

9/89

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

1EX

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **GENIE CHIMIQUE**

# PROJET DE FIN D'ETUDES

**S U J E T**

**CONTRIBUTION A LA DETERMINATION  
DES PROPRIETES PHYSIQUES DES  
CORPS PURS ET DES FRACTIONS  
LOURDES DU PETROLE PAR  
DES METHODES NUMERIQUES**

Proposé par :

Mme ABASTURKI

Etudié par :

HADJ AHMED Med

Dirigé par :

Mme ABASTURKI

وزارة التعليم العالي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **GENIE CHIMIQUE**

# PROJET DE FIN D'ETUDES

### S U J E T

**CONTRIBUTION A LA DETERMINATION  
DES PROPRIETES PHYSIQUES DES  
CORPS PURS ET DES FRACTIONS  
LOURDES DU PETROLE PAR  
DES METHODES NUMERIQUES**

Proposé par :

Mme ABASTURKI

Etudié par :

HADJ AHMED Med

Dirigé par :

Mme ABASTURKI



وزارة التعليم العالي  
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المقرع : الهندسة الكيميائية  
الموجهة : السيدة : عباس تركي  
التأيد المهندس : محمد حاج أحمد

Ministère de l'enseignement Supérieur  
Ecole Nationale Polytechnique  
Département : Génie Chimique  
Promotrice : Mme ABAS TURKI  
Elevé Ingénieur : M<sup>me</sup> HADJ-AHMED

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : إسهام في تحديد الخواص الفيزيائية للأجسام النقية والأجزاء البترولية الثقيلة بواسطة طرق الأعداد.  
الملخص : تضمن عملنا عرض معادلات تسمح بتعيين مختلف الخواص عن معرفة واحدة منها. بعد ذلك حاولنا حساب ثمانية خواص بمعرفة خاصيتين (الكتلة المولية ودرجة الغليان) التي يسهل الحصول عليها بالطرق التجريبية. أخيرا نقترح معادلات عشوائية تخطينا تركيب بعض الأجزاء البترولية.

Subject: Contribution to the determination of the physical properties of pure bodies and heavy petroleum fractions by numerical methods.

Summary: In this work, we are proposing equations that permit to find numerically physical and chemical properties by knowing only one of them. Furthermore we attempted to calculate eight properties starting from the knowledge of only two that are easily accessible through experiment (molecular weight and boiling point). Finally we are proposing correlation permitting to situate the composition of some petroleum fractions.

Sujet: Contribution à la détermination de propriétés physiques des corps purs et des fractions lourdes du pétrole par des méthodes numériques.

Résumé: Dans ce travail nous proposons des équations permettant de retrouver numériquement les grandeurs physico-chimiques en connaissant seulement une des propriétés. Nous avons ensuite tenté de calculer huit différentes propriétés à partir de la connaissance de deux propriétés facilement accessibles expérimentalement (masse molaire et température d'ébullition). Enfin, nous proposons des corrélations permettant de situer la composition de quelques fractions pétrolières.



REMERCIEMENTS

\*\*\*\*\*

Je tiens a exprimer mes vives remerciements a Madame  
ABAS TURKI , qui m'a dirige et suivi tout le long de ce travail.

J'adresse aussi mes sincerés remerciements a Monsieur , le  
professeur S.E.CHITOUR pour l'amabilite avec laquelle ,il a bien  
voulu assurer la présidence du jury , ainsi qu'a Madame MEFTI et  
Madame KITOUS , d'avoir accepter de juger ce travail.

Que tous ceux et celles , qui ont contribue a ma  
formation , ainsi que ceux qui m'ont aide de pres ou de  
loin ,trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.



SOMMAIRE  
#####

Introduction.....	1
PARTIE THEORIQUE	
I-Analyse du petrole brut.....	2
II-Determination des compositions des fractions lourdes du petrole.....	4
III-Proprietes physico-chimiques des fractions lourdes du petrole.....	9
PARTIE EXPERIMENTALE	
I-Distillation sous vide d'un residu atmospherique.....	15
II-Analyse des fractions issues de la distillation sous vide.....	15
PARTIE CALCUL	
I-Determination des proprietes physiques.....	20
II-Contribution a l'approche de la connaissance de la composition des fractions lourdes du petrole .....	34
Conclusion.....	40
Annexe	
Bibliographie	

NOTATIONS ET ABBREVIATIONS

#####

A: Aromatique  
ASTM: American Society For Testing Materials  
Atm: Atmosphere  
c: Carbone  
C: Degre Celcius  
Cal: Calorie  
Cp: Chaleur Specificque  
CPG: Chromatographie en phase gazeuse  
cSt: Centistokes  
d: Densite  
g: Gramme  
IR: Infrarouge  
k: Degre Kelvin  
ml: Millilitre  
MM: Masse molaire  
N: Naphtene  
n: Indice de refraction  
NDM: Indice de refraction-Densite-Masse molaire  
NDPA: Indice de refraction-Densite-Point d'aniline  
P: Paraffine  
PA: Point d'aniline  
Pc, Ppc: Pression critique, Pression pseudo critique  
Tc, Tpc: Temperature critique, Temperature pseudo critique  
RMN: Resonance magnetique nucleaire  
SpGr: Specific Gravity  
TBP: True Boiling Point  
Teb: Temperature d'ebullition  
Tmav: Temperature moyenne d'ebullition  
TS: Tension Superficielle  
VA: Viscosite absolue  
      : Viscosite Cinematique  
Xp, Xn, Xa: Fractions molaires des paraffines, naphtenes et aromatiques



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

#####

- 1 -

Ce travail fait suite aux précédentes études concernant l'analyse de fractions pétrolières. Le but de notre étude est la contribution à la connaissance des propriétés physiques des fractions lourdes du pétrole et de leurs compositions.

Après un rappel théorique, nous entamons la partie expérimentale dont l'objectif est d'analyser un certain nombre de fractions lourdes issues d'une distillation sous vide et en effectuant plusieurs essais normalisés d'une part et d'autre part, de déterminer la composition de ces fractions en utilisant la technique de la chromatographie en phase gazeuse.

Puis nous déterminons à l'aide d'un calculateur ( H.P. 150 ) différentes équations pour dix propriétés choisies, et ceci pour six hydrocarbures de chaque famille ( paraffine, naphtène, aromatique ).

Nous devons ensuite vérifier ces équations pour les corps purs, des mélanges de corps purs connus qualitativement et quantitativement, et des fractions lourdes du pétrole.

Enfin, vu l'importance de la connaissance de la composition des fractions lourdes, du pétrole, nous proposons des corrélations empiriques permettant d'approcher la composition des fractions lourdes du pétrole .



PARTIE THEORIQUE  
#####



## I - ANALYSE DU PETROLE BRUT

Lors de l'étude d'un brut, on procède à une série d'analyses qui ont pour but d'évaluer la composition du produit et de fixer les rendements en certaines fractions.

On procède tout d'abord aux essais classiques de mesure de la densité, de la viscosité à diverses températures, du point de congélation et des teneurs en eau, soufre et sédiments. Ensuite, par distillation fractionnée, on sépare les divers hydrocarbures constituant le pétrole brut, en fonction de leur température d'ébullition.

### I. 1. DISTILLATION T.B.P.

Une telle distillation est conduite dans une colonne à garnissage. Au sommet de cette colonne passe tout d'abord la totalité du constituant le plus volatil et ensuite tous les constituants purs, par ordre de volatilité.

Dans ces conditions, tant que passera le constituant le plus volatil, sa température de passage demeure constante et égale à sa température d'ébullition, puis brusquement apparaît le constituant suivant, la température de passage montera jusqu'à sa température d'ébullition qui d'ailleurs demeure constante jusqu'à son épuisement et ainsi de suite, cette rectification dite T.B.P. ( true boiling point ) présente une haute sélectivité en produits désirés.

Le fractionnement du brut est d'abord réalisé sous pression atmosphérique, ceci conduit industriellement à l'obtention de gaz, d'essences légères, d'essences lourdes, de gas-oil et un résidu atmosphérique avec lequel la distillation est réalisée ensuite sous vide, en vue de procéder au fractionnement de produits contenant des hydrocarbures lourds dont les températures d'ébullition normales seraient supérieures au seuil de craquage. La distillation sous vide est utilisée surtout pour les produits nobles pour lesquels il faut éviter toutes traces d'altération par décomposition thermique.

### I. 2. DISTILLATION A.S.T.M

La distillation A.S.T.M. ( American Society for Testing Materials ) est beaucoup moins sélective que la distillation T.B.P. qui est quasi parfaite.

L'appareillage comporte un ballon de distillation pouvant contenir 100 à 200 cm<sup>3</sup> de produit que l'on chauffe et distille à une vitesse déterminée. Les vapeurs formées sont condensées dans un tube en cuivre baignant dans un mélange d'eau et de glace, puis recueillies dans une éprouvette graduée.

On note la température d'apparition de la première goutte de condensat à la sortie du tube; c'est le point initial de la distillation. Ensuite la température est relevée régulièrement lorsque 5, 10, 20, ..... 90 et 95 % du produit sont distillés et recueillis



.../...

dans l'éprouvette. Enfin de distillation, il suffit de suivre la température qui passe par un maximum, puis décroît par suite de l'altération thermique des dernières traces liquides dans le ballon.

Le maximum de température est le point final de distillation, correspondant à une recette de distillat.

### I. 3. DISTILLATION SIMULEE PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

La distillation simulée est une technique analytique précise et fiable qui permet d'établir une courbe de distillation % poids en fonction de la température pour tous les produits pétroliers, pétroles bruts ou distillats, charges et recettes d'unité de conversion de résidus pétroliers.

Cette technique remplace avantageusement les méthodes de distillation traditionnelles pour un contrôle rapide de la qualité des produits.



## II - DETERMINATION DES COMPOSITIONS DES FRACTIONS LOURDES DU PETROLE

### II.1 INTRODUCTION

Le pétrole brut et les fractions pétrolières qui en sont issues sont essentiellement composés de molécules résultant de la combinaison d'atomes de carbone tétravalents et d'atomes d'hydrogène monovalents et appelés hydrocarbures.

Toutefois, dans le pétrole brut n'existent que certains types de structures moléculaires, d'autres, telles que les formes oléfiniques instables, si elles ont pu se former à l'origine du pétrole brut, se sont lentement et totalement transformées en molécules stables au cours des siècles dans les gisements.

En outre, le pétrole brut contient également du soufre, de l'oxygène et de l'azote essentiellement sous forme de composés tels que : hydrogène sulfuré, mercaptans ( $R-SH$ ), disulfures et polysulfures ( $R-S-S-R$ )<sub>n</sub>, acides naphthéniques, etc. Ils sont particulièrement concentrés dans les fractions lourdes du pétrole brut qui renferment souvent à l'état de traces des composés organo-métalliques à base de fer, nickel, vanadium, etc.

Mis à part ces composés hétéroatomiques que peut renfermer le pétrole, les différents types d'hydrocarbures coexistants sont :

- a) N. paraffines : ce sont les molécules à chaîne droite unique.
- b) Isoparaffines et paraffines ramifiées : les isoparaffines sont les molécules qui ont un groupe méthyle ( $CH_3$ ) sur le deuxième atome de carbone. Les chaînes ramifiées ont un ou plusieurs groupes alkyles.
- c) Cycloparaffines : ce sont les hydrocarbures cycliques saturés dont plusieurs portent des groupements méthyles.
- d) Aromatiques : ce sont des molécules qui renferment dans leur structure au moins un noyau benzénique.
- e) Hydrocarbures mixtes : des cycles peuvent se substituer sur les chaînes paraffiniques ou inversement. Les propriétés de la molécule mixte seront fonction de l'importance relative des noyaux et des chaînes dans la structure.



## II.2 ANALYSE DES FRACTIONS PETROLIERES

L'industrie pétrolière connaît depuis assez longtemps un certain nombre de méthodes d'analyse qui permettent de déterminer, avec une assez bonne précision, la teneur en telles ou telles classes d'hydrocarbures.

### II.2.1. ANALYSE PAR CHROMATOGRAPHIE

La chromatographie est une méthode physico-chimique de séparation basée sur la répartition des composants entre deux phases : fixe et mobile, cette dernière traversant en continu la phase stationnaire.

Suivant la nature des phénomènes qui déterminent la séparation, on distingue plusieurs formes de chromatographie, parmi elles, la chromatographie d'absorption qui utilise les absorbabilités différentes des corps à séparer à la surface solide de l'absorbant.

La chromatographie en phase gazeuse est une méthode de séparation des composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. Elle permet ainsi l'analyse de mélanges éventuellement très complexes dont les constituants peuvent différer d'une façon considérable par leur nature et leur volatilité.

La chromatographie en phase gazeuse appartient à un ensemble de techniques d'analyse dont la chromatographie en phase liquide à haute performance et la chromatographie en couche mince sont d'autres exemples importants.

### II.2.2. ANALYSE PAR SPECTROMETRIE DE MASSE

La spectrométrie de masse a été appliquée la première fois (1940) à l'analyse des fractions pétrolières à bas points d'ébullition, mais il était difficile de l'utiliser pour identifier les composants de mélanges d'une masse moléculaire plus élevée du fait de l'analogie que présentent les spectres de masse de certains hydrocarbures et spécialement ceux des isomères.

Le principe de la spectrométrie de masse consiste en ionisation dissociative des molécules organiques par choc électronique, accompagnée de formation d'une série de fragments enregistrables qui caractérisent les molécules initiales.

Les possibilités d'application de cette méthode se sont considérablement élargies lorsque l'idée de la combiner à la chromatographie (couplage de la spectrométrie de masse à la chromatographie en phase gazeuse : Appareil de type CHROMASS) apparut.



### II.2.3. ANALYSE PAR SPECTROSCOPIE ULTRAVIOLETTE ET INFRA ROUGE

L'absorption d'énergie dans l'ultraviolet (U.V.) est due aux variations de l'état énergétique des électrons périphériques.

Etant donné que les bandes d'absorption des alcanes sont situées dans l'U.V. lointain (au dessous de 200 nm), seules les structures polyéniques et aromatiques absorbent dans l'U.V. moyen (200 - 400 nm).

La bonne sensibilité de la spectroscopie U.V permet de détecter les traces d'arènes dans les produits non aromatiques.

A la différence de l'U.V. moyen, tous les composés organiques absorbent dans l'IR. Cette zone de spectre électromagnétique est liée aux vibrations atomiques dans les molécules.

Les spectres I.R nous aident à déterminer le type des pétroles.

C'est l'aire (S1) de la bande  $1610\text{ cm}^{-1}$ , traduisant les vibrations des liaisons C = C du noyau aromatique, qui sert de mesure pour la teneur en arènes.

