une roche organique, les hydrocarbures sont localisés sur la terre, sous la terre ou sous le plancher océanique. A titre d'exemple, en Algérie, ce composé organique si situe sur la terre à eux seuls représentent 60 % des recettes du budget et 98 % des recettes d'exportation.

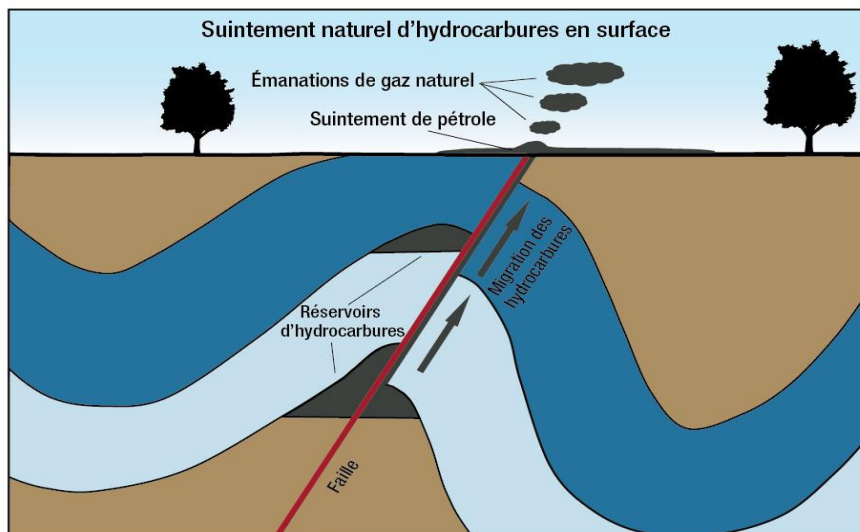


Figure I.2 : Suintement naturel d'hydrocarbure [4].

L'Algérie était en 2015 le 18<sup>e</sup> producteur de pétrole, le 10<sup>e</sup> producteur de gaz naturel et le 6<sup>e</sup> exportateur de gaz naturel au monde. La production et la consommation d'énergie, y compris dans le secteur de l'électricité, sont tirées des hydrocarbures à plus de 99 %, on découvre encore sur le territoire de nouveau gisement de pétrole comme celui de Bir Sebaa (à 150 km au nord-est d'Hassi Messaoud) assure une production initiale de 20.000 barils/j qui devrait être de 40.000 barils/j en 2019. Sachant que ses réserves sont de l'ordre de 758 millions de barils dont 25% sont récupérables. Les hydrocarbures ne sont pas que présent sur Terre, en effet d'après la **NASA, JPL-Caltech, SSI**, du méthane et de l'éthane liquide ont été identifiés sur Titan, la plus grande lune de Saturne.

### I.4. Les différents types d'hydrocarbures

#### I.4.1. Les hydrocarbures acycliques

##### I.4.1.1 Les alcanes

Les alcanes sont des hydrocarbures saturés. Ils ne sont constitués que d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H), liés entre eux par des liaisons simples, les atomes de carbone sont reliés à un nombre maximal d'atomes d'hydrogène — d'où le nom de « saturé ». Les alcanes non cycliques possèdent une formule brute de la forme  $C_nH_{2n+2}$  où  $n$  est un entier naturel non nul.[5]

### I.4.1.2 Les alcènes

Les alcènes sont des hydrocarbures insaturés, caractérisés par la présence d'une double liaison covalente entre deux atomes de carbone. Ces liaisons sont toujours de types covalentes normales parfaites. Les alcènes non cycliques possèdent une formule brute de la forme  $C_nH_{2n}$  où  $n$  est un entier naturel supérieur ou égal à 2. L'alcène le plus simple est l'éthylène (nom usuel de l'éthène). Et leur nomenclature est calquée sur celle des hydrocarbures saturés ; en plus, on numérote la double liaison. La terminaison caractéristique est ène.

Il faut aussi retenir que le terme « oléfine » était le nom donné par le passé aux alcènes ; bien qu'encre employé (ainsi que le terme « polyoléfine »), il tombe de plus en plus en désuétude [6-7]

### I.4.1.3 Les hydrocarbures diéniques ou diènes

Ce sont des hydrocarbures présentant deux doubles liaisons. Leur formule générale est  $C_nH_{2n-2}$ . Selon la position des doubles liaisons, on classe ces carbures en trois grands groupes : [7-8]

- Les diènes cumulés, appelé aussi hydrocarbures alléniques. Le chef de file de la série est l'allène:  $CH_2 = C = CH_2$
- Les diènes conjugués, Le chef de file de la série est le butadiène :  
 $CH_2 = CH - CH = CH_2$
- Les diènes éloignés, avec  $n$  égal au moins à 1, Le chef de file de la série est le pentadène-1,4:  $CH_2 = CH - CH_2 - CH = CH_2$

### I.4.1.4 Les polyènes

Appelé aussi alcapolyènes, polyène est le nom générique des composés organiques polyinsaturés qui possèdent au moins 2 doubles liaisons carbone-carbone et au moins 5 carbones. Les polyènes hydrocarbonés ont pour formule générale  $C_nH_{2(n-m+1)}$  avec :

$n$  : le nombre d'atomes de carbone dans la molécule ( $\geq 6$ ) ;

$m$  : le nombre de doubles liaisons carbone-carbone ( $\leq 5$ ).

Dans certains cas, pour les nommer, on part du diène dont la structure apparaît plusieurs fois, auquel on ajoute le préfixe poly.[9]

### I.4.1.5 Les alcynes

Les alcynes sont des hydrocarbures possédant une insaturation caractérisée par la présence d'une triple liaison carbone-carbone. Appelé aussi, hydrocarbures acétyléniques, ils ont pour formule générale  $C_nH_{2n-2}$ , et sont caractérisés par la présence dans leur molécule d'une triple liaison et d'une coexistence possible de doubles liaisons. [10]

### I.4.1.6 Les diynes

Ils sont aussi appelés, alcadiynes, ils ont pour formule  $C_nH_{2n-2}$

### I.4.1.7 Les polyynes

Appelé aussi alcapolyynes, le polyène est un composé organique possédant une chaîne carbonée caractérisé par au moins deux triples liaisons carbone-carbone alternant avec des liaisons simples. Ils ont pour formule  $C_nH_{2n-6}$ .

**I.4.2. Les hydrocarbures à carbone non tétravalent**

Ce sont des composés organiques qui regroupent un ensemble d'hydrocarbures dont les liaisons C-H sont très instables dans l'espace interstellaire, on peut citer parmi tant d'autres : les carbènes (Hydrocarbures à carbone divalent ; instable), le méthylène CH.

**I.4.3. Les hydrocarbures cycliques**

Ce sont des hydrocarbures ayant un groupement de carbone tétravalent et concerne les composés alicycliques (à la fois aliphatique et cyclique), les hydrocarbures aromatiques, anti-aromatiques et autres.

HYDROCARBURES CYCLIQUES				
Cyclanes (ou cyclo-alcanes ou hydrocarbures cyclique saturés)			Cyclanes (ou cyclo-alcanes ou hydrocarbures cyclique saturés)	
<b>Monocyclanes :</b> $C_nH_{2n}$ <b>Exemple :</b> $C_3H_6$ : cyclopropane	<b>Polycyclanes (ou polycyloalcanes saturés polycycliques)</b> <b>Exemple :</b> $C_4H_6$ : bicyclobutane <b>Tétracyclanes</b> $C_8H_8$ : Cubane	<b>Monocyclynes :</b> $C_nH_{2n-4}$ <b>Exemple :</b> $C_5H_3$ : cyclopentadiyne $C_6H_4$ : cyclohexa-1,3-diyne $C_7H_3$ : cycloheptatriyne $C_3H_2$ : cyclopropyne	<b>Polycyclynes</b> <b>Exemple :</b> <b>Bicyclynes</b> <b>tricyclynes</b>	
HYDROCARBURES CYCLIQUES				
Cyclènes (ou cyclo-alcènes ou hydrocarbures alicycliques à une ou plusieurs double(s) liaison(s))				A doubles et triples liaisons
<b>Monocyclènes :</b> $C_nH_{2n-2}$ <b>Exemples :</b> $C_3H_4$ : cyclopropène Cyclobutène $C_3H_2$ : cyclopropadiène	<b>Polycyclènes</b> <b>Exemples :</b> $C_4H_4$ : bicyclobutènes $C_8H_6$ : pentalène	<b>Terpènes</b> <b>Exemples</b> $C_{10}H_{16}$ : limonènes $C_{15}H_{24}$ : cédrènes $C_{40}H_{56}$ : rimuène	<b>Autres</b> <b>Exemples :</b> Radialènes Norbornènes $C_{10}H_{10}$ : bullvalène	<b>Arynes :</b> $C_6H_4$ : benzyne
HYDROCARBURES AROMATIQUE				
Benzenoides				
<b>Monocycliques :</b> <b>Exemples :</b> $C_6H_6$ : benzène $C_8H_8$ : styrène $C_8H_{10}$ : xylènes	Polycycliques			Autres
	<b>A noyaux séparés</b> <b>Exemples :</b> $C_{12}H_{10}$ : dyphényle $C_{14}H_{12}$ : stilbènes	<b>A noyaux condensés -non superaromatiques -superaromatiques</b>		<b>Annulènes :</b> $C_{14}H_{14}$ : annulène $C_{10}H_8$ : azulène
HYDROCARBURES ANTI-AROMATIQUE			AUTRES	
Certains annulènes : $C_4H_4$			Annulène ou cyclodécapentaène $C_{10}H_{10}$	

Tableau I.1 : Différents types d'Hydrocarbures cycliques

# Chapitre II

## Généralités sur la combustion

### II.1. Introduction

La combustion est une réaction chimique qui a lieu lors de la combinaison entre l'oxygène de l'air, le combustible et une source de chaleur. Cette combinaison, porte le nom symbolique du triangle de feu. Mais, au début des années 1980, fût identifiée une quatrième partie que l'on nommera les radicaux libres (espèce chimique possédant un ou plusieurs électrons non appariés sur sa couche externe). Aujourd'hui, il est bien connu que la chimie du feu est basée sur le tétraèdre du feu, qui consiste en oxygène, carburant, chaleur et les radicaux libres» sans lesquels aucune combustion avec flammes n'est possible. En l'absence de radicaux libres, la combustion peut se poursuivre, mais sans flammes : feux de braises de charbon de bois, ou de coke par exemple, et à condition que leur température reste suffisante. C'est ainsi qu'on ne peut rallumer la tige calcinée d'une allumette qui vient de brûler.

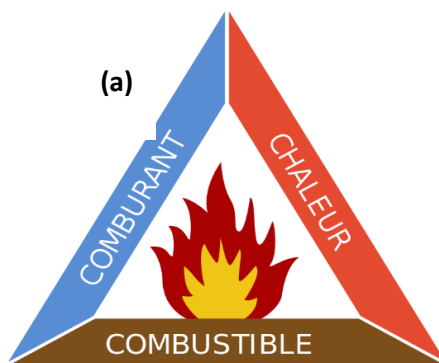


Figure II.1 : a) Triangle de feu

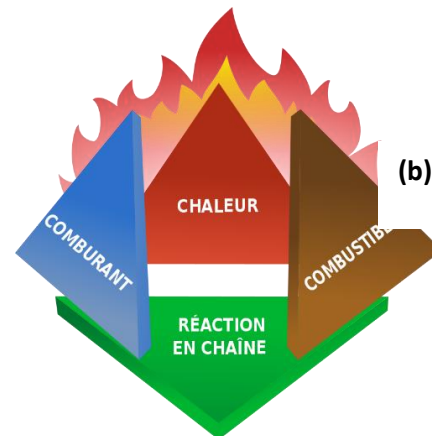


Figure II.1 b) Tétraèdre du feu [11].

La combustion est une réaction qui s'accompagne d'un dégagement de la chaleur (réaction exothermique) et aussi avec une émission de rayonnement. Elle est produite soit dans un système 'ouvert' soit dans un système 'fermé' (en d'autres termes sans échange de chaleur et de matière avec le milieu extérieur. Globalement, c'est une réaction chimique qui n'a lieu que lorsque les espèces chimiques interagissent entre elles ou bien sont assez prêtes pour se modifier mutuellement. La combustion est aussi une réaction d'oxydation de matière combustible par de l'oxygène (comburant) et dont les produits sont appelés fumés ou imbrulés.



C'est un processus dont le réchauffement du combustible commence au-dessus de la température d'ignition.

## II.2. Le comburant

Le comburant est une substance chimique (liquide, solide, gazeuse) qui, associée à un combustible, permet, grâce aussi à un apport initial d'énergie (flamme), d'initier une réaction de combustion. Cependant, le dioxygène ( $O_2$ ), appelé communément l'oxygène, contenu dans l'air (20.98% de  $O_2$ , 78.08% de  $N_2$ , et des traces de gaz rares) que nous respirons est le comburant le plus utilisé. On peut aussi, citer d'autres comburants comme l'ozone ( $O_3$ ), le peroxyde d'azote ( $N_2O_4$  utilisé dans les fusées), le nitrate de potassium, l'oxyde métallique

## II.3. Le combustible

Le combustible est une matière dont en brûlant dégage une quantité de chaleur, qui peut être utilisée comme source d'énergie dans des applications industrielles (production de l'électricité par exemple) ou domestique (chauffage, chauffe-eau). Il faut aussi noter que malgré leur diversité, ils ont tous un point commun, celui de contenir principalement de l'hydrocarbure (combinaison multiple de carbone et de l'hydrogène).

## II.4. Classification des combustibles

### II.4.1 Les biocombustibles

C'est l'ensemble de combustibles d'origines végétales ou animales. Ils sont utilisés dans la plupart des cas pour la production de la chaleur et/ou de l'électricité, mais aussi comme carburant (liquide ou gazeux) pouvant alimenter des moteurs. On parle le plus souvent de biocarburant, qui est un combustible liquide issu des matières premières organiques de la biomasse (matières végétales, plantes cultivées). Ils peuvent être utilisés dans les moteurs à combustion internes en remplacement ou comme complément de l'essence ou diesel.

Exemple : Biodiesel, utilisé comme substitut ou bien un additif au diesel

Bioéthanol, utilisé comme substitut ou bien un additif à l'essence

### II.4.2 Les combustibles d'origines fossiles

De nos jours, la plupart des combustibles utilisés dans les dispositifs d'échanges thermiques sont classés en trois groupes qui sont :

- ✓ Les combustibles liquide : Ce sont les combustibles tels que les huiles minérales lourdes (fioul, gasoil), le goudron de houille....
- ✓ Les combustibles gazeux : Ce sont des combustibles tels que le gaz naturel, le propane, le butane...
- ✓ Les combustibles solides : Tel que le charbon des bois, les agglomérés de houille (matière comprimés de telle sorte à former des blocs), le coke, les agglomérés de lignite (qui est une roche sédimentaire composé de reste fossiles des plantes), l'antracite etc.

## II.5. Différents types de combustion

### II.5.1 La combustion rapide

La combustion rapide est une forme de combustion au cours de laquelle de grandes quantités de chaleur et d'énergie sous forme de lumière sont relâchées donnant naissance au feu [12]. Elle est utilisée dans des machines telle que, les moteurs à combustion interne ou les armes thermobariques.

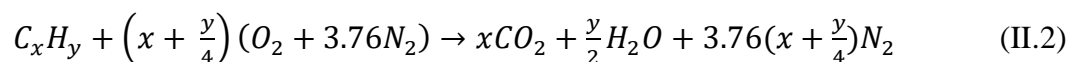
### II.5.2 La combustion lente

La combustion lente est une réaction qui entraîne un faible dégagement de calories avec peu d'élévation de température et une absence de flammes.

Exemple : La braise.

### II.5.3 La combustion stœchiométrique

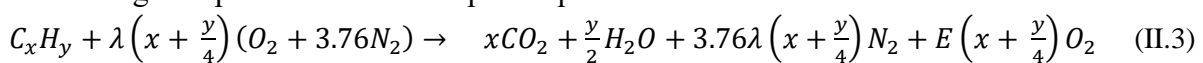
Une combustion stœchiométrique qui est la base des calculs théoriques en combustion, appelé aussi la combustion neutre, est une combustion dans laquelle, l'air est en quantité suffisante (ni en excès, ni en défaut). Cette quantité d'air, s'appelle l'air théorique (ou air stœchiométrique). Elle se traduit par l'équation de réaction suivante :



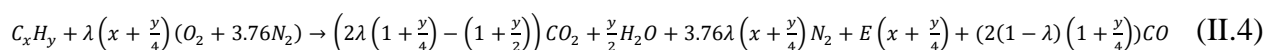
### II.5.4 La combustion non stœchiométrique

Pouvant être défini de plusieurs manières, notamment grâce à son excès d'air(+e) ou son défaut d'air(-e), ou encore par sa richesse R ( $R = \frac{1}{\lambda}$  avec  $\lambda = 1 + e$  qui est le facteur d'air théorique).

- ❖ **Si on a  $\lambda > 1$ , c'est à dire qu'on a un excès d'air**, alors, dans ce cas, le volume d'air admis pour la combustion de l'unité de combustible est supérieur au volume d'air stœchiométrique. Ainsi, une partie de l'air comburant est utilisée pour l'oxydation du combustible, l'autre partie se retrouve dans la fumée [13]. Dans ce cas précis, on dit que le mélange est pauvre et se traduit par l'équation de la réaction suivante.



- ❖ **Si on a  $\lambda < 1$ , c'est-à-dire qu'on a un défaut d'air**, alors, dans ce cas, le volume d'air admis pour la combustion de l'unité de combustible est inférieur au volume d'air stœchiométrique ; l'oxygène y est néanmoins totalement utilisé donc pas de présence d' $O_2$  dans les fumées, mais, il y'a formation du monoxyde de carbone  $CO$ [13]. Dans ce cas précis, on dit que le mélange est riche et se traduit par l'équation de réaction suivante :



Mais si ce défaut est important, il n'y aura même pas assez d'oxygène pour la formation du monoxyde de carbone.

## II.6. Différents types de flamme de combustion

La flamme est une réaction de combustion vive se produisant dans une zone localisée et de faible épaisseur. Elle se produit avec un fort dégagement de la chaleur et émet en générale de la lumière. Trois paramètres principaux nous permettent de distinguer plusieurs types de flammes. Ce sont :

- ❖ La nature et le nombre de réactifs ;
- ❖ Le mode d'introduction des réactifs ;
- ❖ Le régime d'écoulement des gaz dans le milieu réactionnel.

### II.6.1 La flamme de prémélange

Ici, les réactifs sont mélangés avant la réaction, on a donc une combustion homogène.

Exemple : fours à gaz, turbines à gaz, bec bunsen, chalumeau, moteur à essence, ...

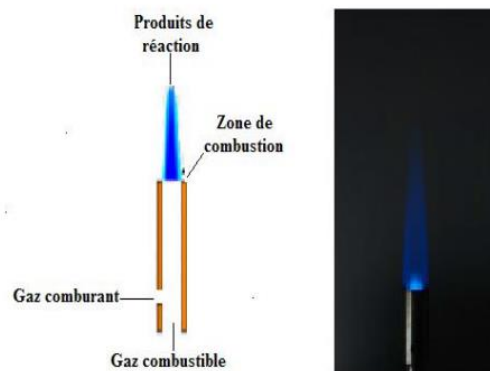


Figure II.2 : Flamme de prémélange [14].

### II.6.2 La flamme conique

Un écoulement de type poiseuille s'effectue à l'intérieur d'un brûleur de type bunsen possédant une section circulaire et sur lequel se stabilise la flamme.

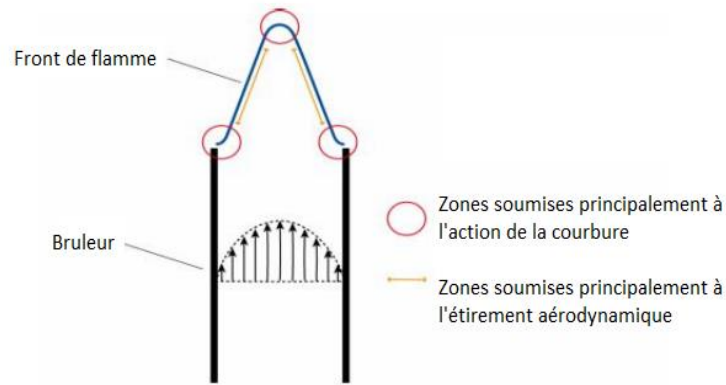


Figure II.3 : La flamme conique [14].

