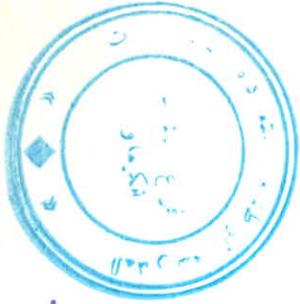


18/91



وزارة التعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

lex

le 02/7/91

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : *Génie chimique.*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Etablissement de logiciels de
recherche sur les propriétés des
fractions pétrolières.*

Proposé par :

P^r Y. E. Chitour.

Etudié par :

Y. Imail.

Dirigé par :

P^r Y. E. Chitour.

PROMOTION : *juin 1991.*

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : *Génie chimique.*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Etablissement de logiciels de
recherche sur les propriétés des
fractions pétrolières.*

Proposé par :

P^r S. E. Chitour.

Etudié par :

S. Imail.

Dirigé par :

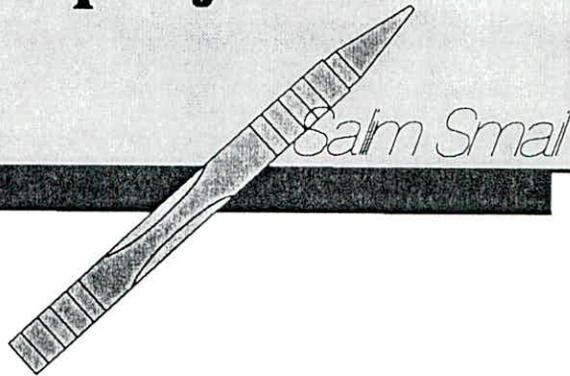
P^r S. E. Chitour.

PROMOTION : *Juin 1991.*

Dedicaces

Je dédie ce travail
à :

- * mon père et ma mère.
- * mes soeurs et mon frère.
- * à tous ceux que j'aime.



REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer tout l'honneur et le plaisir que j'ai eu à travailler avec le professeur
CHITOUR.

Je remercie pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'assister à ma soutenance:

Monsieur BELABBES, professeur.

Madame DERRICHE, chargé de cours.

Monsieur AHMED ZAID, maître assistant.

Madame BOUAMRA, assistante.

Je tiens à souligner ma gratitude à Madame BOUAMRA pour toute l'aide qu'elle m'a apportée et pour les conseils qu'elle m'a prodigués.

Je n'oublie pas de citer dans mes remerciements Monsieur DJAMEL OUZZANE pour toute son aide au cours de ces cinq années d'études.

MINISTERE AUX UNIVERSITES
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE
PROMOTEUR S.E CHITOUR
ELEVE INGENIEUR : SMAIL SALIM

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : تحفير برنامج إعلام آلي للبحث على خواص
الجزئيات البترولية .

الملخص : تحفير برنامج إعلام آلي للبحث على خواص
الجزئيات البترولية .

- * برنامج إعلام آلي للبحث على علاقات غير نميرية قهه للجزئيات البترولية .
- * برنامج يمثل مزيج معتقد .
- * برنامج تحفير علاقات مترية مخططة تصف خواص الهيدروكاربونات .
- * أخيرا ، تحفير علاقات غير نميرية على الهيدروكاربونات النقية .

SUBJECT: ELABORATION OF INFORMATIC PROGRAM OF RESEARCH ABOUT
PETROLEUM FRACTIONS.

SUMMARY: Elaboration of informatic program of research about
petroleum fractions:

* Informatic programs of research to the correlations that
characteristic a fraction.

* Program of simulation of complex mixtures.

* Program informatic that establish a nomograms about
properties of hydrocarbons.

At the end , establishment of correlations about pur
hydrocarbons.

SUJET: ELABORATION DE PROGRAMMES INFORMATIQUES DE RECHERCHE
SUR LES PROPRIETES DES FRACTIONS PETROLIERES.

RESUME: Elaboration de logiciels de recherche sur les
fractions pétrolières.

* Logiciels de recherche de corrélations caractérisant une
fraction pétrolière .

* Programme de simulation de mélanges complexes .

* Logiciels, établissant des nomogrammes sur les propriétés
les hydrocarbures .

Enfin, établissement de corrélations sur les hydrocarbures
purs.

SOMMAIRE

I	INTRODUCTION :	3
II	GRANDEURS PHYSIQUES CARACTERISANT UN PETROLE BRUT OU UNE FRACTION PETROLIERE :	5
II _ 1	GRANDEURS ACCESSIBLES PAR L' EXPERIENCE :	6
II _ 2	GRANDEURS ACCESSIBLES PAR CALCUL :	16
III	COMPOSITION DU PETROLE BRUT ET DES FRACTIONS PETROLIERES:	23
III _ 1	GENERALITES :	23
III _ 2	TRAVAUX ET CORRELATIONS DETERMINANT LA COMPOSITION DU PETROLE BRUT ET DES FRACTIONS PETROLIERES :	24
III _ 3	DOMAINE D'APPLICATION DES CORRELATION LES PLUS IMPORTANTES ET LIMITES DE CES CORRELATIONS:	25
IV	SIMULATION D' UNE FRACTION PETROLIERE	28
IV _ 1	INTRODUCTION :	28
IV _ 2	INTERET , DIFFICULTES ET LIMITES DE LA SIMULATION D'UNE FRACTION PETROLIERE :	28
IV _ 3	METHODE D'UTILISATION DU PROGRAMME SIMUL.EXE :	29
IV _ 4	INTERPRETATION DES RESULTATS ISSUS DE SIMUL.EXE :	31
V	METHODES DE DETERMINATION DES COMPOSITIONS DE COUPES PETROLIERES :	32
V _ 1	INTRODUCTION :	32
V _ 2	APPROCHE N=° 1 DE LA DETERMINATION DES COMPOSITIONS DE FRACTIONS PETROLIERES :	32
V _ 3	APPROCHE N=° 2 DE LA DETERMINATION DES COMPOSITIONS DE FRACTIONS PETROLIERES :	35
V _ 4	APPROCHE N=° 3 DE LA DETERMINATION DES COMPOSITIONS DE FRACTIONS PETROLIERES :	41
V _ 4 _ 1	PROGRAMME CORRELAT.PAS :	41
V _ 4 _ 2	METHODE D'UTILISATION DE CORRELAT.PAS :	43
V _ 4 _ 3	EXPLOITATION DES RESULTATS ISSUS DE CORRELAT.PAS :	47
V _ 4 _ 4	PROGRAMME CORREL2.PAS :	49

VI NOMOGRAPHIE ET CORRELATIONS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES D ' UNE COUPE PETROLIERE MOYENNE :	52
VI _ 1 INTRODUCTION :	52
VI _ 2 RAPPEL DE STATISTIQUES :	52
VI _ 3 CORRELATIONS ET NOMOGRAPHIE SUR LES HYDROCABURES D'UNE COUPE MOYENNE :	54
VI _ 3 _ 1 METHODE D'UTILISATION DE NOMOG.EXE :	61
VI _ 3 _ 2 NOMOGRAPHIE SUR LES HYDROCARBURES D'UNE COUPE MOYENNE :	63
VII CONCLUSION :	64

introduction

Le pétrole et les fractions pétrolières sont des mélanges complexes d'hydrocarbures de structures moléculaires variées mais excluant toutefois les formes instables .

Etablir des corrélations sur le pétrole brut ou sur une coupe de celui-ci signifie tout simplement établir des équations exprimant la variation de grandeurs physiques (viscosité, chaleur de vaporisation ...) à partir de grandeurs physiques plus simplement accessibles telles que l'indice de réfraction , la densité et autres...

Nous rechercherons au cours de ce travail des corrélations pour déterminer la composition des fractions pétrolières en connaissant les grandeurs physiques les plus aisément accessibles par l'expérience .

PARTIE THEORIQUE

2

II GRANDEURS PHYSIQUES CARACTERISANT UN PETROLE BRUT OU UNE FRACTION PETROLIERE:

Un pétrole brut ou une fraction pétrolière possède des propriétés physiques les caractérisant des autres .Une idée précise des propriétés d'une fraction pétrolière donnera une idée précise sur sa composition.

Dans cette partie , certaines propriétés seront définies avec plus de précision que d'autres car plus importantes .

Nous les classerons en grandeurs aisément accessibles par l'expérience et en grandeurs accessibles par des formules empiriques et corrélations ,donc peu intéressantes pour caractériser une fraction pétrolière et nous indiquerons éventuellement si la grandeur est additive ou non .L'additivité d'une propriété P étant définie de la manière suivante :

Soit un mélange d'hydrocarbures complexe ou non ,chacun des hydrocarbures interviendra par sa contribution à la propriété P de la manière suivante :

$$P = \frac{\sum X_i P_i}{\sum X_i}$$

ou P_i :propriété du corps i.

x_i :proportion du corps i dans le mélange.

P :propriété physique du mélange.

II_1 GRANDEURS PHYSIQUES ACCESSIBLES PAR L'EXPERIENCE:

a) DENSITE:

La densité est une grandeur relative. La densité d'un pétrole ou d'un mélange d'hydrocarbures représente la masse d'un certain volume de ce mélange sur la masse du même volume d'eau.

La mesure de la densité fait l'objet des normes : NF T 60-101 pour les produits courants . Selon la température du produit considéré et celle de l'eau , on trouvera la densité d^{20}_4 (produit à 20 °C et celle de l'eau à 4°C).

La specific gravity pour les pays anglo-saxons se mesure à 60°F pour le produit considéré et 60°F pour l'eau . La spécifique gravity fait l'objet de la norme D 1657 .

La densité , de même que la spécifique gravity est une grandeur additive, aisément accessible par l'expérience . C'est une propriété souvent présente dans les corrélations et un facteur de caractérisation de mélanges d'hydrocarbures .

La densité et la spécifique gravity sont très rapprochées , la relation suivante les lie:

$$d^{20}_4 = 0.9904 * spgr(60/60°F)$$

b) TEMPERATURE D'EBULLITION:

Le point d'ébullition d'une solution est la température à laquelle la tension de vapeur de cette solution est égale à la pression régnant au dessus d'elle .

La température d'ébullition est facilement mesurable . De nombreuses corrélations basées sur la structure moléculaire des composés sont disponibles pour les corps purs.

Le problème se complique quand il s'agit d'un mélange de plusieurs constituants . En réalité , le mélange distille dans un intervalle plus ou moins large de température selon la diversité des constituants . Toutefois , pour ces mélanges , 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 mole , on obtient respectivement les températures d'ébullition volumétriques (T_v) , pondérale (T_p) ou moléculaire (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 précédentes en y ajoutant un incrément qui dépendra de la distillation TBP (TRUE BOILING POINT) ou ASTM .

*DISTILLATION ASTM

Cet essai fait l'objet des normes suivantes :

- NF M 07-002 pour les produits légers.
- NF M 07-009 pour les produits lourds.

La distillation ASTM est effectuée en condensant les vapeurs formées dans un tube en cuivre .L'opérateur 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 , 95% du produit considéré est recueilli dans l'éprouvette.

*DISTILLATION TBP:

La distillation TBP se fait sur un pétrole brut .C'est une distillation fractionnée qui consiste à séparer les divers hydrocarbures constituant le pétrole brut en fonction de leur température d'ébullition .

A cet effet ,on utilise une colonne de distillation en discontinue pouvant traiter par exemple une centaine de litres de brut .La haute sélectivité de l'appareil permet d'obtenir en tête de la colonne les constituants purs du pétrole ayant la même température d'ébullition d'où le nom de TBP (TRUE BOILING POINT) .

c) LA VISCOSITE :

La détermination de la viscosité est couverte par une norme française unique NF T 60-100 alors que les normes ASTM se décomposent en :-viscosité cinématique :D 44 S;

-Saybolt test :D 88;

-tables de conversion :D 666,et 446D.

La viscosité est la résistance interne qui s'oppose à l'écoulement d'un fluide , provoquée par le frottement des molécules les unes contre les autres .

Il faut distinguer entre viscosité cinématique et dynamique . En pratique pour caractériser la viscosité des produits ,on utilise la viscosité cinématique en cP(centipoise cgs).

Les méthodes d'estimation de la viscosité sont nombreuses . Pour les substances pures la plupart des méthodes d'estimation ont recours à des courbes désignées pour reproduire la relation entre viscosité et la température .

***METHODE DE LEWIS ET SQUIRES:**

Cette une méthode graphique ,nécessite la viscosité à une température donnée , s'applique pour

$$0 < \eta < 2 \text{ cP}$$

***METHODE DE GRAID:**

Nécessite la température d'ébullition.

$$\text{Ln}\left(\frac{\eta_l}{\eta_{lb}}\right) = \frac{\delta H_{vb} - RT}{n} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_b}\right)$$

Les différents paramètres à l'ébullition sont estimés par la structure de groupe.

Le domaine d'application est $0 < n < 15 \text{ cp}$.