La teneur en alcanes est exprimée par l'aire (S2) de la bande  $720\text{ cm}^{-1}$  caractéristique des vibrations des liaisons C - C dans les chaînes longues. Le rapport  $A = S1 / S2$  sert d'indice d'aromaticité des pétroles.

### II.2.4. ANALYSE PAR RESSONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE (RMN)

L'absorption de l'énergie de radiation de radiofréquences, utilisée dans la R.M.N., est liée aux propriétés magnétiques des noyaux.

C'est la résonance magnétique protonique (R.M.P) qu'on utilise le plus souvent pour l'étude des composés organiques, y compris les pétroles.

La R.M.N. présente un intérêt particulier du point de vue de l'étude des fractions pétrolières à points d'ébullition élevés.

## II.3 CORRELATIONS CONNUES SUR LA COMPOSITION DES FRACTIONS PETROLIERES

### II.3.1. METHODE n.d.M ( Référence 1 )

Mise au point en 1954 par Van Hess et Van Wester, cette méthode permet de déterminer la distribution du carbone et les taux des cycles dans les fractions pétrolières; elle nécessite la connaissance de l'indice de réfraction (n), la densité (d), le poids moléculaire (M) et éventuellement le pourcentage de soufre (% S) si celui-ci est supérieur à 0,03.



Cette méthode est appliquée pour les fractions ayant un poids moléculaire supérieur à 200 g et un pourcentage en aromatique (CA) inférieur à 1,5 fois le pourcentage en naphènes (CN) et le pourcentage en paraffines (Cp) doit-être supérieur à 25 %.

La méthode n.d.M. donne une précision de l'ordre de  $\pm 1,5$  %.

Les formules utilisées sont données dans le tableau suivant à deux températures 20°C et 70°C, pour des températures intermédiaires, il faut interpoler les coefficients.

METHODE N-D-M

n et d mesures a 20 C		n et m mesures a 70 C	
V=2.51(n-1.4750) (d-.8510)		V=2.42(n-1.4600)-(d-.8280)	
W=(d-.8510)-1.11(n-1.4750)		W=(d-.8280)-1.11(n-1.4600)	
V>0   %CA=430V+3660/M		V>0   %CA=410V+3660/M	
RA=.44+.055MV		RA=.41+.055MV	
V<0   %CA=670V+3660/M		V<0   %CA=720V+3660/M	
RA=.44+.080MV		RA=.41+.080MV	
W>0   %CR=820W-3S+10000/M		W>0   %CR=775W-3S+11500/M	
RT=1.33+.146M(W-.005S)		RT=1.55+.146(W-.005S)	
W<0   %CR=1440W-3S+10600/M		W<0   %CR=1440W-3S+12100/M	
RT=1.33+.180M(W-.005S)		RT=1.55+.180M(W-.005S)	
%CN=%CR-%CA		%CP=100-%CR	RN=RT-RA
RA: nombre de cycles aromatiques			
RN: nombre de cycles naphtheniques			
RT: nombre de cycles total			



### II.3.2. METHODE n.d. PA ( REFERENCE 1 )

Cette méthode nécessite la connaissance de l'indice de réfraction ( $n_D^{20}$ ), la densité ( $d_4^{20}$ ) et le point d'aniline (PA).

Le pourcentage en carbones des trois familles aromatiques, naphénique et paraffinique est donné par :

$$\% C_A = 1039,4 n_D^{20} - 470,4 d_4^{20} - 0,315 PA - 1094,3$$

$$\% C_N = 1573,3 n_D^{20} + 840,15 d_4^{20} - 0,4619 PA + 1662,2$$

$$\% C_P = 100 - ( \% C_A + \% C_N ).$$



### III - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES FRACTIONS LOURDES DU PETROLE

#### III.1 INTRODUCTION

Les fractions issues du pétrole brut sont des mélanges complexes d'hydrocarbures dont les propriétés physico-chimiques sont dérivées en respectant trois étapes :

- a). Hydrocarbures purs : les principales propriétés physico-chimiques sont connues soit dans les tables soit expérimentalement quand cela est possible .
- b). Mélanges d'hydrocarbures purs : Il est possible de connaître les propriétés des mélanges si on connaît les lois d'additivité puisque la composition est connue qualitativement et quantitativement. Si certaines caractéristiques telles que densité, poids moléculaire, pouvoir calorifique et enthalpie se pondèrent selon une formule mathématique très simple, les autres propriétés des mélanges peuvent-être trouvées en utilisant des corrélations empiriques.
- c). Fractions pétrolières : une fraction pétrolière est un mélange complexe d'hydrocarbures. On consiste à trouver une équivalence entre la fraction complexe et un hydrocarbure pur fictif qui aurait les mêmes caractéristiques physico-chimiques que la fraction.

#### III.2 GRANDEURS ACCESSIBLES EXPERIMENTALEMENT

##### III.2.1. DENSITE

La densité est le rapport du poids d'un certain volume d'échantillon à une température  $t$  au poids du même volume d'eau à une température standard. La densité a pour symbole :

$$d_4^{20} = \frac{\text{poids d'un volume de produit à } 20^{\circ}\text{C}}{\text{poids du même volume d'eau à } 4^{\circ}\text{C}} = \text{masse volumique}$$

Dans les pays anglo-saxons, on la désigne par la specific gravity qui est définie pour deux températures standards identiques, soit 60 F, et a pour symbole : sp-gr. ou sp-gr. 60/60 F.

Les Américains utilisent également pour mesurer la densité, le degré A.P.I. défini par l'Américain Petroleum Institute, comme une fonction hyperbolique de la specific gravity :

$$^{\circ}\text{A.P.I.} = \frac{141.5}{\text{sp-gr. } 60/60 \text{ F}} - 131.5$$



Excepté pour les calculs nécessitant une très grande précision, on pourra toujours confondre la specific gravity et la densité à 15°C

$$d_4^{15} = 0,99904 \text{ sp.gr } 60/60 \text{ F}$$

La densité est fonction de la température selon la loi :

$$d_4^t = d_4^{20} - K (t - 20)$$

Où K est le coefficient de dilatation volumétrique ( ses valeurs sont données dans la littérature ) .

### III.2.2. INDICE DE REFRACTION

Lorsqu'un rayon lumineux monochromatique frappe obliquement une surface solide ou liquide, il se produit une réfraction. Le rayon change de vitesse et de direction, l'indice de réfraction  $n$  est donné par la formule :

$$n = \frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

$i$  : angle d'incidence

$r$  : angle de réfraction

L'indice de réfraction dépend de la température à laquelle on fait la détermination et de la longueur d'onde de la lumière.

D'habitude, la détermination est faite par rapport aux raies de Fraunhofer les plus lumineuses ( c'est le plus souvent la raie jaune du sodium  $D = 589,3 \text{ nm}$  ) à 20°C. Voilà pourquoi l'indice de réfraction est désigné par  $n_D^{20}$ .

L'effet de la température est pris en compte à l'aide de la formule:

$$n_D^{20} = n_D^t - a (20 - t)$$

$$a = 0,0004$$

### III.2.3. VISCOSITE

La viscosité est une grandeur physique qui mesure la résistance interne à l'écoulement d'un fluide, résistance due au frottement des molécules qui glissent l'une contre l'autre. La viscosité dynamique ou absolue s'exprime en poises ou centipoises dans le système CGS; la poise correspond à une force d'une dyne qui déplace une surface plane d'un centimètre carré à la vitesse de 1 cm/s par rapport à une autre surface plane d'un centimètre carré, distante de 1 cm par rapport à la première :

$$\mu = \frac{\text{force} \cdot \text{longueur}}{\text{surface} \cdot \text{vitesse}} = \frac{M}{L T}$$



La viscosité relative à la même définition qu'une densité. C'est le rapport de la viscosité du liquide à celle de l'eau mesurée à 20°C. Or, la viscosité de l'eau à cette température est précisément de un centipoise. La viscosité relative et la viscosité absolue s'expriment donc par le même chiffre.

La viscosité cinématique  $\nu$  est le rapport de la viscosité absolue à la densité mesurée à la même température. Elle s'exprime en stokes et en centistokes :

$$\nu = \frac{\mu}{d}$$

La détermination de la viscosité cinématique est effectuée par mesure du temps  $t$  d'écoulement du produit entre les deux traits-repères d'un tube capillaire calibré. La valeur en centistokes de la viscosité est  $\nu = Ct$ , où  $C$  est la constante de calibrage du tube.

#### III.2.4. POINT DE CONGELATION

Le point de congélation est la température à laquelle la fraction soumise au refroidissement dans une éprouvette demeure immobile, lorsque l'éprouvette est inclinée de 45°.

#### III.2.5. TEMPERATURE D'ÉBULLITION

Contrairement au corps pur, la température d'ébullition d'un mélange n'a pas de sens. Toutefois pour les fractions pétrolières, on définit une température moyenne d'ébullition correspondant à la température du point 50 % de distillation. En comptant les pourcentages distillés en volume, en poids ou en moles, on obtient respectivement les températures volumétriques ( $t_v$ ), pondérales ( $t_p$ ) ou moléculaires ( $t_m$ ). Cependant, aucune de ces températures moyennes ne rend compte de la vraie température d'ébullition; on convient alors de définir la température moyenne pondérée ou température "mean-average" ( $t_{mav}$ ) qui peut-être calculée à partir des températures en y ajoutant un incrément qui dépendra de la pente de la distillation TBP (true boiling point) ou ASTM.

#### III.2.6. POINT D'ANILINE

Le point d'aniline est la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et de produit à examiner sont complètement miscibles. La rupture de miscibilité se manifeste par l'apparition d'un trouble net. Le point d'aniline élevé dénote d'une nature paraffinique par contre, un point d'aniline bas dénote d'une nature aromatique.



### III.2.7. TENSION DE VAPEUR

La tension de vapeur mesure la tendance des molécules à s'échapper d'une phase liquide pour engendrer une phase vapeur en équilibre thermodynamique.

### III.2.8. TENSION SUPERFICIELLE

Pour augmenter la surface d'un liquide d'une quantité il est nécessaire, pour vaincre les forces de cohésion entre les molécules, de fournir une énergie

La grandeur qui caractérise une surface sera le travail à fournir pour augmenter sa surface libre d'une aire unité. Cette grandeur est appelée " Tension superficielle ", on la désigne par (  $T S$  ) ou (  $\gamma$  ) et elle s'exprime en dyn/cm :

$$T S = \left( \frac{\Delta G_s}{\Delta S} \right)_{T,P}$$

### III.2.9. POUVOIR CALORIFIQUE

La quantité de chaleur libérée par la combustion de l'unité de volume ou de poids du combustible est appelée " pouvoir calorifique ".

### III.3. GRANDEURS DETERMINEES PAR CALCUL

#### III.3.1. MASSE MOLECULAIRE

La masse moléculaire est la plus importante caractéristique physico-chimique de toute substance. Dans le cas des produits pétroliers, ce paramètre présente un intérêt particulier car il fournit la valeur "moyenne" de la masse moléculaire des corps constituants telle ou telle fraction pétrolière.

Pour cela, on utilise les abaques et les formules empiriques :

- A partir du diagramme de Kuop (connaissant la densité et la  $t_{\text{nav}}$ )

- A partir de la formule utilisant  $n$  et  $t_{\text{nav}}$

$$\log M = 0,001978 \text{ Teb } (^{\circ}\text{C}) + 1,9394 + \log ( 2,1500 - n_{\text{D}}^{20} )$$

- A partir de la formule de M. ROBERT :

$$M = 1705,45 n_{\text{D}}^{20} + 792,93 d_4^{20} + 4,553 \text{ PA} - 3287$$

- A partir de la formule de HUANG :

$$M = 7,7776 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Teb}^{2,1197} \cdot I^{-2,089} \cdot d_4^{20}$$

Teb est exprimée en degrés Rankine.

#### III.3.2. INDICE DE CORRELATION

Ce paramètre est défini comme suit :

$$I = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \quad \text{Où } n \text{ étant l'indice de réfraction}$$

#### III.3.3. FACTEUR DE CARACTERISATION

NELSON, WATSON et MURPHY de la société U.O.P. ( Universal Oil Products) ont proposé la formule suivante qui définit le facteur de caractérisation Kuop :

$$\text{Kuop} = \frac{\sqrt[3]{\text{Teb } (^{\circ}\text{R})}}{\text{sp-gr } 60/60}$$

Où Teb est la température d'ébullition exprimée en degrés Rankine.

#### III.3.4. REFRACTIVITE INTERCEPT

On définit  $R_i$  par :

$$R_i = n - \frac{d}{2}$$

$n$  : indice de réfraction

$d$  : densité



### III.3.5. INDICE DE CORRELATION

$$C.I = \frac{48640}{T (K)} + 473,7 \text{ SpGr}_{60^{\circ}\text{F}} - 456,8$$

Où T = température d'ébullition en K

C.I = 0 pour les hydrocarbures paraffiniques

C.I = 100 pour les hydrocarbures aromatiques.

### III.3.6. PROPRIETES CRITIQUES

En représentant une fraction pétrolière par un hydrocarbure, ayant des propriétés moyennes de cette fraction, on définit des coordonnées critiques fictives :

- Température pseudo-critique  $T_{pc}$

- Pression pseudo-critique  $P_{pc}$

La détermination de ces coordonnées pseudo-critiques est faite à partir des diagrammes faisant intervenir la  $t_{mav}$ ,  $d$  et  $Kuop$  de la fraction.

### III.3.7. CHALEUR DE VAPORISATION

La chaleur latente de vaporisation est la quantité de chaleur fournie à l'unité de poids d'une substance pour la transformer en vapeur. Elle s'exprime en Cal/g.

Pour une fraction pétrolière, le changement de phase ne s'effectue pas à une température constante, mais plutôt dans un intervalle de température.

### III.3.8. CHALEUR SPECIFIQUE

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de poids pour augmenter sa température d'un degré.

Elle est exprimée en Cal/g. °c .

PARTIE EXPERIMENTALE

#####



## I. Distillation sous vide d'un résidu atmosphérique

Nous avons conduit la distillation sous vide à une pression de 100 mm Hg et ensuite à une pression de 5 mm Hg dans les conditions suivantes :

- Charge : résidu atmosphérique : 805,7 g
- Vide : 100 torr ; 5 torr
- Domaine de température : 193 - 370 °c
- Taux de reflux : 5
- Température du Cryostat supérieur : 0 °c
- Température du Cryostat inférieur : 20 - 25 °c
- Nombre de fractions recueillies : 7

La masse de distillat recueillie est de 743,7 g, celle du résidu sous vide est de 43,8 g, les pertes sont évaluées à 18,2 et correspondant à 2,26 % par rapport à la masse du résidu atmosphérique.