### II.6.3 La flamme d'expansion

La flamme, se propageant dans un mélange au repos, la combustion se produit grâce à une décharge entre deux électrodes ou par allumage laser dans un volume de dimension faible devant celle de la chambre de combustion. Appelé aussi flamme sphérique, dont le terme vient du fait que la flamme se propage pratiquement uniformément dans l'espace. Elle se présente sous deux formes : celles évoluant dans une chambre close (la pression croît sous l'effet des gaz chaud) et celles évoluant à pression constante (la chambre de combustion est dotée d'un évent).

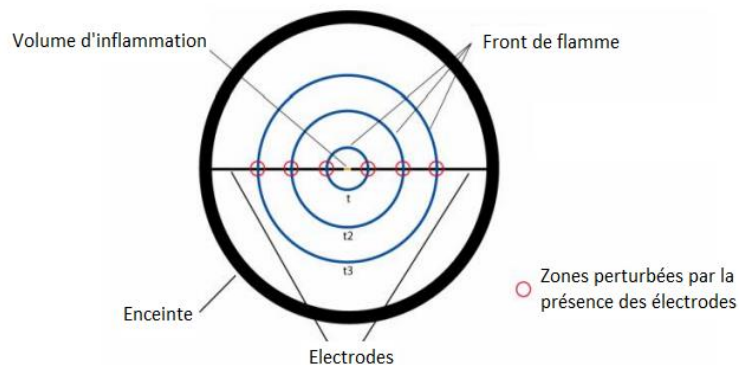


Figure II.4 : La flamme d'expansion [14].

### II.6.4 La flamme de stagnation

C'est une flamme qui est stabilisée dans un écoulement divergent obtenue soit en impactant l'écoulement sur une surface plane (flamme contre paque), soit en impactant deux écoulements axisymétrique (flamme à jet opposée ou contre-courant).

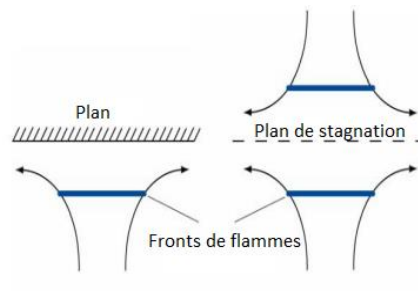


Figure II.5 : La flamme de stagnation [14].

### II.6.5 La flamme de diffusion

C'est une combustion hétérogène, c'est-à-dire que les réactifs se rencontrent au niveau de la flamme. En d'autres termes, c'est une combustion contrôlée, le combustible et le comburant sont injectés séparément et sans prémélange initial. Le transport diffusif des réactifs se fait l'un vers l'autre, d'où le nom de flamme diffusion.

Exemple : Bougie, moteur diesel

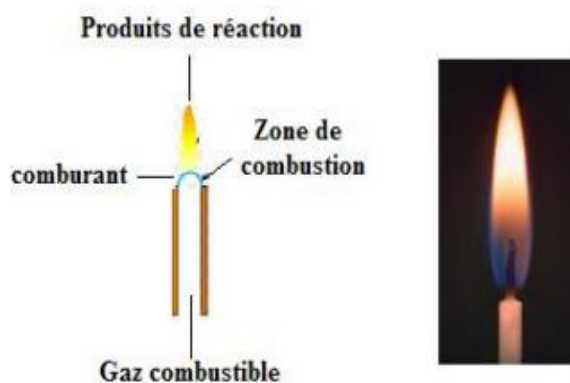


Figure II.6 : La flamme de diffusion [14].

### II.7. La qualité de la combustion

Deux facteurs principaux déterminent la qualité d'une réaction de combustion :

- Le rendement : qui est le degré de réussite de la réaction chimique, ou, si l'on veut, le manque d'imbrulés ou de composés incomplètement oxydés.
- Le degré thermique atteint par les températures de la combustion : qui est le rapport de la quantité de chaleur dégagée à la quantité des réactifs produits

Dans la pratique, c'est la proportion de l'excès d'air ( $e$ ) qui permet l'optimisation de la combustion. Plus, l'excès d'air est important, moins d'imbrulés on en a, plus la combustion est de qualité.

## II.8. Limite d'inflammabilité et température d'inflammation

### II.8.1 Limite d'inflammabilité

Appelé aussi la limite d'explosivité d'un combustible, la limite d'inflammabilité est la concentration de la limite du gaz (dans l'air) qui permet à celui-ci de s'enflammer. Il existe deux types de limites d'inflammabilité :

- La limite d'inflammabilité supérieure : C'est lorsque la valeur proportionnelle du combustible est supérieure
- La limite d'inflammabilité inférieure : C'est lorsque la valeur proportionnelle du combustible est inférieure. Ces limites dépendent de la nature du comburant et du combustible et se calculent à partir de la formule suivante :

$$\frac{1}{L_i} = \sum \frac{n_k}{L_k} \quad \text{avec } n_k \text{ la fraction volumique du mélange en gaz } k \quad (\text{II.5})$$

### II.8.2 La température d'inflammation

Une bonne combustion ne peut avoir lieu que si la température des réactifs atteint une certaine valeur, température qui dépend d'ailleurs de la nature du combustible. Cette température est dite température d'inflammation. En d'autres termes, c'est la température à laquelle le mélange peut s'enflammer en présence d'une étincelle, d'où le nom de combustion contrôlée. Mais lorsque la température atteint une certaine valeur et que le mélange peut s'enflammer de lui-même, on parle d'une combustion non contrôlée.

## II.9. Les propriétés thermodynamiques des espèces en réaction

Le but visé lors d'une étude de la combustion, est la détermination des échanges d'énergies qui ont eu lieu lors des réactions chimiques. Pour cela, il est primordial de connaître les énergies internes et les enthalpies des réactifs et des produits, car les échanges d'énergies dépendent uniquement des états initiales et finales des espèces chimiques en réaction.

### II.9.1 Le pouvoir calorifique

Appelé aussi chaleur de combustion, le pouvoir calorifique est l'énergie dégagée sous forme de chaleur par kilogramme de combustible solide, liquide ou 1 Nm<sup>3</sup> du combustible gazeux.

On en distingue deux types de pouvoir calorifique :

- Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) : est défini lorsque, l'eau présente après la réaction de combustion est à l'état condensée (gouttelettes d'eau).
- Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) : est défini lorsque l'eau présente après la réaction de combustion est sous forme vapeur.

La différence entre le PCS et le PCI nous donne la chaleur latente de vaporisation qui est la chaleur nécessaire pour changer une mole de liquide à son point d'ébullition sous pression atmosphérique.

### II.9.2 Enthalpie de formation

On appelle enthalpie de formation, l'enthalpie noté  $h_f^\circ$  d'une substance chimique dans un état donné, et dont elle caractérise la composition chimique de la substance. Elle est établie dans les conditions normales de températures et de pression (298 K et 1 atm). Elle est nulle pour tous les éléments stables (comme  $N_2, O_2, H_2$ ).

### II.9.3 La chaleur de la réaction

C'est la chaleur notée  $Q$  dégagée lors de la combustion et se calcule grâce au premier principe de la thermodynamique.

Dans le cas, des systèmes réactifs avec écoulement en régime permanent, en négligeant l'énergie cinétique et l'énergie potentielle, pour un système à flux constant [13] :

$$Q + W = H_p - H_r \quad (\text{II.6})$$

Avec :

- $H_p$  : somme des enthalpies des produits  $i$
- $H_r$  : somme des enthalpies des réactifs  $i$
- $Q$  : Quantité de chaleur dégagée par la combustion.
- $W$  : Travail.

### II.9.4. La température de la flamme adiabatique

Dans l'hypothèse, où la combustion se passe dans un milieu adiabatique (pas d'échange de chaleur avec le milieu extérieur), le calcul de la température atteinte par les flammes est bien possible. Pour cela, on a :

$$H_p = H_{p0} + \int_{T_0}^{T^{ad}} C_{p_p}(t) dt = H_r \quad \text{avec} \quad H_r = H_{r0} + \int_{T_0}^{T^r} C_{p_r}(t) dt \quad (\text{II.7})$$

Qui donnera au final :

$$\int_{T_0}^{T^{ad}} C_{p_p}(t) dt = -\Delta H_r + \int_{T_0}^{T^r} C_{p_r}(t) dt \quad (\text{II.8})$$

Les valeurs avec l'indice zéro font référence à l'état initial (298K et 1 atm)

# Chapitre III

## Présentation des programmes élaborés

### III.1. Introduction

Matlab, étant un langage de programmation, son utilisation est aussi vaste que variée. Développé par la société The MathWork, il est utilisé à des fins de calcul numériques. Il permet la manipulation des matrices, l'affichage des courbes et des données, la mise en œuvre des algorithmes, la création des interfaces utilisateurs et peut s'interfacer avec des langages comme C, C++, java, fortran [16].

C'est donc cet outil puissant que nous utiliserons pour notre travail tout au long de ce chapitre. Les calculs se porteront sur le calcul du rapport air-carburant, le calcul des pouvoirs calorifiques, celui de la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion et enfin le calcul de la température de la flamme adiabatique. Pour cela, on partira du principe que les conditions initiales de la combustion sont : 298k, 1 atm, et la chambre de combustion est calorifugée. Ainsi donc, nous mettrons en place des interfaces graphiques notamment pour le calcul de la quantité de chaleur dégagée (rapport air-carburant inclus) et la température de la flamme adiabatique dans le but de rendre leur manipulation plus facile.

Aussi, pour le calcul des enthalpies de formations des hydrocarbures, au cas où on en dispose pas, on utilisera la méthode de JOBACK pour en estimer la valeur.

### III.2. La méthode de JOBACK

La méthode de JOBACK permet d'estimer d'importantes valeurs des propriétés thermodynamiques, dont l'enthalpie de formation des hydrocarbures à partir de la structure moléculaire seulement. En effet, cette méthode met en contribution des informations structurelle de base d'une molécule, comme une liste de groupe fonctionnel simple et ajoute d'autres paramètres à ces groupes fonctionnels et procède aux calculs des propriétés thermodynamiques. C'est ainsi qu'on a [17] :

$$(\Delta H^{\circ}_f)_{298} = 68,29 + \sum_j n_j \delta H^{\circ}_{f j} \quad \text{en KJ/mol} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

- $n_j$  Étant le nombre de groupe d'atomes de type j
- $\delta H^{\circ}_{f j}$  Qui est la contribution (voir annexe 1)

NB : Il est important aussi de noter que cette formule nous offre l'estimation de l'enthalpie de formation des hydrocarbures à l'état gazeux.

### III.3. Calcul du rapport air-carburant (AC)

Ce rapport se calcule grâce à la formule suivante :

$$AC = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (III.2)$$

Avec :

$m_{air}$  : La masse de l'air

$m_{fuel}$  : La masse du carburant

### III.4. Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est l'un des paramètres important de la combustion, car comme défini au deuxième chapitre (II.9.1), il caractérise l'énergie dégagée par la combustion d'une unité de masse par volume d'un corps. Les deux types à savoir le pouvoir calorifique inférieur et le pouvoir calorifique supérieur se calcul grâce aux formules suivantes :

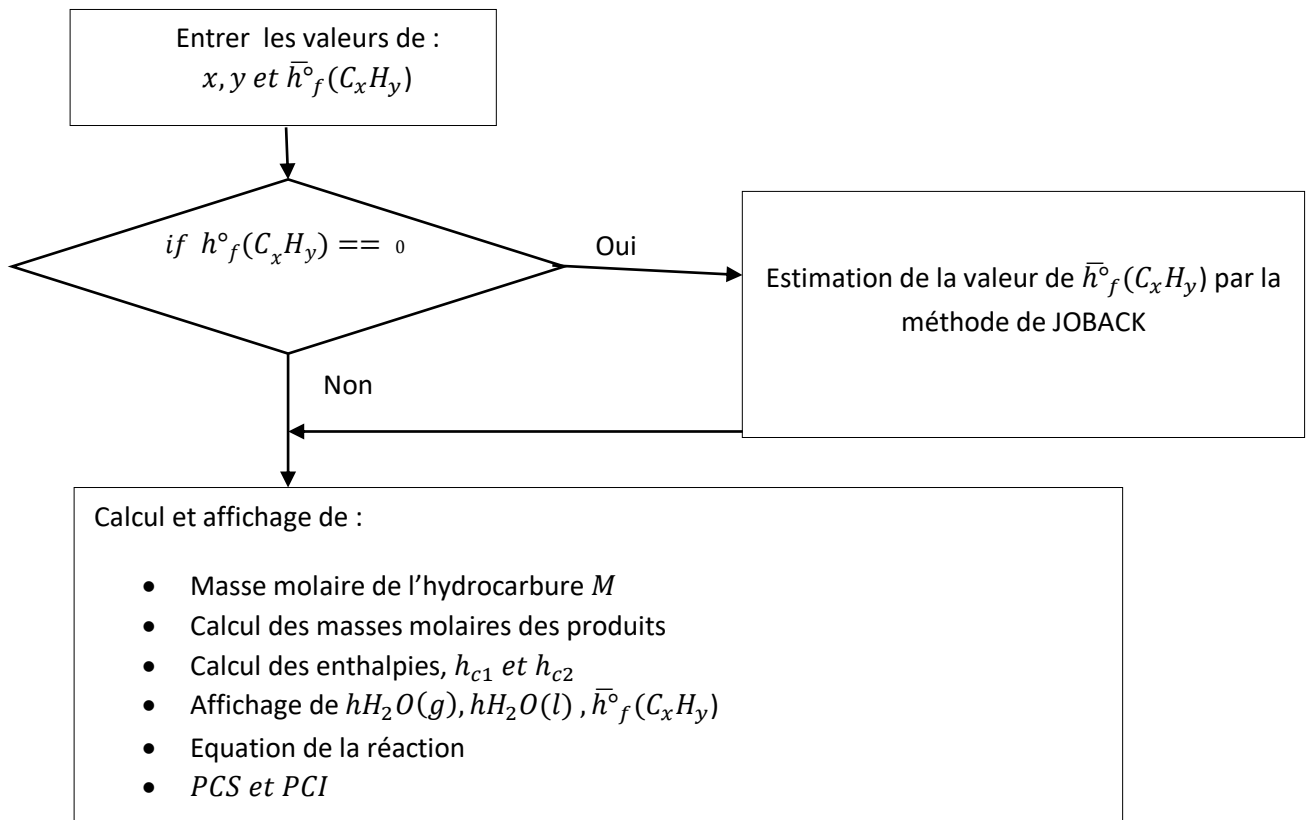
$$PCS = \frac{-h_{c1}}{M} \quad (III.3)$$

$$PCI = \frac{-h_{c2}}{M} \quad (III.4)$$

- $M$ : La masse molaire de l'hydrocarbure ;
- $h_{c1}$ : la différence entre la somme des enthalpies des produits et celle de l'hydrocarbure ; l'eau étant à l'état liquide ;
- $h_{c2}$ : la différence entre la somme des enthalpies des produits et celle de l'hydrocarbure ; l'eau étant à l'état gazeux.

Le premier programme élaboré (voir annexe 2), permet de calculer les pouvoirs calorifiques inférieur et supérieur. Ce programme, dont l'organigramme est présenté sur la figure III.1, demande à l'utilisateur d'introduire :

- Le nombre d'atome de carbone dans la molécule de l'hydrocarbure ( $x$ ).
- Le nombre d'atome d'hydrogène dans la molécule de l'hydrocarbure ( $y$ ).
- L'enthalpie de formation de l'hydrocarbure, pour estimer cette valeur à l'aide de la formule de JOBACK, il suffit d'introduire la valeur zéro.



**Figure III.1 :** Organigramme du programme des pouvoirs calorifiques.

Après avoir terminé les calculs, le programme affiche l'équation de la réaction, ainsi que les pouvoirs calorifiques.

Afin de tester le programme élaboré pour le calcul des pouvoirs calorifiques, nous avons l'exemple suivant du livre de Y. Cengel [13] :

*Déterminer les valeurs du pouvoir calorifique supérieur et du pouvoir calorifique inférieur du propane liquide lors d'une combustion (Exercice 15-48)*

Le programme affiche les résultats suivants :

```

L'équation de la réaction de combustion est

C3H8 + 5.00(O2+3.76 N2) ---> 3CO2 + 4.00H2O + 18.80N2

Substances                Enthalpies (KJ/Kg)

Hydrocarbure              -118620.00
H2OL                      -285830.00
H2Og                      -241820.00

Le pouvoir calorifique supérieur PCS = 50119.55 kJ/kg
Le pouvoir calorifique supérieur PCI = 46118.64 kJ/kg
  
```

**Figure III.2 :** Résultats de l'exemple de calcul des pouvoirs calorifiques.

### III.5. Calcul de la quantité de chaleur dégagée

L'enthalpie de formation de tous les corps à l'état de référence  $\bar{h}_f^\circ(298\text{k}, 1 \text{ atm})$  étant connues, on peut déduire que leur enthalpie dans n'importe quel état est déterminée par la formule suivante :

$$h = \bar{h}_f^\circ + (\bar{h} - \bar{h}^\circ) \quad (\text{III.5})$$

Avec

- ❖  $\bar{h}_f^\circ$  : L'enthalpie de formation à l'état de référence standard,
- ❖  $\bar{h}$  : L'enthalpie sensible, enthalpie à l'état spécifié,
- ❖  $\bar{h}^\circ$  : L'enthalpie sensible à l'état de référence de 298k et 1 atm,
- ❖  $(\bar{h} - \bar{h}^\circ)$  : Représente l'enthalpie sensible par rapport à l'état de référence standard.

Dans le cas des systèmes réactifs avec écoulement en régime permanent et en négligeant les énergies cinétique et potentielle, le premier principe s'écrit [13]:

$$Q + W = H_p - H_r \quad (\text{III.6})$$

$$Q + W = \sum_{i=1}^n N_{pi} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{pi} - \sum_{i=1}^m N_{ri} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{ri} \quad (\text{III.7})$$

Où :

- $n$  : nombre de produits ;
- $m$  : nombre de réactifs ;
- $N_{pi}$  : nombre de moles du produit  $i$  ;
- $N_{ri}$  : nombre de moles du réactif  $i$  ;
- $H_p$  : somme des enthalpies des produits ;
- $H_r$  : somme des enthalpies des réactifs.
- $Q$  : Quantité de chaleur dégagée par la combustion.
- $W$  : Travail.

Les relations d'équilibre énergétique ci-dessus sont parfois écrites sans le terme du travail  $W$  puisque dans la plupart des processus de combustion à flux constant aucun travail n'intervient . Ainsi, le bilan énergétique pour un processus de combustion du système ouvert devient [13] :

$$Q = \sum_i^n N_{pi} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{pi} - \sum_i^m N_{ri} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{ri} \quad (\text{III.8})$$

En se basant sur cette dernière relation, nous avons pu créer une fonction dans Matlab, qui permet de déterminer la quantité de chaleur dégagée  $Q$  par la réaction de combustion (voir programme 2 annexe 3). Il est à noter que, de n'importe quel langage de programmation, une fonction est un programme particulier qui comporte généralement :

- ✓ Un nombre de variables à introduire (variables d'entrée).
- ✓ Un nombre de variables à retourner (variables de sortie)
- ✓ Le nom de la fonction.