***METHODE DE MILBRAND:**

Elle est valable pour les composés non polaires .

$$\frac{1}{\eta_l} = B_2 \left(\frac{V - V_0}{V_0}\right)$$

V_0 et B_2 sont estimés à partir de la structure.

***VISCOSITE D'UN MELANGE :**

La viscosité d'un mélange d'hydrocarbures n'est pas une propriété linéairement additive en volume .on utilise généralement un papier viscosimétrique ASTM en opérant avec des viscosités mesurées à la même température .

On peut également utiliser la formule suivante avec une bonne précision:

$$\ln(\ln(\eta)) = \frac{x \ln(\ln(\eta)) + (1-x) \ln(\ln(\eta))}{1}$$

Pour un binaire.

*Pour un mélange de corps purs plus complexe :

$$\ln(\ln (\eta)) = \frac{\sum X_i \ln(\ln(\eta_i))}{\sum X_i}$$

d) INDICE DE REFRACTION :

L'indice de réfraction (n) et la réfraction molaire (Rd) sont des indications du mode dans lequel une molécule agit avec la lumière . L'indice de réfraction est le rapport de la lumière dans le vide (c) à la vitesse de la lumière dans le milieu considéré (v):

$$n = \frac{c}{v}$$

L'indice de réfraction est mesuré en utilisant un rayon de lumière monochromatique - surtout la lumière jaune du Sodium , n_D^{20} . D , indique la longueur d'onde utilisée et 20 la température en (°C).

La réfraction molaire ,Rd , est fonction de la masse volumique du milieu considéré.

$$R_d = \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) * \frac{M}{\rho}$$

L'indice de réfraction est une propriété additive en mole.

Nous citerons les méthodes de détermination de N_D^{20} et Rd .

***METHODE D'ESENLOHR:**

Nécessite la structure de la molécule pour déterminer Rd . Elle s'applique aux composés avec C , H , O , N , S , Cl , BR , I ; avec des composés à double ou triple liaisons ; aux aromatiques.

***METHODE DE VOGEL:**

Nécessite la structure pour Rd.

***METHODE DE HANSCH ET AL :**

Nécessite la structure pour Rd . Elle s'applique aux benzènes substitués.

e)MASSE MOLECULAIRE :

La masse moléculaire est la plus importante caractéristique physico chimique de toute substance . Dans le cas de produits pétroliers , ce paramètre fournit la valeur "moyenne " de la masse moléculaire des corps constituants telle ou telle fraction pétrolière .La masse moléculaire des coupes étroites (50°C) à mêmes limites de distillation a , dans des pétroles différents ,des valeurs voisines.

La détermination de la masse moléculaire ne pose pas de problèmes pour un corps pur ou un mélange de corps purs .Il est possible d'écrire :

$$M = \frac{\sum X_i M_i}{\sum X_i}$$

avec X_i :fraction molaire.

Pour une fraction pétrolière ,des corrélations faisant intervenir des grandeurs physiques différentes existent:

***Formule de M.ROBERT:**

$$M = 1.70545 n_d^{20} + 792.93 d_4^{20} + 4.553 PA - 3287$$

* A partir de l'indice de réfraction et la température moyenne d'ébullition:

$$\log M = 0.001978 \text{ Teb}(\text{°C}) + 1.9394 + \log (2.15 - \frac{n_d^{20}}{d})$$

*FORMULE DE HUANG(1977):

$$M = 7.7776 * 10^{-6} * \text{Teb}^{2.1197} * I^{-2.089} * d$$

avec M : poids moléculaire ;
Teb : température d'ébullition en degré Rankine.
d : densité à 20 °C et 1 atm.
I : facteur de caractérisation.

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

n:indice de réfraction.

*RELATION DE VOINOV:

$$M = a + b T_{\text{moy}} + c T_{\text{moy}}^2$$

a , b et c constantes caractéristiques de la classe d'hydrocarbures

*pour les alcanes:

$$M = 60 + 0.3 T_{\text{moy}} + 0.001 T_{\text{moy}}^2$$

***pour les cyclo_alcanes:**

$$M_{\text{moy}} = (7 \text{ Kuop} - 21.5) + (0.76 - 0.04 \text{ Kuop}) T_{\text{moy}} + (0.03 \text{ Kuop} - 0.00245) T_{\text{moy}}^2$$

T_{moy} : température d'ébullition moyenne du produit considéré.

***A partir du diagramme Kuop:**

Graphiquement , pour différents Kuop:

$$M = f (d , T_{\text{mav}})$$

f) 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 .

L'équation liant la tension de vapeur P_{vp} d'un corps pur à la température est obtenue par l'intégration de l'équation **CLAUSIUS_ CLAPEYRON** :

$$\frac{d \ln P_{vp}}{d T} = \frac{\delta H_v}{\delta Z RT^2}$$

δH_v :chaleur de vaporisation en cal/mole
 δZ :facteur de compressibilité donné par

$$\delta Z = \frac{P_{vp} \delta V}{RT}$$

δV :différence de volume entre la vapeur et le liquide.
 Plusieurs équations de pression de vapeur sont données dans la littérature .
 De nombreuses équations intéressantes découlent de l'équation d'Antoine :

$$\ln P_{vp} = A_2 - \frac{B_2}{T - C_2}$$

*Pression de vapeur d'un mélange d'hydrocarbures:

La tension de vapeur est une propriété additive . Cette additivité met en cause des molécules , donc la pondération se fera en fonction des pourcentages moléculaires .

$$(T_{v_v}) = \sum (T_{v_v})_i X_i$$

- (T_{v_v})_m : tension de vapeur vraie du mélange à T donnée.
(T_{v_v})_i : tension de vapeur vraie du constituant i à T donnée.
 X_i : fraction molaire de i dans le mélange.

*Tension de vapeur d'une fraction pétrolière:

L'étude des équilibres liquide_vapeur définit la tension de vapeur d'un mélange complexe comme étant la pression de bulle de ce mélange à une température donnée . En réalité on mesure la tendance des molécules à s'échapper par un essai plus simple et qui donne la tension de vapeur REID ou TVR . Pour estimer (T_v) d'un mélange , il existe des abaques donnant la TVR en fonction de la pente ASTM (15%_5%).

G) POINT D'ANILINE:

Le point d'aniline est la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et du produit considéré sont complètement miscibles . Un point d'aniline élevé dénote une nature paraffinique , un point d'aniline bas dénote une nature aromatique.

Le point d'aniline est une propriété additive.

H) TENSION SUPERFICIELLE :

La tension superficielle d'un liquide est le travail effectué pour augmenter la surface d'un corps d'une aire unité , corps dont les molécules exercent les unes sur les autres des forces d'attraction.

La tension superficielle dépend de la température , c'est une donnée mesurable par quelques appareils simples tels que les capillaires .

Des corrélations empiriques sont également disponibles :

***Composés purs :**

.Méthode de MAC LEOD et SUDGEN:

$$\sigma = \left[P * \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{M} \right) \right]^4$$

σ : tension superficielle (dyne/cm).

P: Parachor.

ρ_l : masse volumique du liquide (g/cm³).

ρ_v : masse volumique de la vapeur (g/cm³).

M: poids moléculaire (g/mole).

L'incrément du Parachor dépendant des groupements de la molécule du composé.

***Tension superficielle d'un mélange:**

La tension superficielle n'étant pas une propriété additive :

.Corrélation de MAC LEOD_SUDGEN:

$$\sigma_m = \sum [P_i] (\rho_{LM} x_i - \rho_{VM} y_i)$$

x_i, y_i : fraction molaire du constituant i dans la phase liquide et gazeuse respectivement.

ρ_{LM}, ρ_{VM} : masse volumique du mélange liquide et gazeux respectivement (g*mole/cm³).

.Corrélation des états correspondants:

$$\sigma = P_{cm}^{\frac{2}{3}} T_{cm}^{\frac{1}{3}} \theta_m (1 - T_r)^{\frac{11}{9}}$$

*Pour de basses pressions:

$$\sigma_n^{\frac{1}{4}} = \rho_{lm} \sum_{i=1}^n \frac{x_i \sigma_i^{\frac{1}{4}}}{\rho_{Li}}$$

II_2 GRANDEURS ACCESSIBLES PAR CALCUL

I) LES PARAMETRES CRITIQUES:

Les propriétés critiques sont des caractéristiques physiques des hydrocarbures. Ces paramètres définissent le point limite supérieur. Pour l'estimation des paramètres critiques d'un corps pur, nous citerons :

***Méthode de Lydersen :**

$$T_c = T_{eb} [(0.567 + \delta T - (\delta T)^2)]^{-1}$$

$$P_c = M (0.34 + \delta P)^{-2}$$

$$V_c = 40 + \delta V$$

avec T_c : température critique.

P_c : pression critique.

$\delta T, \delta P$ et δV sont des incréments propres aux différents groupements d'hydrocarbures.

***METHODE DE NOKAY :**

$$\log (T_c) = A + B * \log (spgr) + c * \log (T_{eb})$$

T_{eb} : température d'ébullition.

A, B et C : constantes déterminées par Spencer et Daubert.

Pour des mélanges d'hydrocarbures des abaques sont disponibles.

J) Chaleur spécifique C_p :

La chaleur spécifique molaire est la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température d'une mole du corps considéré d'un degré centigrade.

La chaleur spécifique des liquides organiques peut être déterminée par différentes corrélations empiriques.

Aux faibles pressions , Cp est déterminée par :

$$Cp * W^{2.8} = b$$

ou W : facteur d'expansion en phase liquide de Watson.
b : constante dépendant de la nature du composé.

On peut utiliser l'équation :

$$Cp_2 = Cp_1 \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{2.8}$$

avec $W = 0.1745 - 838 * 10^{-5} Tr$,

dans les conditions suivantes :

P <= 10 atm ;

Tr <= 0.65 ;

*** Méthode de Swanson et Chueh :**

La méthode de Swanson et Chueh repose sur la contribution des groupements moléculaires à la chaleur spécifique molaire du liquide.

*** Méthode de Johnson et Huang :**

Elle repose sur le même principe que la précédente .

Pour ces deux méthodes , des tables fournissent les contributions de groupes à la chaleur spécifique pour chaque composé .

***Chaleur spécifique des mélanges de corps purs :**

La chaleur spécifique d'un mélange de deux ou plusieurs gaz à basse pression peut être calculée à partir de leur fraction en pourcentage poids ou molaire multipliée par la chaleur spécifique massique ou molaire respectivement :

$$C_p = \frac{\sum_i C_{p_i} X_i}{\sum X_i}$$

***Chaleur spécifique d'une fraction pétrolière (vaporisée) :**

Elle est estimée à l'aide d'abaques ou de corrélations :

$$C_p = \frac{[4.0 - spgr(60/60)] . [t + 670]}{6450}$$

ou C_p est en BTU/lb°F
t en °F .

L'équation présente un écart de 2% pour un intervalle de température :

température de rosée (dewpoint) < t < 660°F ;
et 0.68 < spgr(60/60) < 0.9 .

***Chaleur spécifique d'une fraction pétrolière liquide:**

La chaleur spécifique est estimée à 4% près par l'équation:

$$C_p = \frac{0.388 + 0.00045 T}{(spgr)^{0.5}}$$

C_p en BTU/lb°F ; T en °F .

Cette corrélation s'applique aux conditions suivantes :

32 < T < 400 °F ;
0.75 < spgr < 0.96 ;

et 400 < T < 750 °F avec une erreur de 5%.

K) CHALEUR DE VAPORISATION :

La chaleur de vaporisation ou enthalpie de vaporisation δH_v est la quantité de chaleur nécessaire pour convertir une unité de masse de liquide en vapeur sans élévation de température et à une pression constante .

C'est une fonction de la température qui décroît avec l'élévation de cette dernière . Pour plusieurs substances pures , la littérature fournit des tables de δH_v .

*Chaleur de vaporisation du corps pur :

*F_TROUTON (1884) : concernant les composés organiques ,

$$\frac{\delta H_v}{T_{eb}} = 21 \quad \text{cal/}^\circ \text{mole}$$

*Equation de CLAPEYRON :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\delta H_v}{T (V_g - V_l)}$$

* Méthode modifiée de KLEIN :

FISHTINE a introduit un facteur de correction empirique K_{kl} fonction de la température d'ébullition (tabulé) :

$$\delta H_{vb} = RK_{kl} * T_b * \frac{\text{Log } P_c \sqrt{1 - \frac{1}{[P_c (T_b/T_c)^3]}}}{1 - T_b/T_c}$$

T_c et P_c : température et pression critique respectivement en K et atmosphère .

T_b : température d'ébullition (kelvin) .

δH_v : en cal/mole , chaleur de vaporisation à la température d'ébullition .