Les résultats de cette distillation sont donnés dans le tableau suivant :

Fraction	Intervalle de température (°c)	Vide (torr)	Masse (g)
1	193 / 225	100	46,9
2	225 / 250	100	118,4
3	250 / 275	100	123,8
4	275 / 300	5	118,9
5	300 / 325	5	130,4
6	325 / 350	5	132,1
7	350 / 370	5	73,2

## II. Analyse des fractions pétrolières issues de la distillation sous vide.

Les analyses sont faites dans des appareils normalisés, d'autres grandeurs sont obtenues par abaques ou à l'aide de corrélations empiriques.



## II. 1 - Méthodes utilisées

PROPRIÉTÉS	METHODES
Densité	Pycnomètre
Indice de réfraction	Réfractomètre
Viscosité cinématique	Viscosimètre
Point d'aniline	Appareil normalisé
Tension superficielle	Tensiomètre
Température d'ébullition ( T <sub>nav</sub> )	Utilisation d'abaque
Masse molaire	Utilisation d'abaque et de corrélations empiriques
Chaleur spécifique	Utilisation d'abaque
Température critique	Utilisation d'abaque
Pression critique	Utilisation d'abaque

## II. 2 - Distillation ASTM des fractions pétrolières

### a) Fraction N° 1

V (ml)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
T (°C)	196,0	199,5	202,5	206,5	209,0	212,5	214,0	217,5	220,0

### b) Fraction N° 2

V (ml)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T (°C)	228,0	230,5	233,0	235,5	237,5	240,5	243,0	245,5	247,0

### c) Fraction N° 3

V (ml)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T (°C)	253,0	255,5	258,5	260,0	262,5	265,5	268,0	270,5	272,5

### d) Fraction N° 4

V (ml)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T (°C)	277,5	280,0	283,0	285,0	287,5	290,5	293,0	295,0	296,5



## e) Fraction N° 5

V (ml)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T (°C)	302,0	305,0	307,5	310,5	312,5	314,0	316,5	319,0	321,0

## f) Fraction N° 6

V (ml)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T (°C)	327,0	330,0	332,0	335,5	337,5	340,0	342,0	344,5	347,0

## g) Fraction N° 7

V (ml)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
T (°C)	352,0	355,5	356,5	358,0	360,0	362,0	363,5	365,0	367,5

## II. 3 - Résultats de l'analyse des fractions

Propriétés \ Fractions	Fractions						
	1	2	3	4	5	6	7
TS (dyn/cm) à 25°C	26,5	27,3	28,5	29,4	30,7	32,3	33,6
d à 25 °C	0,7966	0,8038	0,8195	0,8239	0,8306	0,8424	0,8498
n à 25 °C	1,4490	1,4530	1,4610	1,4640	1,4670	1,4722	1,4778
(cst) à 25 °C	1,834	2,6600	3,340	5,766	6,932	10,993	16,426
T <sub>nav</sub> (°C)	212,0	237,2	261,5	288,5	312,5	336,0	363,3
PA (°C)	65,0	71,8	73,6	77,6	82,8	86,0	88,8
T <sub>pc</sub> (°K)	393,3	420,5	446,4	467,1	488,9	512,5	532,4
F <sub>pc</sub> (atm)	22,1	19,7	18,3	16,5	14,9	13,6	12,5
C <sub>p</sub> (Cal/Deg.mol) à 25 °C	78,94	88,04	95,38	104,44	116,94	127,34	138,02
M KUOP (g)	164,0	184,0	202,0	222,0	250,0	275,0	300,0
M <sub>Log</sub> (g)	159,7	177,9	196,2	220,9	245,3	271,5	304,5
M Huang (g)	165,6	182,9	199,1	219,7	239,2	259,0	280,5
M Robert (g)	117,9	161,2	195,4	222,3	256,4	289,1	317,3



.../...  
II. 4 - Analyse des fractions pétrolières par chromatographie  
en phase gazeuse ( C.P.G. )

Le but de cette analyse chromatographique est de retrouver expérimentalement la composition des fractions lourdes du pétrole.

- Appareillage

Nous avons utilisé un chromatographe du type HEWLETT-PACKARD 5890 A

\* Colonne capillaire HP1<sub>0</sub> (équivalente à CPSIL 5) de diamètre intérieur égal à 0,25 mm ;

\* Détecteur à ionisation de flamme ;

\* Gaz vecteur : Azote

\* Méthode : Programmation de température ;

\* Condition opératoire :

. Température du détecteur = 380 °C

. Température de l'injecteur = 380 °C

. Débit du gaz vecteur = 10 ml/mn

- Résultats de l'analyse

La détermination de la composition des fractions pétrolières se fait par :

- La méthode des indices de Kovats.

Elle permet l'identification d'un hydrocarbure élué entre deux alcanes normaux pris comme référence.

Le principe est le suivant :

- Tout d'abord on injecte les n alcanes.

On mesure leur distance de rétention ( $d'_r$ ), on trace d'une part le logarithme de cette distance en fonction de l'indice de Kovats I et d'autre part cet indice I en fonction de la température d'ébullition de ces n alcanes.

On travaille donc sur deux courbes :

$$\log ( d'_r ) = f ( I )$$

$$I = f ( T_{eb} )$$

.../...



- On injecte ensuite notre fraction pure dans les mêmes conditions que celles des échantillons purs analysés.

- On mesure les distances de rétention réduites de chacun des pics du chromatogramme et en utilisant les deux courbes précédentes, on détermine leurs températures de rétention.

- Ensuite, il suffit de se référer aux données de la littérature pour avoir le nom de nos hydrocarbures.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Composition Fraction	$I_P$	$I_N$	$I_A$
1	18,09	42,71	39,20
2	13,60	15,43	70,97
3	45,31	5,16	49,53
4	59,81	5,58	34,61
5	73,84	5,00	21,16
6	82,38	6,56	11,06
7	68,41	19,88	11,71

PARTIE CALCUL  
#####



## I. DETERMINATION DES PROPRIETES PHYSIQUES

### I.1. Equations obtenues par la méthode du polynome d'interpolation de Newton.

Les équations des propriétés physiques des trois familles d'hydrocarbures, paraffines, naphtènes et aromatiques, ont été déterminées grâce à l'appui d'un calculateur ( H.P.150 ).

Nous avons pris six hydrocarbures de chaque famille de C<sub>11</sub> à C<sub>19</sub>, la plupart des propriétés ont été déterminées à partir des corrélations et des abaques ( voir annexe ).

Nos équations seront valables dans un intervalle de température allant de 195 à 371 °C.

Nous allons donc présenter les différentes équations ( 270 au total ) reliant les dix propriétés entre-elles.

#####  
#####PARAFFINES#####  
#####

$$Pc = -5.331335E-10 * Tc^5 + 1.853341E-06 * Tc^4 - 2.574522E-03 * Tc^3 + 1.786479 * Tc^2 - 619.3407 * Tc + 85856.41$$

$$Pc = -5.913513E-13 * Vc^5 + 2.557594E-09 * Vc^4 - 4.401383E-06 * Vc^3 + 3.783495E-03 * Vc^2 - 1.647357 * Vc + 312.3222$$

$$Pc = 0 * d^5 + 0 * d^4 + 0 * d^3 - 145.8595 * d^2 + 67.95592 * d + 48.38127$$

$$Pc = -5.533742E-10 * MM^5 + 5.865766E-07 * MM^4 - 2.472985E-04 * MM^3 + 5.208455E-02 * MM^2 - 5.568508 * MM + 263.137$$

$$Pc = -3.089855E-10 * Teb^5 + 8.328828E-07 * Teb^4 - 8.962912E-04 * Teb^3 + 4.814112 * Teb^2 - 129.1315 * Teb + 13867.44$$

$$Pc = 0 * n^5 + 0 * n^4 + 0 * n^3 - 850.9846 * n^2 + 2126.702 * n - 1285.936$$

$$Pc = 4.759412E-05 * Cp^5 - 2.167007E-02 * Cp^4 + 3.930115 * Cp^3 - 354.8208 * Cp^2 + 15943.18 * Cp - 285145.8$$

$$Pc = -8.032461E-03 * VA^5 + 1.693071 * VA^4 - 1.41056 * VA^3 + 5.963297 * VA^2 - 13.81669 * VA + 28.65951$$

$$Pc = 0 * TS^5 + 0 * TS^4 + 0 * TS^3 - 3.671936E-02 * TS^2 + 2.2750527 * TS + 34.45907$$

$$Tc = 2.713977E-02 * Pc^5 - 2.099002 * Pc^4 + 64.4422 * Pc^3 - 981.1368 * Pc^2 + 7386.193 * Pc - 21175.6$$

$$Tc = 2.88273E-12 * Vc^5 - 1.266706E-08 * Vc^4 + 2.225335E-05 * Vc^3 - 1.965547E-02 * Vc^2 + 9.036388 * Vc - 1117.32$$

$$Tc = 0 * d^5 + 0 * d^4 + 0 * d^3 + 9548.401 * d^2 - 12051.79 * d + 4332.782$$

$$Tc = 2.697603E-09 * MM^5 - 2.90692E-06 * MM^4 + 1.252333E-03 * MM^3 - 2.2714352 * MM^2 + 30.80056 * MM - 846.4485$$

$$Tc = 7.878676E-10 * Teb^5 - 2.122242E-06 * Teb^4 + 2.286193E-03 * Teb^3 - 1.231092 * Teb^2 + 332.2183 * Teb - 35428.57$$

$$Tc = 0 * n^5 + 0 * n^4 + 0 * n^3 + 40887.1 * n^2 - 111893.6 * n + 77097.96$$



$$T_c = -7.133633E-04 * C_p^5 + 3.247759 * C_p^4 - 58.89747 * C_p^3 + 5317.056 * C_p^2 - 238897.2 * C_p + 4273404$$

$$T_c = 9.723118E-02 * V_A^5 - 2.075934 * V_A^4 + 17.51579 * V_A^3 - 75.24159 * V_A^2 + 182.7726 * V_A + 509.5268$$

$$T_c = 0 * T_S^5 + 0 * T_S^4 + 0 * T_S^3 + 1.394668 * T_S^2 - 47.34656 * T_S + 960.9642$$

$$V_c = 1.496396 * P_c^5 - 11.56997 * P_c^4 + 355.1382 * P_c^3 - 5405.359 * P_c^2 + 40697.89 * P_c - 119885.8$$

$$V_c = -1.305732E-08 * T_c^5 + 4.5434E-05 * T_c^4 - 6.319025E-02 * T_c^3 + 43.91733 * T_c^2 - 15250.88 * T_c + 2117087$$

$$V_c = 0 * d^5 + 0 * d^4 + 0 * d^3 + 9548.401 * d^2 - 12051.79 * d + 4332.782$$

$$V_c = 0 * M_M^5 + 0 * M_M^4 + 0 * M_M^3 + 0 * M_M^2 + 3.928572 * M_M + 32.14282$$

$$V_c = -3.327787E-09 * T_{eb}^5 + 9.024066E-06 * T_{eb}^4 - 9.759418E-03 * T_{eb}^3 + 5.266935 * T_{eb}^2 - 1416.549 * T_{eb} + 152187.3$$

$$V_c = 0 * n^5 = 0 * n^4 + 0 * n^3 + 288147.6 * n^2 - 804769.1 * n + 562453.7$$

$$V_c = -2.40058E-03 * C_p^5 + 1.092892 * C_p^4 - 198.1889 * C_p^3 + 17891.44 * C_p^2 - 803857.1 * C_p + 1.437778E-07$$

$$V_c = 1.1748429 * V_A^5 - 3.899543 * V_A^4 + 34.82805 * V_A^3 - 162.8928 * V_A^2 + 465.8643 * V_A + 304.3267$$

$$V_c = 0 * T_S^5 + 0 * T_S^4 + 0 * T_S^3 + 9.211942 * T_S^2 - 390.6362 * T_S + 4695.604$$

$$d = 2.204436E-05 * P_c^5 - 1.701292E-03 * P_c^4 + 5.214545E-02 * P_c^3 - .7934746 * P_c^2 + 5.987749 * P_c - 17.12242$$

$$d = -5.799852E-12 * T_c^5 + 2.026544E-08 * T_c^4 - 2.829565E-05 * T_c^3 + 1.973325E-02 * T_c^2 - 6.873025 * T_c + 957.0506$$

---

$$d = -4.361386E-15 * Vc^5 + 1.894844E-11 * Vc^4 + -3.24957E-08 * Vc^3 + 2.738336E-05 * Vc^2 + -1.118058E-02 * Vc + 2.482329$$

---

$$d = -4.081288E-12 * MM^5 + 4.346518E-09 * MM^4 + -1.825304E-06 * MM^3 + 3.760542E-04 * MM^2 + -3.739386E-02 * MM + 2.150184$$

---

$$d = -2.625336E-12 * Teb^5 + 7.122284E-09 * Teb^4 + -7.710064E-06 * Teb^3 + 4.162389E-03 * Teb^2 + -1.120143 * Teb + 120.8794$$

---

$$d = 0 * n^5 + 0 * n^4 + 0 * n^3 + 1.949312 * n^2 + -3.594131 * n + 1.918058$$

---

$$d = -3.17694E-07 * Cp^5 + 1.446173E-04 * Cp^4 + -2.622235E-02 * Cp^3 + 2.366926 * Cp^2 + -106.3319 * Cp + 1902.254$$

---

$$d = 5.039644E-05 * VA^5 + -1.101297E-03 * VA^4 + 9.454979E-03 * VA^3 + -4.065028E-02 * VA^2 + 9.416321E-02 * VA + .6729231$$

---

$$d = 0 * TS^5 + 0 * TS^4 + 0 * TS^3 + 1.327201E-04 * TS^2 + 3.858988E-03 * TS + .5633441$$

---

---

$$MM = 3.809011E-02 * Pc^5 + -2.945085 * Pc^4 + 90.39886 * Pc^3 + -1375.91 * Pc^2 + 10359.47 * Pc + -30524.57$$

---

$$MM = -3.323689E-09 * Tc^5 + 1.156504E-05 * Tc^4 + -1.608482E-02 * Tc^3 + 11.17898 * Tc^2 + -3882.049 * Tc + 538887.8$$