La fonction créée nommée **chaleur\_dega** dont l'organigramme ci-dessous, a la syntaxe suivante :

$[Q, h_{CxHy}] = \text{chaleur\_dega} (x, y, t_2, t_3, h_{CxHy}, \lambda, \text{nom})$

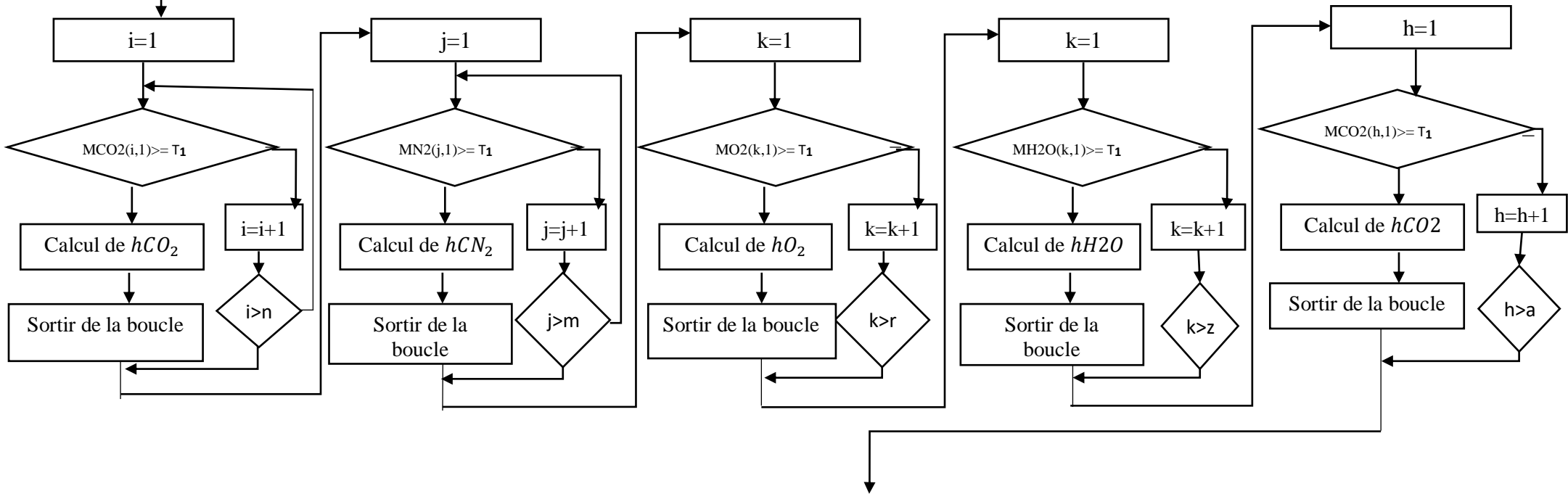
Où :

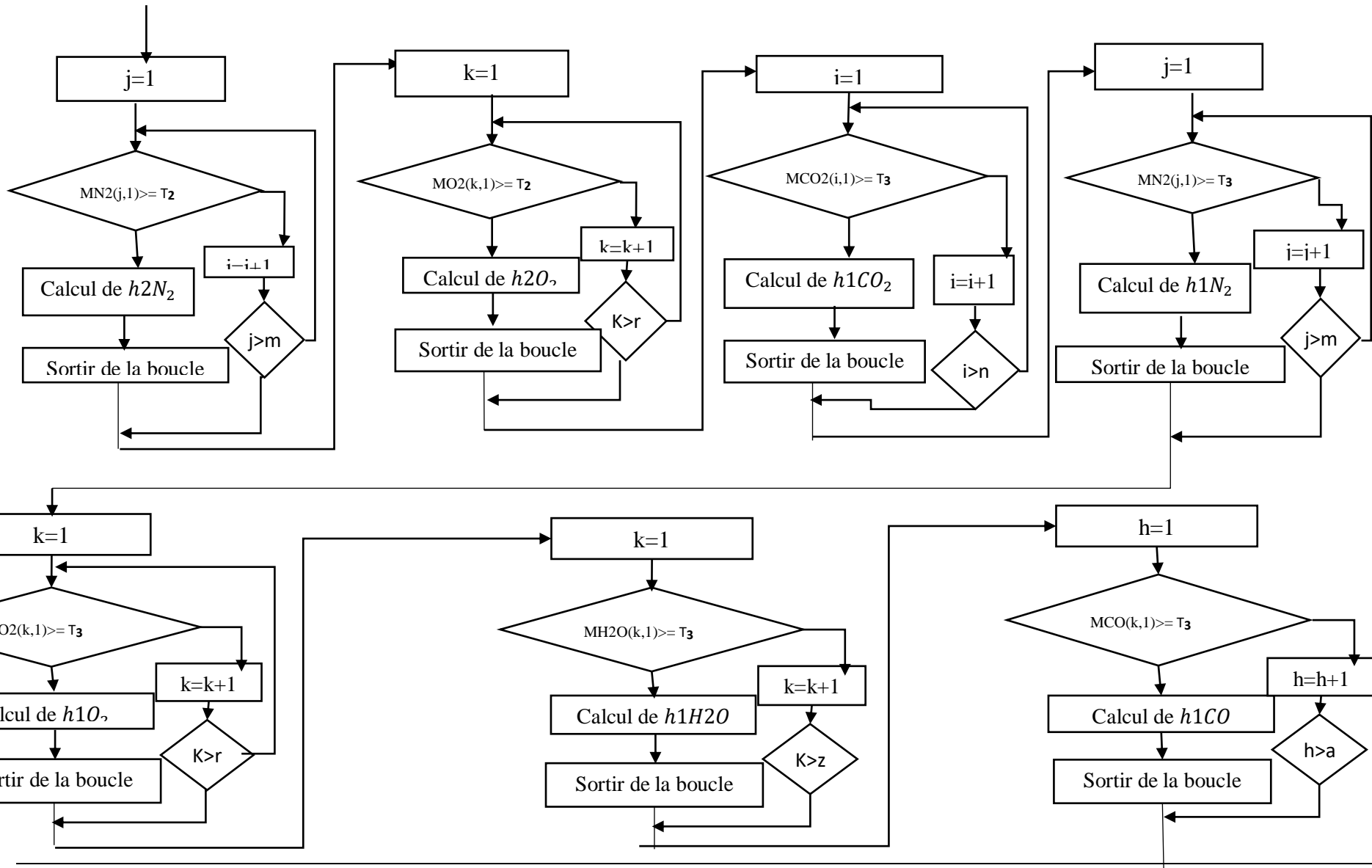
- **chaleur\_dega** : Nom de la fonction
- **(x, y, t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>, h<sub>CxHy</sub>, lambda, nom )** : les inputs de la fonction.
- **[Q, h<sub>CxHy</sub>]** : les outputs de la fonction.

'nom' dans les inputs de la fonction désigne le nom du fichier Word de sauvegarde des résultats de calculs. L'organigramme de la fonction de la fonction est donné par la figure suivante.

- Entrer la température de l'hydrocarbure à l'entrée :  $T_1$
- Entrer les matrices (températures et enthalpies) :  $MCO_2, MN_2, MH_2O, MO_2, MCO$
- Entrer les enthalpies de formations :  $h_{H_2O(g)}, h_{CO_2(g)}, h_{CO(g)}$
- Entrer les valeurs de  $x, y, T_2, T_3, \bar{h}_f^\circ(C_xH_y), lambda, nom$

$x$  : Le nombre d'atome de carbone dans la molécule de l'hydrocarbure  
 $y$  : Le nombre d'atome d'hydrogène dans la molécule de l'hydrocarbure  
 $T_2$  : La température de l'air  
 $T_3$  : La température des produits  
 $\bar{h}_f^\circ(C_xH_y)$  : L'enthalpie de formation de l'hydrocarbure, pour estimer cette valeur à l'aide de la formule de JOBACK, il suffit d'introduire zéro  
 $lambda$  : Le facteur d'air





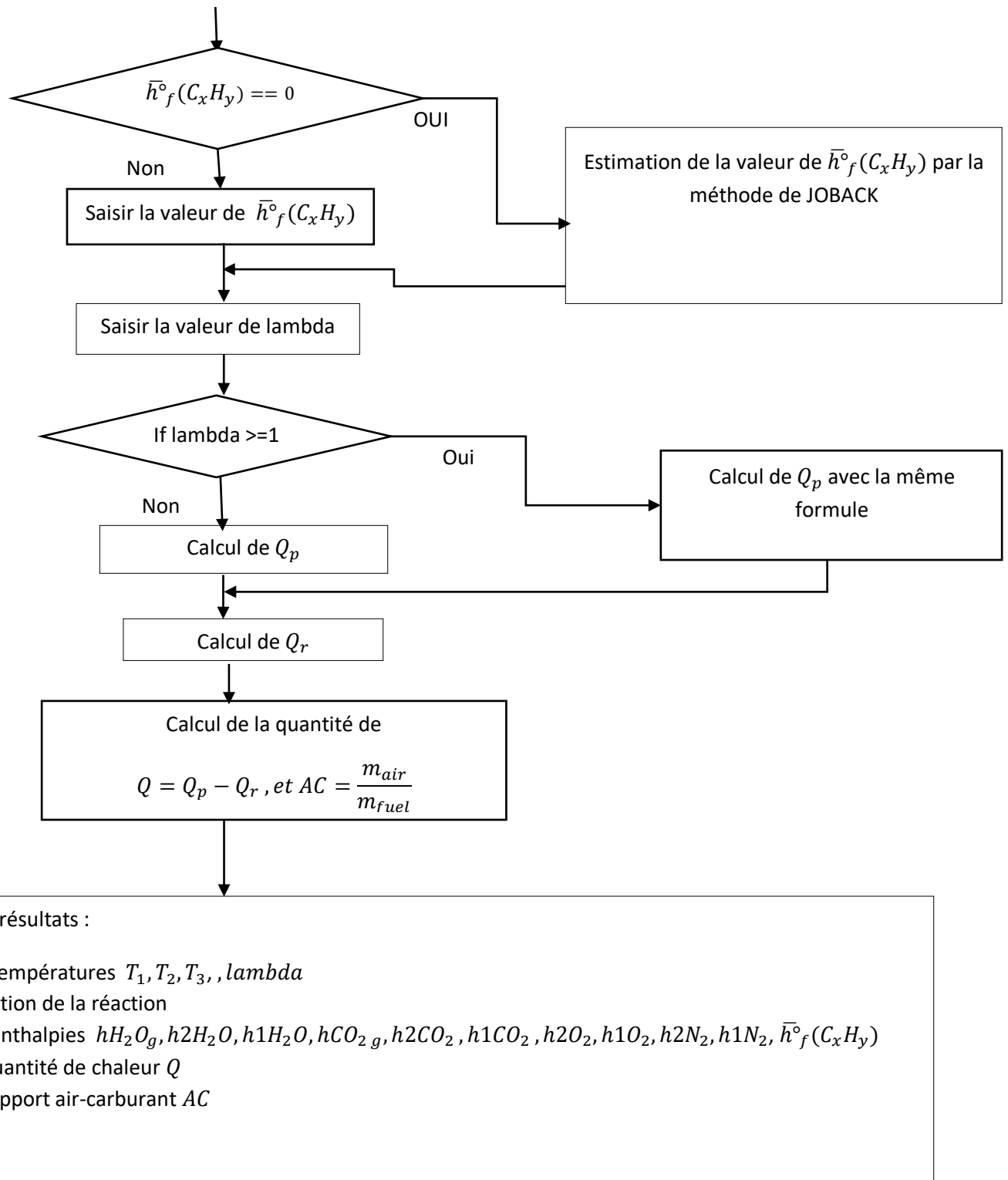


Figure III.3 : Organigramme de la fonction 'chaleur\_dega'

### III.5.1 Interface graphique pour le calcul de la quantité de chaleur

Afin de faciliter la manipulation de la fonction élaborée pour le calcul de la chaleur dégagée, nous avons mis en place une interface graphique.

The screenshot shows a software window titled "Untitled" with a light gray background. It contains several input fields and a button. The layout is as follows:

- Nombre d'atomes:** Two input fields labeled "Carbone :" and "Hydrogène :".
- Produits:** One input field labeled "Température des produits : °C".
- Réactifs:** Three input fields labeled "Température de l'air : °C", "Facteur d'air :", and "Enthalpie de formation du carburant\* : kJ/kmol". Below these is a red note: "\* Pour estimer l'enthalpie de Formation à l'aide de la formule de Joback entrer 0".
- Sauvegarder les résultats:** One input field labeled "Nom du fichier :".
- Chaleur dégagée:** Three input fields labeled "AC :", "Q : kJ/kmol", and "Q : kJ/kg".
- Calculer:** A large gray button at the bottom center.

Figure. III.4 Interface graphique pour le calcul de la quantité de chaleur

#### III.5.1.1 Fonctionnement de l'interface graphique

En effet, l'interface graphique, illustrée par la figure III.4 est composée de plusieurs boutons définis comme suit :

- Pour la case nombre d'atome, on a :
  - ❖ **Le bouton carbone :** c'est pour insérer la valeur de  $x$  de l'hydrocarbure ( $C_xH_y$ )
  - ❖ **Le bouton hydrogène :** c'est pour insérer la valeur de  $y$  de l'hydrocarbure ( $C_xH_y$ )
- Pour la case des réactifs, on a :
  - ❖ **Le bouton température de l'air :** c'est pour saisir la valeur de la température à laquelle l'air est introduit
  - ❖ **Le bouton Facteur d'air :** c'est pour saisir directement la valeur de lambda
  - ❖ **Le bouton enthalpie de formation du carburant :** Ici, on a deux choix, soit on introduit la valeur de l'enthalpie si on en dispose. Au cas échéant et si l'hydrocarbure est gazeux mettre le chiffre zéro pour estimer cette valeur à l'aide de la formule de JOBACK.
- Pour la case des produits, on a :
  - ❖ **Le bouton température des produits :** nous permet l'insertion de la valeur de la température à la fin de la combustion
- Pour la case sauvegarder les résultats, on a :
  - ❖ **Le bouton nom du fichier :** nous permet d'insérer le nom, sur lequel on veut enregistrer et exporter les résultats du calcul. Le fichier généré contient : les différentes températures, le

facteur d'air lambda, l'équation de la combustion, les différentes enthalpies, la quantité de chaleur et le rapport air-carburant.

- **Le bouton calcul** : il permet d'effectuer les différents calculs
- **Et enfin**, pour la case chaleur dégagée, on a :
  - ❖ **La partie AC** : qui nous affiche le résultat du calcul du rapport air-carburant.
  - ❖ **Les deux parties Q** : qui nous affiche les résultats du calcul de la quantité de chaleur en KJ/Kmol et en KJ/kg.

### III.5.2 Exemples d'applications

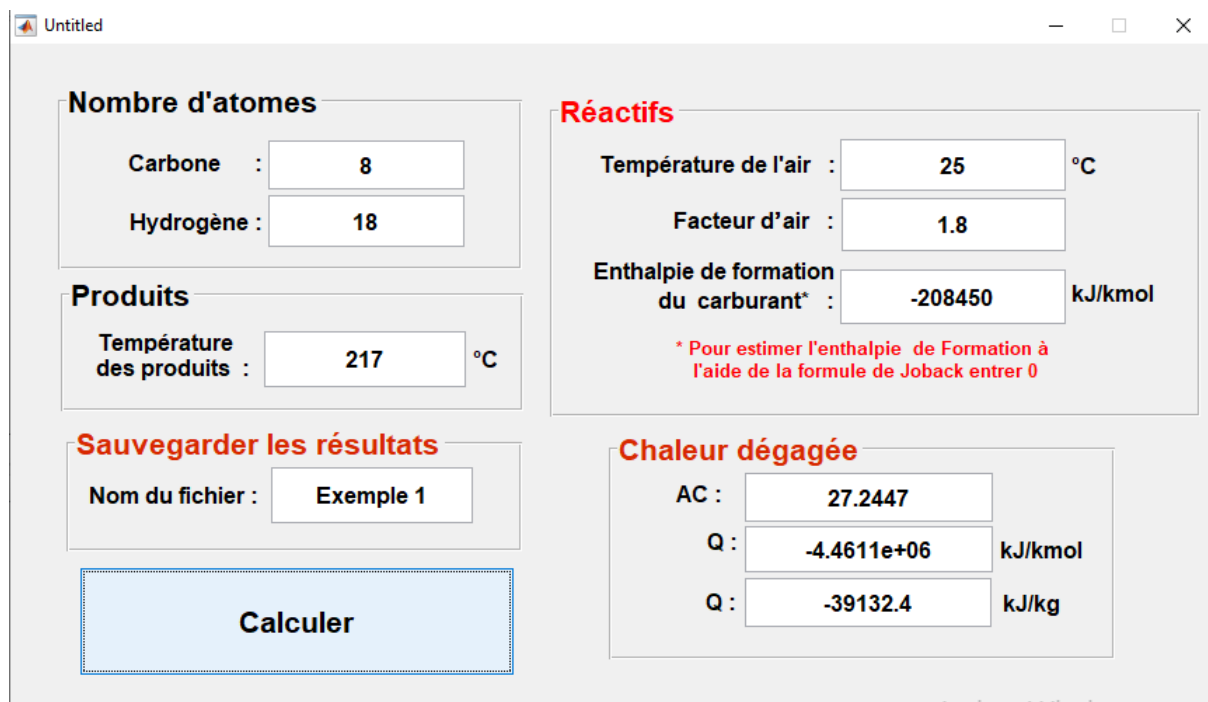
Le mode de fonctionnement de l'interface graphique, est illustré à travers les deux exemples suivants.

#### III.5.2.1 Exemple 1

Exercice 15-57 du livre de Cengel [13] « Calculer la quantité de chaleur libérée par la combustion de l'octane  $C_8H_{18}$ . L'hydrocarbure et l'air sont introduits dans la chambre de combustion à 1 atm et  $25^\circ C$  et les gaz d'échappement sont à  $217^\circ C$  avec un excès d'aire de 80%. On supposera que : L'air et les gaz de combustion sont des gaz idéaux, les énergies cinétiques et potentielles sont négligeables ».

**Figure III.5** : Introduction des données de l'exemple 1 avant d'appuyer sur le bouton 'calculer'.

La figure III.5 présente l'étape d'introduction des données du problème de l'exemple 1 avant d'appuyer le bouton 'calculer'. Il est à remarquer, que l'enthalpie de formation du  $C_8H_{18}$  est estimée par la méthode de JOBACK.



The screenshot shows a software interface with the following sections and data:

- Nombre d'atomes**:
  - Carbone : 8
  - Hydrogène : 18
- Produits**:
  - Température des produits : 217 °C
- Sauvegarder les résultats**:
  - Nom du fichier : Exemple 1
- Réactifs**:
  - Température de l'air : 25 °C
  - Facteur d'air : 1.8
  - Enthalpie de formation du carburant\* : -208450 kJ/kmol
  - \* Pour estimer l'enthalpie de Formation à l'aide de la formule de Joback entrer 0
- Chaleur dégagée**:
  - AC : 27.2447
  - Q : -4.4611e+06 kJ/kmol
  - Q : -39132.4 kJ/kg

A large blue button labeled "Calculer" is located at the bottom left of the interface.

**Figure III.6** : Affichage des résultats de l'exemple 1 après avoir appuyé sur le bouton 'calculer'.

Une fois qu'on clique sur le bouton 'calculer', les résultats de calculs sont affichés sur l'interface graphique, comme c'est mentionné dans la figure III.6, et un fichier Word « Exemple1.doc » est généré dont les résultats de calculs sont exportés (voir figure III.7).

Substances	Températures (K)		
Hydrocarbure	298.00		
Air	298.00		
Produits	490.00		
Le Facteur de l'air = 1.80			
L'équation de la réaction de combustion est			
$C_8H_{18} + 22.50(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 8CO_2 + 9.00H_2O + 10.00O_2 + 84.60N_2$			
Tableau récapitulatif des enthalpies			
Substances	hfor (kJ/Kmol)	h (kJ/Kmol)	h1 (kJ/Kmol)
C8H18	-208450.00	-----	-----
H2O	-241820.00	9904.00	16477.00
CO2	-393520.00	9364.00	17232.00
O2	-----	8682.00	14460.00
N2	-----	8669.00	14285.00
On a alors :			
La quantité de chaleur $Q = -4461095.40 \text{ kJ/kmol} = -39132.42 \text{ KJ/Kg}$			
Le Rapport Air-carburant $AC = 27.24 \text{ kg Air/Kg fuel}$			

**Figure III.7 :** Résultats exportés de l'exemple 1.

On constate que l'enthalpie de formation estimée par le programme est égale à la valeur mentionnée dans le livre -208450 kJ/kmol.