*Méthode de Giacalone :

$$\delta H_{vb} = \frac{RT_b * \text{Log } P_c}{1 - (T_b/T_c)}$$

***Méthode de Riedel :**

$$\delta H_{vb} = \frac{t_b (5 * \log P_c - 2.17)}{0.930 - (T_b/T_c)}$$

***Méthode de Chen :**

$$\delta H_{vb} = \frac{T_b [7.11 \log P_c - 7.82 + 7.9 (T_b/T_c)]}{1.07 - (T_b/T_c)}$$

***Méthode de Haggemacher :** découlant de l'équation d'Antoine

$$\log P = A - \frac{B}{T + C}$$

$$\delta H_{vb} = \frac{2303 * B * RT^2 \sqrt{1 - (P/P_c) / (T/T_c)^3}}{(T + C)^2}$$

Estimation de δH_v à une température autre que la température d'ébullition :

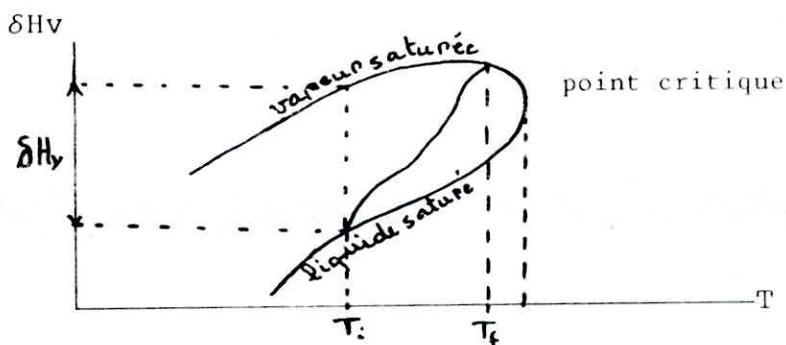
La méthode de Thiesen est fréquemment utilisée :

$$\delta H_v = k (1 - T/T_c)^n$$

En général $n = 0.38$.

*Chaleur latente de vaporisation d'une fraction pétrolière :

Pour une fraction pétrolière , le changement de phase ne s'effectue pas à une température constante , mais dans un intervalle de température ($T_i - T_f$).



La chaleur de vaporisation est ($H_v - H_l$)

Pour mesurer ou calculer la chaleur latente de vaporisation d'une fraction pétrolière , on a recours à une méthode simple qui est la règle de Maxwell similaire à celle utilisée pour un corps pur .

Cette méthode s'applique aux fractions ayant un Kuop différent de 12 en utilisant la température moyenne pondérée comme point d'ébullition normale et la pression réduite sera calculée à partir de la pression pseudo_critique de la fraction .

L) L'ENTHALPIE :

L'enthalpie d'un hydrocarbure et d'une fraction pétrolière exprime la quantité totale de chaleur contenue dans cet hydrocarbure ou cette fraction dont l'état thermodynamique doit être définie par la pression et la température .

A pression constante , l'expression générale de la fonction enthalpie H s'écrit :

$$H = \int C_p dT + \lambda . \quad L1$$

ou δH_v est la chaleur de vaporisation .

Il est nécessaire de choisir un état de référence pour calculer cette fonction :

$H = 0$ au zéro absolu ou à 0°C ou à 0°F .

*Enthalpie du corps pur :

L'enthalpie des corps purs est donnée par des abaques . Elle est aussi bien représentée par l'équation L1 .

*Enthalpie des mélanges d'hydrocarbures purs :

a) En phase liquide :

$$\delta H_L = \sum_i \delta H_{Li} \cdot X_i$$

b) En phase vapeur (0 - 1 atm) :

$$\delta H_v = \sum_i \delta H_{vi} \cdot y_i$$

Les enthalpies sont exprimées en cal/mole ou BTU/mole.
 x_i et y_i sont des fractions molaires dans le cas de ces règles d'additivités .

La règle a) est valable pour les mélanges d'hydrocarbures , spécialement les séries homologues . La règle b) n'est rigoureuse que pour les mélanges à dilution infinie (0 atm) et est approximative pour les pressions supérieures à l'atmosphère .

*Enthalpie des fractions pétrolières :

L'identification des fractions pétrolières à des hydrocarbures purs par l'artifice de la température moyenne pondérée et du facteur de caractérisation a permis la représentation de leur enthalpie à l'aide de diagrammes identiques à ceux des corps purs .

Pour les fractions paraffiniques on prendra $Kuop = 12$, pour les non paraffiniques on prendra $Kuop = 11$.

Pour la lecture des abaques il faut ajouter aux règles précédemment énoncées la règle suivante :

La différence moyenne entre l'enthalpie de la vapeur à basse pression (0 - 1 atm) et celle du liquide à température constante est la même pour un mélange d'hydrocarbures que pour un seul composé ayant la même masse moléculaire et la même T_{nav} .

III COMPOSITION DU PETROLE BRUT ET DES FRACTIONS PETROLIERES :

III GENERALITES :

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

Les formes oléfiniques ont par contre peu de chance de se trouver dans le pétrole brut du fait de la longue formation de ce dernier . Donc d'éventuelles molécules instables à l'origine de la formation du pétrole brut se sont lentement stabilisées.

Compte tenu de la tétravalence de l'atome de carbone et de la monovalence de l'atome d'hydrogène , les différentes possibilités de combinaison de ces atomes peuvent se classer selon deux règles générales : addition des atomes de carbone en chaîne ou en cycle avec saturation ou non entre les atomes de carbone .

On trouve surtout les trois classes d'hydrocarbures suivantes:

1_Hydrocarbures aliphatiques ou paraffiniques:

De formule brute C_nH_{2n+2} . Les hydrocarbures paraffiniques normaux, c'est à dire à chaîne droite , en sont la forme la plus stable donc ayant le plus de chance de se trouver dans le pétrole et les fractions pétrolières qui en sont issues .

En effet, les hydrocarbures ramifiés sont plus réactifs et moins stables .

2_Hydrocarbures cycliques :

Le cycle ou noyau peut être réalisé avec un nombre de carbone supérieur ou égal à trois (03) , cependant le cycle à 6 carbones est le plus fréquent , car il correspond à l'angle de raccordement de 109° des atomes de carbone .

Nous classerons les hydrocarbures mixtes résultant de l'union d'un hydrocarbure cyclique et un hydrocarbure paraffinique , avec les hydrocarbures cycliques .

3_Hydrocarbures aromatiques:

Ce sont des hydrocarbures cycliques non saturés . Le cycle à 6 atomes de carbone et à 3 doubles liaisons est la forme la plus stable donc la plus fréquente dans cette famille d'hydrocarbures.

De la même manière que pour les naphtésènes , nous classerons les hydrocarbures mixtes constitués d ' un noyau benzénique et d'une chaîne paraffinique avec les aromatiques .

III_2 TRAVAUX ET CORRELATIONS DETERMINANT LA COMPOSITION DU PETROLE BRUT ET DES FRACTIONS PETROLIERES:

Le pétrole brut et les fractions pétrolières sont des mélanges d'hydrocarbures issues des trois familles suivantes:

paraffine
naphténe
aromatique

Ces trois familles sont présentes en proportions variables en passant d'un pétrole à un autre ou d'une fraction pétrolière à une autre.

De nombreux travaux ont été effectués en vue de déterminer ces proportions, c'est à dire, la composition du pétrole brut à partir de grandeurs physiques accessibles par l'expérience, en général, densité, indice de réfraction, point d'aniline ou viscosité.

Les plus importantes méthodes de détermination de ces compositions sont:

III_1_1 Méthode N_d_m :
 III_1_2 Méthode N_d_Pa:

Ces deux méthodes figurent dans le tableau ci-dessous:

n ET d MESURÉS A 20°C		n ET d MESURÉS A 70°C	
$V = 2,51 (n - 1,4750) - (d - 0,8510)$ $W = (d - 0,8510) - 1,11 (n - 1,4750)$		$V = 2,42 (n - 1,4600) - (d - 0,8280)$ $W = (d - 0,8280) - 1,11 (n - 1,4600)$	
V > 0	$\% C_A = 430 V + \frac{3660}{M}$ $R_A = 0,44 + 0,055 MV$	V > 0	$\% C_A = 410 V + \frac{3660}{M}$ $R_A = 0,41 + 0,055 MV$
V < 0	$\% C_A = 670 V + \frac{3660}{M}$ $R_A = 0,44 + 0,080 MV$	V < 0	$\% C_A = 720 V + \frac{3660}{M}$ $R_A = 0,41 + 0,080 MV$
W > 0	$\% C_R = 820 W - 3 S + \frac{10000}{M}$ $R_T = 1,33 + 0,146 M (W - 0,005 S)$	W > 0	$\% C_R = 775 W - 3 S + \frac{11500}{M}$ $R_T = 1,55 + 0,146 M (W - 0,005 S)$
W < 0	$\% C_R = 1440 W - 3 S + \frac{10600}{M}$ $R_T = 1,33 + 0,180 M (W - 0,005 S)$	W < 0	$\% C_R = 1440 W - 3 S + \frac{12100}{M}$ $R_T = 1,55 + 0,180 M (W - 0,005 S)$
$\% C_N = \% C_R - \% C_A$ $\% C_P = 100 - \% C_R$		$R_N = R_T - R_A$	

TABLEAU I.15
METHODE n.d.PA

n ET d MESURÉS A 20°C
$\% C_A = 1039,4 n - 470,4 d - 0,315 PA - 1094,3$ $\% C_R = 1572,2 n + 816,15 d - 0,4019 PA + 1602,2$ $\% C_P = 100 - (\% C_A + \% C_R)$

III_1_3:Méthode VGC_RI et VGF_RI :

Basée sur des facteurs de caractérisation : le "Refractivity intercept" (Ri) et la "Viscosity gravity constant " (VGC) sont deux paramètres qui séparent convenablement les différentes familles d ' hydrocarbures.

$$Ri = n - d/2$$

$$VGC = \frac{10 s - 1.0752 (V_1 - 38)}{10 - \log (V_1 - 38)}$$

ou

$$VGF = \frac{s - 0.022 \log (V_2 - 35.5)}{0.755}$$

$$\text{On a } VGF = -1.816 + 3.484 * s - 0.1156 \text{ Ln } V_1$$

V_1 et V_2 sont les viscosités en SSU à 100°F et 200 °F respectivement .

Soient X_p , X_n et X_a respectivement les compositions molaires en paraffines , naphtés et aromatiques :

$$Ri = 1.0482 * X_p + 1.038 * X_n + 1.081 * X_a$$

$$VGC = 0.774 * X_p + 0.915 * X_n + 1.04 * X_a$$

$$\text{De plus } X_p + X_n + X_a = 1$$

La résolution de ce système d'équations mène à:

$$X_p = -9.00 + 12.53 * Ri - 4.228 * VGC$$

$$X_n = 18.66 - 19.9 * Ri + 2.973 * VGC$$

$$X_a = -8.66 + 7.37 * Ri + 1.255 * VGC$$

III_3:Domaine d'application des corrélations les plus importantes et limites de ces corrélations:

III_3_1:La méthode N_d_m :cette méthode nécessite la connaissance de trois grandeurs : indice de réfraction ; densité ; poids moléculaire et éventuellement %S .

Les deux dernières propriétés introduisent une contrainte dans la mesure ou le poids moléculaire est déterminé par des corrélations empiriques alors que le %S n'est pas aisément accessible .

III_3_2 Méthode N_d_Pa : cette méthode s'applique au pétrole brut et aux fractions pétrolières avec moins de précision . Des essais de cette méthode sur des fractions pétrolières montrent quelques écarts importants avec la méthode d'analyse qu'est la CGMS à notre avis la technique d'analyse la plus performante actuellement en ce qui concerne les hydrocarbures.

III_3_3 Méthode VGF_RI ou VGS_RI: les mêmes appréciations et critiques s'appliquant à la méthode NDPA , peuvent être portées sur cette méthode .

Il est à remarquer la qualité du facteur de RIAZI_DAUBERT. En effet , une paraffine légère telle que le pentane et une paraffine lourde telle que le ($C_{29}H_{60}$) verront leur Riaz ne varier que de 7.710^{-3} (respectivement $Ri = 1.03922$ et $Ri = 1.0468$) . Cependant , la méthode RIAZI_DAUBERT s'applique aux lourds surtout.

PARTIE EXPERIMENTALE

IV SIMULATION D'UN MELANGE COMPLEXE:

IV INTRODUCTION:

Cette introduction se voudra une introduction pour la partie calcul numérique et concernera aussi les chapitres V et VI qui suivent.

Tous les travaux et calculs numériques effectués sur une coupe large du pétrole allant des légers (C5-C6) jusqu'aux lourds (C29-C30) ont nécessité des fichiers aussi performants que possible. Ces fichiers comportent les propriétés physiques des hydrocarbures purs des trois familles (paraffines, naphthènes et aromatiques) ayant le plus de probabilités de figurer dans des fractions pétrolières.

Comme vu dans le chapitre III, les paraffines linéaires, les naphthènes et aromatiques à cycle de 6 carbones + chaîne alkylique linéaire sont les plus susceptibles de se trouver dans un pétrole brut et forcément dans des fractions pétrolières.