---

$$MM = 0 * Vc^5 + 0 * Vc^4 + 0 * Vc^3 + 0 * Vc^2 + .2545455 * Vc + -8.181809$$

---

$$MM = 0 * d^5 + 0 * d^4 + 0 * d^3 + 18207.96 * d^2 + -25352.5 * d + 8952.399$$

---

$$MM = -8.470719E-10 * Teb^5 + 2.297032E-06 * Teb^4 + -2.484212E-03 * Teb^3 + 1.340672 * Teb^2 + -360.5756 * Teb + 38730.35$$

---

$$MM = 0 * n^5 + 0 * n^4 + 0 * n^3 + 73346.68 * n^2 + -204850.4 * n + 143161.9$$

---

$$MM = -6.110567E-04 * Cp^5 + .2781906 * Cp^4 + -50.44807 * Cp^3 + 4554.185 * Cp^2 + -204618.1 * Cp + 3659790$$

---

$$MM = 4.450548E-02 * VA^5 + -.992611 * VA^4 + 8.865322 * VA^3 + -41.46362 * VA^2 + 118.5836 * VA + 69.28316$$

---

$$MM = 0 * TS^5 + 0 * TS^4 + 0 * TS^3 + 2.344858 * TS^2 + -99.43467 * TS + 1187.063$$

---



---

$$\text{Teb} = 3.526827\text{E}-02 * \text{Pc}^5 + -2.733148 * \text{Pc}^4 + 84.13298 * \text{Pc}^3 + -1285.293 * \text{Pc}^2 + 9720.354 * \text{Pc} + -28434.04$$

---

$$\text{Teb} = -1.58094\text{E}-09 * \text{Tc}^5 + 5.499664\text{E}-06 * \text{Tc}^4 + -7.652997\text{E}-03 * \text{Tc}^3 + 5.324788 * \text{Tc}^2 + -1851.251 * \text{Tc} + 257490.9$$

---

$$\text{Teb} = 1.641132\text{E}-12 * \text{Vc}^5 + -7.183328\text{E}-09 * \text{Vc}^4 + 1.254453\text{E}-05 * \text{Vc}^3 + -1.107396\text{E}-02 * \text{Vc}^2 + 5.306073 * \text{Vc} + -652.5642$$

---

$$\text{Teb} = 0 * \text{d}^5 + 0 * \text{d}^4 + 0 * \text{d}^3 + 13518.71 * \text{d}^2 + -17661.07 * \text{d} + 6144.639$$

---

$$\text{Teb} = 1.535737\text{E}-09 * \text{MM}^5 + -1.640231\text{E}-06 * \text{MM}^4 + 7.05634\text{E}-04 * \text{MM}^3 + -.1529215 * \text{MM}^2 + 18.19761 * \text{MM} + -493.0451$$

---

$$\text{Teb} = 0 * \text{n}^5 + 0 * \text{n}^4 + 0 * \text{n}^3 + 56722.48 * \text{n}^2 + -156270.4 * \text{n} + 108019$$

---

$$\text{Teb} = -8.216872\text{E}-04 * \text{Cp}^5 + .3740879 * \text{Cp}^4 + -67.83929 * \text{Cp}^3 + 6124.229 * \text{Cp}^2 + -275161.2 * \text{Cp} + 921790$$

---

$$\text{Teb} = 9.568673\text{E}-02 * \text{VA}^5 + -2.069003 * \text{VA}^4 + 17.76207 * \text{VA}^3 + -78.28661 * \text{VA}^2 + 197.578 * \text{VA} + 331.3419$$

---

$$\text{Teb} = 0 * \text{TS}^5 + 0 * \text{TS}^4 + 0 * \text{TS}^3 + 1.89521 * \text{TS}^2 + -69.34153 * \text{TS} + 1033.883$$

---

---

$$\text{n} = -5.900291\text{E}-05 * \text{Pc}^5 + 4.538717\text{E}-03 * \text{Pc}^4 + -.1386745 * \text{Pc}^3 + 2.103893 * \text{Pc}^2 + -15.85496 * \text{Pc} + 48.93826$$

---

$$\text{n} = 2.889403\text{E}-11 * \text{Tc}^5 + -1.009571\text{E}-07 * \text{Tc}^4 + 1.409642\text{E}-04 * \text{Tc}^3 + -9.831782\text{E}-02 * \text{Tc}^2 + 34.25369 * \text{Tc} + -4767.572$$

---

$$\text{n} = 2.702233\text{E}-14 * \text{Vc}^5 + 1.217544\text{E}-10 * \text{Vc}^4 + 2.113256\text{E}-07 * \text{Vc}^3 + 1.818532\text{E}-04 * \text{Vc}^2 + 7.704092\text{E}-02 * \text{Vc} + 11.75086$$

---

$$\text{n} = 0 * \text{d}^5 + 0 * \text{d}^4 + 0 * \text{d}^3 + -.2615555 * \text{d}^2 + .9046934 * \text{d} + .8911812$$

---

$$\text{n} = 2.603555\text{E}-11 * \text{MM}^5 + -2.793659\text{E}-08 * \text{MM}^4 + 1.188144\text{E}-05 * \text{MM}^3 + -2.503664\text{E}-03 * \text{MM}^2 + .2616245 * \text{MM} + -9.436061$$

---

$$\text{n} = 1.456592\text{E}-11 * \text{Teb}^5 + -3.951115\text{E}-08 * \text{Teb}^4 + 4.278113\text{E}-05 * \text{Teb}^3 + -2.311191\text{E}-02 * \text{Teb}^2 + 6.229791 * \text{Teb} + -688.8738$$

---

$$\text{n} = -1.550961\text{E}-07 * \text{Cp}^5 + 7.070438\text{E}-05 * \text{Cp}^4 + -1.283875\text{E}-02 * \text{Cp}^3 + 1.160505 * \text{Cp}^2 + -52.20571 * \text{Cp} + 936.2309$$

---

---

$$n=7.232738E-05*VA^5+-1.348106E-03*VA^4+9.62116E-03*VA^3+-3.383483E-02*VA^2+6.409301E-02*VA+1.376119$$

---

$$n=0*TS^5+0*TS^4+0*TS^3+3.805238E-05*TS^2+3.51419E-03*TS+1.307221$$

---

---

$$Cp=.0226452*Pc^5+-1.704194*Pc^4+51.05534*Pc^3+-760.5505*Pc^2+5622.501*Pc+-16362.77$$

---

$$Cp=-9.339416E-09*Tc^5+3.335395E-05*Tc^4+-4.762997E-02*Tc^3+33.99658*Tc^2+-12128.41*Tc+1730118$$

---

$$Cp=-1.499674E-11*Vc^5+7.059823E-08*Vc^4+-1.324154E-04*Vc^3+.1236695*Vc^2+-57.40272*Vc+10643.93$$

---

$$Cp=0*d^5+0*d^4+0*d^3+51043.53*d^2+-76520.95*d+28750.91$$

---

$$Cp=-1.403364E-08*MM^5+1.624228E-05*MM^4+-7.48769E-03*MM^3+1.718285*MM^2+-195.8537*MM+8922.292$$

---

$$Cp=-4.335535E-09*Teb^5+1.218579E-05*Teb^4+-1.368709E-02*Teb^3+7.679817*Teb^2+-2152.43*Teb+241091$$

---

$$Cp=0*n^5+0*n^4+0*n^3+194996.1*n^2+-554686.5*n+394537.8$$

---

$$Cp=-.3061802*VA^5+6.061552*VA^4+-45.43571*VA^3+158.8983*VA^2+-247.4151*VA+211.1038$$

---

$$Cp=0*TS^5+0*TS^4+0*TS^3+5.850337*TS^2+-299.7781*TS+3912.351$$

---

---

$$VA=1.187275E-03*Pc^5+-8.667839E-02*Pc^4+2.470489*Pc^3+-34.04652*Pc^2+222.7032*Pc+-530.0557$$

---

$$VA=2.14811E-10*Tc^5+-7.268604E-07*Tc^4+9.85521E-04*Tc^3+-6690072*Tc^2+227.3079*Tc+-30917.19$$

---

$$VA=3.923703E-13*Vc^5+-1.646345E-09*Vc^4+2.777373E-06*Vc^3+-2.332595E-03*Vc^2+.9757541*Vc+-162.0419$$

---



---

$$VA=0*d^5+0*d^4+0*d^3+1347.699*d^2-1968.409*d+719.736$$

---

$$VA=3.671707E-10*MM^5-3.771346E-07*MM^4+1.558095E-04*MM^3-3.202248E-02*MM^2+3.277177*MM-132.9974$$

---

$$VA=2.412991E-10*Teb^5-6.354344E-07*Teb^4+6.701036E-04*Teb^3-0.3534834*Teb^2+93.23237*Teb-9832.749$$

---

$$VA=0*n^5+0*n^4+0*n^3+5249.771*n^2-14832.13*n+10477.26$$

---

$$VA=-1.58977E-05*Cp^5+7.239739E-03*Cp^4-1.313198*Cp^3+118.5744*Cp^2-5328.618*Cp+95323.46$$

---

$$VA=0*TS^5+0*TS^4+0*TS^3+1.1613633*TS^2-7.714469*TS+93.20184$$

---

---

$$TS=4.936118E-03*Pc^5-0.3837749*Pc^4+11.86425*Pc^3-182.3428*Pc^2+1392.995*Pc-4202.323$$

---

$$TS=-1.742935E-09*Tc^5+6.064718E-06*Tc^4-8.434459E-03*Tc^3+5.860262*Tc^2-2034.083*Tc+282172.4$$

---

$$TS=-1.463606E-12*Vc^5+6.301637E-09*Vc^4-1.07628E-05*Vc^3+9.098587E-03*Vc^2-3.790695*Vc+644.8685$$

---

$$TS=0*d^5+0*d^4+0*d^3-108.6299*d^2+256.6616*d-105.7089$$

---

$$TS=-1.369611E-09*MM^5+1.445009E-06*MM^4-6.043649E-04*MM^3+1.250023*MM^2-12.72195*MM+532.0742$$

---

$$TS=-8.932957E-10*Teb^5+2.407461E-06*Teb^4-2.590615E-03*Teb^3+1.391202*Teb^2-372.7697*Teb+39885.81$$

---

$$TS=0*n^5+0*n^4+0*n^3-232.1201*n^2+843.3042*n-704.2348$$

---

$$TS=-3.007469E-05*Cp^5+1.368575E-02*Cp^4-2.480765*Cp^3+223.8583*Cp^2-10053.9*Cp+179772.5$$

---

$$TS=4.059645E-03*VA^5-9.361296E-02*VA^4+8399664*VA^3-3.749362*VA^2+8.865192*VA+18.37278$$

---

#####

#####  
#####NAPHTENES#####  
#####

$$Pc = -2.18998E-11 * Tc^5 + 6.903842E-08 * Tc^4 + -8.165006E-05 * Tc^3 + 4.310651E-02 * Tc^2 + -8.805416 * Tc + 180.3726$$

$$Pc = 0 * Vc^5 + 0 * Vc^4 + 0 * Vc^3 + 3.156166E-05 * Vc^2 + -7.106425E-02 * Vc + 56.27957$$

$$Pc = 95.74055 * d^5 + -85156.21 * d^4 + 335238 * d^3 + -493983 * d^2 + 322462.5 * d + -78636.78$$

$$Pc = -1.129806E-10 * MM^5 + 7.831156E-08 * MM^4 + -1.701298E-05 * MM^3 + 8.743266E-04 * MM^2 + 8.523464E-06 * MM + 34.63884$$

$$Pc = -3.57917E-11 * Teb^5 + 8.869449E-08 * Teb^4 + -8.592792E-05 * Teb^3 + 4.048026E-02 * Teb^2 + -9.266609 * Teb + 856.2178$$

$$Pc = 0 * n^5 + 0 * n^4 + 0 * n^3 + -486.1502 * n^2 + 1305.85 * n + -836.7874$$

$$Pc = -4.179806E-06 * Cp^5 + 1.409092E-03 * Cp^4 + -.1775267 * Cp^3 + 9.953211 * Cp^2 + -214.6757 * Cp + 369.8789$$

$$Pc = -5.718997E-03 * VA^5 + .6459496 * VA^4 + -6.701783 * VA^3 + 26.23344 * VA^2 + -47.17561 * VA + 57.27461$$

$$Pc = 2.282633E-04 * TS^5 + -2.582376E-02 * TS^4 + 1.089079 * TS^3 + -20.87238 * TS^2 + 175.7136 * TS + -492.908$$

$$Tc = -1.659162E-03 * Pc^5 + .1731629 * Pc^4 + -7.147606 * Pc^3 + 146.0183 * Pc^2 + -1493.993 * Pc + 7079.231$$

$$Tc = 0 * Vc^5 + 0 * Vc^4 + 4.255482E-07 * Vc^3 + -1.199906E-03 * Vc^2 + 1.447038 * Vc + 219.5365$$

$$Tc = -1181.617 * d^5 + 1050995 * d^4 + -4144921 * d^3 + 6118247 * d^2 + -4000364 * d + 978048.8$$

$$Tc = 5.180932E-10 * MM^5 + -5.987231E-07 * MM^4 + 2.8301888E-04 * MM^3 + -7.0814876E-02 * MM^2 + 10.6776 * MM + 5.810929$$

$$Tc = 1.88524E-10 * Teb^5 + -5.313322E-07 * Teb^4 + 5.987917E-04 * Teb^3 + -.3378812 * Teb^2 + 96.56149 * Teb + -10621.04$$

$$Tc = 0 * n^5 + 0 * n^4 + 0 * n^3 + 8015.242 * n^2 + -21926.04 * n + 15558.22$$



---

$$Tc=6.84819E-05* Cp^5+-2.309879E-02* Cp^4+2.913033* Cp^3+-163.6535* Cp^2+3549.291* Cp+-5527.032$$

---

$$Tc=.0967642* VA^5+-10.92682* VA^4+113.0898* VA^3+-438.8129* VA^2+771.8058* VA+234.9184$$

---

$$Tc=-3.907418E-03* TS^5+.4712239* TS^4+-21.62361* TS^3+463.9548* TS^2+-4508.865* TS+15506.66$$

---

---

$$Vc=4.719936E-03* Pc^5+- .5607573* Pc^4+26.39874* Pc^3+-614.0077* Pc^2+7002.097* Pc+-30224.56$$

---

$$Vc=2.666751E-11* Tc^5+-7.82655E-08* Tc^4+8.763868E-05* Tc^3+-4.121881E-02* Tc^2+5.991623* Tc+759.5445$$

---

$$Vc=-2868.101* d^5+2551166* d^4+-1.01043E+07* d^3+1.498161E+07* d^2+-9841387* d+2416581$$