### III.5.2.2 Exemple 2

Exercice 15-53 tiré du même livre que l'exemple 1 [13] : « Calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'acétylène  $C_2H_2$ . L'hydrocarbure et l'air sont introduits dans la chambre de combustion à 1 atm et 25°C et les gaz d'échappement sont à 1500 avec un excès d'aire de 20% »

D'une façon analogue à l'exemple 1 on remplit les cases correspondantes aux données de l'exemple 2, mais cette fois-ci on a opté pour l'introduction directe de l'enthalpie de formation de l'hydrocarbure (voir figure III.8). Les résultats obtenus sont présentés par les figures III.9 et III.10

Figure III.8 : Introduction des données de l'exemple 2 avant d'appuyer sur le bouton 'calculer'.

Figure III.9 : Affichage des résultats de l'exemple 2 après avoir appuyé sur le bouton 'calculer'.

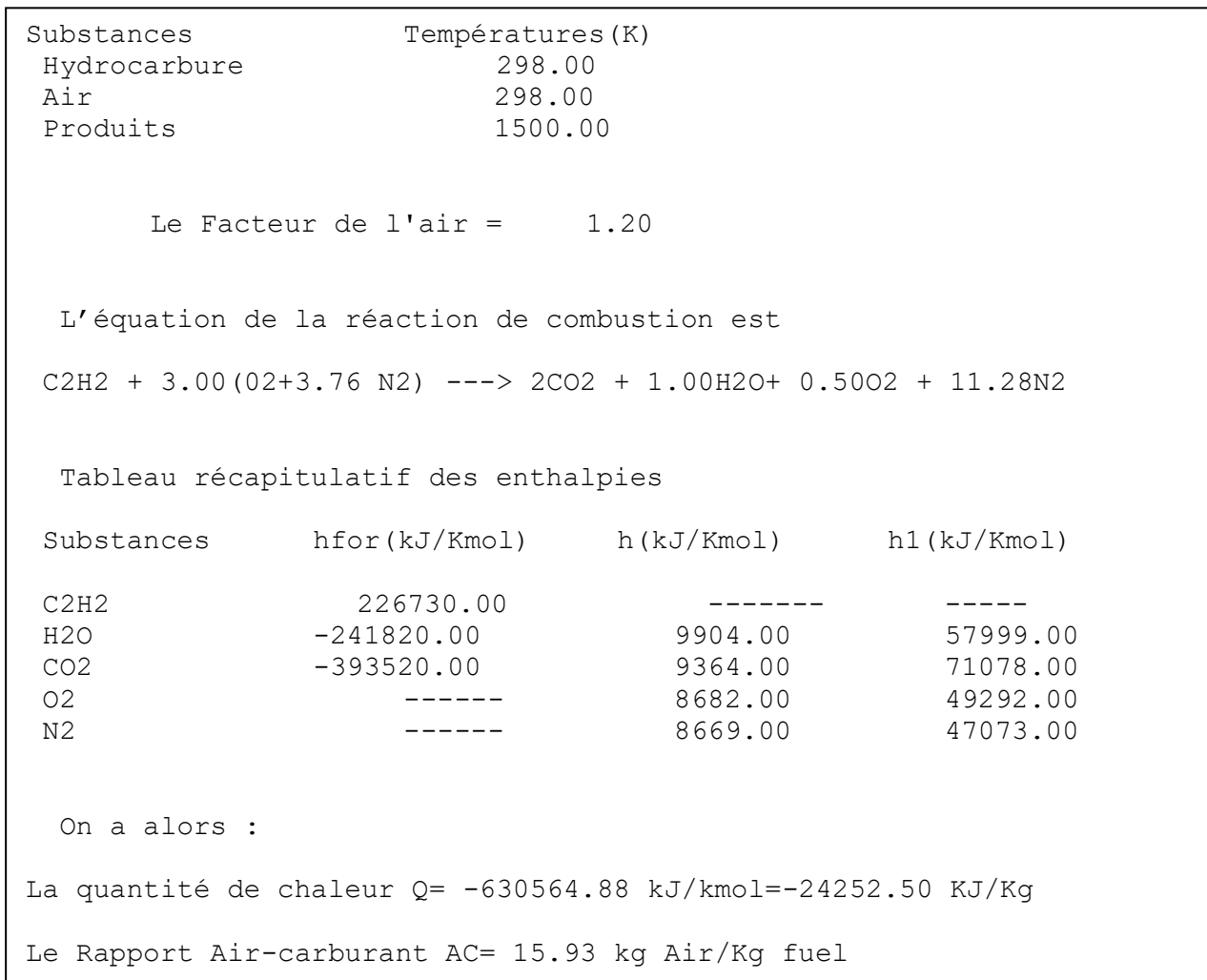


Figure III.10 : Résultats exportés de l'exemple 2.

### III.6. Calcul de la température de la flamme adiabatique

En partant de l'hypothèse que l'expérience se fait sans échange de chaleur avec le milieu extérieur, on peut calculer la température atteinte par le mélange en égalisant la somme des enthalpies des réactifs à celles des produits. On aura alors [18] :

$$H_p = H_{p0} + \int_{T_0}^{T_{ad}} C_{p_p}(t) dt = H_r \quad \text{avec} \quad H_r = H_{r0} + \int_{T_0}^{T_r} C_{p_r}(t) dt \quad (III.9)$$

Qui donnera au final :

$$\int_{T_0}^{T_{ad}} C_{p_p}(t) dt = -\Delta H_r + \int_{T_0}^{T_r} C_{p_r}(t) dt \quad (III.10)$$

Les valeurs avec l'indice zéro font référence à l'état initial (298k et 1 atm)

La température maximale qui peut être atteinte par la combustion est la température obtenue lorsque la combustion est adiabatique ( $Q = 0$ ). Dans ce cas, l'équation III.9 devient [16] :

$$\sum_i^n N_{pi} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{pi} = \sum_i^m N_{ri} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{ri} \quad (III.11)$$

En utilisant cette équation, les étapes de calculs de la température adiabatique sont les suivantes :

1. L'état de réactifs est connu : calculer  $\sum_i^m N_{ri} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{ri}$  ;
2. Comme  $\bar{h}_f^\circ$  et  $\bar{h}^\circ$  des produits sont connues, on obtient une équation de la forme suivante :

$$\sum_i^n N_{pi} (\bar{h})_{pi} = \underset{\text{Connue}}{H} \quad (\text{III.12})$$

3. En utilisant les tables thermodynamiques, on trouve par itération la température adiabatique (La température de flamme adiabatique sera la température pour laquelle la relation III.12 est vérifiée).

Ces étapes sont implantées dans la fonction qu'on a élaborée pour le calcul de la température adiabatique (programme 4 annexe 4). La syntaxe cette fonction est comme suit :

$$[\mathbf{Tad}, \mathbf{hCxHy}] = \mathbf{sam}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{t2}, \mathbf{hCxHy}, \mathbf{lambda}, \mathbf{nom})$$

Où :

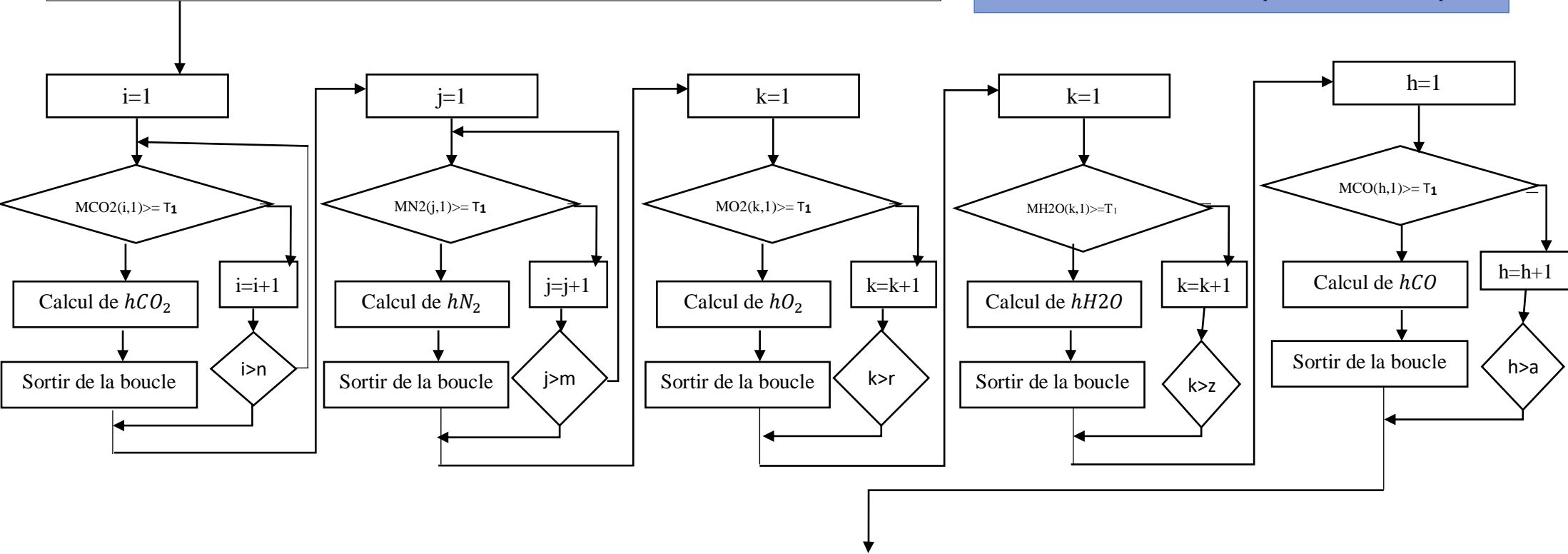
- **sam** : Nom de la fonction,
- **(x, y, t2, hCxHy, lambda, nom)** : les entrées de la fonction.
- **[Tad, hCxHy]** : les sorties de la fonction.

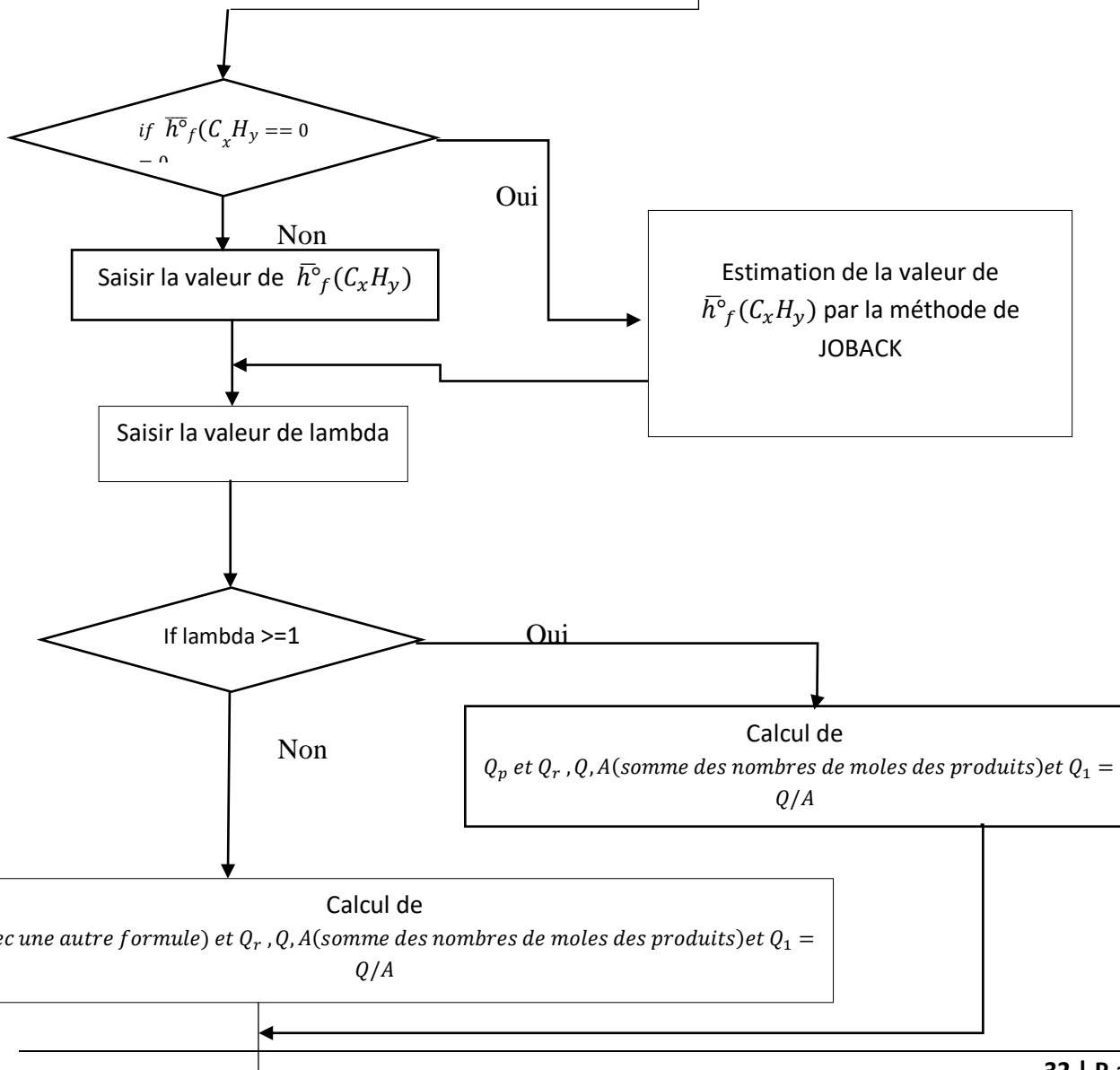
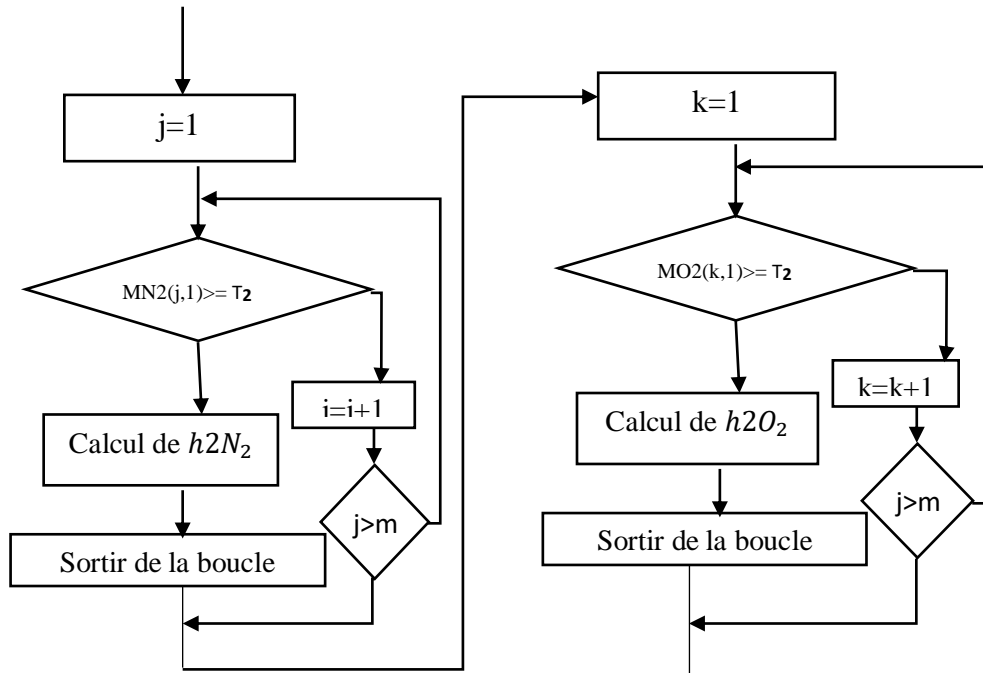
### III.6.1 Interface pour le calcul la température de la flamme adiabatique

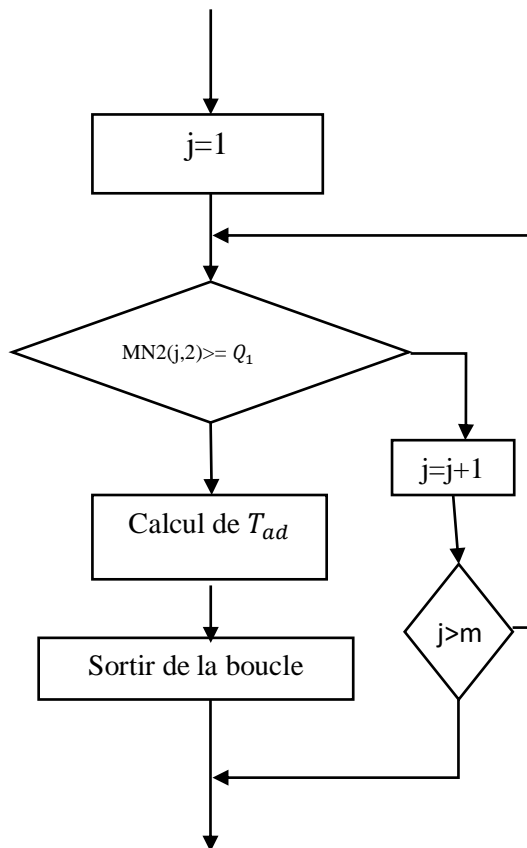
Comme dans le cas du calcul de la quantité de chaleur, une interface graphique pour faciliter l'usage de la fonction nommée 'sam' est créée.

$x$ : Le nombre d'atome de carbone dans la molécule de l'hydrocarbure  
 $y$ : Le nombre d'atome d'hydrogène dans la molécule de l'hydrocarbure  
 $T_2$ : La température de l'air  
 $\bar{h}^{\circ}_f(C_xH_y)$ : L'enthalpie de formation de l'hydrocarbure, pour estimer cette valeur à l'aide de la formule de JOBACK, il suffit d'introduire zéro  
 $lambda$ : Le facteur d'air  
 $nom$ : Le nom du fichier Word dans lequel les résultats seront exportés

- Entrer la valeur de la température de l'hydrocarbure :  $T_1$
- Entrer les matrices (températures et enthalpies) :  $MCO_2, MN_2, MH_2O, MO_2, MCO$
- Entrer les valeurs des enthalpies de formations :  $h_{H_2O(g)}, h_{CO_2(g)}, h_{CO(g)}$
- Entrer les valeurs de  $x, y, T_2, \bar{h}^{\circ}_f(C_xH_y), lambda, nom$







Affichage des résultats :

- Les températures  $T_1, T_2, \lambda$
- Equation de réaction
- Les enthalpies  $\bar{h}_f^\circ(C_xH_y), h_{H_2O_g}, h_{H_2O}, h_{CO}, h_{CO_2_g}, h_{CO_2}, h_{2O_2}, h_{2N_2}$
- La température adiabatique  $T_{ad}$

Figure III.11 : Organigramme de la fonction 'sam'

### III.6.1.1 Fonctionnement de l'interface graphique pour le calcul de la température de flamme

The screenshot shows a software window titled "Untitled" with a light gray background. It contains several input fields and a button, organized into sections:

- Nombre d'atomes:** Two input fields labeled "Carbone" and "Hydrogène".
- Sauvegarder les résultats:** An input field labeled "Nom du fichier".
- Calculer:** A large gray button.
- Réactifs:** Three input fields labeled "Température de l'air" (with a °C unit), "Facteur d'air", and "Enthalpie de formation du carburant\*" (with a kJ/kmol unit). Below these is a red note: "\* Pour estimer l'enthalpie de Formation à l'aide de la formule de Joback entrer 0".
- Température adiabatique:** Two input fields labeled "T:" with units "K" and "°C" respectively.

Figure III.12 : Interface graphique pour le calcul de la température adiabatique.

Cette interface ressemble à l'interface présentée dans la section précédente, mais les cases 'Produits' et 'chaleur dégagée' sont enlevés et une case '*température adiabatique*' est ajoutée. Cette case permet l'affichage de la température des flammes adiabatiques en K et en °C.