Néanmoins, d'éventuels utilisateurs des logiciels conçus lors de ce travail peuvent améliorer ces fichiers de données pour les rendre plus performants, s'ils estiment à raison que le listing des corps purs proposé n'est pas exhaustif.

IV_2 INTERET, DIFFICULTES ET LIMITES DE LA SIMULATION D'UN MELANGE COMPLEXE :

L'intérêt de simuler un mélange complexe tel qu'une fraction pétrolière est grand. En effet, une fraction pétrolière est caractérisée par son point d'ébullition initial (PI) et son point d'ébullition final (PF). A titre d'exemple une fraction pétrolière aura des propriétés physiques différentes d'une autre fraction si leur PI ou PF sont différents.

Une fraction 200 - 220°C aura une densité, un indice de réfraction différent d'une fraction 205 - 225°C, car la contribution des différents hydrocarbures composant ces fractions est qualitativement différente.

Il est intéressant de concevoir un logiciel qui approcherait les propriétés d'une fraction pétrolière par des méthodes basées sur l'hypothèse d'additivité et qui est comme nous le verrons souvent contestable. Ce logiciel permettrait aussi d'établir des fichiers historiques ou des échantillonnages pour des travaux de régression et d'optimisation de corrélations portant sur les fractions pétrolières sans avoir recours à de vrais mélanges d'hydrocarbures difficiles à obtenir du fait de la rareté de tous les produits purs pouvant composer ces fractions.

Néanmoins ,en considérant qu'une fraction pétrolière est un mélange complexe d'hydrocarbures ayant des propriétés qui peuvent varier de façon aléatoire , une fraction simulée ne pourra remplacer valablement une fraction pétrolière .

Considérons une fraction 200_220°C ; le nombre d'hydrocarbures distillant dans cet intervalle est grand (une cinquantaine) . La présence de tous les hydrocarbures en même temps dans cette fraction est aléatoire et de plus la contribution quantitative est aléatoire car dépendant des proportions relatives de chaque substance . Nous aurons donc des propriétés physiques théoriquement différentes pour deux fractions ayant un même PI et PF(mais de compositions différentes) .

De plus ce travail de simulation se limitera dans un premier temps aux propriétés additives , dans la mesure où chaque hydrocarbure peut contribuer à la propriété physique de la fraction par sa propre propriété , en admettant que les effets de mélanges sont négligeables .

IV_3 METHODE D ' UTILISATION DE SIMUL.EXE:

SIMUL.EXE est un programme exécutable qu'il suffit d'appeler par son nom : " simul " .

Le programme SIMUL.EXE PUISE ses données du fichier PRJ.DAT qui se trouve aussi en annexe . Donc l'un va avec l'autre . En tapant **SIMUL** , il faudra introduire le point initial (PI) et le point final (PF) de la fraction que l'on voudra simuler.

Nous avons le choix des propriétés physiques :

- _Température d'ébullition .
- _Point d'aniline .
- _Spécific gravity.
- _indice de réfraction.

Les résultats se trouveront dans le fichier **MOL.DAT** pour les compositions molaires , **MASS.DAT** pour les propriétés massiques et **VOL.DAT** pour les propriétés volumiques.
Nous donnons en annexe des applications de ce programme pour trois mélanges complexes d' hydrocarbures.

Une interprétation de ces simulations sera donnée après quelques explications sur le programme **SIMUL.EXE** :

Le programme **SIMUL** comporte une boucle qui fait varier les compositions molaires ; pour une composition donnée , le programme balaie le fichier **PRJ.DAT** de données , y puise les données de trois hydrocarbures choisis aléatoirement dans les différentes familles d ' hydrocarbures et une pondération de leurs propriétés physiques selon la règle d'additivité :

$$P = \frac{\sum P_i X_i}{\sum X_i}$$

X_i :composition molaire du corps i;

P_i :propriétés du corps i.

Une pondération molaire étant effectuée ,une procédure **CONVERT1** et une autre **CONVERT2** , déterminent respectivement les compositions volumiques et massiques correspondantes qui seront affichées dans respectivement **VOL.DAT** ET **MASS.DAT**.

Différents mélanges complexes ont été simulés .

Consultons le mélange complexe de composition molaire , ayant **PI=180°C** et **PF=368°C** qui simule en l'occurrence une coupe **GASOIL** . Dans le tableau ci-dessous nous mettons les propriétés physiques obtenues par '**SIMUL**' , les compositions molaires correspondantes (lues sur **MOL.DAT** voir annexe) et nous comparerons ces compositions aux compositions calculées par **NDPA** pour les mêmes propriétés physiques . Nous choisirons quelques mélanges du fichier **MOL.DAT** de façon aléatoire.

N20	Spgr	PA	%Xn	%Xa	%Xn (Ndpa)	%Xa (Ndpa)
1.4374	0.7821	71	11	18	18	13
1.4414	0.7935	74	18	20	20	11
1.4424	0.7981	79	12	21	21	8
1.4325	0.7765	82	0	17	17	7
1.4451	0.8027	72	23	23	23	11
1.4517	0.8109	63	40	24	24	17

Nous rappelons que dans la méthode la **NDPA** figure la densité

D_4^{20} . Nous convertissons la spécifique gravity en D_4^{20} par la

formule : $D_4^{20} = 0.9904 * spgr$

VI_4 INTERPRETATION DES RESULTAT ISSUS DE SIMUL.EXE :

Nous remarquons que l'écart le plus fort est de 20% , pour le reste il est plus faible.

En fait la NDPA est une méthode conçue pour les coupes d'hydrocarbures en général et elle est conçue de telle manière à ce que les compositions en naphtés et en aromatiques ne dépassent pas un certain seuil (20 ou 25% maximum) .

En fait, nous verrons en CGMS qu'on peut atteindre des proportions en aromatiques élevées dans certaines fractions pétrolières et que ces dernières dépassent quelques fois la proportion en naphtés , chose que la NDPA ne peut confirmer, cette méthode donnant toujours des proportions en naphtés supérieures aux proportions en aromatiques.

De plus , les points d'aniline déterminés pour les aromatiques dans le fichier PRJ.DAT , l ' ont été par extrapolation et quelques valeurs sont donc entachées d'erreurs.
Une amélioration de ces points d'aniline , optimisera la qualité des simulations effectuées par SIMUL.EXE .

V PROCEDURE DE DETERMINATION
DES COMPOSITIONS DE COUPES PETROLIERES :

V_1:INTRODUCTION:

Déterminer la composition d'une fraction pétrolière , en connaissant quelques -unes de ses propriétés physiques est bien délicat , dans la mesure ou une fraction pétrolière est un mélange complexe d'hydrocarbures .

A notre sens , le problème peut susciter plusieurs approches:

V_2 APPROCHE N°1 DE LA DETERMINATION DES COMPOSITIONS DES FRACTIONS PETROLIERES :

Si nous traitons le problème de la manière dont le fait la NDPA . Le programme SIMUL.EXE nous fournissant un fichier historique du type :

$\%X_p$	$\%X_n$	$\%X_a$	PA	Spgr	Nr
---------	---------	---------	----	------	----

Une regression linéaire nous fournira une relation type :

$$\%X_p = f(PA, Spgr, Nr);$$

$$\%X_n = f(PA, Spgr, Nr);$$

$$\%X_a = f(PA, Spgr, Nr);$$

Connaissant le point initial et le point final de la fraction , une simulation de cette fraction et une regression sur les propriétés physiques et les compositions de cette fraction nous fourniront des corrélations entre les compositions et les propriétés physiques de la fraction .

Nous nous somme fixés comme axe de recherche une coupe GASOIL (180_370°C) , la méthodologie pouvant servir à d'autres coupes. Nous travaillerons avec des compositions massiques pour pouvoir comparer nos résultats avec des résultats issus de la CGMS.

La simulation d'une coupe GASOIL étant effectuée (voir en annexe) avec 'SIMUL' ,le logiciel 'TSP' permet faire des regressions linéaires et nous appliquerons ces équations à des fractions moyennes dont le point initial et le point final sont compris entre 180 et 368 °C que nous avons mis dans le **TABLEAU V_1** (cidessous).

Résultats de ces regressions que nous noterons RI:

R1	$\%X_p = -1316.6482*Spgr - 0.6386*PA + 359.20113*N + 632.67$ $R^2 = 0.99$	SSR=200
	$\%X_n = -523.2959*Spgr - 0.109003*PA + 1881.9057*N - 2201.92$ $R^2 = 0.98$	SSR=200
	$\%X_a = 1814.0681*Spgr + 1.73624*PA - 2199.2993*N + 1628.91$ $R^2 = 0.9996$	SSR=6

R2	$\%X_p = -1129.8235*Spgr - 0.70077*PA + 1007.27$ $R^2 = 0.988$	SSR=200
	$\%X_n = 455.50537*Spgr - 1.41547*PA - 239.00$ $R^2 = 0.98$	SSR=300
	$\%X_a = 670.18662*Spgr + 2.11657*PA - 664.64$ $R^2 = 0.99$	SSR=40

Tableau V1

Appliquons ces résultats aux fractions dont l'analyse CGMS a été effectuée :

composés fractions	CGMS			R1			R2		
	%Xp	%Xn	%Xa	%Xp	%Xn	%Xa	%Xp	%Xn	%Xa
1	49.4	10.5	38.3	45.9	29.4	24.5	35.9	23.4	39.2
2	64.6	9.2	26.4	5.5	67.6	26.7	5.3	19.7	64.0
3	45.3	5.2	49.6	31.5	30.2	38.5	20.8	16.1	57.5
4	59.8	5.6	34.6	24.2	37.5	38.2	13.0	13.3	63.2
5	73.8	5.0	21.2	13.1	53.1	33.9	1.7	14.5	69.1
6	82.4	6.6	11.1	-2.6	68.6	34.1	-14.0	16.8	79.3
7	100	0	0	99.2	-4.0	5.6	85.1	-9.5	5.2
8	0	0	100	13.4	-14.3	100.8	2.74	-3.56	102.4

INTERPRETATION DES RESULTATS :

L'équation donnant la composition en aromatiques de la méthode R1 retient notre attention :

$$\%X_a = 1.73624 * PA - 2199.2993 * N + 1814.068 * Spgr + 1628.91$$

En effet cette équation approche la composition massique fournie par la méthode CGMS.

Les autres équations n'arrivent pas à discerner entre paraffines et naphtés. Ceci peut être dû à la nature des naphtés choisis dans notre fichier de données. Ces naphtés ayant une longue chaîne paraffinique fait que leurs propriétés physiques approchent celles des paraffines. Donc une amélioration du fichier PRJ.DAT améliorera la qualité des équations.

V_3 APPROCHE N=°2 DE LA DETERMINATION DES COMPOSITIONS DES FRACTIONS PETROLIERES :

Si nous considérons les méthodes NDPA , NDM et Riazi_Daubert , on remarque que les équations liant les compositions molaires en différentes familles d'hydrocarbures sont linéaires en densité , point d'aniline et indice de réfraction.

Considérons l'équation par exemple donnant le pourcentage en aromatiques de la méthode NDPA:

$$\%C_a = 1039.4*N - 470.4*d - 0.315*PA - 1094.3$$

C'est l'équation d'une droite dans un espace à 4 dimensions (%Ca , N , d , PA).

Pour tracer une droite, deux points suffisent , d'autres points ne feraient que confirmer ou infirmer la qualité de cette droite ou regression linéaire.

Considérons les résultats de l'analyse par CGMS et CPG de différentes fractions moyennes qui font office de références .

caractéristiques fraction	n	PA	d	%Xp	%Xn	%Xa
1 (220-240°C)	1.4513	77	0.8042	49.35	10.45	38.28
2 (180-368°C)	1.4642	82	0.8360	64.64	9.19	26.36
3 (225-250°C)	1.4610	73.6	0.8195	45.31	5.16	49.55
4 (275-300°C)	1.4640	77.6	0.8239	59.81	5.58	34.61
5 (300-325°C)	1.4670	82.8	0.8306	73.84	5.00	21.16
6 (325-350°C)	1.4722	86.0	0.8424	82.38	6.56	11.06
7 hexadecane	1.435	91.0	0.7525	100.0	0.00	0.00
8alkylsbenzene	1.4848	40.0	0.8560	0.00	0.00	100.0
9 (240_260°C)	1.4686	84	0.8562	—	—	—
10 (260_280°C)	1.4681	91	0.8675			
11 (280_300°C)	1.4703	94	0.8731			
12 (320_340°C)	1.4771	97	0.8953			
13 (260_300°C)	1.4702	94	0.8782			
14 (160_250°C)	1.4411	69.8	0.7856			
15 (250_320°C)	1.4601	81.4	0.8219			
16	1.4150	63.0	0.7272	84.58	9.43	6.04
17	1.4170	61.2	0.7367	77.67	9.15	8.67
18	1.4153	60.8	0.7341	77.56	12.66	9.78

TABLEAU V_1

REFERENCES:

- 1: M^m BOUAMRA (CGMS);
- 2: M^r MANA (CGMS);
- 3_4_5_6 : M^r HADJ ALI (CPG);
- 7_8 : M^r MESSEKDJI (CGMS);
- 16 : M^r A. BOUFFAROUK (CGMS);
- 17_18: CENTRE DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT (CPG).