---

$$Vc=-2.365863E-09* MM^5+2.451034E-06* MM^4+-1.008104E-03* MM^3+.2056902* MM^2+-17.63391* MM+875.1768$$

---

$$Vc=-1.870885E-10* Teb^5+5.615614E-07* Teb^4+-6.687605E-04* Teb^3+.3980072* Teb^2+-116.7935* Teb+13785.22$$

---

$$Vc=0*n^5+0*n^4+0*n^3+44376.49*n^2+-129572.7*n+95025.75$$

---

$$Vc=2.065456E-04* Cp^5+-6.964893E-02* Cp^4+8.778019* Cp^3+-492.3084* Cp^2+10610.56* Cp+-15713.56$$

---

$$Vc=.2756767* VA^5+-31.08925* VA^4+317.5943* VA^3+-1203.279* VA^2+2032.203* VA+-684.8213$$

---

$$Vc=-5.639679E-03* TS^5+.6243621* TS^4+-25.29953* TS^3+451.4603* TS^2+-3363.456* TS+9506.793$$

---

---

$$d=3.962097E-03* Pc^5+- .4441866* Pc^4+19.81668* Pc^3+-439.8253* Pc^2+4856.958* Pc+-21350.41$$

---

---

$$d=1.940903E-11*Tc^5+-5.746244E-08*Tc^4+6.175266E-05*Tc^3+-2.690005E-02*Tc^2+2.407368*Tc+850.3804$$

---

$$d=0*Vc^5+0*Vc^4+0*Vc^3+-4.292384E-07*Vc^2+8.073724E-04*Vc+.590842$$

---

$$d=-2.444403E-09*MM^5+2.567012E-06*MM^4+-1.068585E-03*MM^3+.2203598*MM^2+-22.50499*MM+911.3065$$

---

$$d=-3.457662E-10*Teb^5+9.940738E-07*Teb^4+-1.140068E-03*Teb^3+.6519731*Teb^2+-185.9142*Teb+21148.73$$

---

$$d=-3.245418E-02*n^5+21.09743*n^4+-131.4477*n^3+307.6423*n^2+-318.1441*n+122.9894$$

---

$$d=5.938526E-07*Cp^5+-1.802197E-04*Cp^4+1.850866E-02*Cp^3+-0.5731366*Cp^2+-16.06912*Cp+914.2072$$

---

$$d=6.770179E-04*VA^5+-7.629905E-02*VA^4+.7749179*VA^3+-2.883079*VA^2+4.528048*VA+-1.598189$$

---

$$d=1.733853E-03*TS^5+-0.2362218*TS^4+12.38978*TS^3+-306.3099*TS^2+3414.289*TS+-12065.32$$

---

---

$$MM=3.209179E-04*Pc^5+-4.558381E-02*Pc^4+2.451635*Pc^3+-62.84717*Pc^2+758.8443*Pc+-3149.65$$

---

$$MM=9.356549E-12*Tc^5+-2.842091E-08*Tc^4+3.353486E-05*Tc^3+-1.764472E-02*Tc^2+3.717456*Tc+-60.54102$$

---

$$MM=0*Vc^5+0*Vc^4+0*Vc^3+0*Vc^2+.3146068*Vc+-12.58427$$

---

$$MM=-902.3491*d^5+802614.1*d^4+-3178881*d^3+4713318*d^2+-3096168*d+760260.3$$

---

$$MM=5.082681E-11*Teb^5+-1.34684E-07*Teb^4+1.424512E-04*Teb^3+-7.432715E-02*Teb^2+19.56561*Teb+-2018.691$$

---

$$MM=0*n^5+0*n^4+0*n^3+13951.14*n^2+-40764.45*n+29883.15$$

---

$$MM=6.503973E-05*Cp^5+-2.193778E-02*Cp^4+2.766091*Cp^3+-155.2689*Cp^2+3354.687*Cp+-5238.313$$

---



---

$$MM=8.672971E-02*VA^5+-9.780889*VA^4+99.91731*VA^3+-378.5598*VA^2+639.3447*VA+-228.0337$$

---

$$MM=-2.274432E-03*TS^5+.2645761*TS^4+-11.53405*TS^3+230.4156*TS^2+-2043.413*TS+6460.457$$

---

---

$$Teb=5.513345E-04*Pc^5+-7.668173E-02*Pc^4+4.090433*Pc^3+-105.2766*Pc^2+1296.528*Pc+-5431.833$$

---

$$Teb=-1.057377E-11*Tc^5+3.324317E-08*Tc^4+-3.951364E-05*Tc^3+2.205161E-02*Tc^2+-4.746177*Tc+344.9119$$

---

$$Teb=0*Vc^5+0*Vc^4+0*Vc^3+-2.714297E-04*Vc^2+.8026127*Vc+142.4174$$

---

$$Teb=-1268.829*d^5+1128574*d^4+-4457666*d^3+6590497*d^2+-4316457*d+1056933$$

---

$$Teb=-6.097307E-10*MM^5+5.759192E-07*MM^4+-2.084996E-04*MM^3+3.337944E-02*MM^2+-4965892*MM+266.5314$$

---

$$Teb=-8055.64*n^5+5236741*n^4+-3.264375E+07*n^3+7.656004E+07*n^2+-7.982613E+07*n+3.120241E+07$$

---

$$Teb=7.822337E-05*Cp^5+-2.637747E-02*Cp^4+3.324747*Cp^3+-186.5517*Cp^2+4029.383*Cp+-6027.032$$

---

$$Teb=.1083262*VA^5+-12.22587*VA^4+125.0651*VA^3+-483.8318*VA^2+838.3119*VA+-21.00818$$

---

$$Teb=-3.198635E-03*TS^5+.3706164*TS^4+-16.11573*TS^3+321.8648*TS^2+-2863.221*TS+9354.644$$

---

---

$$n=2.876799E-03*Pc^5+-3.225156*Pc^4+14.38856*Pc^3+-319.3509*Pc^2+3526.586*Pc+-15501.55$$

---

$$n=1.408076E-11*Tc^5+-4.168856E-08*Tc^4+4.480116*E-05*Tc^3+-1.951436E-02*Tc^2+1.744785*Tc+618.3516$$

---

$$n=0*Vc^5+0*Vc^4+0*Vc^3+-2.777437E-07*Vc^2+5.289621E-04*n+1.301986$$

---

---

$$n=3.423863E-03*d^5-3.045473*d^4+12.10011*d^3-17.8295*d^2+12.22481*d-1.879771$$

---

$$n=-1.774673E-09*MM^5+1.863698E-06*MM^4-7.758212E-04*MM^3+.1599891*MM^2-16.33992*MM+662.537$$

---

$$n=-2.510505E-10*Teb^5++7.217618E-07*Teb^4+-8.277592E-04*Teb^3+.4733711*Teb^2+-134.9847*Teb+15356.12$$

---

$$n=4.270886E-07*Cp^5+-1.294737E-04*Cp^4+1.326492E-02*Cp^3+-.4063959*Cp^2+-11.07771*Cp+664.9723$$

---

$$n=4.860688E-04*VA^5+-5.477765E-02*VA^4+.5561766*VA^3+-2.068224*VA^2+3.244845*VA+-2825537$$

---

$$n=1.25891E-03*TS^5+-.1715156*TS^4+8.995978*TS^3-222.4063*TS^2+2479.063*TS+-8759.618$$

---

---

$$Cp=2.351446E-03*Pc^5+-.3052583*Pc^4+15.65072*Pc^3-396.3948*Pc^2+4958.261*Pc+-24397.31$$

---

$$Cp=-7.110257E-10*Tc^5+2.201719E-06*Tc^4+-2.563319E-03*Tc^3+1.33752*Tc^2+-271.0267*Tc+4484.063$$

---

$$Cp=-1.042943E-08*Vc^5+3.641981E-05*Vc^4+-5.053466E-02*Vc^3+34.81773*Vc^2+-11908.14*Vc+1616981$$

---

$$Cp=-433.5017*d^5+385587.6*d^4+-1527295*d^3+2265003*d^2+-1488490*d+365727.4$$

---

$$Cp=-3.922415E-09*MM^5+2.917850E-06*MM^4+-8.25204E-04*MM^3+1023346*MM^2+-4.29328*MM+6.533081$$

---

$$Cp=-1.016616E-09*Teb^5+2.496482E-06*Teb^4+-2.414003E-03*Teb^3+1.145019*Teb^2+-264.824*Teb+23717.49$$

---

$$Cp=0*n^5+0*n^4+0*n^3+7521.548*n^2+-22248.16*n+16515.82$$

---

$$Cp=1.170925E-02*VA^5+-1.319329*VA^4+13.36885*VA^3+-51.0807*VA^2+95.52761*VA+5.332028$$

---

$$Cp=-1.133599E-03*TS^5+.1308698*TS^4+-5.643497*TS^3+110.8288*TS^2+-956.7012*TS+2940.644$$

---



---

$$VA=1.23077E-03*Pc^5+-1.1500922*Pc^4+7.281971*Pc^3-175.6413*Pc^2+2105.204*Pc+-10022.61$$

---

$$VA=-2.297206E-10*Tc^5+7.150892E-07*Tc^4+-8.37129E-04*Tc^3+.4394503*Tc^2+-89.81109*Tc+1588.383$$

---

$$VA=0*Vc^5+0*Vc^4+0*Vc^3+1.881076E-05*Vc^2+-1.357228E-02*Vc+3.196545$$

---

$$VA=-10222.33*d^5+67537.8*d^4+-168697.7*d^3+202734.4*d^2+-118385.1*d+27038.28$$

---

$$VA=-1.75959E-09*MM^5+1.459697E-06*MM^4+-4.63676E-04*MM^3+6.944017E-02*MM^2+-4.726984*MM+107.2697$$

---

$$VA=-4.001551E-10*Teb^5+1.008627E-06*Teb^4+-1.005104E-03*Teb^3+.4940336*Teb^2+-119.443*Teb+11318.31$$

---

$$VA=0*n^5+0*n^4+0*n^3+987.4996*n^2+-2951.078*n+2205.962$$

---

$$VA=-2.708019E-06*Cp^5+9.165778E-04*Cp^4+-1161596*Cp^3+6.580629*Cp^2+-145.4985*Cp+329.543$$

---

$$VA=1.637001E-04*TS^5+-2.283498E-02*TS^4+1.230755*TS^3+-31.30326*TS^2+358.0626*TS+-1279.559$$

---

---

$$TS=1.468026E-02*Pc^5+-1.881992*Pc^4+95.50346*Pc^3+-2399.64*Pc^2+29870.61*Pc+-147405.4$$

---

$$TS=-4.589184E-09*Tc^5+1.425656E-05*Tc^4+-1.665548E-02*Tc^3+0.721092*Tc^2+-1773.641*Tc+29350.38$$

---

$$TS=0*Vc^5+0*Vc^4+0*Vc^3+-3.156179E-05*Vc^2+5.342396E-02*Vc+11.121$$

---

$$TS=11.82609*d^5+-10514.74*d^4+37903.74*d^3+-51416.53*d^2+31122.76*d+-7072.515$$

---

$$TS=-2.843125E-08*MM^5+2.233711E-05*MM^4+-6.530091E-03*MM^3+.8425138*MM^2+-40.61888*MM+53.58789$$

---

$$TS=-7.041874E-09*Teb^5+1.744679E-05*Teb^4+-1.703006E-02*Teb^3+8.1571*Teb^2+-1907.046*Teb+172674.2$$

---

---

$$TS=54.12081*n^5-35167.42*n^4+209606.5*n^3-470475.3*n^2+470059.8*n-176287.8$$

---

$$TS=-1.382915E-04*Cp^5+4.666772E-02*Cp^4-5.887309*Cp^3+330.6627*Cp^2-7143.338*Cp+11164.13$$

---

$$TS=-.1058058*VA^5+11.91894*VA^4-120.378*VA^3+443.8304*VA^2-583.1258*VA+398.7677$$

---

#####



#####  
#####AROMATIQUES#####  
#####

$$Pc=0*Tc^5+0*Tc^4+5.68259E-04*Tc^3+-1.270908*Tc^2+945.2408*Tc+-233711.8$$

$$Pc=-6.787818E-10*Vc^5+2.315821E-06*Vc^4+-3.146563E-03*Vc^3+2.127627*Vc^2+-715.7095*Vc+95809.87$$

$$Pc=0*d^5+0*d^4+43421.59*d^3+-116718.6*d^2+104305.8*d+-30971.07$$

$$Pc=3.702211E-08*MM^5+-3.886977E-05*MM^4+1.615779E-02*MM^3+-3.322735*MM^2+337.8631*MM+-13556.78$$

$$Pc=3.38579E-08*Teb^5+-9.536453E-05*Teb^4+.1072182*Teb^3+-60.1418*Teb^2+16829.39*Teb+-1879230$$

$$Pc=0*n^5+0*n^4+64138.98*n^3+-289885*n^2+436523.4*n+-218989.4$$

$$Pc=3.174757E-06*Cp^5+-1.492988E-03*Cp^4+.2779281*Cp^3+-25.58891*Cp^2+1164.709*Cp+-20932.54$$

$$Pc=7.150065E-02*VA^5+-1.707228*VA^4+15.09157*VA^3+-60.54528*VA^2+106.6005*VA+-36.94708$$

$$Pc=-3.809264E-03*TS^5+.719485*TS^4+-53.99766*TS^3+2012.471*TS^2+-37241.03*TS+273734.1$$

$$Tc=0*Pc^5+0*Pc^4+-114.2178*Pc^3+8998.754*Pc^2+-235684.3*Pc+2052973$$

$$Tc=-3.407253E-08*Vc^5+1.143607E-04*Vc^4+-1528243*Vc^3+101.6199*Vc^2+-33615.72*Vc+4425310$$

$$Tc=0*d^5+0*d^4+-961843.7*d^3+2705720*d^2+-2531423*d+788284.3$$

$$Tc=3.163112E-08*MM^5+-4.016097E-05*MM^4+1.996916E-02*MM^3+-4.865907*MM^2+581.8543*MM+-26571.31$$

---

$$Tc = -5.623861E-08 * Teb^5 + 1.571239E-04 * Teb^4 + -.1751397 * Teb^3 + 97.34671 * Teb^2 + -26976.76 * Teb + 2982073$$

---

$$Tc = 0 * n^5 + 0 * n^4 - 9530320 * n^3 + 4.407873E+07 * n^2 + -6.793304E+07 * n + 3.488734E+07$$

---

$$Tc = 6.84819E-05 * Cp^5 + -2.309879E-02 * Cp^4 + 2.913033 * Cp^3 + -163.6535 * Cp^2 + 3549.291 * Cp + -5527.032$$