### III.6.2 Exemples d'application

Afin de tester la validité de la fonction élaborée, nous avons pris l'exemple [14] : « *Un écoulement d'octane liquide ( $C_8H_{18}$ )<sub>L</sub> pénètre dans la chambre de combustion d'une turbine à gaz à 1atm et 25°C, et il est brûlé avec de l'air au même temps admis dans les mêmes conditions.*

*Déterminez la température de la flamme adiabatique pour :*

- Une combustion réalisée avec 100% d'air théorique,*
- Une combustion complète avec 400% d'air théorique,*
- Une combustion incomplète (il y'a du CO dans les produits de la combustion) réalisé avec 90% d'air théorique. »*

The screenshot shows a software window titled "Untitled" with the following elements:

- Nombre d'atomes:** Two input fields: "Carbone" with value 8, and "Hydrogène" with value 18.
- Sauvegarder les résultats:** A section with a label "Nom du fichier" and an input field containing "Exemple 1".
- Calculer:** A large grey button.
- Réactifs:** A section with three input fields: "Température de l'air" (25 °C), "Facteur d'air" (1), and "Enthalpie de formation du carburant\*" (-249950 kJ/kmol). Below these is a red note: "\* Pour estimer l'enthalpie de Formation à l'aide de la formule de Joback entrer 0".
- Température adiabatique:** Two empty input fields for "T" in "K" and "°C".

**Figure III.13 :** Introduction des données de l'exemple, pour  $\lambda = 1$ , avant d'appuyer sur le bouton 'calculer'.

Avant de procéder au calcul, il faut d'abord remplir les cases correspondantes aux données du problème (voir figure III.12).

The screenshot shows the same software window as Figure III.13, but with the following changes:

- The **Calculer** button is now highlighted with a blue border.
- The **Température adiabatique** section now has two filled input fields: "T" in "K" with the value 2394.5, and "T" in "°C" with the value 2121.5.

**Figure.III.14 :** Affichage des résultats de l'exemple, pour  $\lambda = 1$ , après avoir appuyé sur le bouton 'calculer'

En appuyant sur le bouton 'calculer', la température adiabatique est affichée sur la fenêtre graphique (voir figure III.14) et un fichier Word, qui contient les résultats, est créé. Pour l'exemple choisi, le programme, exécuté trois fois, a donné les résultats mentionnés sur les figures III.15, III.16 et III.17.

Substances	Températures (K)	
Hydrocarbure	298.00	
Air	298.00	
Le Facteur de l'air = 1.00		
L'équation de la réaction de combustion est		
$C_8H_{18} + 12.50(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 8CO_2 + 9.00H_2O + 47.00N_2$		
Tableau récapitulatif des enthalpies		
Substances	h (KJ/kmol)	h <sub>298</sub> (KJ/kmol)
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-249950.00	-----
H <sub>2</sub> O	-241820.00	9904.00
CO <sub>2</sub>	-393520.00	9364.00
O <sub>2</sub>	-----	8682.00
N <sub>2</sub>	-----	8669.00
On a alors :		

**Figure III.15 :** Résultats exportés de l'exemple, pour  $\lambda = 1$ .

Substances	Températures (K)	
Hydrocarbure	298.00	
Air	298.00	
Le Facteur de l'air = 4.00		
L'équation de la réaction de combustion est		
$C_8H_{18} + 50.00(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 8CO_2 + 9.00H_2O + 37.50O_2 + 188.00N_2$		
Tableau récapitulatif des enthalpies		
Substances	h (KJ/Kmol)	h <sub>298</sub> (KJ/Kmol)
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-249950.00	-----
H <sub>2</sub> O	-241820.00	9904.00
CO <sub>2</sub>	-393520.00	9364.00
O <sub>2</sub>	-----	8682.00
N <sub>2</sub>	-----	8669.00
On a alors :		
La température adiabatique Tad= 962.03 K= 689.03°C		

**Figure III.16:** Résultats exportés de l'exemple , pour  $\lambda = 4$ .

Substances	Températures (K)	
Hydrocarbure	298.00	
Air	298.00	
Le Facteur de l'air = 0.90		
L'équation de la réaction de combustion est		
$C_8H_{18} + 11.25(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 6CO_2 + 9.00H_2O + 2.50CO + 42.30N_2$		
Tableau récapitulatif des enthalpies		
Substances	h (KJ/Kmol)	h <sub>298</sub> (KJ/Kmol)
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-249950.00	-----
H <sub>2</sub> O	-241820.00	9904.00
CO <sub>2</sub>	-393520.00	9364.00
O <sub>2</sub>	-----	8682.00
N <sub>2</sub>	-----	8669.00
On a alors :		
La température adiabatique Tad= 2285.94 K= 2012.94°C		

**Figure III.17** : Résultats exportés de l'exemple, pour  $\lambda = 0.9$ .

Le fichier de sauvegarde, contient : les différentes températures, la valeur du facteur d'air lambda, l'équation de la combustion et les différentes enthalpies.

### III.7. Autres utilisations des programmes

Les fonctions élaborées n'ont pas seulement pour but le calcul des paramètres ci-dessous. En effet, elles peuvent être utilisées pour étudier l'effet de la variation d'un ou plusieurs facteurs (température du comburant par exemple) sur les paramètres calculés (chaleur dégagée ou température adiabatique). A titre d'exemple, on va prendre les deux exemples suivants :

- Effet de la température de l'air sur la quantité de chaleur dégagée,
- Effet du facteur d'air sur la température adiabatique.

#### III.7.1 Exemple 1 : Effet de la température de l'air sur la quantité de chaleur

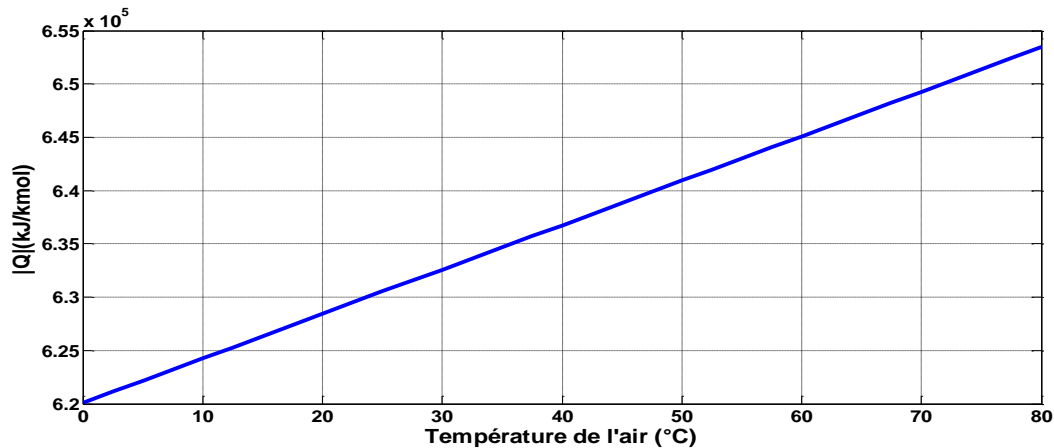
Les conditions initiales de la combustion étant très importantes, en l'occurrence celle de l'air car de sa présence dépend aussi la combustion, voyons voir en changeant sa température d'entrée, l'effet que cela produira sur la quantité de chaleur. Prenons comme exemple illustratif, l'exemple numéro 2 du cas de calcul de chaleur, et varions la température de l'air en prenant comme intervalle [0,80]. Le petit programme suivant permet d'étudier et de visualiser l'effet de la température de l'air sur la chaleur dégagée.

```

temp=0:2.5:80;
n=length(temp) ;
for i=1:n
    [q(i),h]=chaleur_dega( 2,2,temp(i),1227,0,1.2, 'nom1' )
end

plot(temp,abs(q));
xlabel('Température de l''air (°C)')
ylabel('|Q| (kJ/kmol)')
grid

```



**Figure III.18 :** Effet de la température de l'air sur la quantité de chaleur dégagée par  $C_2H_2$ .

On constate de la figure III que plus la température est grande, plus importante est la quantité de chaleur dégagée. Ce qui explique aussi, l'importance d'un préchauffage de l'air avant son entrée dans la chambre de combustion.

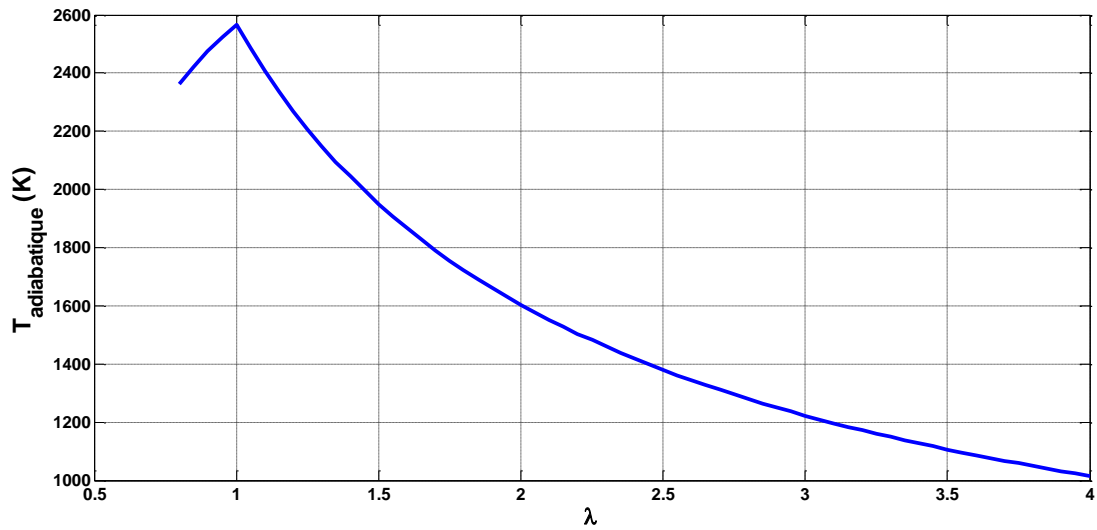
### III.7.2 Exemple 2 : Effet du facteur d'air sur la température de la flamme adiabatique

Prenons pour exemple : l'étude de la variation de la température de flamme adiabatique du  $C_2H_4$  en fonction du facteur d'air. Le carburant est, supposé, introduit dans la chambre de combustion avec de l'air dans les conditions normales de pression et de la température. Cette analyse peut être réalisée à l'aide du script suivant :

```

lam=0.8:0.05:4;
n=length(lam);
for i=1:n
    [q(i),h]=sam( 2,4,25,0,lam(i), 'nom1' )
end
plot(lam,q);
xlabel('\lambda')
ylabel('T_adiabatique (K)')
grid

```



**Figure III.19 :** Effet du facteur d'air sur la température adiabatique du  $C_2H_4$ .

Cette figure montre clairement que la température adiabatique est maximale si la combustion est stœchiométrique.

# Conclusion Générale et Perspectives

Il ressort de ce travail, la disponibilité de trois importants programmes utilisables et qui aidera les étudiants et enseignants dans la résolution des exercices et problèmes de la combustion. Ces programmes offrent les possibilités suivantes :

- Le calcul des pouvoirs calorifiques inférieur et supérieur (avec affichage de l'équation de la réaction ; des enthalpies, du PCS et du PCI),
- Le calcul de la quantité de chaleur et du rapport air-carburant (avec affichage des températures, du facteur d'air, de l'équation de la réaction, de la valeur de la quantité de chaleur et du rapport air-carburant) ;
- Le calcul de la température de flamme adiabatique (avec affichage des températures, du facteur d'air, de l'équation de la réaction et de la valeur de la température de flamme adiabatique).

Outre ces calculs, les deux derniers programmes peuvent être utilisés pour d'autres fins, en l'occurrence l'observation de : l'effet de la température de l'air sur la quantité de chaleur et l'effet du facteur d'air sur la température adiabatique. En effet, dans le cas où on ne dispose pas de matériels nécessaires pour ces observations dans un laboratoire, ce travail nous offre la possibilité de le faire n'importe où on se trouve muni de son ordinateur et des programmes, sans oublier le logiciel Matlab.

Ce travail de mémoire de master ayant abouti à ses outils de travail précités, seront sans aucun doute incontournable pour les étudiants et enseignants. Néanmoins, ce modeste travail fait sur des conditions bien définies d'introduction de l'hydrocarbure (298 K, 1 atm), nécessite une continuation.

Ainsi donc, les perspectives futures sont :

- Pouvoir opter à d'autres conditions d'introduction de l'hydrocarbure ;
- La possibilité d'introduire un mélange d'hydrocarbure ;
- Avoir la possibilité de faire les mêmes calculs ( $Q$ ,  $T_{ad}$ ) à volume constant ;
- Et enfin pouvoir extraire l'exécutable du programme avec un Matlab qui n'est pas craqué, ce qui permettra d'atteindre plus d'utilisateurs.

# Références bibliographiques

- [1] <https://fr.timesofisrael.com/bahrein-annonce-la-plus-grande-decouverte-petroliere-de-son-histoire/>, dernier accès Mai 2019
  - [2] [https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/hydrocarbure.php4](https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/hydrocarbure.php4), dernier accès Mai 2019
  - [3] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-hydrocarbure-13053/>, dernier accès Mai 2019
  - [4] <https://mern.gouv.qc.ca/energie/hydrocarbures/suintements/>, dernier accès Mai 2019
  - [5] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alcane#p-search>, dernier accès Mai 2019
  - [6] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alc%C3%A8ne#p-search>, dernier accès Mai 2019
  - [7] CHIMIE ORGANIQUE GENERALE hydrocarbures et fonctions, office des publications universitaires, 29 Rue Abou Nouas-HYDRA-Alger, pp 1, 13
  - [8] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polyyne#mw-head> , dernier accès Mai 2019
  - [9] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Poly%C3%A8ne#mw-head> , dernier accès Mai 2019
  - [10] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alcyne#mw-head>, dernier accès Mai 2019
  - [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Triangle\\_du\\_feu](https://fr.wikipedia.org/wiki/Triangle_du_feu) , dernier accès Mai 2019
  - [12] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Combustion> , dernier accès Mai 2019
  - [13] Yunus-A Cengel Michael-A Boles , Michel Lacroix , « Thermodynamique : Une approche pragmatique », de boeck 2008.
  - [14] ABDELAZIZ KHALDI, chapitre 4 flamme de prémélange laminaire et de diffusion, cours de « Combustion ». master 1 énergétique, 2018
  - [15] Merabet mourad et Haraoubia Mohamed amine (2017), simulation numérique de la combustion en utilisant les modèles EDM/LFM, mémoire de fin d'études, master énergétique et environnement université de Boumerdes, 2017.
  - [16] <https://fr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>, dernier accès Juin 2019
  - [17] Bernard LEFRANCOIS, « Tome 3 Combustion et explosions des mélanges gazeux », 11, rue Lavoisier, pp 6,7
  - [18] Renaud GICQUEL, "Combustions", <https://diren.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/DiapJS/doc/S15/Combustions.pdf>, 2004
-

# ANNEXES

## Annexe 1 : Les contributions pour la formule de JOBACK

	$(\delta H_{fj}^{\circ})_{298}$
	KJ/mol
C et H, chaîne aliphatique	
$-CH_3$	-76,45
$> CH_2$	-20,64
$> CH -$	29,89
$> C <$	82,23
$= CH_2$	-9,63
$= CH -$	37,97
$= C <$	83,99
$= C =$	142,14
$\equiv CH$	79,30
$\equiv C -$	115,51
C et H, dans un cycle	
$-CH_2$	-26,80
$> CH -$	8,67
$> C <$	79,72
$= CH -$	2,09
$= C <$	46,43
Halogènes	
$-F$	-251,92
$-Cl$	-71,55
$-Br$	-29,48
$-I$	21,06

## Annexe 2

### Programme 1

#### Programme de calcul des pouvoirs calorifiques

```
%Ce programme Calcul les pouvoirs
calorifiques calorifiques des réactions
disp('Calcul des pouvoirs calorifique
calorifiques des réactions')
clear
clc

C=12;      %Masse molaire du carbone en
Kg/Kmol
H=1;      %Masse molaire de l'hydrogène en
Kg/Kmol
hCO2g=-393520; ;      %L'enthalpie de
formation du CO2
hH2Og=-241820;      %L'enthalpie de
foramtion de l'eau à l'état liquide
hH2OL=-285830;      %L'enthalpie de
foramtion de l'eau à l'état gazeux
x=input('entrer la valeur de x=');
y=input('entrer la valeur de y=');

hCxHy=input('donner la valeur de
l''enthalpie de formation de hCxHy sinon
mettez 0; hCxHy=')
if hCxHy==0
    if (y-(2*x+2))==0
        choix=1;
    else if (y-(2*x))==0
        else
            choix=3;
        end
    end
end
switch choix

    case 1
        x=x
        y=y
        if y==4
            disp('Enthalpie de formation de
l''hydrocarbure est')
            hCxHy=-74850
        else
            disp('Enthalpie de formation de
l''hydrocarbure est')
            hCxHy=(68.29+(2*(-76.45))+(x-
2)*(-20.64))*1000
        end
    case 2
        x=x
        y=y
        if y==4
            disp('Enthalpie de formation de
l''hydrocarbure est')
            hCxHy=52280
        else
            if y==6
                disp('Enthalpie de
formation de l''hydrocarbure est')
                hCxHy=20410
            else
                disp('Enthalpie de
formation de l''hydrocarbure est')
                hCxHy=(68.29+(2*(-
76.45))+(2*(37.97))+(x-4)*(-20.64))*1000
            end
        end
    case 3
        x=x
        y=y
        if y==2
            disp('Enthalpie de formation de
l''hydrocarbure est')
            hCxHy=226730
        else
            if y==4
                disp('Enthalpie de
formation de l''hydrocarbure est')
                hCxHy=18665
            else
                disp('Enthalpie de
formation de l''hydrocarbure est')
                hCxHy=(68.29+(2*(-
76.45))+(2*(115.51))+(x-4)*(-20.64))*1000
            end
        end
    end
end

M=((x*C)+(y*H)); %Masse molaire de
l'hydrocarbure en Kg/Kmol
P1=x*(hCO2g);      %Produit
1;L'enthalpie de formation CO2 multiplié par
le nombre de mole
P2=(y/2)*(hH2OL);      %Produit
2;L'enthalpie de formation si eau Liquide
multiplié par le nombre de mole
P21=(y/2)*(hH2Og);      %Produit
21;L'enthalpie de formation si eau à l'état
de gaz multiplié par le nombre de mole
R1= hCxHy ;
hc1=P1+P2-hCxHy
hc2=P1+P21-hCxHy
PCS=(-hc1)/(M)
PCI=(-hc2)/(M)

nom = input('entrer le nom du fichier
','s')
o='.doc';
nom=[nom o];
fid = fopen(nom,'w');
```

```

fprintf(fid, '\n \n \n l''équation de la
reaction de combustion est ');

    fprintf(fid, '\n C%.0fH%.0f +
%.2f(O2+3.76 N2)---> %.0fCO2 + %.2fH2O +
%.2fN2', x, y, (x+(y/4))*1, x, y/2, 3.76*(x+(y/4)
)*1);

fprintf(fid, '\n Substances \t
Enthalpies (KJ/Kg) ');

fprintf(fid, '\n Hydrocarbure \t
%.2f ', hCxHy);
fprintf(fid, '\n H2OL \t
%.2f ', hH2OL);
fprintf(fid, '\n H2Og \t %.2f
', hH2Og);

fprintf(fid, '\n \t le pouvoir calorifique
supérieur PCS = %.2f
kJ/kg', PCS);
fprintf(fid, '\n \t le pouvoir calorifique
supérieur PCI = %.2f
kJ/kg', PCI);

fclose('all');

fprintf(fid, '\n Substances \t
Enthalpies (KJ/Kg) ');