Nous avons utilisé pour une regression linéaire les fractions
1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 :

COUPE MOYENNE (180_380°C):

M1	$\%X_p = -546.94158*D+2.6977182*PA+1444.3525*N-1814.48$ $R^2 = 0.99 \qquad \qquad \qquad SSR=2.5$
	$\%X_n = 244.507335*D+0.3081432*PA-789.06409*N+935.03$ $R^2 = 0.93 \qquad \qquad \qquad SSR=1.9$
	$\%X_a = 371.41213*D-3.156239*PA-616.15184*N+876.92$ $R^2 = 0.996 \qquad \qquad \qquad SSR=3.4$

M2	$\%X_p = -1306.3194*D+2.3599997*PA+3125.4107*N-3619.70$ $R^2 = 0.985 \qquad \qquad \qquad SSR=113.5$
	$\%X_n = 1076.6836*D-0.6031108*PA-2838.9904*N+3321.55$ $R^2 = 0.98 \qquad \qquad \qquad SSR=100$
	$\%X_a = 200.83394*D-1.7443465*PA-208.40601*N+306.60$ $R^2 = 0.94 \qquad \qquad \qquad SSR=395$

Nous appliquons ces deux méthodes aux fractions utilisées pour la regression pour vérifier la pertinence de ces regressions ainsi qu'à divers autres fractions pétrolières.

Remarque: pour les fractions non analysées par CGMS ou CPG, dont nous déterminerons la composition par M1 et M2, un paramètre important nous éclairera sur la qualité de ces méthodes. En effet, chaque équation donnant ($\%X_p$, $\%X_n$, $\%X_a$) ayant été déterminée indépendamment des autres, il sera intéressant de voir si $\%X_i$ approche 100 (TABLEAU V_2).

%masse → fraction	CGMS_CPG			M1				M2			
	%Xp	%Xn	%Xa	%Xp	%Xn	%Xa	EXi	%Xp	%Xn	%Xa	EXi
1	49.35	10.4	38.28	49.6	10.2	38.4	98	47.4	20.8	31.3	100
2	64.64	9.19	26.36	64.3	9.4	26.4	100	58.0	15.4	26.3	100
3	45.31	5.16	49.55	46.1	5.3	48.8	100	49.7	11.7	38.3	100
4	59.13	5.58	31.61	58.8	5.2	36.0	100	62.8	5.6	31.6	100
5	73.84	5.00	21.16	73.5	6.1	20.2	100	75.7	1.1	23.3	100
6	82.38	5.56	11.06	83.1	5.8	11.3	100	84.1	0	19.0	100
7	100.0	0.0	0.0	92.1	14.8	-15	92	97.0	2.9	0.0	100
8	0	0.0	100.0	-30.	-15	150	108	2.8	3.7	99.3	100
9	--	--	---	65.0	11.4	24.9	101	50.1	23.4	26.0	99
10	--	--	---	77.0	16.8	7.3	101	50.2	32.8	16.1	99
11	--	--	--	85.2	17.3	-1.4	101	56.9	30.7	11.6	99
12	--	--	--	91.0	18.3	-6.8	102	56.2	33.5	9.4	99
13	--	--	--	82.3	18.6	0.6	101	49.9	36.5	12.6	99
14	--	--	--	25.6	11.5	60.5	97	22.8	34.0	42.3	100
15	--	--	--	64.5	9.0	25.6	99	62.2	12.2	25.4	100

TABLEAU V_2

Analyse et interpretation des résultats obtenus :

Les méthodes **M1** et **M2** donnent des résultats cohérents appliquées aux différentes fractions . Cependant la méthode **M1** pour des mélanges d'hydrocarbures de même famille ne fournit pas de bons résultats (fractions 7 et 8) même si les proportions relatives sont justes.

Si l'une des compositions massiques dépasse 100 , on peut considérer que nous sommes dans le cas d'un mélange d'hydrocarbures de même famille et si la composition est négative, la famille considérée a une composition nulle .

Statistiquement , la méthode **M1** est de meilleure qualité que la méthode **M2**.

Cette dernière ayant été déterminée en considérant des mélanges de corps purs de même famille , ce type de mélanges ayant un comportement différent de fractions pétrolières , ceci peut influencer négativement sur la qualité de cette méthode (**M2**).

A titre d'exemple appliquons la méthode NDPA aux mélanges de corps purs 7 et 8 . Nous aurons les compositions molaires suivantes:

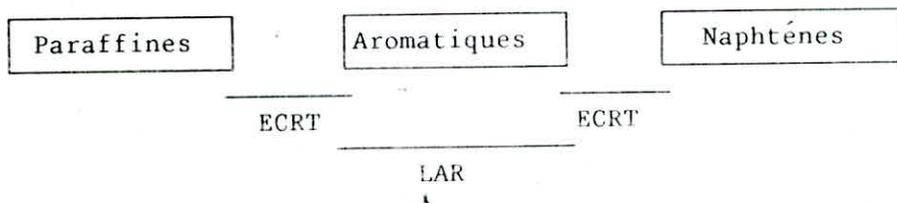
		CGMS	NDPA	M1	M2
7	%Xp	100.0	90.7	92.1	97.0
	%Xn	0.0	-5.3	14.8	2.9
	%Xa	0.0	14.6	-15.0	0.0
8	%Xp	0.0	39.4	-30.0	-2.8
	%Xn	0.0	26.9	-15.0	3.7
	%Xa	100.0	33.7	150.0	99.3

On le voit une méthode de détermination de compositions appliquée à une fraction pétrolière ne donne pas de bons résultats, appliquée à des mélanges de corps purs.

Pour simplifier schématisons le problème :
Soit la corrélation du type

$$d^{sp} * nr^n$$

Les hydrocarbures de chaque famille voient leur densité et leur indice de réfraction élevés à la puissance sp et n respectivement .
Considérons un cas de figure :



ECRT : Ecart ou séparation entre chaque famille.

LAR : Largeur de l'intervalle ou bien de la différence entre le maximum et le minimum pour chaque famille issue du facteur de caractérisation .

Par exemple considérons deux corrélations A et B qui séparent des hydrocarbures purs en séries homologues selon un écart et une largeur au gré de l'utilisateur ; nous aurons :

$$A_1 * X + A_2 * Y + A_3 * Z = A$$

$$A_{11} * X + A_{12} * Y + A_{13} * Z = B$$

$$X + Y + Z = 1$$

X, Y et Z compositions respectivement en paraffines , naphténes et aromatiques .

"Corrélat" calcul A_1 , A_2 et A_3 et résout le système d'équations ci-dessus.

Ce programme trouve des facteurs de caractérisations selon des plages de températures comme le fait la méthode RI_VGF ou VGC_RI selon des plages de masse moléculaire.

Ce logiciel est un outil performant pour trouver des corrélations aussi efficaces que le Riazi Daubert , sinon plus et son intérêt réside dans le fait que contrairement au Riazi Daubert ou à la méthode NDPA , il trouve des facteurs de caractérisation sur des coupes pétrolières aussi étroites que possible comme on le verra dans le mode d'emploi de ce logiciel.

Soit une troisième méthode , plus générale et s'appliquant sur une large coupe pétrolière 80_370°C (pourcentage massique):

M3	$\%Xp = -1018.597 * D + 410.83227 * N + 3.4306203 * PA + 30.33$ $R^2 = 0.58 \qquad \qquad \qquad SSR = 688.42$
	$\%Xn = 329.29476 * D + 0.2143877 * PA - 870.11801 * N + 898.80$ $R^2 = 0.83 \qquad \qquad \qquad SSR = 9.5$
	$\%Xa = 611.75731 * D - 3.6040637 * PA - 560.22386 * N - 1008.48$ $R^2 = 0.69 \qquad \qquad \qquad SSR = 585.8$

Cette méthode est issue d'une interpolation effectuée sur toutes les CGMS et CPG de fractions à notre disposition, en l'occurrence les fractions :

1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 16 ; 17 ; 18 .

Ces fractions couvrent un intervalle de température de 80 à 370°C.

Appliquons cette méthode à un pétrole brut de HASSI MESSAOUD dont les caractéristiques physiques sont disponibles (CRD:centre de recherche et de développement).

	Teb(°C)	d420	N20	PA (°C)	M3			
					%Xp	%Xn	%Xa	EXi
essence	C5_160	0.7367	1.4170	61.2	72.0	10.8	15.5	98.3
kérosène	160_250	0.7856	1.4111	69.8	51.7	28.8	14.4	94.9
GO léger	250_320	0.8219	1.4601	81.4	72.3	8.4	18.9	99.6

On voit que la somme des compositions approche 100% et les pourcentages sont plausibles .

V_4 APPROCHE N°3 DE LA DETERMINATION DES COMPOSITIONS DES FRACTIONS PETROLIERES :

Cette approche , est en fait , celle de RIAZI Daubert dans la détermination des facteurs de caractérisation RI et VGC . Ces deux paramètres ont été choisis car ils séparent le mieux les différents groupes d'hydrocarbures homologués :

Considérons ces deux facteurs et la manière dont ils séparent les hydrocarbures:

H°C type	M	RI	VGC
Paraffines	337_535	1.048_1.050	0.74_0.75
Naphtènes	240_429	1.030_1.046	0.89_0.94
Aromatiques	180	1.070_1.105	0.95_1.13

Nous avons donc suivi la même approche .

V_4_1 PROGRAMME CORRELAT.PAS:

Nous avons conçu dans le cadre de ce projet, un logiciel de recherche de facteurs de caractérisation.

Ce logiciel du nom de "Correlat" trouve des facteurs de caractérisation séparant les hydrocarbures purs en séries homologues comme le fait le facteur de caractérisation RIAZI_DAUBERT.

Ce logiciel puise ces données du fichier PRJ.DAT et fonctionne de la manière suivante:

Par exemple si la corrélation désirée est du type :

$$d^{sp} * nr^n$$

Le programme de "Correlat" fait varier sp , n , élève les propriétés physiques des hydrocarbures de chaque famille à la puissance sp et n , pour chaque série homologuée fait la moyenne du type :

$$a_i = \frac{\sum_i d_i^{sp} * nr_i^n}{\sum_i i}$$

et vérifie si la séparation des familles est effective et si la largeur des intervalles est celle désirée.

V_4_2 METHODE D ' UTILISATION DE CORRELAT.PAS:

Ce mode d'emploi s'adresse aux éventuels utilisateurs de ce programme et leurs indique de quelle manière ils peuvent intervenir dans le programme Correlat.PAS.

Le programme Correlat.PAS puise ces données de PRJ.DAT (voir annexe). Le fichier PRJ.DAT ne doit contenir que des données brutes (pas de caractères) . Un premier groupes de données concerne les paraffines . Ils est constitué de 21 lignes et 5 colonnes . Les 21 lignes pour 21 hydrocar_bures purs (paraffines linéaires) de C10 à C30 et les colonnes pour 5 propriétés physiques. Dans notre cas : Teb; Spgr; NR; PA; MM.

De même pour le groupe suivant qui concerne les naphtésènes constitués de 21 lignes et 5 colonnes ainsi que pour le 3ème groupe qui concerne les aromatiques.

Si un utilisateur veut améliorer le fichier PRJ.DAT et s'il le juge non exhaustif il doit se conformer aux instructions suivantes: Dans le programme Correlat.PAS nous indiquons différentes adresses pour une meilleure compréhension.

L'utilisateur peut s'il le juge utile, changer une colonne par une autre colonne de données représentant par exemple la viscosité, , les notations de la précédente propriété vaudront pour la nouvelle.

Par exemple si on remplace la masse moléculaire par la viscosité, si au menu on a :

MM = ? , on introduira la viscosité.

L'utilisateur peut introduire de nouveaux corps ou des isomères , dans ce cas il devra aller à l'adresse 1 et indiquer le nouveau nombre de corps :

Nc[1] pour les paraffines;

Nc[2] pour les naphtésènes;

Nc[3] pour les aromatiques;

A l'adresse 2 , on a l'appel de la procédure domaine. Cette procédure fait varier 4 grandeurs , respectivement sp , n , p , m . Elle se présente comme suit:

DOMAINE (PI1, PN1, PI2, PN2, PI3, PN3, PI4, PN4, ff)

PI1 représente le point initial de la variable sp ,

PN1 représente le point **FINAL** de la variable sp ,

PI2 représente le point initial de la variable n ,

PN2 représente le point **FINAL** de la variable n ,

et ainsi de suite pour p et m.

ff représente le numéro de la fonction désirée (func1, func2,...).