---

$$Tc = .0967642 * VA^5 + -10.92682 * VA^4 + 113.0898 * VA^3 + -438.8129 * VA^2 + 771.8058 * VA + 234.9184$$

---

$$Tc = -3.907418E-03 * TS^5 + .4712239 * TS^4 + -21.62361 * TS^3 + 463.9548 * TS^2 + -4508.865 * TS + 15506.66$$

---

---

$$Vc = 0 * Pc^5 + 0 * Pc^4 + -150.5704 * Pc^3 + 11846.8 * Pc^2 + -309866 * Pc + 2695270$$

---

$$Vc = 0 * Tc^5 + 0 * Tc^4 + 9.816233E-04 * Tc^3 + -2.09777 * Tc^2 + 1491.57 * Tc + -352375.7$$

---

$$Vc = 0 * d^5 + 0 * d^4 + -1999906 * d^3 + 5533886 * d^2 + -5095102 * d + 1561448$$

---

$$Vc = -2.365863E-09 * MM^5 + 2.451034E-06 * MM^4 + -1.008104E-03 * MM^3 + .2056902 * MM^2 + -17.63391 * MM + 875.1768$$

---

$$Vc = -1.870885E-10 * Teb^5 + 5.615614E-07 * Teb^4 + -6.687605E-04 * Teb^3 + .3980072 * Teb^2 + -116.7935 * Teb + 13785.22$$

---

$$Vc = 0 * n^5 + 0 * n^4 + -1.376909E+07 * n^3 + 6.367553E+07 * n^2 + -9.781859E+07 * n + 5.015339E+07$$

---

$$Vc = 2.065456E-04 * Cp^5 + -6.964893E-02 * Cp^4 + 8.778019 * Cp^3 + -492.3084 * Cp^2 + 10610.56 * Cp + -15713.56$$

---

$$Vc = .2756767 * VA^5 + -31.08925 * VA^4 + 317.5843 * VA^3 + -1203.279 * VA^2 + 2032.203 * VA + -684.8213$$

---

$$Vc = -5.639679E-03 * TS^5 + .6243621 * TS^4 + -25.29953 * TS^3 + 451.4603 * TS^2 + -3363.456 * TS + 9506.793$$

---

---

$$d = 0 * Pc^5 + 0 * Pc^4 + 7.135183E-04 * Pc^3 + -2.956915E-02 * Pc^2 + 6.392157E-02 * Pc + 6.631759$$

---



---

$$d=0*Tc^5+0*Tc^4+-1.762712E-05*Tc^3+3.926073E-02*Tc^2+-29.084*Tc+7165.3$$

---

$$d=-5.527396E-11*Vc^5+1.844919E-07*Vc^4+-2.45115E-04*Vc^3+.162011*Vc^2+-53.26464*Vc+6968.474$$

---

$$d=-3.345557E-10*MM^5+3.378974E-07*MM^4+-1.339309E-04*MM^3+2.597664E-02*MM^2+-2.45973*MM+91.71772$$

---

$$d=-5.23252E-10*Teb^5+1.467412E-06*Teb^4+-1.642222E-03*Teb^3+.9166846*Teb^2+-255.1974*Teb+28344.22$$

---

$$d=0*n^5+0*n^4+257.3065*n^3+-1201.093*n^2+1869.415*n+-969.1669$$

---

$$d=5.742663E-08* Cp^5+-2.799571E-05* Cp^4+5.410912E-03* Cp^3+- .5177905* Cp^2+24.50574* Cp+-457.4529$$

---

$$d=-1.687643E-04*VA^5+2.435398E-03*VA^4+-1.270295E-03*VA^3+- .1115885*VA^2+.4705266*VA+.4603602$$

---

$$d=2.843467E-06*TS^5+-5.169395E-04*TS^4+3.754722E-02*TS^3+-1.364592*TS^2+24.85668*TS+-180.8118$$

---

---

$$MM=0*Pc^5+0*Pc^4+-83.53305*Pc^3+6573.453*Pc^2+-171960.5*Pc+1495773$$

---

$$MM=0*Tc^5+0*Tc^4+2.828897E-03*Tc^3+-6.279474*Tc^2+4637.179*Tc+-1138842$$

---

$$MM=-5.788582E-09*Vc^5+1.960856E-05*Vc^4+-2.645173E-02*Vc^3+17.75767*Vc^2+-5930.308*Vc+788006.7$$

---

$$MM=0*d^5+0*d^4+-878551.5*d^3+2449302*d^2+-2271881*d+701234$$

---

$$MM=-5.138151E-09*Teb^5+1.617497E-05*Teb^4+-2.014996E-02*Teb^3+12.43035*Teb^2+-3799.321*Teb+460568$$

---

$$MM=0*n^5+0*n^4+-7288944*n^3+3.368779E+07*n^2+-5.188243E+07*n+2.662601E+07$$

---

$$MM=3.943526E-06* Cp^5+-2.050527E-03* Cp^4+.4197999* Cp^3+-42.2728* Cp^2+2094.271* Cp+-40668.98$$

---

$$MM=-.1021308*VA^5+2.543521*VA^4+-23.53125*VA^3+97.11862*VA^2+-150.1822* Cp+223.8206$$

---

---

$$MM=3.556104E-02*TS^5+-6.712772*TS^4+603.5536*TS^3+-18760.15*TS^2+347069.7*TS+-2550369$$

---

---

$$Teb=0*Pc^5+0*Pc^4+-110.5519*Pc^3+8704.264*Pc^2+-227821.7*Pc+1982986$$

---

---

$$Teb=0*Tc^5+0*Tc^4+2.933747E-03*Tc^3+-6.526807*Tc^2+4830.571*Tc+-1188606$$

---

---

$$Teb=-2.029526E-08*Vc^5+6.827032E-05*Vc^4+-9.144282E-02*Vc^3+60.94925*Vc^2+-20210.64*Vc+2667097$$

---

---

$$Teb=0*d^5+0*d^4+-991963.4*d^3+2782663*d^2+-2596604*d+806383.5$$

---

---

$$Teb=3.754683E-08*MM^5+-4.347972E-05*MM^4+.0199459*MM^3+-4.525412*MM^2+508.167*MM+-22074.54$$

---

---

$$Teb=0*n^5+0*n^4+-9358474*n^3+4.327656E+07*n^2+-6.668599E+07*n+3.424145E+07$$

---

---

$$Teb=2.504328E-05*Cp^5+-1.228271E-02*Cp^4+2.385498*VA^3+-229.1045*Cp^2+10872.09*Cp+-203273.5$$

---

---

$$Teb=9.464306E-02*VA^5+-2.473671*VA^4+24.74158*VA^3+-118.6693*VA^2+287.8157*VA+267.5607$$

---

---

$$Teb=3.766856E-02*TS^5+-7.107618*TS^4+532.9608*VA^3+-19848.81*TS^2+367110.8*TS+-2696847$$

---

---

$$n=0*Pc^5+0*Pc^4f-2.221525E-03*Pc^3+.1913637*Pc^2+-5.446639*Pc+52.78078$$

---

---

$$n=0*Tc^5+0*Tc^4+-1.024076E-05*Tc^3+2.280393E-02*Tc^2+-16.88916*Tc+4161.001$$

---

---

$$n=-3.519723E-11*Vc^5+1.17573E-07*Vc^4+-1.563335E-04*Vc^3+.1034155*Vc^2+-34.02854*Vc+4456.535$$

---



---

$$n=0*d^5+0*d^4+20.99884*d^3+-53.64603*d^2+45.91283*d+-11.67746$$

---

$$n=-1.390588E-10*MM^5+1.387287E-07*MM^4+-5.403516E-05*MM^3+1.022474E-02*MM^2+-0.9351422*MM+34.40993$$

---

$$n=-2.683745E-10*Teb^5+7.526729E-07*Teb^4+-8.423306E-04*Teb^3+,4701518*Teb^2+-130.8675*Teb+14533.11$$

---

$$n=4.081201E-08*Cp^5+-1.977744E-05*Cp^4+3.800001E-03*Cp^3+-0.3615556*Cp^2+17.01826*Cp+-315.1736$$

---

$$n=-1.584315E-05*VA^5+-5.718608E-04*VA^4+1.726615E-02*VA^3+-0.1404952*VA^2+,4168665*VA+1.167522$$

---

$$n=8.591372E-08*TS^5+3.429046E-06*TS^4+-1.531263E-03*TS^3+9.577219E-02*TS^2+-2.307662*TS+21.02079$$

---

---

$$Cp=0*Pc^5+0*Pc^4+-37.86035*Pc^3+2977.783*Pc^2+-77856.61*Pc+676850.3$$

---

$$Cp=0*Tc^5+0*Tc^4+2.41721E-03*Tc^3+-5.375147*Tc^2+3975.944*Tc+-978015.2$$

---

$$Cp=6.181613E-10*Vc^5+-1.899361E-06*Vc^4+2.298406E-03*Vc^3+-1.366579*Vc^2+398.4991*Vc+-45427.29$$

---

$$Cp=0*d^5+0*d^4+-389766.9*d^3+1087424*d^2+-1009440*d+311824$$

---

$$Cp=5.255595E-08*MM^5+-5.313683E-05*MM^4+2.120724E-02*MM^3+-4.172356*MM^2+404.8102*MM+-15440.79$$

---

$$Cp=5.232688E-08*Teb^5+-1.454143E-04*Teb^4+.1612548*Teb^3+-89.19018*Teb^2+24603.29*Teb+-2707689$$

---

$$Cp=0*n^5+0*n^4+-3303248*n^3+1.526874E+07*n^2+-2.35183E+07*n+1.207111E+07$$

---

$$Cp-1.483103E-02*VA^5+.5278949*VA^4+-6.602797*VA^3+35.49405*VA^2+-70.33929*VA+110.0597$$

---

---

$$Cp=2.683074E-02*TS^5+-5.045683*TS^4+377.0979*TS^3+-13998.05*TS^2+258049.9*TS+-1889696$$

---

---

$$VA=0*Pc^5+0*Pc^4+-4.031892*Pc^3+317.2386*Pc^2+-8297.676*Pc+72158.22$$

---

---

$$VA=0*Tc^5+0*Tc^4+2.240281E-04*Tc^3+-4.984943*Tc^2+368.9688*Tc+-90822.33$$

---

---

$$VA=-2.96612E-10*Vc^5+1.004513E-06*Vc^4+-1.354794E-03*Vc^3+.9094156*Vc^2+-303.7252*Vc+40361.79$$

---

---

$$VA=0*d^5+0*d^4+-37856.57*d^3+105992.8*d^2+-98730.09*d+30593.87$$

---

---

$$VA=2.168976E-11*MM^5+-8.082916E-08*MM^4+6.350363E-05*MM^3+-1.990108E-02*MM^2+2.79237*MM+-144.8315$$

---

---

$$VA=8.383595E-10*Teb^5+-2.322499E-06*Teb^4+2.56877E-03*Teb^3+-1.417435*Teb^2+390.1203*Teb+-42838.73$$

---

---

$$VA=0*n^5+0*n^4+0*n^3+26840.21*n^2+-82153.77*n+62814.4$$

---

---

$$VA=1.143918E-07*Cp^5+-6.935357E-05*Cp^4+1.591498E-02*Cp^3+-1.746744*Cp^2+92.38358*Cp+-1890.906$$

---

---

$$VA=4.451702E-03*TS^5+-8368955*TS^4+62.51992*TS^3+-2319.571*TS^2+42735.72*TS+-312766.4$$

---

---

$$TS=0*Pc^5+0*Pc^4+-14.8938*Pc^3+1171.714*Pc^2+-30641.53*Pc+266427.1$$

---

---

$$TS=0*Tc^5+0*Tc^4+1.717793E-03*Tc^3+-3.831439*Tc^2+2842.322*Tc+-701115.4$$

---

---

$$TS=-1.595812E-09*Vc^5+5.460284E-06*Vc^4+-7.440936E-03*Vc^3+5.046313*Vc^2+-1702.433*Vc+228488.4$$

---

---

$$TS=0*d^5+0*d^4+-80084.34*d^3+230901.9*d^2+-221158.5*d+70381.48$$

---



---

$$TS=6.335118E-08*MM^5+-6.655706E-05*MM^4+2.767491E-02*MM^3+-5.689995*MM^2+578.32*MM+-23210.27$$

---

$$TS=6.084396E-08*Teb^5+-1.711287E-04*Teb^4+.1921095*Teb^3+-107.5888*Teb^2+30056.51*Teb+-3350478$$

---

$$TS=0*n^5+0*n^4+-1189008*n^3+5506995*n^2+-8499020*n+4370640$$

---

$$TS=5.28767E-06*Cp^5+-2.518028E-03*Cp^4+.4747052*Cp^3+-44.25852*Cp^2+2039.791*Cp+-37131.83$$

---

$$TS=.1070361*VA^5+-2.526411*VA^4+21.98564*VA^3+-86.61723*VA^2+153.3138*VA+-61.93049$$

---

#####

.....

a) - Application des équations obtenues par la méthode du polynôme d'interpolation de Newton.

\* Application aux corps purs.

Prenons par exemple les corps purs suivants :

N. Paraffine : hexadecane (  $C_{16} H_{34}$  ) ; M = 226 g

Naphtène : cyclohexadecane (  $C_{16} H_{32}$  ) ; M = 224 g

Aromatique : 1-phenyl decane (  $C_{16} H_{26}$  ) ; M = 218 g

et connaissant la masse moléculaire de chaque hydrocarbure, nous calculons les valeurs des autres propriétés.

.../...



	Propriétés	$P_c$ (atm)	$T_c$ (K)	$V_c$ (ml/mol)	d	$T_{eb}$ (K)	n	$C_p$ (cal.deg.ml)	VA(C.P)	TS (dyn/
hexadecane	Val.exp.	14,3	713,5	920	0,7693	559,8	1,4325	88,86	3,202	27,43
	Val.calculée	14,3	713,5	920	0,7695	559,9	1,4337	88,99	3,224	27,42
	Ecart ( % )	0	0	0	0,026	0,018	0,084	0,146	0,687	0,036
cyclo hexadecane	Val.exp.	20,8	810,1	752	0,9613	592,8	1,5468	94,53	3,681	33,77
	Val.calculée	20,7	810,2	751,9	0,9015	592,8	1,5027	95,20	3,863	37,28
	Ecart ( % )	0,481	0,012	0,013	6,221	0	2,851	0,709	4,944	10,394
1-phenyl decane	Val.exp.	28,5	778,5	626	0,8489	571,0	1,4812	99,04	4,293	45,32
	Val.calculée	25,8	779,8	650,9	0,8851	570,6	1,5087	97,99	4,163	41,07
	Ecart ( % )	9,474	0,167	3,981	4,264	0,070	1,857	1,060	3,028	9,378

Conclusion : Nous remarquons bien que les équations proposées sont applicable aux corps purs .