```

## Annexe 3

### Programme 2

#### Programme de la fonction du calcul de la quantité de chaleur

```
function [ Q,hCxHy ] =          560 20407 ;                1220 54977 ;
chaleur_dega(                 570 20870 ;                1240 56108 ;
x,y,t2,t3,hCxHy,lambda,nom   580 21337 ;                1260 57244 ;
)                               590 21807 ;                1280 58381 ;
                                600 22280 ;                1300 59522 ;
                                610 22754 ;                1320 60666 ;
%Ce programme Calcul la       620 23231 ;                1340 61813 ;
quantité de chaleur          630 23709 ;                1360 62963 ;
                                640 24190 ;                1380 64116 ;
%La matrice des enthalpies    650 24674 ;                1400 65271 ;
de CO2                       660 25160 ;                1420 66427 ;
%La première colonne          670 25648 ;                1440 67586 ;
représente les                680 26138 ;                1460 68748 ;
températures                  690 26631 ;                1480 66911 ;
%La deuxième colonne est      700 27125 ;                1500 71078 ;
celle des enthalpies de      710 27622 ;                1520 72246 ;
CO2                            720 28121 ;                1540 73417 ;
                                730 28622 ;                1560 74590 ;
MCO2=[                        740 29124 ;                1580 76767 ;
 0 0 ;                         750 29629 ;                1600 76944 ;
220 6601 ;                     760 30135 ;                1620 78123 ;
230 6938 ;                     770 30644 ;                1640 79303 ;
240 7280 ;                     780 31154 ;                1660 80486 ;
250 7627 ;                     790 31665 ;                1680 81670 ;
260 7979 ;                     800 32179 ;                1700 82856 ;
270 8335 ;                     810 32694 ;                1720 84043 ;
280 8697 ;                     820 33212 ;                1740 85231 ;
290 9063 ;                     830 33730 ;                1760 86420 ;
298 9364 ;                     840 34251 ;                1780 87612 ;
300 9431 ;                     850 34773 ;                1800 88806 ;
310 9807 ;                     860 35296 ;                1820 90000 ;
320 10186 ;                    870 35821 ;                1840 91196 ;
330 10570 ;                    880 36347 ;                1860 92394 ;
340 10959 ;                    890 36876 ;                1880 93593 ;
350 11351 ;                    900 37405 ;                1900 94793 ;
360 11748 ;                    910 37935 ;                1920 95995 ;
370 12148 ;                    920 38467 ;                1940 97197 ;
380 12552 ;                    930 39000 ;                1960 98401 ;
390 12960 ;                    940 39535 ;                1980 99606 ;
400 13372 ;                    950 40070 ;                2000 100804 ;
410 13787 ;                    960 40607 ;                2050 103835 ;
420 14206 ;                    970 41145 ;                2100 106864 ;
430 14628 ;                    980 41685 ;                2150 109898 ;
440 15054 ;                    990 42226 ;                2200 112939 ;
450 15483 ;                   1000 42769 ;                2250 115984 ;
460 15916 ;                   1020 43859 ;                2300 119035 ;
470 16351 ;                   1040 44953 ;                2350 122091 ;
480 16791 ;                   1060 46051 ;                2400 125152 ;
490 17232 ;                   1080 47153 ;                2450 128219 ;
500 17678 ;                   1100 48258 ;                2500 131290 ;
510 18126 ;                   1120 49369 ;                2550 134368 ;
520 18576 ;                   1140 50484 ;                2600 137449 ;
530 19029 ;                   1160 51602 ;                2650 140533 ;
540 19485 ;                   1180 52724 ;                2700 143620 ;
550 19945 ;                   1200 53848 ;                2750 146713 ;
```

```

2800 149808 ;
2850 152908 ;
2900 156009 ;
2950 159117 ;
3000 162226 ;
3050 165341 ;
3100 168456 ;
3150 171576 ;
3200 174695 ;
3250 177822 ;];
%La matrice des enthalpies
de N2
%La première colonne
représente les
températures
%La deuxième colonne est
celle des enthalpies de N2

MN2=[
  0 0 ;
220 6391 ;
230 6683 ;
240 6975 ;
250 7266 ;
260 7558 ;
270 7849 ;
280 8141 ;
290 8432 ;
298 8669 ;
300 8723 ;
310 9014 ;
320 9306 ;
330 9597 ;
340 9888 ;
350 10180 ;
360 10471 ;
370 10763 ;
380 11055 ;
390 11347 ;
400 11640 ;
410 11932 ;
420 12225 ;
430 12518 ;
440 12811 ;
450 13105 ;
460 13399 ;
470 13693 ;
480 13988 ;
490 14285 ;
500 14581 ;
510 14876 ;
520 15172 ;
530 15469 ;
540 15766 ;
550 16064 ;
560 16363 ;
570 16662 ;
580 16962 ;
590 17262 ;
600 17563 ;
610 17864 ;

620 18166 ;
630 18468 ;
640 18772 ;
650 19075 ;
660 19380 ;
670 19685 ;
680 19991 ;
690 20297 ;
700 20604 ;
710 20912 ;
720 21220 ;
730 21529 ;
740 21839 ;
750 22149 ;
760 22460 ;
770 22772 ;
780 23085 ;
790 23398 ;
800 23714 ;
810 24027 ;
820 24342 ;
830 24658 ;
840 24974 ;
850 25292 ;
860 25610 ;
870 25928 ;
880 26248 ;
890 26568 ;
900 26890 ;
910 27210 ;
920 27532 ;
930 27854 ;
940 28178 ;
950 28501 ;
960 28826 ;
970 29151 ;
980 29476 ;
990 29803 ;
1000 30129 ;
1020 30784 ;
1040 31442 ;
1060 32101 ;
1080 32762 ;
1100 33426 ;
1120 34092 ;
1140 34760 ;
1160 35430 ;
1180 36104 ;
1200 36777 ;
1220 37452 ;
1240 38129 ;
1260 38807 ;
1280 39488 ;
1300 40170 ;
1320 40853 ;
1340 41539 ;
1360 42227 ;
1380 42915 ;
1400 43605 ;
1420 44295 ;
1440 44988 ;

1460 45682 ;
1480 46377 ;
1500 47073 ;
1520 47771 ;
1540 48470 ;
1560 49168 ;
1580 49869 ;
1600 50571 ;
1620 51275 ;
1640 51980 ;
1660 52686 ;
1680 53393 ;
1700 54099 ;
1720 54807 ;
1740 55516 ;
1760 56227 ;
1780 56938 ;
1800 57651 ;
1820 58363 ;
1840 59075 ;
1860 59790 ;
1880 60504 ;
1900 61220 ;
1920 61936 ;
1940 62654 ;
1960 63381 ;
1980 64090 ;
2000 64810 ;
2050 66612 ;
2100 68417 ;
2150 70226 ;
2200 72040 ;
2250 73856 ;
2300 75676 ;
2350 77496 ;
2400 79320 ;
2450 81149 ;
2500 82981 ;
2550 84814 ;
2600 86650 ;
2650 88488 ;
2700 90328 ;
2750 92171 ;
2800 94014 ;
2850 95859 ;
2900 97705 ;
2950 99556 ;
3000 101407 ;
3050 103260 ;
3100 105115 ;
3150 106972 ;
3200 108830 ;
3250 110690 ;];
%La matrice des enthalpies
de H2O
%La première colonne
représente les
températures
%La deuxième colonne est
celle des enthalpies de
H2O

```

```

MH2O=[
  0 0 ;
  220 7295 ;
  230 7628 ;
  240 7961 ;
  250 8294 ;
  260 8627 ;
  270 8961 ;
  280 9296 ;
  290 9631 ;
  298 9904 ;
  300 9966 ;
  310 10302 ;
  320 10639 ;
  330 10976 ;
  340 11314 ;
  350 11652 ;
  360 11992 ;
  370 12331 ;
  380 12672 ;
  390 13014 ;
  400 13356 ;
  410 13699 ;
  420 14043 ;
  430 14388 ;
  440 14734 ;
  450 15080 ;
  460 15428 ;
  470 15777 ;
  480 16126 ;
  490 16477 ;
  500 16828 ;
  510 17181 ;
  520 17534 ;
  530 17889 ;
  540 18245 ;
  550 18601 ;
  560 18959 ;
  570 19318 ;
  580 19678 ;
  590 20039 ;
  600 20402 ;
  610 20765 ;
  620 21130 ;
  630 21495 ;
  640 21862 ;
  650 22230 ;
  660 22600 ;
  670 22970 ;
  680 23342 ;
  690 23714 ;
  700 24088 ;
  710 24464 ;
  720 24840 ;
  730 25218 ;
  740 25597 ;
  750 25977 ;
  760 26358 ;
  770 26741 ;
  780 27125 ;

  790 27510 ;
  800 27896 ;
  810 28284 ;
  820 28672 ;
  830 29062 ;
  840 29454 ;
  850 29846 ;
  860 30240 ;
  870 30635 ;
  880 31032 ;
  890 31429 ;
  900 31828 ;
  910 32228 ;
  920 32629 ;
  930 33032 ;
  940 33436 ;
  950 33841 ;
  960 34247 ;
  970 34653 ;
  980 35061 ;
  990 35472 ;
  1000 35882 ;
  1020 36709 ;
  1040 37542 ;
  1060 38380 ;
  1080 39223 ;
  1100 40071 ;
  1120 40923 ;
  1140 41780 ;
  1160 42642 ;
  1180 43509 ;
  1200 44380 ;
  1220 45256 ;
  1240 46137 ;
  1260 47022 ;
  1280 47912 ;
  1300 48807 ;
  1320 49707 ;
  1340 50612 ;
  1360 51521 ;
  1380 52434 ;
  1400 53351 ;
  1420 54273 ;
  1440 55198 ;
  1460 56128 ;
  1480 57062 ;
  1500 57999 ;
  1520 58942 ;
  1540 59888 ;
  1560 60838 ;
  1580 61792 ;
  1600 62748 ;
  1620 63709 ;
  1640 64675 ;
  1660 65643 ;
  1680 66614 ;
  1700 67589 ;
  1720 68567 ;
  1740 69550 ;
  1760 70535 ;
  1780 71523 ;

  1800 72513 ;
  1820 73507 ;
  1840 74506 ;
  1860 75506 ;
  1880 76511 ;
  1900 77517 ;
  1920 78527 ;
  1940 79540 ;
  1960 80555 ;
  1980 81573 ;
  2000 82593 ;
  2050 85156 ;
  2100 87735 ;
  2150 90330 ;
  2200 92940 ;
  2250 95562 ;
  2300 98199 ;
  2350 100846 ;
  2400 103508 ;
  2450 106183 ;
  2500 108868 ;
  2550 111565 ;
  2600 114273 ;
  2650 116991 ;
  2700 119717 ;
  2750 122453 ;
  2800 125198 ;
  2850 127952 ;
  2900 130717 ;
  2950 133486 ;
  3000 136264 ;
  3050 139051 ;
  3100 141846 ;
  3150 144648 ;
  3200 147457 ;
  3250 150272 ;];

%La matrice des enthalpies
de O2
%La première colonne
représente les
températures
%La deuxième colonne est
celle des enthalpies de O2

MO2=[
  0 0 ;
  220 6404 ;
  230 6694 ;
  240 6984 ;
  250 7275 ;
  260 7566 ;
  270 7858 ;
  280 8150 ;
  290 8443 ;
  298 8682 ;
  300 8736 ;
  310 9030 ;
  320 9325 ;
  330 9620 ;
  340 9916 ;
  350 10213 ;

```

```

360 10511 ;
370 10809 ;
380 11109 ;
390 11409 ;
400 11711 ;
410 12012 ;
420 12314 ;
430 12618 ;
440 12923 ;
450 13228 ;
460 13525 ;
470 13842 ;
480 14151 ;
490 14460 ;
500 14770 ;
510 15082 ;
520 15395 ;
530 15708 ;
540 16022 ;
550 16338 ;
560 16654 ;
570 16971 ;
580 17290 ;
590 17609 ;
600 17929 ;
610 18250 ;
620 18572 ;
630 18895 ;
640 19219 ;
650 19544 ;
660 19870 ;
670 20197 ;
680 20524 ;
690 20854 ;
700 21184 ;
710 21514 ;
720 21845 ;
730 22177 ;
740 22510 ;
750 22844 ;
760 23178 ;
770 23513 ;
780 23850 ;
790 24186 ;
800 24523 ;
810 24861 ;
820 25199 ;
830 25537 ;
840 25877 ;
850 26218 ;
860 26559 ;
870 26899 ;
880 27242 ;
890 27584 ;
900 27928 ;
910 28272 ;
920 28616 ;
930 28960 ;
940 29306 ;
950 29652 ;
960 29999 ;

970 30345 ;
980 30692 ;
990 31041 ;
1000 31389 ;
1020 32088 ;
1040 32789 ;
1060 33490 ;
1080 34194 ;
1100 34899 ;
1120 35606 ;
1140 36314 ;
1160 37023 ;
1180 37734 ;
1200 38447 ;
1220 39162 ;
1240 39877 ;
1260 40594 ;
1280 41312 ;
1300 42033 ;
1320 42753 ;
1340 43475 ;
1360 44198 ;
1380 44923 ;
1400 45648 ;
1420 46374 ;
1440 47102 ;
1460 47831 ;
1480 48561 ;
1500 49292 ;
1520 50024 ;
1540 50756 ;
1560 51490 ;
1580 52224 ;
1600 52961 ;
1620 53696 ;
1640 54434 ;
1660 55172 ;
1680 55912 ;
1700 56652 ;
1720 57394 ;
1740 58136 ;
1760 58880 ;
1780 59624 ;
1800 60371 ;
1820 61118 ;
1840 61866 ;
1860 62616 ;
1880 63365 ;
1900 64116 ;
1920 64868 ;
1940 65620 ;
1960 66374 ;
1980 67127 ;
2000 67881 ;
2050 69772 ;
2100 71668 ;
2150 73573 ;
2200 75484 ;
2250 77397 ;
2300 79316 ;
2350 81243 ;

2400 83174 ;
2450 85112 ;
2500 87057 ;
2550 89004 ;
2600 90956 ;
2650 92916 ;
2700 94881 ;
2750 96852 ;
2800 98826 ;
2850 100808 ;
2900 102793 ;
2950 104785 ;
3000 106780 ;
3050 108778 ;
3100 110784 ;
3150 112795 ;
3200 114809 ;
3250 116827 ;];

%La matrice des enthalpies
de CO
%La première colonne
représente les
températures
%La deuxième colonne est
celle des enthalpies de CO

MCO=[
  0 0 ;
220 6391 ;
230 6683 ;
240 6975 ;
250 7266 ;
260 7558 ;
270 7849 ;
280 8140 ;
290 8432 ;
298 8669 ;
300 8723 ;
310 9014 ;
320 9306 ;
330 9597 ;
340 9889 ;
350 10181 ;
360 10473 ;
370 10765 ;
380 11058 ;
390 11351 ;
400 11644 ;
410 11938 ;
420 12232 ;
430 12526 ;
440 12821 ;
450 13116 ;
460 13412 ;
470 13708 ;
480 14005 ;
490 14302 ;
500 14600 ;
510 14898 ;
520 15197 ;
530 15497 ;

```

```

540 15797 ; 1300 40534 ;
550 16097 ; 1320 41226 ;
560 16399 ; 1340 41919 ;
570 16701 ; 1360 42613 ;
580 17003 ; 1380 43309 ;
590 17307 ; 1400 44007 ;
600 17611 ; 1420 44707 ;
610 17915 ; 1440 45408 ;
620 18221 ; 1460 46110 ;
630 18527 ; 1480 46813 ;
640 18833 ; 1500 47517 ;
650 19141 ; 1520 48222 ;
660 19449 ; 1540 48928 ;
670 19758 ; 1560 49635 ;
680 20068 ; 1580 50344 ;
690 20378 ; 1600 51053 ;
700 20690 ; 1620 51763 ;
710 21002 ; 1640 52472 ;
720 21315 ; 1660 53184 ;
730 21628 ; 1680 53895 ;
740 21943 ; 1700 54609 ;
750 22258 ; 1720 55323 ;
760 22573 ; 1740 56039 ;
770 22890 ; 1760 56756 ;
780 23208 ; 1780 57473 ;
790 23526 ; 1800 58191 ;
800 23844 ; 1820 58910 ;
810 24164 ; 1840 59629 ;
820 24483 ; 1860 60351 ;
830 24803 ; 1880 61072 ;
840 25124 ; 1900 61794 ;
850 25446 ; 1920 62516 ;
860 25768 ; 1940 63238 ;
870 26091 ; 1960 63961 ;
880 26415 ; 1980 64684 ;
890 26740 ; 2000 65408 ;
900 27066 ; 2050 67224 ;
910 27392 ; 2100 69044 ;
920 27719 ; 2150 70864 ;
930 28046 ; 2200 72688 ;
940 28375 ; 2250 74516 ;
950 28703 ; 2300 76345 ;
960 29033 ; 2350 78178 ;
970 29362 ; 2400 80015 ;
980 29693 ; 2450 81852 ;
990 30024 ; 2500 83692 ;
1000 30355 ; 2550 85537 ;
1020 31020 ; 2600 87383 ;
1040 31688 ; 2650 89230 ;
1060 32357 ; 2700 91077 ;
1080 33029 ; 2750 92930 ;
1100 33702 ; 2800 94784 ;
1120 34377 ; 2850 96639 ;
1140 35054 ; 2900 98495 ;
1160 35733 ; 2950 100352 ;
1180 36406 ; 3000 102210 ;
1200 37095 ; 3050 104073 ;
1220 37780 ; 3100 105939 ;
1240 38466 ; 3150 107802 ;
1260 39154 ; 3200 109667 ;
1280 39844 ; 3250 111534 ;]

```

```

[n,p]=size(MCO2);
[m,q]=size(MN2);
[r,t]=size(MO2);
[z,w]=size(MH2O);
[a,b]=size(MCO);

t1=298;
for i=1:n
    if MCO2(i,1)>=t1
        hCO2=MCO2(i-1,2)-
(MCO2(i-1,1)-t1)*(MCO2(i-
1,2)-MCO2(i,2))/(MCO2(i-
1,1)-MCO2(i,1));
        break
    end
end

for j=1:m
    if MN2(j,1)>=t1
        hN2=MN2(j-1,2)-
(MN2(j-1,1)-t1)*(MN2(j-
1,2)-MN2(j,2))/(MN2(j-
1,1)-MN2(j,1));
        break
    end
end

for k=1:r
    if MO2(k,1)>=t1
        hO2=MO2(k-1,2)-
(MO2(k-1,1)-t1)*(MO2(k-
1,2)-MO2(k,2))/(MO2(k-
1,1)-MO2(k,1));
        break
    end
end

for k=1:z
    if MH2O(k,1)>=t1
        hH2O=MH2O(k-1,2)-
(MH2O(k-1,1)-t1)*(MH2O(k-
1,2)-MH2O(k,2))/(MH2O(k-
1,1)-MH2O(k,1));
        break
    end
end

for h=1:a
    if MCO(h,1)>=t1
        hCO=MCO(h-1,2)-
(MCO(h-1,1)-t1)*(MCO(h-
1,2)-MCO(h,2))/(MCO(h-
1,1)-MCO(h,1));
        break
    end
end

t2=t2+273;
for j=1:m