Si on désire chercher un facteur de corrélation type :

$$COR = spgr^{sp} + m * \frac{nr^n}{p}$$

$$et \quad COR2 = \frac{PA^p}{sp} + n * MM^m$$

Tel que

$$A_1 * X + A_2 * Y + A_3 * Z = COR1$$

$$A_{11} * X + A_{12} * Y + A_{13} * Z = COR2 \quad (I)$$

$$X + Y + Z = 1$$

Il faut aller à Func1 (adresse 3)

$$func1 = P1^{sp} + m * \frac{P2^n}{p}$$

$$ensuite \quad func2 = \frac{P3^p}{sp} + n * P4^m$$

En effet P1; P2; P3 et P4 correspondent respectivement à la spgr, nr, pa, mm.

Si on veut faire varier par exemple la variable sp entre -1 et 2 avec un pas de 0.1 ; n de 10 à 20 avec un pas 1 et ceci pour la corrélation une (01), on se positionne à l'adresse 4 et on introduit:

DOMAINE(-1,2,10,20,.....,1)

Pour la pas, les changements se font dans la procédure Domaine à l'adresse 5, par exemple :

sp= sp+0.1 et n = n + 1;
ensuite **DOMAINE(.....,2)** pour le deuxième type de corrélation.

Au lancement de l'exécution, le menu se présente comme suit:

1. Nombre de corrélations désiré: entre 2 et 100.
2. Intervalle de température (en °C), introduire PI(°C) et PF(°C).
3. Introduire les propriétés physiques pour avoir éventuellement la composition par résolution des systèmes d'équations type (I).
4. Introduire largeur des intervalles: Lar .
5. Introduire l'écart entre les intervalles: Ecrt .

Ce menu sera proposé autant de fois qu'il y a d'appels de Domaine.

Les résultats pour certaines fractions sont en annexe.
A titre d'exemple comparons certains résultats au facteur RI:

$$RI = nr - d/2$$

$$COR = nr^n * spgr^{sp}$$

Pour une coupe 180 _ 360 °C avec COR :

$$LAR \leq 0.0035$$

$$ECRT \geq 0.0010$$

(voir tableau 10) .

Pour le Riazi_Daubert :

$$LAR \leq 0.035$$

$$ECRT \geq 0.02$$

L'intérêt du programme est évident. Il permet de faire un travail de recherche . Par exemple juger l'influence de LAR et ECRT sur la qualité d'un facteur de caractérisation . Un écart grand et une compression des séries homologues en un faible intervalle donne-t-il de meilleurs résultats ?

On indiquant au programme le PI et PF, ce dernier puise du fichier les hydrocarbures dont la température d'ébullition est comprise entre ces deux bornes et effectue ses opérations (moyennes, test de séparation,...) uniquement avec ces corps purs.

En effet, si nous nous intéressons à une coupe 200-210°C il est inutile de faire intervenir des corps dont la température est par exemple de 300°C , pour calculer les A1; A2; A3 du système d'équations (I) .

Le programme étant prés, et parfaitement fiable, voici quelques conseils pratiques à ses éventuels utilisateurs:

1. tout d'abord améliorer autant que possible le fichier de données PRJ.DAT .
2. L'utilisateur trouverait avantage à travailler avec une seule fonction , chercher pour un type de fonction les meilleures séparations et meilleures largeurs d'intervalles . Puis , avec un deuxième type de fonction faire la même chose, connaissant les domaines de variations des sp , n , p et m donnant les résultats optimums , pour les deux types de fonctions, les lancer en même temps, introduire les données de la fonction dont on veut déterminer la composition .

En effet , nous sommes arrivés a la conclusion que les facteurs de caractérisation doivent être de types différents pour avoir de bons résultats.

Au début de la prospection, utiliser de grands pas pour les variables sp, n, p, m . Les facteurs de caractérisations trouvés, travailler avec de faibles pas (0.01) pour améliorer ces facteurs. Si on s'intéresse à une coupe ayant un PI et PF donnés par exemple 200-250, lors du menu, introduire une coupe plus large par exemple PI=180, PF=280°C. En effet, lors de la distillation d'un pétrole brut certains hydrocarbures connaissent un retard à l'ébullition et d'autres bouent avant leur T_{eb} par entraînement. Donc, il est possible d'avoir dans une fraction pétrolière des hydrocarbures dont la T_{eb} n'est pas dans le domaine (PI,PF).

4. Le programme Correlat.PAS est basé sur la règle d'additivité de certaines grandeurs physiques. Cette règle n'étant pas tout à fait vérifiée pour une fraction pétrolière où des phénomènes incompris interviennent.
5. Au stade actuel de notre recherche, il semblerait que les facteurs de caractérisations linéaires par rapport aux propriétés physiques type $RI = n - d/2$ ou $COR = sp * spgr - p * PA/m$ soient les plus adéquats pour la détermination des compositions par rapport à des facteurs non linéaires, par exemple $COR = ds^p * nr^n$.

V_4_3 EXPLOITATION DES RESULTATS ISSUS DE CORRELAT.PAS:

Les facteurs de caractérisation issus du programme sont nombreux et à chacun correspond une équation du type:

$$A_1 * X_p + A_2 * X_n + A_3 * X_a = \text{COR}$$

Deux facteurs de caractérisation, nous permettent d'avoir un système du type:

$$\begin{array}{rcl} A * X + B * Y + C * Z & = & \text{COR1} \\ D * X + E * Y + F * Z & = & \text{COR2} \\ X + Y + Z & = & 1 \end{array} \quad (\text{I})$$

La résolution du système ci-dessus nous fournira la composition molaire en paraffines (X_p), naphtés (X_n) et aromatiques (X_a) de la fraction pétrolière considérée.

Nous appliquons la méthode de Cramer pour la résolution du système d'équation ci-dessus :

$$\text{avec } \det = A*(E-F) - B*(D-F) + C*(D-E)$$

$$X_p = [(COR1*(E-F) - COR2*(B-C) + (B*F - E*C)]/\det$$

$$X_n = [(-COR1*(D-F) + COR2*(A-C) + (D*C - A*F)]/\det$$

$$X_a = [(-COR1*(E-D) + COR2*(B-A) - (B*D - E*A)]/\det$$

Nous exploiterons quelques facteurs de caractérisation que nous avons mis en annexe et nous comparerons ces résultats avec la méthode d'analyse (CGMS) en tenant compte de l'écart entre composition molaire (Correlat) et massique (CGMS).

$$COR2 = nr^{1.0} * spgr^{-0.3}$$

$$COR1 = 2.6 * spgr - \frac{0.18 * PA}{100}$$

$$\begin{aligned} 1.844 * X + 1.985 * Y + 2.200 * Z &= COR1 \\ 1.547 * X + 1.511 * Y + 1.553 * Z &= COR2 \\ X + Y + Z &= 1 \end{aligned} \quad (I)$$

composition fraction	CGMS			CORRELAT		
	%Xp	%Xn	%Xa	%Xp	%Xn	%Xa
2	64.64	9.19	26.36	13	60	27
1	49.35	10.45	38.28	73	-6	33
3	45.31	5.16	49.55	66	-2	50
4	59.81	5.58	34.61	69	-23	54
5	73.54	5.00	21.16	62	-14	52
6	82.38	6.56	11.06	44	36	52

$$COR2 = nr^{-1.7} * spgr^{0.5}$$

$$COR1 = 2.67 * spgr - \frac{0.18 * PA}{100}$$

$$\begin{aligned} 1.999 * X + 2.042 * Y + 2.260 * Z &= COR1 \\ 0.477 * X + 0.491 * Y + 0.474 * Z &= COR2 \\ X + Y + Z &= 1 \end{aligned} \quad (I)$$

composition fraction	CGMS			CORRELAT		
	%Xp	%Xn	%Xa	%Xp	%Xn	%Xa
2	64.64	9.19	26.36	17	52	31
1	49.35	10.45	38.28	70	0	30
3	45.31	5.16	49.55	63	-10	47
4	59.81	5.58	34.61	65	-16	51
5	73.54	5.00	21.16	59	-10	51
6	82.38	6.56	11.06	44	4	53

INTERPRETATION:

On le voit, de même que pour les méthodes nées de "Simul", les résultats issus de "Correlat" sont bons pour les aromatiques. Le programme ne distinguant pas entre paraffines et naphtés. Ceci est dû au fichier PRJ.DAT qui n'est pas tout à fait exhaustif. Donc, une amélioration de PRJ.DAT abonnera les résultats du programme "Correlat.PAS" qui fonctionne convenablement.

D'autre part nous avons pensé dans une Version2 de Correlat.PAS que nous avons appelé Correl2.PAS introduire une modification que nous expliquerons ci-dessous.

V_4_4 PROGRAMME CORREL2.PAS

Le programme Correl2.PAS est issu du programme précédent Correlat.PAS avec cependant une modification concernant l'exploitation des coefficients et facteurs de caractérisation (A1, A2, COR1, COR2).

Dans ce programme nous écartons la résolution du système d'équations type (I) par la méthode de Cramer, pour la raison suivante:

Considérons les tableaux *(pour la fraction 03 après la page 51:*
Prenons deux résultats au hasard: la première ligne pour FF=1 et cinquième ligne pour FF=1, Nous avons :

$$\begin{aligned} 1.837 * X_p + 1.986 * X_n + 2.207 * X_a &= 2.60 * d - 0.18 * (PA/100) = COR1 \\ 1.991 * X_p + 2.149 * X_n + 2.379 * X_a &= 2.80 * d - 0.18 * (PA/100) = COR2 \\ X_p + X_n + X_a &= 1 \end{aligned}$$

Considérons la fraction n°3 (voir Tableau V_1) à PI=250 et PF=275.

FRCT	n	d	PA	COR1	COR2
3	1.4610	0.8195	73.6	1.998	2.162

On le voit le résultat est remarquable : COR1 et COR2 sont proches des coefficients: A1, A2, ...

Pourtant la résolution de ce système par la méthode de Cramer :

$$X_p = -0.14 ; \quad X_n = 1.17 ; \quad X_a = -0.037$$

Ce résultat ne reflète pas la qualité des facteurs de caractérisation COR1 et COR2.

Avec Correl2.PAS nous avons introduit une nouvelle approche qui donne des résultats intéressants :

Dans la procédure RECHER2 du programme Correl2.PAS, nous avons remplacé la résolution du système d'équations précédent par la méthode de Cramer par une autre qui n'est pas tout à fait une méthode de résolution comme nous allons le voir .

Dans la procédure RECHER2 nous avons introduit 2 boucles qui font varier :

Xp entre 1 et 0 par pas de 0.01
 Xn entre 1-Xp et par pas de 0.01
 avec Xa = 1-(Xp+Xn)

$$\text{avec TOL} = A_1 * X_p + A_2 * X_n + A_3 * X_a$$

$$\text{TOL2} = A_{11} * X_p + A_{12} * X_n + A_{13} * X_a$$

et à chaque fois nous comparons TOL à COR1 et TOL2 à COR2 de telle manière à avoir:

$$| \text{TOL}/\text{COR1} - 1 | \text{ minimum et } | \text{TOL2}/\text{COR2} - 1 | \text{ minimum}$$

(TOL et TOL2 variables réelles) .

Etant entendu que nous nous sommes imposés

$$X_p + X_n + X_a = 1 \text{ (voir les boucles).}$$

De cette façon nous aurons la meilleure solution du système sans être une solution au sens mathématique , dans l'absolu .

Nous nous sommes fixés:

$$| \text{TOL}/\text{COR1} - 1 | < 0.01 \text{ et } | \text{TOL2}/\text{COR2} - 1 | < 0.01$$

A titre indicatif revenons à l'exemple ci-dessus, nous avons trouvé des résultats intéressants:

Exemple:

* pour K1= 1 et K1 = 5

$$X_p = 0.55 ; X_n = 0.02 \text{ et } X_a = 0.43$$

$$\text{avec TOL} = 1.837 * 0.55 + 1.986 * 0.02 + 2.207 * 0.43$$

$$\text{TOL} = 1.999$$

$$\text{et TOL2} = 1.997 * 0.55 + 2.149 * 0.02 + 2.379 * 0.43$$

$$\text{TOL2} = 2.164$$

$$\text{avec } | \text{TOL}/\text{COR1} - 1 | = | 1.999/1998 - 1 | = 5 * 10^{-4}$$

$$| \text{TOL2}/\text{COR2} - 1 | = 9 * 10^{-4}$$

Comparons les deux méthodes (Cramer et correl2) :

	%Xp	%Xn	%Xa
CRAMER	-140	117	4
CORREL2	55	2	43

Dans le tableau ci dessous nous comparons les résultats de CORREL2.PAS avec ceux de la CGMS :

composition fraction	CGMS			CORRELA2		
	%Xp	%Xn	%Xa	%Xp	%Xn	%Xa
2	64.64	9.19	26.36	42	1	57
1	49.35	10.45	38.28	67	1	32
4	59.31	5.58	31.61	57	0	43
3	45.31	5.16	49.55	56	1	43

COMMENTAIRE :

Les résultats sont bons , les proportions relatives données par "correl2" sont exactes . Une amélioration des données de base abonira ces résultats.