.../...  
- 62 -  
\* Application aux mélanges de corps purs.

Nous avons pris 3 corps purs en  $C_{16}$  de chaque famille :

N Paraffine	:	hexadecane
Naphtène	:	cyclo hexadecane
Aromatique	:	1-phenyl decane

On prend un mélange équiolaire (  $X_P = X_N = X_A = 0,33$  )  
et on suppose que les propriétés sont additives à l'exception  
de la viscosité, on la calcule de la façon suivante :

$$\ln \bar{\nu} = \frac{\sum x_i \ln \nu_i}{\sum x_i}$$

avec  $\bar{\nu} = \frac{VA}{d}$  ( VA et d étant prises à la même température ).



Propriétés	Pc (atm)	Tc (K)	$V_c$ (ml/ml)	d	Teb(K)	n	$C_P$ (cal/deg.mol)	$V_A(C.P)$	TS (dyn/cm)
Val. exp.	21,0	759,7	758,3	0,8512	568,8	1,4720	93,20	3,623	35,15
Val. calc.	20,1	760,1	766,5	0,8435	568,7	1,4669	93,12	3,646	34,90
Ecart (%)	4,286	0,053	1,081	0,905	0,017	0,346	0,086	0,635	0,711

Conclusion :

- Vue les petits écarts obtenus, nous pouvons dire que les équations proposées sont applicables aux mélanges de corps purs.
- L'hypothèse d'additivité des propriétés est vérifiée.

.../...

\* Application aux fractions pétrolières.

Tableau 1 (la composition des fractions est obtenue par N D M ).

Fractions Propriétés	1	2	3	4	5	6	7
Pc (atm)	20,9	19,4	18,6	17,1	15,6	14,6	13,1
Ecart (%)	5,430	1,532	1,639	3,636	4,698	7,353	4,800
Tc (K)	638,3	682,0	705,7	726,4	752,4	781,3	810,2
Ecart (%)	4,202	1,658	1,904	1,851	1,247	0,535	0,596
d	0,7805	0,7834	0,7880	0,8009	0,8108	0,8311	0,8351
Ecart (%)	2,021	2,538	3,844	2,792	2,384	1,341	1,730
n	1,4404	1,4417	1,4497	1,4509	1,4561	1,4678	1,4694
Ecart (%)	0,593	0,778	0,773	0,895	0,743	0,299	0,568
Cp (cal/deg.mcl)	60,15	70,94	76,55	86,44	92,70	102,40	110,00
Ecart (%)	2,843	2,811	2,696	6,637	2,149	3,434	2,708
VA (C.P.)	1,593	2,016	2,951	4,638	5,811	9,341	13,990
Ecart (%)	9,035	2,041	7,819	2,378	0,920	0,875	0,222
TS (dyn/cm)	26,47	27,29	28,55	29,45	30,53	31,84	33,17
Ecart (%)	0,113	0,037	0,175	0,170	3,713	1,424	1,280



Tableau 2 (la composition des fractions est obtenue par NDPA)

Fractions Propriétés	1	2	3	4	5	6	7
Pc (atm)	21,7	20,0	18,9	17,3	15,6	14,2	12,6
Ecart (%)	1,810	1,523	3,279	4,848	4,698	4,412	0,800
Tc (K)	668,1	687,5	708,2	729,1	753,1	777,2	805,6
Ecart (%)	0,270	0,865	1,557	1,486	1,155	1,057	0,025
d	0,7944	0,7960	0,8040	0,8076	0,8132	0,8224	0,8248
Ecart (%)	0,276	0,970	1,891	1,978	2,095	2,374	2,942
n	1,4481	1,4489	1,4532	1,4549	1,4575	1,4624	1,4629
Ecart (%)	0,062	0,282	0,534	0,621	0,647	0,666	1,008
$C_p$ (cal/deg.Mol)	68,88	75,07	80,22	86,06	90,50	100,20	114,50
Ecart (%)	11,258	8,797	7,620	6,168	0,275	1,212	6,909
VA (C.P.)	1,583	2,082	2,917	4,683	5,768	9,365	13,134
Ecart (%)	8,350	1,166	6,576	1,431	0,174	1,134	5,910
TS (dyn/cm)	27,00	27,74	28,71	29,58	30,46	31,34	32,54
Ecart (%)	1,887	1,612	0,737	0,612	0,782	2,972	3,155

Tableau 3 ( la composition des fractions est obtenue par CPG )

Fractions Propriétés	1	2	3	4	5	6	7
$P_c$ ( atm )	25,2	23,9	20,3	17,9	15,6	14,6	12,8
Ecart ( % )	14,027	21,320	10,929	8,484	4,698	7,353	2,400
$T_c$ ( K )	679,2	713,7	730,6	738,5	749,3	770,3	797,3
Ecart ( % )	1,936	4,082	1,557	0,216	1,654	1,995	1,006
$d$	0,9410	0,8228	0,8648	0,8505	0,7979	0,8078	0,8221
Ecart ( % )	18,127	2,364	5,528	3,228	3,937	4,107	3,259
$M$ ( g )	152,9	159,00	182,00	217,7	244,8	266,9	294,5
Ecart ( % )	4,437	13,587	9,901	1,937	2,080	3,240	1,833
$n$	1,5508	1,4645	1,4613	1,4598	1,4517	1,4569	1,5003
Ecart ( % )	7,025	0,791	0,020	0,287	1,043	1,039	1,522
$C_p$ ( cal/deg.mol )	69,03	77,51	83,76	86,03	99,34	108,3	115,06
Ecart ( % )	11,500	12,333	12,369	6,708	9,465	9,394	7,432
$VA$ ( C.P. )	1,232	1,675	2,172	3,310	4,786	7,121	11,947
Ecart ( % )	15,674	18,610	20,643	30,330	16,881	23,099	14,414
$TS$ ( dyn/cm )	26,89	32,30	31,15	31,18	31,04	31,60	29,71
Ecart ( % )	1,509	18,315	9,123	6,122	2,280	5,263	11,607



Conclusion :

Les compositions des fractions pétrolières déterminées par la méthode N.D.P.A. et la méthode N.D.M. sont assez correctes comparées à celles obtenues par C.P.G.

L'hypothèse d'additivité des propriétés est acceptable.

I. 2 - Equations interpropriétés de type  $Y_i = f ( MM, T_{eb} )$

Nous proposons des équations pour chaque famille d'hydrocarbures, permettant la détermination de certaines propriétés à partir de la connaissance de deux paramètres : masse molaire et température d'ébullition .

#####

PARAFFINES : Equations valables dans le domaine suivant : 190 - 330 C

#####

$$\begin{aligned} P_c &= -.03125 * MM + -2.598367E-02 * Teb + 36.45875 \\ T_c &= .5236605 * MM + .4354121 * Teb + 348.9443 \\ V_c &= 1.964286 * MM + 1.63326 * Teb + -427.2639 \\ d &= 2.111609E-04 * MM + 1.755756E-04 * Teb + .6206316 \\ n &= 1.044641E-04 * MM + 8.68595E-05 * Teb + 1.358275 \\ C_p &= .1051786 * MM + 8.745365E-02 * Teb + 24.28513 \\ V_A &= .0246875 * MM + .0205271 * Teb + -12.44741 \\ T_S &= .0175 * MM + 1.455086E-02 * Teb + 14.78711 \end{aligned}$$

#####

NAPHTENES : Equations valables dans le domaine suivant : 218 - 338 C

#####

$$\begin{aligned} P_c &= -4.196429E-02 * MM + -3.229866E-02 * Teb + 49.83083 \\ T_c &= .636161 * MM + .4756712 * Teb + 380.834 \\ V_c &= 1.589286 * MM + 1.119967 * Teb + -265.4895 \\ d &= 4.720238E-04 * MM + 3.326342E-04 * Teb + .6618852 \\ n &= 3.190481E-04 * MM + 2.248325E-04 * Teb + 1.344607 \\ C_p &= .1856548 * MM + .1308306 * Teb + -24.33788 \\ V_A &= 1.910119E-02 * MM + 1.346057E-02 * Teb + -8.270763 \\ T_S &= 2.178573E-02 * MM + 1.535236E-02 * Teb + 19.66239 \end{aligned}$$

#####

AROMATIQUES : Equations valables dans le domaine suivants : 202 - 346 C

#####

$$\begin{aligned} P_c &= -1.696429E-02 * MM + -.0132128 * Teb + 34.48944 \\ T_c &= .607143 * MM + .4728791 * Teb + 359.0307 \\ V_c &= 1.160715 * MM + .9040335 * Teb + -70.3824 \\ d &= -1.741095E-05 * MM + -1.356068E-05 * Teb + .8651209 \\ n &= -3.169636E-05 * MM + -2.468702E-05 * Teb + 1.502923 \\ C_p &= .2291518 * MM + .1784771 * Teb + -51.77677 \\ V_A &= 3.241518E-02 * MM + 2.524688E-02 * Teb + -15.64376 \\ T_S &= 6.517855E-02 * MM + 5.076495E-02 * Teb + -4.679932 \end{aligned}$$

#####

#####



.../...

- Application des équations interpropriétés de type  $Y_i = f(MM, T_{eb})$

\* Application aux corps purs.

Frenons pour chaque famille l'hydrocarbure à 14 carbones.

- N Paraffine : Tétradécane (  $C_{14} H_{30}$  ) ;  $M = 198 \text{ g}$  ;  $T_{eb} = 526,5 \text{ K}$
- Naphtène : Cyclotétradécane (  $C_{14} H_{28}$  ) ;  $M = 196 \text{ g}$  ;  $T_{eb} = 555,2 \text{ K}$
- Aromatique : 3,3 - Diméthyl biphenyl (  $C_{14} H_{14}$  ) ;  $M = 182 \text{ g}$  ;  $T_{eb} = 563 \text{ K}$

Propriétés	$P_c$ (atm)	$T_c$ (K)	$V_c$ (ml/mal)	$d$	$n$	$C_p$ (cal/deg.mol)	VA(C.P)	TS (dyn/cm)	
Tétradécane	Val.calc.	16,6	1681,9	821,6	0,7431	1,4247	77,15	2,048	25,91
	Val.exp.	16,0	1685,0	810,0	0,7587	1,4270	77,93	2,035	26,5
	Ecart (%)	3,750	10,452	1,432	2,056	0,161	1,001	0,639	2,226
Cyclotétradécane	Val.calc.	23,7	1769,6	667,8	0,9391	1,5320	84,69	2,546	32,46
	Val.exp.	23,0	1775,5	663,0	0,9370	1,5304	83,69	2,460	32,59
	Ecart (%)	3,043	10,761	0,724	0,224	0,104	1,195	3,496	0,399
3,3 Diméthyl biphenyl	Val.calc.	24,0	1735,8	649,8	0,9543	1,5832	76,41	2,970	35,76
	Val.exp.	26,1	1793,6	582,0	0,9927	1,5920	77,75	2,943	36,70
	Ecart (%)	8,046	17,283	11,649	3,868	0,553	1,723	0,917	2,888

Conclusion : Avec les écarts obtenus, nous pouvons dire que les équations proposées sont applicables aux corps purs malgré quelques écarts qui ne sont pas appréciables.

\* Application aux mélanges de corps purs.

Prenons un mélange de trois hydrocarbures en C14 de chaque famille.

N Paraffine : Tétradécane (C14 H30) ; M = 198g ; Teb = 526,5 K  
 Naphtène : Cyclotétradécane (C14 H28) ; M = 196g ; Teb = 555,2 K  
 Aromatique : 3,3-Diméthyl biphenyl (C14 H14) ; M = 182g ; Teb = 563 K.

	Pc (atm)	Tc (K)	$\frac{V_g}{V_l}$ (ml/ml)	d	n	C <sub>P</sub> (cal/deg.mol)	VA(C.P)	TS (dyn/cm)
Val. calc.	21,2	721,8	705,9	0,8700	1,4982	78,62	2,496	31,06
Val. exp.	21,5	743,8	678,1	0,8872	1,5013	78,99	2,454	31,61
Ecart (%)	1,395	2,958	4,010	1,939	0,206	0,468	1,711	1,740

Conclusion : - Nous remarquons que ces équations donnent des valeurs assez proches des valeurs expérimentales, donc nous pouvons affirmer que ces équations sont aussi applicables aux mélanges de corps purs.



\* Application aux fractions pétrolières.

Connaissant la  $T_{max}$ , nous déterminons les autres propriétés.

Tableau 1 ( la composition des fractions est déterminée par la méthode NDM )

Fractions	1	2	3	4	5	6	7
Propriétés							
$P_c$ ( atm )	20,6	19,1	18,3	16,7	15,6	14,9	13,0
Ecart ( % )	6,787	3,046	0	1,212	4,698	9,559	4,000
$T_c$ ( K )	659,3	684,6	712,5	733,2	742,3	775,5	801,0
Ecart ( % )	1,050	1,276	0,959	0,932	2,572	1,273	0,546
$d$	0,8088	0,7669	0,8143	0,8261	0,8021	0,8250	0,8595
Ecart ( % )	1,531	4,591	0,634	0,267	3,431	2,065	1,141
$M$ ( g )	161,73	177,97	193,74	226,43	242,82	263,92	290,24
Ecart ( % ) / $M_{KUOP}$	1,384	3,278	4,089	1,995	2,872	4,029	3,253
$n$	1,4661	1,4320	1,4511	1,4594	1,4553	1,4699	1,5177
Ecart ( % )	1,180	1,445	0,678	0,314	0,797	0,156	2,700
$C_p$ ( cal/Deg.mol )	70,83	73,89	80,97	90,38	98,56	106,92	112,58
Ecart ( % )	14,41	7,09	8,63	11,54	8,61	8,00	5,12
VA ( C.P. )	1,193	2,055	2,764	4,428	6,217	9,159	13,310
Ecart ( % )	18,344	0,100	0,986	6,798	7,971	1,091	4,642
TS ( dyn/cm )	25,63	28,08	28,92	29,51	30,90	31,56	29,81
Ecart ( % )	3,283	2,857	1,474	0,374	0,651	2,291	11,280



Tableau 2 ( La composition des fractions est obtenue par NDPA ).