```

```

        if MN2(j,1)>=t2
            h2N2=MN2(j-1,2)-
(MN2(j-1,1)-t2)*(MN2(j-
1,2)-MN2(j,2))/(MN2(j-
1,1)-MN2(j,1));
            break
        end
    end
end

for k=1:r
    if MO2(k,1)>=t2
        h2O2=MO2(k-1,2)-
(MO2(k-1,1)-t2)*(MO2(k-
1,2)-MO2(k,2))/(MO2(k-
1,1)-MO2(k,1));
        break
    end
end

t3=t3+273;
for i=1:n
    if MCO2(i,1)>=t3
        h1CO2=MCO2(i-1,2)-
(MCO2(i-1,1)-t3)*(MCO2(i-
1,2)-MCO2(i,2))/(MCO2(i-
1,1)-MCO2(i,1));
        break
    end
end
h1CO2=MCO2(i-1,2)-(MCO2(i-
1,1)-t3)*(MCO2(i-1,2)-
MCO2(i,2))/(MCO2(i-1,1)-
MCO2(i,1));

for j=1:m
    if MN2(j,1)>=t3
        h1N2=MN2(j-1,2)-
(MN2(j-1,1)-t3)*(MN2(j-
1,2)-MN2(j,2))/(MN2(j-
1,1)-MN2(j,1));
        break
    end
end
h1N2=MN2(j-1,2)-(MN2(j-
1,1)-t3)*(MN2(j-1,2)-
MN2(j,2))/(MN2(j-1,1)-
MN2(j,1));

    for k=1:r
        if MO2(k,1)>=t3
            h1O2=MO2(k-1,2)-
(MO2(k-1,1)-t3)*(MO2(k-
1,2)-MO2(k,2))/(MO2(k-
1,1)-MO2(k,1));
            break
        end
    end
h1O2=MO2(k-1,2)-(MO2(k-
1,1)-t3)*(MO2(k-1,2)-
MO2(k,2))/(MO2(k-1,1)-
MO2(k,1));

for k=1:z
    if MH2O(k,1)>=t3
        h1H2O=MH2O(k-1,2)-
(MH2O(k-1,1)-t3)*(MH2O(k-
1,2)-MH2O(k,2))/(MH2O(k-
1,1)-MH2O(k,1));
        break
    end
end

for h=1:a
    if MCO(h,1)>=t3
        h1CO=MCO(h-1,2)-
(MCO(h-1,1)-t3)*(MCO(h-
1,2)-MCO(h,2))/(MCO(h-
1,1)-MCO(h,1));
        break
    end
end

%Les enthalpies de
formations
hH2Og=-241820;
hCO2g=-393520;
hCOg=-110530;

if hCxHy==0
    if (y-(2*x+2))==0
        choix=1;
    elseif (y-(2*x))==0
        choix=2;
    else
        choix=3;
    end
    switch choix
    case 1
        if y==4
            hCxHy=-74850;
        else
            hCxHy=(68.29+(2*(-
76.45))+(x-2)*(-
20.64))*1000;
        end
    case 2
        if y==4
            hCxHy=52280;
        else
            if y==6
                hCxHy=20410
            else
                hCxHy=(68.29+(2*(-
76.45))+(2*(37.97))+(x-
4)*(-20.64))*1000;
            end
        end
    case 3
        if y==2
            hCxHy=226730;
        else
            if y==4
                hCxHy=18665;
            else
                hCxHy=(68.29+(2*(-
76.45))+(2*(115.51))+(x-
4)*(-20.64))*1000;
            end
        end
    end
end

E=1-lambda;
if lambda>=1
    Qp=x*(hCO2g+h1CO2-
hCO2)+(y/2)*(hH2Og+h1H2O-
hH2O)+(3.76*lambda*(x+(y/4
)))*(h1N2-
hN2)+(x+(y/4))*(lambda-
1)*(h1O2-hO2);
else
    Qp=(2*lambda*(x+(y/4))-
(x+(y/2)))*(hCO2g+h1CO2-
hCO2)+(y/2)*(hH2Og+h1H2O-
hH2O)+(3.76*lambda*(x+(y/4
)))*(h1N2-hN2)+(2*(1-
lambda)*(x+(y/4)))*((hCOg+
h1CO-hCO));
end
Qr=(hCxHy)+((x+(y/4))*lamb
da*(h2O2-
hO2))+((3.76*(x+(y/4))*lamb
da*(h2N2-hN2));
%disp('La quantité de
chaleur dégagée par la
combustion est')
Q=(Qp-Qr);
AC=(lambda*(x+(y/4))*4.76*
29)/((12*x)+(y));

o='.doc';
nom=[nom o];

```

```

fid = fopen(nom, 'w');

fprintf(fid, '\n Substances
\t Températures (K)
');
fprintf(fid, '\n
Hydrocarbure \t
%.2f \t ', t1);
fprintf(fid, '\n Air
\t %.2f ', t2);
fprintf(fid, '\n Produits
\t %.2f ', t3);

fprintf(fid, '\n \n \n \t
Le Facteur de l''air =
%.2f ', lambda);

fprintf(fid, '\n \n \n
l''équation de la reaction
de combustion est
');

if lambda > 1

    fprintf(fid, '\n
C%.0fH%.0f + %.2f(O2+3.76
N2)---> %.0fCO2 + %.2fH2O+
%.2fO2 +
%.2fN2', x, y, (x+(y/4))*lambda
da, x, y/2, (x+(y/4))*(lambda
-
1), 3.76*(x+(y/4))*lambda);

elseif lambda == 1

    fprintf(fid, '\n
C%.0fH%.0f + %.2f(O2+3.76
N2)---> %.0fCO2 + %.2fH2O
+
%.2fCO + %.2f
N2', x, y, (x+(y/4))*lambda, (
2*lambda*(x+(y/4))-
(x+(y/2))), y/2, 2*(1-
lambda)*(x+(y/4)), 3.76*lam
bda*(x+(y/4)));

end

fprintf(fid, '\n \n \n
Tableau récapitulatif des
enthalpies ');

fprintf(fid, '\n
Substances \t
hfor (kJ/Kmol) \t
h (kJ/Kmol) \t
h1 (kJ/Kmol) ');

fprintf(fid, '\n
C%.0fH%.0f \t
%.2f \t -----
\t ----- ', x, y, hCxHy);
fprintf(fid, '\n H2O
\t %.2f \t
%.2f \t %.2f
', hH2Og, hH2O, h1H2O);
fprintf(fid, '\n CO2
\t %.2f \t
%.2f \t %.2f
', hCO2g, hCO2, h1CO2);
fprintf(fid, '\n O2
\t ----- \t %.2f
\t %.2f ', hO2, h1O2);
fprintf(fid, '\n N2
\t ----- \t %.2f
\t %.2f ', hN2, h1N2);

fprintf(fid, '\n \n \n On
a alors: ');

fprintf(fid, '\n \t la
quantité de chaleur Q=
%.2f kJ/kmol= %.2f
Kj/Kg', Q, Q/(12*x+y));

fprintf(fid, '\n \t le
Rapport Air-carburant AC=
%.2f
kgAir/Kgfuel', AC);

fclose('all');

end

```

---

## Programme 3

---

### Programme de l'interface graphique du calcul de la quantité de chaleur

---

```
function varargout =
combustion_chaleur(varargin)
% COMBUSTION_CHALEUR MATLAB code for
combustion_chaleur.fig
% COMBUSTION_CHALEUR, by itself,
creates a new COMBUSTION_CHALEUR or
raises the existing
% singleton*.
%
% H = COMBUSTION_CHALEUR returns the
handle to a new COMBUSTION_CHALEUR or the
handle to
% the existing singleton*.
%
%
COMBUSTION_CHALEUR('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in
COMBUSTION_CHALEUR.M with the given input
arguments.
%
%
COMBUSTION_CHALEUR('Property','Value',...
) creates a new COMBUSTION_CHALEUR or
raises the
% existing singleton*. Starting
from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before
combustion_chaleur_OpeningFcn gets
called. An
% unrecognized property name or
invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to
combustion_chaleur_OpeningFcn via
varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools
menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the
response to help combustion_chaleur

% Last Modified by GUIDE v2.5 12-May-2019
10:38:56

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',
mfilename, ...
                    'gui_Singleton',
gui_Singleton, ...
                    'gui_OpeningFcn',
@combustion_chaleur_OpeningFcn, ...
                    'gui_OutputFcn',
@combustion_chaleur_OutputFcn, ...
                    'gui_LayoutFcn', [] ,
                    ...
                    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback =
str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] =
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before
combustion_chaleur is made visible.
function
combustion_chaleur_OpeningFcn(hObject,
eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see
OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to
combustion_chaleur (see VARARGIN)

% Choose default command line output for
combustion_chaleur
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes combustion_chaleur wait
for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are
returned to the command line.
```

```

function varargout =
combustion_chaleur_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout cell array for returning
output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from
handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

```

% --- Executes on button press in Calcul.
function Calcul_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Calcul (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)
[h,p]=chaleur_dega(handles.metricdata.Cx,
handles.metricdata.Hy,handles.metricdata.
Ta,handles.metricdata.Tp,handles.metricda
ta.Hfor,handles.metricdata.lambda,handles
.metricdata.Fich);
y=h/(12*handles.metricdata.Cx+handles.met
ricdata.Hy);
pm=handles.metricdata.lambda*(handles.met
ricdata.Cx+handles.metricdata.Hy/4)*4.76*
29;
ac=pm/(12*handles.metricdata.Cx+handles.m
etricdata.Hy);
set(handles.Q, 'String', h);
set(handles.Qm, 'String', y);
set(handles.Hfor, 'String', p);
set(handles.AC, 'String', ac);
guidata(hObject,handles)

```

```

function Q_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Q (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Q as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Q as a double

```

```

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.

```

```

function Q_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Q (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Qm_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Qm (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Qm as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Qm as a double

```

```

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Qm_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Qm (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Fich_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Fich (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Fich as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Fich as a double
hy= get(hObject,'String');

% Save the new volume value
handles.metricdata.Fich = hy;

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Fich_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Fich (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Tp_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Tp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Tp as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Tp as a double
hy= str2double(get(hObject,'String'));

% Save the new volume value
handles.metricdata.Tp = hy;

```

```

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Tp_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Tp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Ta_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Ta (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Ta as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Ta as a double
hy= str2double(get(hObject,'String'));

% Save the new volume value
handles.metricdata.Ta = hy;

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Ta_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Ta (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function lambda_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to lambda (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and
user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of lambda as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of lambda as a double
hy= str2double(get(hObject,'String'));

```

```

% Save the new volume value
handles.metricdata.lambda = hy;

```

```
guidata(hObject,handles)
```

```

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function lambda_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to lambda (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created
until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Hfor_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to Hfor (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and
user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Hfor as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Hfor as a double
hy= str2double(get(hObject,'String'));

```

```

% Save the new volume value
handles.metricdata.Hfor = hy;

```

```
guidata(hObject,handles)
```

```

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Hfor_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to Hfor (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created
until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Cx_Callback(hObject, eventdata,
 handles)
% hObject    handle to Cx (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and
user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Cx as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Cx as a double
cx = str2double(get(hObject,'String'))
% Save the new density value
handles.metricdata.Cx = cx;
guidata(hObject,handles)

```

```

% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Cx_CreateFcn(hObject, eventdata,
 handles)
% hObject    handle to Cx (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function Hy_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Hy (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of Hy as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of Hy as a double
hy= str2double(get(hObject,'String'));
```

```
% Save the new volume value
handles.metricdata.Hy = hy;
```

```
guidata(hObject,handles)
```

```
% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function Hy_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to Hy (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a
white background on Windows.
```

```
end
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function AC_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to AC (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles structure with handles and
user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns
contents of AC as text
%
str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of AC as a double
```

```
% --- Executes during object creation,
after setting all properties.
function AC_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to AC (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in
a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created
until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a
```

```
white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white')
```

## Annexe 4

### Programme 4

#### Programme de la fonction du calcul de la température de flamme adiabatique

```
function [ Tad,hCxHy ] =          560 20407 ;                1200 53848 ;
sam(                             570 20870 ;                1220 54977 ;
x,y,t2,hCxHy,lambda,nom )      580 21337 ;                1240 56108 ;
%UNTITLED10 Summary of this    590 21807 ;                1260 57244 ;
function goes here              600 22280 ;                1280 58381 ;
% Detailed explanation          610 22754 ;                1300 59522 ;
goes here                       620 23231 ;                1320 60666 ;
%Ce programme Calcul la         630 23709 ;                1340 61813 ;
température de flamme          640 24190 ;                1360 62963 ;
adiabatique                     650 24674 ;                1380 64116 ;
                                660 25160 ;                1400 65271 ;
%La matrice des enthalpies     670 25648 ;                1420 66427 ;
de CO2                          680 26138 ;                1440 67586 ;
%La première colonne           690 26631 ;                1460 68748 ;
représente les températures    700 27125 ;                1480 66911 ;
%La deuxième colonne est       710 27622 ;                1500 71078 ;
celle des enthalpies de CO2    720 28121 ;                1520 72246 ;
MCO2=[                          730 28622 ;                1540 73417 ;
  0 0 ;                          740 29124 ;                1560 74590 ;
220 6601 ;                       750 29629 ;                1580 76767 ;
230 6938 ;                       760 30135 ;                1600 76944 ;
240 7280 ;                       770 30644 ;                1620 78123 ;
250 7627 ;                       780 31154 ;                1640 79303 ;
260 7979 ;                       790 31665 ;                1660 80486 ;
270 8335 ;                       800 32179 ;                1680 81670 ;
280 8697 ;                       810 32694 ;                1700 82856 ;
290 9063 ;                       820 33212 ;                1720 84043 ;
298 9364 ;                       830 33730 ;                1740 85231 ;
300 9431 ;                       840 34251 ;                1760 86420 ;
310 9807 ;                       850 34773 ;                1780 87612 ;
320 10186 ;                      860 35296 ;                1800 88806 ;
330 10570 ;                      870 35821 ;                1820 90000 ;
340 10959 ;                      880 36347 ;                1840 91196 ;
350 11351 ;                      890 36876 ;                1860 92394 ;
360 11748 ;                      900 37405 ;                1880 93593 ;
370 12148 ;                      910 37935 ;                1900 94793 ;
380 12552 ;                      920 38467 ;                1920 95995 ;
390 12960 ;                      930 39000 ;                1940 97197 ;
400 13372 ;                      940 39535 ;                1960 98401 ;
410 13787 ;                      950 40070 ;                1980 99606 ;
420 14206 ;                      960 40607 ;                2000 100804 ;
430 14628 ;                      970 41145 ;                2050 103835 ;
440 15054 ;                      980 41685 ;                2100 106864 ;
450 15483 ;                      990 42226 ;                2150 109898 ;
460 15916 ;                     1000 42769 ;                2200 112939 ;
470 16351 ;                     1020 43859 ;                2250 115984 ;
480 16791 ;                     1040 44953 ;                2300 119035 ;
490 17232 ;                     1060 46051 ;                2350 122091 ;
500 17678 ;                     1080 47153 ;                2400 125152 ;
510 18126 ;                     1100 48258 ;                2450 128219 ;
520 18576 ;                     1120 49369 ;                2500 131290 ;
530 19029 ;                     1140 50484 ;                2550 134368 ;
540 19485 ;                     1160 51602 ;                2600 137449 ;
550 19945 ;                     1180 52724 ;                2650 140533 ;
```

```

2700 143620 ;
2750 146713 ;
2800 149808 ;
2850 152908 ;
2900 156009 ;
2950 159117 ;
3000 162226 ;
3050 165341 ;
3100 168456 ;
3150 171576 ;
3200 174695 ;
3250 177822 ;];
%La matrice des enthalpies
de N2
%La première colonne
représente les températures
%La deuxième colonne est
celle des enthalpies de N2

MN2=[
  0 0 ;
  220 6391 ;
  230 6683 ;
  240 6975 ;
  250 7266 ;
  260 7558 ;
  270 7849 ;
  280 8141 ;
  290 8432 ;
  298 8669 ;
  300 8723 ;
  310 9014 ;
  320 9306 ;
  330 9597 ;
  340 9888 ;
  350 10180 ;
  360 10471 ;
  370 10763 ;
  380 11055 ;
  390 11347 ;
  400 11640 ;
  410 11932 ;
  420 12225 ;
  430 12518 ;
  440 12811 ;
  450 13105 ;
  460 13399 ;
  470 13693 ;
  480 13988 ;
  490 14285 ;
  500 14581 ;
  510 14876 ;
  520 15172 ;
  530 15469 ;
  540 15766 ;
  550 16064 ;
  560 16363 ;
  570 16662 ;
  580 16962 ;
  590 17262 ;
  600 17563 ;
  610 17864 ;

  620 18166 ;
  630 18468 ;
  640 18772 ;
  650 19075 ;
  660 19380 ;
  670 19685 ;
  680 19991 ;
  690 20297 ;
  700 20604 ;
  710 20912 ;
  720 21220 ;
  730 21529 ;
  740 21839 ;
  750 22149 ;
  760 22460 ;
  770 22772 ;
  780 23085 ;
  790 23398 ;
  800 23714 ;
  810 24027 ;
  820 24342 ;
  830 24658 ;
  840 24974 ;
  850 25292 ;
  860 25610 ;
  870 25928 ;
  880 26248 ;
  890 26568 ;
  900 26890 ;
  910 27210 ;
  920 27532 ;
  930 27854 ;
  940 28178 ;
  950 28501 ;
  960 28826 ;
  970 29151 ;
  980 29476 ;
  990 29803 ;
  1000 30129 ;
  1020 30784 ;
  1040 31442 ;
  1060 32101 ;
  1080 32762 ;
  1100 33426 ;
  1120 34092 ;
  1140 34760 ;
  1160 35430 ;
  1180 36104 ;
  1200 36777 ;
  1220 37452 ;
  1240 38129 ;
  1260 38807 ;
  1280 39488 ;
  1300 40170 ;
  1320 40853 ;
  1340 41539 ;
  1360 42227 ;
  1380 42915 ;
  1400 43605 ;
  1420 44295 ;
  1440 44988 ;
  1460 45682 ;

  1480 46377 ;
  1500 47073 ;
  1520 47771 ;
  1540 48470 ;
  1560 49168 ;
  1580 49869 ;
  1600 50571 ;
  1620 51275 ;
  1640 51980 ;
  1660 52686 ;
  1680 53393 ;
  1700 54099 ;
  1720 54807 ;
  1740 55516 ;
  1760 56227 ;
  1780 56938 ;
  1800 57651 ;
  1820 58363 ;
  1840 59075 ;
  1860 59790 ;
  1880 60504 ;
  1900 61220 ;
  1920 61936 ;
  1940 62654 ;
  1960 63381 ;
  1980 64090 ;
  2000 64810 ;
  2050 66612 ;
  2100 68417 ;
  2150 70226 ;
  2200 72040 ;
  2250 73856 ;
  2300 75676 ;
  2350 77496 ;
  2400 79320 ;
  2450 81149 ;
  2500 82981 ;
  2550 84814 ;
  2600 86650 ;
  2650 88488 ;
  2700 90328 ;
  2750 92171 ;
  2800 94014 ;
  2850 95859 ;
  2900 97705 ;
  2950 99556 ;
  3000 101407 ;
  3050 103260 ;
  3100 105115 ;
  3150 106972 ;
  3200 108830 ;
  3250 110690 ;];
%La matrice des enthalpies
de H2O
%La première colonne
représente les températures
%La deuxième colonne est
celle des enthalpies de H2O