Cette méthode est intéressante mais n'est applicable qu'avec un ordinateur , en effet elle nécessite de nombreuses itérations pour chaque résolution .

Il est préférable de lancer "CORREL2.PAS" pour un nombre réduit de facteurs de caractérisation .

On ce qui concerne le déroulement de CORREL2.PAS il est le même que CORREL.PAS excepté la résolution du système d'équations .

Ci-dessous figurent tout les résultats issus de CORREL2.PAS :

FUNCI = SP*SPGR + P*PA/100 FRACTION N°= 2
 Hydrocarbures ayant $T_{eb}(^{\circ}C)$ compris entre 180.00 368.00
 La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0940
 L'écart minimum entre les intervalles : 0.100

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
1	0.00	2.60	-0.18	0.00	1.844	1.985	2.200
1	0.00	2.60	-0.17	0.00	1.854	1.993	2.202
1	0.00	2.65	-0.18	0.00	1.883	2.026	2.243
1	0.00	2.65	-0.17	0.00	1.892	2.034	2.245

Pour $k1=1$ et $k1=2$
 $X=0.46$ $Y=0.00$ $Z=0.54$
 Pour $k1=1$ et $k1=3$
 $X=0.46$ $Y=0.01$ $Z=0.53$
 Pour $k1=1$ et $k1=3$
 $X=0.46$ $Y=0.00$ $Z=0.54$
 Pour $k1=1$ et $k1=4$
 $X=0.46$ $Y=0.00$ $Z=0.54$
 Pour $k1=2$ et $k1=3$
 $X=0.46$ $Y=0.00$ $Z=0.54$
 Pour $k1=2$ et $k1=4$
 $X=0.46$ $Y=0.00$ $Z=0.54$
 Pour $k1=3$ et $k1=4$
 $X=0.46$ $Y=0.00$ $Z=0.54$

Hydrocarbures ayant $T_{eb}(^{\circ}C)$ compris entre 180.00 - 368.00

La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0940

L'écart minimum entre les intervalles : 0.100

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
1	0.00	2.60	-0.18	0.00	1.844	1.985	2.200
1	0.00	2.60	-0.17	0.00	1.854	1.993	2.202
1	0.00	2.65	-0.18	0.00	1.883	2.026	2.243
1	0.00	2.65	-0.17	0.00	1.892	2.034	2.245

La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0500

L'écart minimum entre les intervalles : 0.0000

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
----	---	----	---	---	----	----	----

La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0500

L'écart minimum entre les intervalles : 0.0100

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
2	0.50	-0.60	0.00	0.00	1.396	1.358	1.333
2	0.60	-0.60	0.00	0.00	1.447	1.409	1.387
2	0.60	-0.55	0.00	0.00	1.429	1.395	1.377

Pour $k1=1$ et $k1=2$
 $X=0.42$ $Y=0.01$ $Z=0.57$

Pour $k1=1$ et $k1=3$
 $X=0.42$ $Y=0.02$ $Z=0.56$

Pour $k1=1$ et $k1=3$
 $X=0.42$ $Y=0.01$ $Z=0.57$

Pour $k1=1$ et $k1=4$
 $X=0.37$ $Y=0.09$ $Z=0.54$

Pour $k1=2$ et $k1=3$
 $X=0.42$ $Y=0.01$ $Z=0.57$

Pour $k1=2$ et $k1=4$
 $X=0.41$ $Y=0.02$ $Z=0.57$

Pour $k1=2$ et $k1=4$
 $X=0.41$ $Y=0.01$ $Z=0.58$

Pour $k1=3$ et $k1=4$
 $X=0.41$ $Y=0.02$ $Z=0.57$

FUNCI = SP*SPGR + P*PA/100

FRACTION N=°1

Hydrocarbures ayant Teb(°c) compris entre 200.00 260.00

La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0940

L'écart minimum entre les intervalles : 0.100

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
1	0.00	2.60	-0.18	0.00	1.822	1.990	2.224
1	0.00	2.65	-0.18	0.00	1.860	2.030	2.267
1	0.00	2.70	-0.18	0.00	1.898	2.071	2.310
1	0.00	2.75	-0.18	0.00	1.936	2.111	2.353
1	0.00	2.80	-0.18	0.00	1.974	2.152	2.396

Pour k1=1 et k1=2
X=0.67 Y=0.01 Z=0.32
Pour k1=1 et k1=3
X=0.67 Y=0.01 Z=0.32
Pour k1=1 et k1=4
X=0.67 Y=0.01 Z=0.32
Pour k1=1 et k1=5
X=0.66 Y=0.02 Z=0.32
Pour k1=2 et k1=3
X=0.67 Y=0.01 Z=0.32
Pour k1=2 et k1=3
X=0.67 Y=0.00 Z=0.33
Pour k1=2 et k1=4
X=0.67 Y=0.01 Z=0.32
Pour k1=2 et k1=4
X=0.67 Y=0.00 Z=0.33
Pour k1=2 et k1=5
X=0.67 Y=0.00 Z=0.33
Pour k1=3 et k1=4
X=0.67 Y=0.01 Z=0.32
Pour k1=3 et k1=4
X=0.67 Y=0.00 Z=0.33
Pour k1=3 et k1=5
X=0.67 Y=0.00 Z=0.33
Pour k1=4 et k1=5
X=0.67 Y=0.00 Z=0.33

FRACTION N=° 3 FUNC1 = SP*SPGR + P*PA/100
 Hydrocarbures ayant Teb(°c) compris entre 230.00 290.00
 La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0940
 L'écart minimum entre les intervalles : 0.100

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
1	0.00	2.60	-0.18	0.00	1.837	1.986	2.207
1	0.00	2.65	-0.18	0.00	1.876	2.027	2.250
1	0.00	2.70	-0.18	0.00	1.914	2.068	2.293
1	0.00	2.75	-0.18	0.00	1.952	2.109	2.336
1	0.00	2.80	-0.18	0.00	1.991	2.150	2.379

Pour k1=1 et k1=2
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=2
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=1 et k1=3
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=3
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=1 et k1=4
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=4
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=1 et k1=5
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=2 et k1=3
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=2 et k1=3
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=2 et k1=4
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=2 et k1=4
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=2 et k1=5
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
 Pour k1=3 et k1=4
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=3 et k1=4
 X=0.56 Y=0.00 Z=0.44

FUNC2 = SP*SPGR + PA *P /100 FRACTION n° = 4
 Hydrocarbures ayant T_{eb}(°C) compris entre 250.00 350.00
 La largeur des intervalles est inférieure à: 0.0920
 L'écart minimum entre les intervalles : 0.100

FF	n	sp	P	M	A1	A2	A3
1	0.00	2.60	-0.20	0.00	1.836	1.968	2.187
1	0.00	2.60	-0.19	0.00	1.846	1.976	2.189
1	0.00	2.60	-0.18	0.00	1.855	1.985	2.191
1	0.00	2.60	-0.17	0.00	1.865	1.993	2.194
1	0.00	2.65	-0.20	0.00	1.875	2.009	2.230
1	0.00	2.65	-0.19	0.00	1.885	2.017	2.232
1	0.00	2.65	-0.18	0.00	1.894	2.026	2.234
1	0.00	2.65	-0.17	0.00	1.904	2.034	2.237
1	0.00	2.70	-0.20	0.00	1.914	2.050	2.273
1	0.00	2.70	-0.19	0.00	1.924	2.058	2.275
1	0.00	2.70	-0.18	0.00	1.933	2.067	2.277
1	0.00	2.70	-0.17	0.00	1.943	2.075	2.280
1	0.00	2.75	-0.20	0.00	1.953	2.091	2.316
1	0.00	2.75	-0.19	0.00	1.963	2.099	2.318

Pour k1=1 et k1=2
 X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=3
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=4
 X=0.54 Y=0.04 Z=0.42
 Pour k1=1 et k1=5
 X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=6
 X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=7
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=8
 X=0.49 Y=0.12 Z=0.39
 Pour k1=1 et k1=9
 X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=10
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=11
 X=0.54 Y=0.04 Z=0.42
 Pour k1=1 et k1=12
 X=0.44 Y=0.20 Z=0.36
 Pour k1=1 et k1=13
 X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
 Pour k1=1 et k1=14
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
 Pour k1=2 et k1=3
 X=0.56 Y=0.01 Z=0.43

Pour k1=1 et k1=4
X=0.54 Y=0.04 Z=0.42
Pour k1=1 et k1=5
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=1 et k1=6
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=1 et k1=7
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=1 et k1=8
X=0.49 Y=0.12 Z=0.39
Pour k1=1 et k1=9
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=1 et k1=10
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=1 et k1=11
X=0.54 Y=0.04 Z=0.42
Pour k1=1 et k1=12
X=0.44 Y=0.20 Z=0.36
Pour k1=1 et k1=13
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=1 et k1=14
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=3
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=4
X=0.55 Y=0.02 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=5
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=6
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=7
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=8
X=0.55 Y=0.02 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=9
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=10
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=11
X=0.55 Y=0.02 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=12
X=0.55 Y=0.02 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=13
X=0.57 Y=0.00 Z=0.43
Pour k1=2 et k1=14
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=3 et k1=4
X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
Pour k1=3 et k1=5
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=3 et k1=6
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=3 et k1=6
X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
Pour k1=3 et k1=7
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=3 et k1=7
X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
Pour k1=3 et k1=8
X=0.56 Y=0.00 Z=0.44
Pour k1=3 et k1=9
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43
Pour k1=3 et k1=10
X=0.56 Y=0.01 Z=0.43

VI CORRELATIONS ET NOMOGRAPHIE SUR LES PROPRIETES D'UNE COUPE PETROLIERE:

VI_1 INTRODUCTION:

La nomographie, du grec (nomos:loi et graphein:écrire) signifie représentation graphique d'une loi.

La nomographie a pour but de porter des lois et des relations mathématiques sur graphe plus facilement maniable.

La nomographie concerne toute relation mathématique à mettre sous forme graphique (exponentielle, logarithme, polynôme...).

Nous avons conçu dans ce but un logiciel de graphisme, établissant des nomogrammes à la condition nécessaire que la relation mathématique (par exemple liant deux propriétés d'un hydrocarbure) soit disponible.

Donc, dans une première partie, il s'agira d'établir des relations mathématiques ou des corrélations liant les propriétés physiques des hydrocarbures purs.

IV_2 RAPPEL DE STATISTIQUES:

Ce rappel sera bref et permettra d'expliquer les tests d'efficacité d'ajustement et coefficient de corrélation.

Considérons une fonction $\Phi(\theta, x)$ de forme connue dépendant d'un paramètre vectoriel inconnu:

$$\theta = (\theta^{(1)}, \dots, \theta^{(k)})$$

et d'une variable multi dimensionnelle (non aléatoire),

$$X = (X^{(1)}, \dots, X^{(p)})$$

caractérisant les conditions de réalisation de l'expérience aléatoire (ou de l'observation). Supposons qu'à l'issue de la i ème expérience (observation) on enregistre la valeur y_i de la fonction $\Phi(\theta, x_i)$ avec une erreur ϵ_i :

$$y_i = \Phi(\theta; X_i) + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (I)$$

sachant que la variable "auxiliaire" X_i est connue très exactement.

On demande d'estimer les paramètres $\theta^{(1)}, \dots, \theta^{(k)}$ avec la meilleure précision possible sur le vu des observations $(y_1, x_1), \dots, (y_n, x_n)$.

Contrairement à d'autres procédures d'estimation, nous ne sommes pas dans l'obligation de nous donner la forme générale de la loi de probabilités des erreurs ϵ_i (et partant des variables aléatoires y_i).

La méthode des moindres carrés définit l'estimation θ_{mc} de θ à partir de la condition:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \Phi(\theta_{mc}; X_i))^2 = \min_{\theta} \sum_{i=1}^n (y_i - \Phi(\theta, X_i))^2$$

Les estimations satisfaisant la relation (I) sont convergentes , asymptotiquement sans biais et asymptotiquement efficaces .
 Pour simplifier , nous avons la somme des résidus au carré (SSR) à minimiser , avec :

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \Phi (\theta_{mc} ; X_i))^2$$

Soit R^2 coefficient de corrélation :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\phi (\theta , X_i) - \phi (\theta_{mc} , X_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \phi (\theta_{mc} , X_i))^2}$$

R^2 donne la concentration du nuage de points par rapport à la courbe de régression . Plus R^2 est élevé mieux y est expliquée , avec :
 $0 < R^2 < 1$.

Donc pour avoir une bonne régression , il faut :
 - minimiser SSR ,
 - avoir R^2 proche de 1 .

Les régressions ont été effectuées par un logiciel mathématique performant dont les caractéristiques sont :

MICRO TSP VERSION 5.1 DR LOVELY (1987) .