Propriétés \ Fractions	Fractions						
	1	2	3	4	5	6	7
$P_c$ ( atm )	21,6	19,8	18,5	17,9	15,6	13,7	13,0
Ecart ( % )	2,262	0,508	1,093	8,484	4,698	0,735	4,000
$T_c$ ( K )	664,0	669,6	714,4	741,6	749,3	766,6	802,9
Ecart ( % )	0,345	3,446	0,695	0,203	1,654	2,406	0,310
$d$	0,8389	0,7658	0,8184	0,8509	0,7979	0,8037	0,8841
Ecart ( % )	5,310	4,727	0,134	3,277	3,937	4,594	4,036
$M$ ( g )	160,25	176,50	190,7	217,7	243,8	268,6	290,2
Ecart ( % )	2,286	4,076	5,574	1,919	2,468	2,327	3,267
$n$	1,4859	1,4307	1,4544	1,4598	1,4517	1,4551	1,5424
Ecart ( % )	2,546	1,535	0,452	0,287	1,043	1,161	4,371
$C_p$ ( cal/deg.mol )	70,40	73,91	80,84	92,03	99,34	107,43	111,6
Ecart ( % )	13,713	7,116	9,130	13,575	9,465	8,515	4,257
VA ( C.P )	1,538	2,206	2,830	5,221	6,081	10,080	14,250
Ecart ( % )	5,270	7,210	3,395	9,890	5,615	8,855	2,085
TS ( dyn/cm )	25,69	27,86	29,07	30,18	31,24	31,35	32,51
Ecart ( % )	3,019	2,051	2,105	2,722	1,628	2,941	3,244



Tableau 3 : ( la composition des fractions est obtenue par CPG)

Fractions Propriétés	1	2	3	4	5	6	7
Pc (Atm)	25,0	21,8	20,7	18,2	15,7	13,5	13,0
Ecart (%)	13,122	10,660	13,115	10,303	5,369	0,735	4,000
Tc (K)	747,1	710,2	714,4	731,1	749,9	770,0	812,8
Ecart (%)	12,127	2,408	0,695	1,216	1,575	1,973	0,919
d	0,8540	0,8503	0,8144	0,8068	0,8022	0,8066	0,8457
Ecart (%)	7,206	5,785	0,622	2,075	3,419	4,250	0,482
n	1,5072	1,4811	1,4596	1,4543	1,4508	1,4527	1,4762
Ecart (%)	4,016	1,934	0,096	0,662	1,104	1,324	0,108
Cp (cal/deg.mol)	63,3	71,6	80,6	87,2	95,03	103,30	114,30
Ecart (%)	2,245	3,768	8,130	7,614	4,716	4,343	6,723
VA (C.P.)	1,526	2,284	3,019	4,895	5,982	9,309	13,663
Ecart (%)	4,449	10,981	10,303	3,031	3,890	0,529	2,120
TS (dyn/cm)	29,6	29,97	30,50	31,14	31,87	32,55	33,71
Ecart (%)	11,698	9,780	7,017	5,918	3,811	0,774	0,327

- Conclusion :
- Nous constatons que ces équations donnent des valeurs des propriétés assez proches des valeurs expérimentales.
  - Les écarts obtenus (cas où la composition est obtenue par C.P.G) sont assez élevés pour les premières valeurs, car la composition aromatique des premières fractions est assez élevée.

II. Contribution à l'approche de la connaissance de la composition des fractions lourdes du pétrole.

1 - Méthode de calcul.

Dans ce chapitre, nous avons proposé quelques corrélations obtenues par la méthode de Cramer.

Pour déterminer  $x_p$ ,  $x_N$  et  $x_A$ , il suffit de résoudre un système de trois équations à trois inconnues :

$$\left\{ \begin{array}{l} a^x p + b^x N + c^x A = A \\ a'^x p + b'^x N + c'^x A = B \\ x_p + x_N + x_A = 1 \end{array} \right.$$

A et B sont deux paramètres qui séparent bien les trois familles d'hydrocarbures.

Les coefficients des deux premières équations sont respectivement les valeurs moyennes de A et B pour chaque famille.

Comme point de départ, nous choisissons six hydrocarbures de chaque famille ( paraffine, naphène, aromatique ), par conséquent, ces corrélations ne sont valables que dans un intervalle de température allant de 190 à environ 370 °C.

Les corrélations proposées sont basées sur la connaissance de la densité, de la masse molaire, de l'indice de réfraction et de la température d'ébullition.

Les corrélations proposées pour les fractions lourdes du pétrole sont :

Corrélation 1 :  $A = d^{10} / T_{eb}$   
 $B = n^{10}$

Corrélation 2 :  $A = d^8 / MM$   
 $B = I = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$

Corrélation 3 :  $A = d^7 / MM$   
 $B = I = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$



		Paraffines	Naphtènes	Aromatiques
Corrélation 1	A	$(0,993 - 1,439) \cdot 10^{-4}$	$(0,694 - 6,840) \cdot 10^{-3}$	$(0,445 - 1,705) \cdot 10^{-3}$
	B	32,247 - 37,468	59,300 - 190,162	50,218 - 217,363
Corrélation 2	A	$(52,82 - 55,13) \cdot 10^{-5}$	$(27,46 - 123,08) \cdot 10^{-4}$	$(11,60 - 76,98) \cdot 10^{-4}$
	B	$(25,06 - 26,29) \cdot 10^{-2}$	$(29,62 - 38,23) \cdot 10^{-2}$	$(28,38 - 34,61) \cdot 10^{-2}$
Corrélation 3	A	$(67,44 - 74,92) \cdot 10^{-5}$	$(30,58 - 106,12) \cdot 10^{-4}$	$(13,67 - 75,36) \cdot 10^{-4}$
	B	$(25,06 - 26,29) \cdot 10^{-2}$	$(29,62 - 38,23) \cdot 10^{-2}$	$(28,38 - 34,61) \cdot 10^{-3}$

2 - Présentation des résultats.

Corrélation 1 :

$$A = d^{10} / T_{ob}$$

$$B = n^{10}$$

$X_P$	$X_N$	$X_A$
0,9141365	$6,629328 \cdot 10^{-2}$	$1,557019 \cdot 10^{-2}$
0,9007457	$8,566648 \cdot 10^{-2}$	$1,358782 \cdot 10^{-2}$
0,8634888	0,1192088	$1,730241 \cdot 10^{-2}$
0,855912	0,13707	$7,01804 \cdot 10^{-3}$
0,8442311	0,1524683	$3,300659 \cdot 10^{-3}$
0,8149672	0,1738414	0,0111914
0,7956235	0,2001842	$4,192378 \cdot 10^{-3}$



Corrélation 2 :

$$A = d^8 / MM$$

$$B = I = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$$

$X_p$	$X_N$	$X_A$
0,8284068	$6,780969 \cdot 10^{-2}$	0,1037835
0,8098421	0,1030167	$8,714115 \cdot 10^{-2}$
0,7611036	0,1589809	$7,991549 \cdot 10^{-2}$
0,7510808	0,1897152	$5,920402 \cdot 10^{-2}$
0,7357171	0,213939	$5,034392 \cdot 10^{-2}$
0,7024673	0,2477471	$4,978567 \cdot 10^{-2}$
0,6763927	0,2955377	0,0280697.

.../...

Corrélation 3 :

$$A = d^7 / MM$$

$$B = I = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$$

$X_P$	$X_N$	$X_A$
0,7876298	$1,880052 \cdot 10^{-2}$	0,1935697
0,770005	$5,513707 \cdot 10^{-2}$	0,174858
0,7210259	0,1108123	0,1681619
0,7124403	0,1432739	0,1442857
0,6979925	0,1685984	0,1334091
0,6652546	0,2030216	0,1317237
0,6402887	0,2521451	0,1075662

.../...



Conclusion :

- Ces corrélations sont applicables aux fractions lourdes du pétrole.

Certes, ces corrélations donnent des résultats différents en comparaison aux méthodes OPG, NDPA et NDM, mais permettent tout de même de séparer un certain nombre de fractions --.

CONCLUSION

#####



Au terme de cette étude, réalisée grâce à l'appui d'un calculateur (HP.150), nous avons proposé des équations pour les propriétés physiques par la méthode d'interpolation du polynôme de Newton.

Nous avons pu déterminer à partir de la connaissance d'une propriété, toutes les autres grandeurs avec une précision acceptable (dans le cas des corps purs et des mélanges de corps purs), mais pour les fractions pétrolières, l'écart devient assez important.

Nous avons présenté également des équations permettant la détermination des propriétés physiques des corps purs, des mélanges de corps purs et des fractions pétrolières, à partir de la connaissance de deux paramètres facilement accessibles expérimentalement.

Nous avons enfin proposé trois corrélations pour permettre de connaître la composition des fractions lourdes du pétrole.

Même si les corrélations proposées ne donnent pas la composition exacte des fractions pétrolières, on peut dire qu'elles les séparent bien --.

ANNEXE  
\*\*\*\*\*



CARACTERISATION DU BRUT ROM-1 TEST 1-E  
 Le brut ROM-1 TEST 1-E est preleve a l'interval de  
 cote : (3564-3570)m et (3577-3587)m

Caracteristiques		
- Densite a 15 C		.8204
- Densite API		41
- Viscosite Cinematique en Cst	a 20 C	5.95
	a 37.8 C	4.50
	a 50 C	3.72
- Teneur en eau par extraction	(%Vol)	traces
- Teneur en eau et sediments	(%Vol)	.06
- Salinite	(mg/l)	41
- Point d'eclair ,V.F, en C		<20
- Point d'ecoulement en C		<-30
- Teneur en asphaltenes	(%Pds)	.05
- Residu Couradson	(%Pds)	1.32
- Residu Ramsbohm	(%Pds)	.92
- Teneur en soufre total	(%Pds)	.10
- Teneur en cendres	(%Pds)	.002

Proprietes	Pc	Tc	Vc	d	MM	Teb	n	Cp	VA	TS	
Corps											
	1011H24	19.4	634.8	645	1.7359	156	468.9	1.4153	81.70	1.029	24.34
	1013H28	17.0	669.5	755	1.7520	184	500.4	1.4235	72.47	1.622	25.87
	1015H32	15.1	699.6	865	1.7644	212	543.6	1.4299	83.40	2.555	27.01
N.Paraffines	1017H36	13.6	726.8	975	1.7743	240	575.2	1.4360	94.33	4.063	27.82
	1018H38	13.0	739.5	1030	1.7790	254	589.7	1.4367	99.80	5.134	28.17
	1019H40	12.4	752.1	1085	1.7832	268	603.6	1.4387	105.3	6.559	28.26
#####											
#####											
	1011H22	27.5	712.5	529	1.8980	154	491.3	1.5042	68.53	1.284	30.56
	1013H26	24.4	756.2	618	1.9260	182	535.0	1.5229	78.26	1.998	32.09
	1015H30	21.8	793.4	707	1.9472	210	574.4	1.5372	89.25	3.010	33.12
Naphtanes	1017H34	19.8	825.9	796	1.9773	238	610.5	1.5578	99.72	4.493	34.22
	1018H36	18.9	840.7	841	1.11402	252	627.4	1.6752	100.0	6.264	34.64
	1019H38	18.1	855.0	885	1.11598	266	643.8	1.6901	101.9	7.600	35.08
#####											
#####											
	1011H16	25.7	673.6	531	1.8561	148	475.2	1.4865	66.95	1.151	29.09
	1013H12	28.8	772.4	527	1.9913	168	537.5	1.5748	68.66	2.224	36.48
	1015H16	24.1	782.3	623	1.9857	196	555.0	1.5669	80.00	3.093	33.26
Aromatiques	1017H28	25.9	786.9	681	1.8487	232	586.0	1.4848	105.4	5.237	44.50
	1018H30	23.7	798.7	736	1.8494	246	603.0	1.4800	109.7	6.661	43.90
	1019H32	21.9	809.6	791	1.8522	260	619.0	1.4794	118.3	8.412	43.60



N.Paraffines	C11H24	Undecane
	C13H28	Tridecane
	C15H32	Pentadecane
	C17H36	Heptadecane
	C18H38	Octadecane
	C19H40	Nonadecane
Naphtenes	C11H22	Cycloundecane
	C13H26	Cyclotridecane
	C15H30	Cyclopentadecane
	C17H34	Cycloheptadecane
	C18H36	Cyclooctadecane
	C19H38	Cyclononadecane
Aromatiques	C11H16	Pentylbenzene
	C13H12	Diphenylmethane
	C15H16	2,2-Diphenylpropane
	C17H20	Undecylbenzene
	C18H30	1-Phenyldodecane
	C19H32	1-Phenyltridecane
Pc	atm	
Tc	K	
Uc	ml/mol	
d	(a 25 C)	
MM	g	
Teb	K(a 1 atm)	
n	( a 25 C)	
Cp	cal/deg.mol(a 25 C)	
VA	C.poises (a 25 C)	
TS	dyn/cm (a 25 C)	

Reference pour le calcul des proprietes physiques des  
corps purs et des fractions petrolieres

#####

PROPRIETES	FAMILLE	METHODE	REFERENCE
Pc,Tc,Vc	P,N,A	Methode de LYDERSEN	[ 2 ]
d	F.P	Abaque	[ 1 ]
	P,A	Tables	[ 4 ]
	N	Abaque	[ 1 ]
Teb	P,A	Tables	[ 4 ]
	N	Equation de MEISSNER	[ 3 ]
n	P,A	Tables	[ 4 ]
	N	Correlation de LORENTZ-LORENZ	[ 3 ]
Cp	P	Tables	[ 4 ]
	N	Abaque	[ 1 ]
	A	Methode de Contribution de groupes	[ 5 ]
	F.P	Abaque	[ 1 ]
VA	P,A	Methode de THOMAS	[ 5 ]
	N	Methode d'ORRICK et ERBAR	[ 5 ]
TS	P,N,A	Correlation des etats correspondants	[ 2 ]



## BIBLIOGRAPHIE

[ 1 ] J-P.WUITHIER

Le petrole.Raffinage et genie chimique.Ed:Technip,T1,1972

[ 2 ] J-S.E.CHITOUR

Correlations sur le petrole brut et les fractions petrolieres.Ed:O,P.U,1983

[ 3 ] J-PERRY and CHILTON

Chemical Engineer's Handbook,Ed:Mc GRAW-HILL,1973

[ 4 ] J-J.DEAN

Lange's Handbook of chemistry,Ed:Mc GRAW-HILL,1985

[ 5 ] J-R.C.REID,J.M.PRAUSNITZ et T.K.SHERWOOD

The properties of Gases and Liquids,Ed:Mc GRAW-HILL,1977

[ 6 ] J-V.PROSKOURIAKOV et A.DRABKINE

La chimie du petrole et du gaz,Ed:MOSCOU,1981

[ 7 ] Projets de fin d'etudes de :O.DERMOUNE(Janvier1985) et M.MEDJDOUB(Janvier1986)