MH2O=[
  0 0 ;
  220 7295 ;

```

230 7628 ;	840 29454 ;	1920 78527 ;
240 7961 ;	850 29846 ;	1940 79540 ;
250 8294 ;	860 30240 ;	1960 80555 ;
260 8627 ;	870 30635 ;	1980 81573 ;
270 8961 ;	880 31032 ;	2000 82593 ;
280 9296 ;	890 31429 ;	2050 85156 ;
290 9631 ;	900 31828 ;	2100 87735 ;
298 9904 ;	910 32228 ;	2150 90330 ;
300 9966 ;	920 32629 ;	2200 92940 ;
310 10302 ;	930 33032 ;	2250 95562 ;
320 10639 ;	940 33436 ;	2300 98199 ;
330 10976 ;	950 33841 ;	2350 100846 ;
340 11314 ;	960 34247 ;	2400 103508 ;
350 11652 ;	970 34653 ;	2450 106183 ;
360 11992 ;	980 35061 ;	2500 108868 ;
370 12331 ;	990 35472 ;	2550 111565 ;
380 12672 ;	1000 35882 ;	2600 114273 ;
390 13014 ;	1020 36709 ;	2650 116991 ;
400 13356 ;	1040 37542 ;	2700 119717 ;
410 13699 ;	1060 38380 ;	2750 122453 ;
420 14043 ;	1080 39223 ;	2800 125198 ;
430 14388 ;	1100 40071 ;	2850 127952 ;
440 14734 ;	1120 40923 ;	2900 130717 ;
450 15080 ;	1140 41780 ;	2950 133486 ;
460 15428 ;	1160 42642 ;	3000 136264 ;
470 15777 ;	1180 43509 ;	3050 139051 ;
480 16126 ;	1200 44380 ;	3100 141846 ;
490 16477 ;	1220 45256 ;	3150 144648 ;
500 16828 ;	1240 46137 ;	3200 147457 ;
510 17181 ;	1260 47022 ;	3250 150272 ;];
520 17534 ;	1280 47912 ;	%La matrice des enthalpies
530 17889 ;	1300 48807 ;	de O2
540 18245 ;	1320 49707 ;	%La première colonne
550 18601 ;	1340 50612 ;	représente les températures
560 18959 ;	1360 51521 ;	%La deuxième colonne est
570 19318 ;	1380 52434 ;	celle des enthalpies de O2
580 19678 ;	1400 53351 ;	
590 20039 ;	1420 54273 ;	MO2=[
600 20402 ;	1440 55198 ;	0 0 ;
610 20765 ;	1460 56128 ;	220 6404 ;
620 21130 ;	1480 57062 ;	230 6694 ;
630 21495 ;	1500 57999 ;	240 6984 ;
640 21862 ;	1520 58942 ;	250 7275 ;
650 22230 ;	1540 59888 ;	260 7566 ;
660 22600 ;	1560 60838 ;	270 7858 ;
670 22970 ;	1580 61792 ;	280 8150 ;
680 23342 ;	1600 62748 ;	290 8443 ;
690 23714 ;	1620 63709 ;	298 8682 ;
700 24088 ;	1640 64675 ;	300 8736 ;
710 24464 ;	1660 65643 ;	310 9030 ;
720 24840 ;	1680 66614 ;	320 9325 ;
730 25218 ;	1700 67589 ;	330 9620 ;
740 25597 ;	1720 68567 ;	340 9916 ;
750 25977 ;	1740 69550 ;	350 10213 ;
760 26358 ;	1760 70535 ;	360 10511 ;
770 26741 ;	1780 71523 ;	370 10809 ;
780 27125 ;	1800 72513 ;	380 11109 ;
790 27510 ;	1820 73507 ;	390 11409 ;
800 27896 ;	1840 74506 ;	400 11711 ;
810 28284 ;	1860 75506 ;	410 12012 ;
820 28672 ;	1880 76511 ;	420 12314 ;
830 29062 ;	1900 77517 ;	430 12618 ;

440	12923	;	1120	35606	;	2900	102793	;
450	13228	;	1140	36314	;	2950	104785	;
460	13525	;	1160	37023	;	3000	106780	;
470	13842	;	1180	37734	;	3050	108778	;
480	14151	;	1200	38447	;	3100	110784	;
490	14460	;	1220	39162	;	3150	112795	;
500	14770	;	1240	39877	;	3200	114809	;
510	15082	;	1260	40594	;	3250	116827	];
520	15395	;	1280	41312	;	%La matrice des enthalpies		
530	15708	;	1300	42033	;	de CO		
540	16022	;	1320	42753	;	%La première colonne		
550	16338	;	1340	43475	;	représente les températures		
560	16654	;	1360	44198	;	%La deuxième colonne est		
570	16971	;	1380	44923	;	celle des enthalpies de CO		
580	17290	;	1400	45648	;	MCO= [		
590	17609	;	1420	46374	;	0 0 ;		
600	17929	;	1440	47102	;	220	6391	;
610	18250	;	1460	47831	;	230	6683	;
620	18572	;	1480	48561	;	240	6975	;
630	18895	;	1500	49292	;	250	7266	;
640	19219	;	1520	50024	;	260	7558	;
650	19544	;	1540	50756	;	270	7849	;
660	19870	;	1560	51490	;	280	8140	;
670	20197	;	1580	52224	;	290	8432	;
680	20524	;	1600	52961	;	298	8669	;
690	20854	;	1620	53696	;	300	8723	;
700	21184	;	1640	54434	;	310	9014	;
710	21514	;	1660	55172	;	320	9306	;
720	21845	;	1680	55912	;	330	9597	;
730	22177	;	1700	56652	;	340	9889	;
740	22510	;	1720	57394	;	350	10181	;
750	22844	;	1740	58136	;	360	10473	;
760	23178	;	1760	58880	;	370	10765	;
770	23513	;	1780	59624	;	380	11058	;
780	23850	;	1800	60371	;	390	11351	;
790	24186	;	1820	61118	;	400	11644	;
800	24523	;	1840	61866	;	410	11938	;
810	24861	;	1860	62616	;	420	12232	;
820	25199	;	1880	63365	;	430	12526	;
830	25537	;	1900	64116	;	440	12821	;
840	25877	;	1920	64868	;	450	13116	;
850	26218	;	1940	65620	;	460	13412	;
860	26559	;	1960	66374	;	470	13708	;
870	26899	;	1980	67127	;	480	14005	;
880	27242	;	2000	67881	;	490	14302	;
890	27584	;	2050	69772	;	500	14600	;
900	27928	;	2100	71668	;	510	14898	;
910	28272	;	2150	73573	;	520	15197	;
920	28616	;	2200	75484	;	530	15497	;
930	28960	;	2250	77397	;	540	15797	;
940	29306	;	2300	79316	;	550	16097	;
950	29652	;	2350	81243	;	560	16399	;
960	29999	;	2400	83174	;	570	16701	;
970	30345	;	2450	85112	;	580	17003	;
980	30692	;	2500	87057	;	590	17307	;
990	31041	;	2550	89004	;	600	17611	;
1000	31389	;	2600	90956	;	610	17915	;
1020	32088	;	2650	92916	;	620	18221	;
1040	32789	;	2700	94881	;	630	18527	;
1060	33490	;	2750	96852	;	640	18833	;
1080	34194	;	2800	98826	;	650	19141	;
1100	34899	;	2850	100808	;			

```

660 19449 ;
670 19758 ;
680 20068 ;
690 20378 ;
700 20690 ;
710 21002 ;
720 21315 ;
730 21628 ;
740 21943 ;
750 22258 ;
760 22573 ;
770 22890 ;
780 23208 ;
790 23526 ;
800 23844 ;
810 24164 ;
820 24483 ;
830 24803 ;
840 25124 ;
850 25446 ;
860 25768 ;
870 26091 ;
880 26415 ;
890 26740 ;
900 27066 ;
910 27392 ;
920 27719 ;
930 28046 ;
940 28375 ;
950 28703 ;
960 29033 ;
970 29362 ;
980 29693 ;
990 30024 ;
1000 30355 ;
1020 31020 ;
1040 31688 ;
1060 32357 ;
1080 33029 ;
1100 33702 ;
1120 34377 ;
1140 35054 ;
1160 35733 ;
1180 36406 ;
1200 37095 ;
1220 37780 ;
1240 38466 ;
1260 39154 ;
1280 39844 ;
1300 40534 ;
1320 41226 ;
1340 41919 ;
1360 42613 ;
1380 43309 ;
1400 44007 ;
1420 44707 ;
1440 45408 ;
1460 46110 ;
1480 46813 ;
1500 47517 ;
1520 48222 ;
1540 48928 ;

1560 49635 ;
1580 50344 ;
1600 51053 ;
1620 51763 ;
1640 52472 ;
1660 53184 ;
1680 53895 ;
1700 54609 ;
1720 55323 ;
1740 56039 ;
1760 56756 ;
1780 57473 ;
1800 58191 ;
1820 58910 ;
1840 59629 ;
1860 60351 ;
1880 61072 ;
1900 61794 ;
1920 62516 ;
1940 63238 ;
1960 63961 ;
1980 64684 ;
2000 65408 ;
2050 67224 ;
2100 69044 ;
2150 70864 ;
2200 72688 ;
2250 74516 ;
2300 76345 ;
2350 78178 ;
2400 80015 ;
2450 81852 ;
2500 83692 ;
2550 85537 ;
2600 87383 ;
2650 89230 ;
2700 91077 ;
2750 92930 ;
2800 94784 ;
2850 96639 ;
2900 98495 ;
2950 100352 ;
3000 102210 ;
3050 104073 ;
3100 105939 ;
3150 107802 ;
3200 109667 ;
3250 111534 ];

[n,p]=size(MCO2);
[m,q]=size(MN2);
[r,t]=size(MO2);
[z,w]=size(MH2O);
[a,b]=size(MCO);

t1=298
for i=1:n
    if MCO2(i,1)>=t1
        hCO2=MCO2(i-1,2) -
(MCO2(i-1,1)-t1) * (MCO2(i-
1,2)-MCO2(i,2)) / (MCO2(i-
1,1)-MCO2(i,1));
        break
    end
end

for k=1:r
    if MO2(k,1)>=t1
        hO2=MO2(k-1,2) -
(MO2(k-1,1)-t1) * (MO2(k-
1,2)-MO2(k,2)) / (MO2(k-1,1) -
MO2(k,1));
        break
    end
end

for k=1:z
    if MH2O(k,1)>=t1
        hH2O=MH2O(k-1,2) -
(MH2O(k-1,1)-t1) * (MH2O(k-
1,2)-MH2O(k,2)) / (MH2O(k-
1,1)-MH2O(k,1));
        break
    end
end

for h=1:a
    if MCO(h,1)>=t1
        hCO=MCO(h-1,2) -
(MCO(h-1,1)-t1) * (MCO(h-
1,2)-MCO(h,2)) / (MCO(h-1,1) -
MCO(h,1));
        break
    end
end

%Température de l'air à
l'entrée de la chambre de
combustion

t2=t2+273
for j=1:m
    if MN2(j,1)>=t2
        h2N2=MN2(j-1,2) -
(MN2(j-1,1)-t2) * (MN2(j-
1,2)-MN2(j,2)) / (MN2(j-1,1) -
MN2(j,1));
        break
    end
end

for k=1:r
    if MO2(k,1)>=t2
        h2O2=MO2(k-1,2) -
(MO2(k-1,1)-t2) * (MO2(k-

```

```

1, 2) - MO2(k, 2)) / (MO2(k-1, 1) -
MO2(k, 1));
    break
end
end

%Les enthalpies de
formations

hH2Og=-241820;
hCO2g=-393520;
hCOg=-110530;

if hCxHy==0
    if (y-(2*x+2))==0
        choix=1;
    elseif (y-(2*x))==0
        choix=2;
    else
        choix=3;
    end
    switch choix

    case 1

        if y==4

            hCxHy=-74850;
        else

            hCxHy=(68.29+(2*(-
            76.45))+(x-2)*(-
            20.64))*1000;
        end

    case 2

        if y==4

            hCxHy=52280;
        else
            if y==6

                hCxHy=20410
            else

                hCxHy=(68.29+(2*(-
                76.45))+(2*(37.97))+(x-
                4)*(-20.64))*1000;
            end
        end

    case 3

        if y==2

            hCxHy=226730;
        else
            if y==4

                hCxHy=18665;
            else

                hCxHy=(68.29+(2*(-
                76.45))+(2*(115.51))+(x-
                4)*(-20.64))*1000;
            end
        end

        E=lambda-1;
        if lambda>=1
            Qp=x*(hCO2g-
            hCO2)+(y/2)*(hH2Og-
            hH2O)+(3.76*lambda*(x+(y/4)
            ))*(-
            hN2)+(x+(y/4))*(lambda-
            1)*(-hO2)

            Qr=(hCxHy)+(x+(y/4))*lambda
            a*(h2O2-
            hO2)+(3.76*(x+(y/4))*lambda
            a*(h2N2-hN2))
            disp('La quantité de
            chaleur dégagée par la
            combustion est')
            Q=Qr-Qp
            A=(x+(y/2)+(3.76*lambda*(x
            +(y/4)))+(x+(y/4))*E)
            Q1=(Q)/A
            for j=1:m
                if MN2(j,2)>=Q1
                    T=MN2(j,1);
                    disp(j)
                    m=j;
                    break
                end
            end
            for j=m-1:-1:1
                Qp2=x*(MCO2(j,2))+(y/2)*(MH
                2O(j,2))+(3.76*lambda*(x+(y
                /4)))*(MN2(j,2))+(x+(y/4))*
                E*(MO2(j,2))
                h=0;

                if Qp2<Q
                    Tad=MN2(j,1)+(Q-
                    Qp2)*(MN2(j,1)-
                    MN2(j+1,1))/(Qp2-p);
                end
                p=Qp2;
            end

            o='.doc'
            nom=[nom o]
            fid = fopen(nom,'w');

            fprintf(fid,'\n Substances
            \t Températures(K)
            ');
            fprintf(fid,'\n
            Hydrocarbure \t
            %6.2f ',t1);
            fprintf(fid,'\n Air
            \t %6.2f ',t2);
        end
    end
end

```

```

fprintf(fid, '\n \n \n \t
Le Facteur de l''air =
%.2f          ', lambda);

fprintf(fid, '\n \n \n
l''équation de la réaction
de combustion est          ');

if lambda>1

    fprintf(fid, '\n C%.0fH%.0f
+ %.2f(O2+3.76 N2)--->
%.0fCO2 + %.2fH2O + %.2fO2
+
%.2fN2', x, y, (x+(y/4))*lambda
a, x, y/2, (x+(y/4))*(lambda-
1), 3.76*(x+(y/4))*lambda)

elseif lambda==1

    fprintf(fid, '\n C%.0fH%.0f
+ %.2f(O2+3.76 N2)--->
%.0fCO2 + %.2fH2O +
%.2fN2', x, y, (x+(y/4))*lambda
a, x, y/2, 3.76*(x+(y/4))*lambda)
else

    fprintf(fid, '\n C%.0fH%.0f
+ %.2f(O2+3.76 N2)--->
%.0fCO2+ %.2fH2O + %.2fCO +
%.2fN2', x, y, (x+(y/4))*lambda
a, (2*lambda*(x+(y/4))-
(x+(y/2))), y/2, 2*(1-
lambda)*(x+(y/4)), 3.76*lambda
da*(x+(y/4)));

end

fprintf(fid, '\n \n \n
Tableau récapitulatif des
enthalpies          ');

    fprintf(fid, '\n Substances
\t      h(j/mol)          \t
h298(j/mol)          '
);

    fprintf(fid, '\n C%.0fH%.0f
\t          %.2f
\t          -----
', x, y, hCxHy);
    fprintf(fid, '\n H2O
\t          %.2f          \t
%.2f
', hH2Og, hH2O);

    fprintf(fid, '\n CO2
\t          %.2f          \t
%.2f
', hCO2g, hCO2);
    fprintf(fid, '\n O2
\t          -----
\t          %.2f
', hO2);
    fprintf(fid, '\n N2
\t          -----
\t          %.2f
', hN2);

    fprintf(fid, '\n \n \n On
a alors:          ');

    fprintf(fid, '\n \t la
température adiabatique
Tad= %.2f      K= %.2f
°C', Tad, Tad-273);

fclose('all');

end

```

---

## Programme 5

---

### Programme de l'interface graphique du calcul de la température de flamme adiabatique

---

```
function varargout =
temperature_adiabatique
(varargin)
%
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
MATLAB code for
temperature_adiabatique
.fig
%
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
, by itself, creates a
new
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H =
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
returns the handle to a
new
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
or the handle to
%     the existing
singleton*.
%
%
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%     function named
CALLBACK in
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
.M with the given input
arguments.
%

[varargout{1:nargout}]
=
gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else

gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
end

%
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
('Property','Value',...
) creates a new
TEMPERATURE_ADIABATIQUE
or raises the
%     existing
singleton*. Starting
from the left, property
value pairs are
%     applied to the
GUI before
temperature_adiabatique
_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized
property name or
invalid value makes
property application
%     stop. All
inputs are passed to
temperature_adiabatique
_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options
on GUIDE's Tools menu.
Choose "GUI allows only
one
%     instance to run
(singleton)".
%
% See also: GUIDE,
GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text
to modify the response

% End initialization
code - DO NOT EDIT

% --- Executes just
before
temperature_adiabatique
is made visible.
function
temperature_adiabatique
_OpeningFcn(hObject,

to help
temperature_adiabatique

% Last Modified by
GUIDE v2.5 12-May-2019
11:59:41

% Begin initialization
code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State =
struct('gui_Name',
mfilename, ...

'gui_Singleton',
gui_Singleton, ...

'gui_OpeningFcn',
@temperature_adiabatiqu
e_OpeningFcn, ...

'gui_OutputFcn',
@temperature_adiabatiqu
e_OutputFcn, ...

'gui_LayoutFcn', [] ,
...

'gui_Callback', []);
if nargin &&
ischar(varargin{1})

gui_State.gui_Callback
=
str2func(varargin{1});
end

if nargout
eventdata, handles,
varargin)
% This function has no
output args, see
OutputFcn.
% hObject     handle to
figure
% eventdata   reserved -
to be defined in a
future version of
MATLAB
```

```

% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)
% varargin command
line arguments to
temperature_adiabatique
(see VARARGIN)

% Choose default
command line output for
temperature_adiabatique
handles.output =
hObject;

% Update handles
structure
guidata(hObject,
handles);

% --- Executes on button
press in Calcul.
function
Calcul_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to
Calcul (see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)
[h,p]=sam(handles.metricd
ata.Cx,handles.metricdata
.Hy,handles.metricdata.Ta
,handles.metricdata.Hfor,
handles.metricdata.lambda
,handles.metricdata.Fich)
;
y=h-273;

set(handles.Tk, 'String',
h);
set(handles.Tc, 'String',
y);
set(handles.Hfor,
'String', p);
guidata(hObject,handles)

function
Tk_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Tk
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% UIWAIT makes
temperature_adiabatique
wait for user response
(see UIRESUME)
%
uiwait(handles.figure1)
;

% --- Outputs from this
function are returned
to the command line.
function varargout =
temperature_adiabatique
_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout cell array
for returning output
args (see VARARGOUT);
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Tk as
text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Tk as a double

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.
function
Tk_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Tk
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBa
ckgroundColor'))
% hObject handle to
figure
% eventdata reserved -
to be defined in a
future version of
MATLAB
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Get default command
line output from
handles structure
varargout{1} =
handles.output;

```

```

set(hObject,'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

function
Tc_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Tc
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

```

```

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Tc as
text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Tc as a double

```

```

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.

```

```

function
Tc_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to Tc
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUiControlBa
ckgroundColor'))

```

```

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');
end

```

```

function
Fich_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to
Fich (see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

```

```

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Fich
as text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Fich as a double
hy=
get(hObject,'String');

```

```

% Save the new volume
value
handles.metricdata.Fich =
hy;

```

```

guidata(hObject,handles)

```

```

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.

```

```

function
Fich_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to
Fich (see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUiControlBa
ckgroundColor'))

```

```

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');

```

```

end

function
Ta_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to Ta
(see GCBO)
% eventdata  reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Ta as
text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Ta as a double
hy=
str2double(get(hObject,'S
tring'));

% Save the new volume
value
handles.metricdata.Ta =
hy;

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.
function
Ta_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to Ta
(see GCBO)
% eventdata  reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
%         See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBa
ckgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');
end

function
lambda_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to
lambda (see GCBO)
% eventdata  reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of
lambda as text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of lambda as a double
hy=
str2double(get(hObject,'S
tring'));

% Save the new volume
value
handles.metricdata.lambda
= hy;

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.
function
lambda_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to
lambda (see GCBO)
% eventdata  reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
%         See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBa
ckgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');
end

function
Hfor_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to
Hfor (see GCBO)
% eventdata  reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Hfor
as text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Hfor as a double
hy=
str2double(get(hObject,'S
tring'));

% Save the new volume
value
handles.metricdata.Hfor =
hy;

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.
function
Hfor_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to
Hfor (see GCBO)
% eventdata  reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles    empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBa
ckgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');
end

```

```

function
Cx_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject handle to Cx
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Cx as
text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Cx as a double
cx =
str2double(get(hObject,'S
tring'))
% Save the new density
value
handles.metricdata.Cx =
cx;
guidata(hObject,handles)

```

```

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.
function
Cx_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject handle to Cx
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBa
ckgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');
end

```

```

function
Hy_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject handle to Hy
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure
with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints:
get(hObject,'String')
returns contents of Hy as
text
%
str2double(get(hObject,'S
tring')) returns contents
of Hy as a double
hy=
str2double(get(hObject,'S
tring'));

% Save the new volume
value
handles.metricdata.Hy =
hy;

```

```

guidata(hObject,handles)

% --- Executes during
object creation, after
setting all properties.
function
Hy_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject handle to Hy
(see GCBO)
% eventdata reserved -
to be defined in a future
version of MATLAB

```

```

% handles empty -
handles not created until
after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls
usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and
COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'Back
groundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBa
ckgroundColor'))

```

```

set(hObject,'BackgroundCo
lor','white');
end

```