Ce logiciel utilise dans ces regressions la méthode des moindres carrés . Il effectue aussi bien des regressions linéaires que non linéaires .

B) NAPHTENES (150_300 °C):

1. $C_p = 4801.399 * spgr^{20.86888}$

$R^2 = 0.995$

$SSR = 6.69$

2. $C_p = 67378.392 * spgr^{36.209065} + 25.52$

$R^2 = 0.9995$

$SSR = 0.567$

3. $P_c = 0.6283369 * spgr^{-16.750915}$

$R^2 = 0.983$

$SSR = 1.874$

4. $MM = 161950.06 * spgr^{35.83758} + 77.65$

$R^2 = 0.997$

$SSR = 4.23$

5. $V_a = -0.2217647 * spgr^{-17.39909} + 11.13$

$R^2 = 0.927$

$SSR = 1.50$

6. $V_a = -352.948 * n^{-1.0265} + 244.53$

$R^2 = 0.85$

$SSR = 3.00$

8. $T_s = 2175.848 * spgr^{-1.506572} - 3837.085 * spgr^{-0.9742417} + 1759.42$

$R^2 = 0.910$

$SSR = 0.60$

9. $H^\circ - H^\circ_0 \text{ (cal/mole)} = 10407416 * spgr^{36.08973} - 3342.786 * spgr^{9143.91} + 2941.52$

$R^2 = 0.990$

$SSR = 12938$

10. $T \text{ (}^\circ\text{C)} = 17999,795 * spgr^{20.9953} - 3313.7851 * spgr^{217.362} + 1.05$

$R^2 = 0.999$

$SSR = 8.110$

11. $C_p = 3.472923 * T^{0.4428546} + 0.0001604 * T^{2.1658} + 2.32$

$R^2 = 0.999$

$SSR = 0.044$

12. $MM = 0.0096745 * T^{1.6912033} + 76.39$

$R^2 = 0.610$

$SSR = 0.9999$

13. $T_s = -251.91166 * T^{-0.0183954} + 256.06$
 $R^2 = 0.910$ $SSR = 0.63$
14. $T_v \text{ (atm)} = -766.86261 T^{0.0649147} + 1102.64$
 $R^2 = 0.810$ $SSR = 400.0$
15. $V_a = -1330.3774 * T^{-0.0059602} + 1290.66$
 $R^2 = 0.930$ $SSR = 0.83$
16. $H^\circ - H_g^\circ = .4065609 T^{1.7535305} + 3052.24$
 $R^2 = 0.997$ $SSR = 24.23$

C) AROMATIQUES (150 — 300 °C):

1. $C_p = 8.862 * 10^{-7} * spgr^{-117.39792} + 22.80$
 $R^2 = 0.91$ $SSR = 108.9$
2. $P_c = 3.7646491 * n^{10.243714} - 195.13$
 $R^2 = 0.95$ $SSR = 7.58$
3. $T_{eb} = 26907.881 * n^{-3.2098056} - 7305.62$
 $R^2 = 0.95$ $SSR = 779.5$
4. $MM = 38332.721 * n^{-6.954723} - 2266.75$
 $R^2 = 0.93$ $SSR = 563$
5. $C_p = 46.085035 * \exp (0.0029828 * T) - 37.72$
 $R^2 = 0.9999$ $SSR = 0.01$
6. $MM = 123.08576 * \exp (0.0029155 * T) - 75.80$
 $R^2 = 0.9999$ $SSR = 0.05$
7. $H^\circ - H_g^\circ = 563.97719 * \exp (0.0091902 * T) + 3072.37$
 $R^2 = 0.91$ $SSR = 35 * 10^5$

*** Commentaire sur les équations ci-dessus :**

Spgr et n représentent la densité spgr (60/60°F) et l'indice de réfraction à 20 °C respectivement .

Il nous a paru plus judicieux de choisir d , n et quelques fois la température d'ébullition comme variables indépendantes (ou variables explicatives) dans nos corrélations car ce sont les propriétés physiques les plus accessibles par l'expérience ou par les tables . De même l'utilisation de n et d comme variables dépendantes n'est pas indiquée dans la mesure ou dans ce cas là la précision doit être extrême. En effet , la densité et l'indice de réfraction doivent être connus jusqu'a quatre (04) parfois cinq (05) décimales pour différencier deux corps purs .

D'autre part , si quelques corrélations ne donnent pas des résultats satisfaisants ce serait dû au nombre réduit d'observations ou d'hydrocarbures compris dans la coupe considérée (de 7 à 8 hydrocarbures) et à certaines anomalies de données de base (tirées pour la plupart de L'API PROJECT 44) .

Nous appliquons ces équations sur un corps pur de chaque famille, sur un mélange de corps purs et ensuite sur fraction pétrolière :

*** Corps purs:**

paraffine : undécane (C₁₁H₂₄) ,

pptes valeurs	Cp ₁	MM ₂	Ts ₃	Va ₄	PC ₅	Teb ₆	Teb ₇
val exp	61.53	156.0	24.21	1.08	18.41	195.28	195.2
val cal	62.90	157.4	27.40	1.11	16.36	196.30	198.0
ecart(%)	2.22	0.9	13.33	2.44	11.12	0.50	1.42

naphténe: n_hexyl cyclohexane (C12H24)

	CP1	PC3	MM4	Va5	Va6	Ts8	H°-H°9
VAL EXP	60.43	21.38	168.32	2.21	2.21	36.78	8458
VAL CAL	61.42	20.78	168.54	2.73	2.85	36.92	8483
ECART (%)	1.64	2.80	0.13	23.53	29.10	0.40	0.28

	CP2	Teb10	Cp11	MM12	Tv14	Ts13
VAL EXP	60.43	224.72	60.43	168.30	5.18	36.78
VAL CAL	60.51	225.31	60.40	168.20	12.77	37.03
ECART (%)	0.13	0.26	0.04	0.09	146.5	0.68

	CP1	Teb3	Pc2	Cp5	MM4	MM6	H°-H°7
VAL EXP	69.18	282.00	18.89	69.18	204.34	204.34	10759
VAL CAL	66.76	286.64	18.38	69.15	203.92	204.27	10602
ECART (%)	3.50	1.60	2.70	0.04	0.20	0.03	1.75

* Mélange de corps purs :

Soit le mélange (32) équivolumentique de trois constituants purs en C20 de chaque famille (voir annexe) . Nous déterminons pour chaque mélange , la chaleur spécifique , la pression critique , la masse moléculaire et l'enthalpie en considérant ces mélanges comme des paraffines pures , naphtènes pures et aromatiques pures affectés de leur composition en chaque famille .

Exemple :

Déterminons la masse moléculaire du mélange (32) , considérons que c'est un :

***mélange de paraffines pures :**

$$\begin{aligned} \text{Eq3} \quad \text{MM} &= 0.0002846 * 1.46^{37.03312} + 41.83 \\ \text{MM} &= 389.15 \text{ g} \end{aligned}$$

***mélange de naphtés pures :**

$$\begin{aligned} \text{Eq4} \quad \text{MM} &= 161950.06 * (0.8233/.9904)^{35.83758} + 77.65 \\ \text{MM} &= 293.09 \text{ g} \end{aligned}$$

***mélange d'aromatiques purs :**

$$\begin{aligned} \text{Eq6} \quad \text{MM} &= 38332.721 * 1.46^{-6.9547523} - 2266.75 \\ \text{MM} &= 490.88 \text{ g} , \end{aligned}$$

La masse moléculaire du mélange est donc :

$$\begin{aligned} \text{MM} &= 0.315 * 389.15 + 0.332 * 293.09 + 0.352 * 490.88 \\ \text{MM} &= 392.68 \text{ g} \end{aligned}$$

Nous procédons de la même manière pour déterminer les autres propriétés physiques du mélange et nous comparons ces résultats à ceux issus de la règle d'additivité (notés addit):

$$P = \frac{\sum X_i P_i}{\sum X_i}$$

les P_i pour les hydrocarbures purs en C20 étant connus .

Mélange 31 :

	MM	Cp	Pc
31	392.68	921.60	8.89
addit	278.75	103.43	12.87

***Fractions pétrolières :**

Nous procédons de la même manière que précédemment pour une fraction pétrolière :
Considérons à la fraction 1 (voir tableau en annexe) :

	MM	Cp	Pc
31	408.55	14166	0.94

COMMENTAIRE :

L'application des équations sur les hydrocarbures purs confirme la qualité de ces équations pour ce type de composés .
Cependant , leur application aux mélanges et aux fractions pétrolières (pour certaines propriétés) ne donnent pas de très bons résultats .

VI_3_1 METHODE D ' UTILISATION DE NOMOG.EXE:

NOMOG.EXE est un programme exécutable qu'il suffit d'appeler par son nom NOMOG .

NOMOG permet de tracer n'importe quelle fonction $B=f(L)$ à la condition nécessaire et suffisante qu'elle soit monotone sur l'intervalle considéré .

Le programme se déroule comme suit :

- 1_ Introduire le nombre d'axes : le premier sera celui de la variable indépendante .
- 2_ L'axe 1 : introduire le point initial et le point final de la variable indépendante , ensuite le pas des graduations portant labels , avec le format de la variable avec laquelle elle figurera sur le nomogramme : F représentant le nombre de décimales.
- 3_ Axe I: introduisez la relation liant la variable indépendante à la variable dépendante:

a_ Polynomiale:

$$B=c(1)*L^{e(1)}+c(2)*L^{e(2)}+.....+c(4)*L^{e(4)}+CST$$

b_ Logarithmique:

$$B=c(1)*\ln(c(2)*L^{e(1)})+CST$$

c_ Exponentielle:

$$B=c(1)*\exp(c(2)*L^{e(1)})+CST$$

$c(i);e(i)$:réels

Dans chaque cas, il faut introduire les $c(i)$ et $e(i)$.

Le PI et PF de l'axe i sont calculés d'après la relation mathématique indiquée .

IL faut aussi introduire le pas des graduations avec label et le format F (voir axe 1) .

Les entrées du programme (constantes et autres ...) doivent être cohérentes . Les erreurs à ne pas commettre :

- .Pour le logarithme (népérien) , introduction de C(2) négatif.
- .Dépassement de capacité de l'ordinateur en introduisant des variables menant à des exponentiels ou logarithmes trop élevés .
- .Nombres de graduations trop élevées par introduction d'un trop faible pas.

OPTIONS:

1_ Il est proposé de voir figurer des graduations régulières (au nombre de 5) entre les graduations labelées .

2_ Pour une plus belle représentation , après affichage du PI et PF de chaque axe , apparait "NPI " (nouveau point initial) à partir duquel apparaîteront les graduations régulières .

Exemple:

Pour $PI=0.7933$ et un pas de 0.01 , au lieu d'avoir $0.7933 ; 0.8033 ; 0.8133 \dots$ Prendre $NPI=0.7935$, il apparaîtera sur l'axe par exemple $0.7933 ; 0.7935 ; 0.8035 ; 0.8135 \dots$
De preference , introduire NPI compris ente PI et PF .

3_ Une réduction d'axes est proposée .

REMARQUE: pour exécuter `NOMOG.EXE` , il est nécessaire d'avoir les fichiers suivants dans votre ordinateur: `EGAVGA.BGI` ET `CGA.BGI` et `GRAPHICS` . Ce dernier permettant d'imprimer l'image sur écran .

V_3_2 NOMOGRAPHIE SUR LES HYDROCARBURES D 'UNE COUPE MOYENNE .:

Nous vérifierons ces nomogrammes sur un corps pur de chaque famille et un mélange de corps purs :

*Paraffine : n_dodécane

pptes valeurs	spgr	nr	Teb	Ts	Va	MM	Cp
val exp	0.7526	1.4216	218.27	24.81	1.37	170.3	67
val cal	0.7526	1.4216	216.00	28.20	1.40	171.0	67
ecart(%)	0	0	0.9	17	2	0.6	0

*Naphténe : n_butyl cyclohexane

pptes valeurs	spgr	Cp	Pc	Teb	Va	H°-H°	MM	Ts
val exp	0.7526	49.5	25.36	180.84	1.31	6739.6	140.3	36.32
val cal	0.7526	49.0	25.0	181.0	1.0	6600	141.0	36.6
ecart(%)	0	1.0	1.4	0.6	23.7	2	0.5	0.8

*Aromatique : n_nonyl benzene

pptes valeurs	Teb	MM	Pc	Nr	Cp	H°-H°
val exp	282	204	18.89	1.4838	69.18	10759
val cal	282	204	19.0	1.4838	70.0	10800
ecar (%)	0	0	1.4	0	1.19	0.4

*Commentaire :

On le voit la qualité du tracé des axes est bonne , l'écart observé est dû aux interpolations faites .

Quant à la nomographie et son intérêt , un travail complet a été fait par Mme Bouamra et Mme Kitous .Notre contribution aura été de laisser un outil de travail rapide et précis pour le tracé.

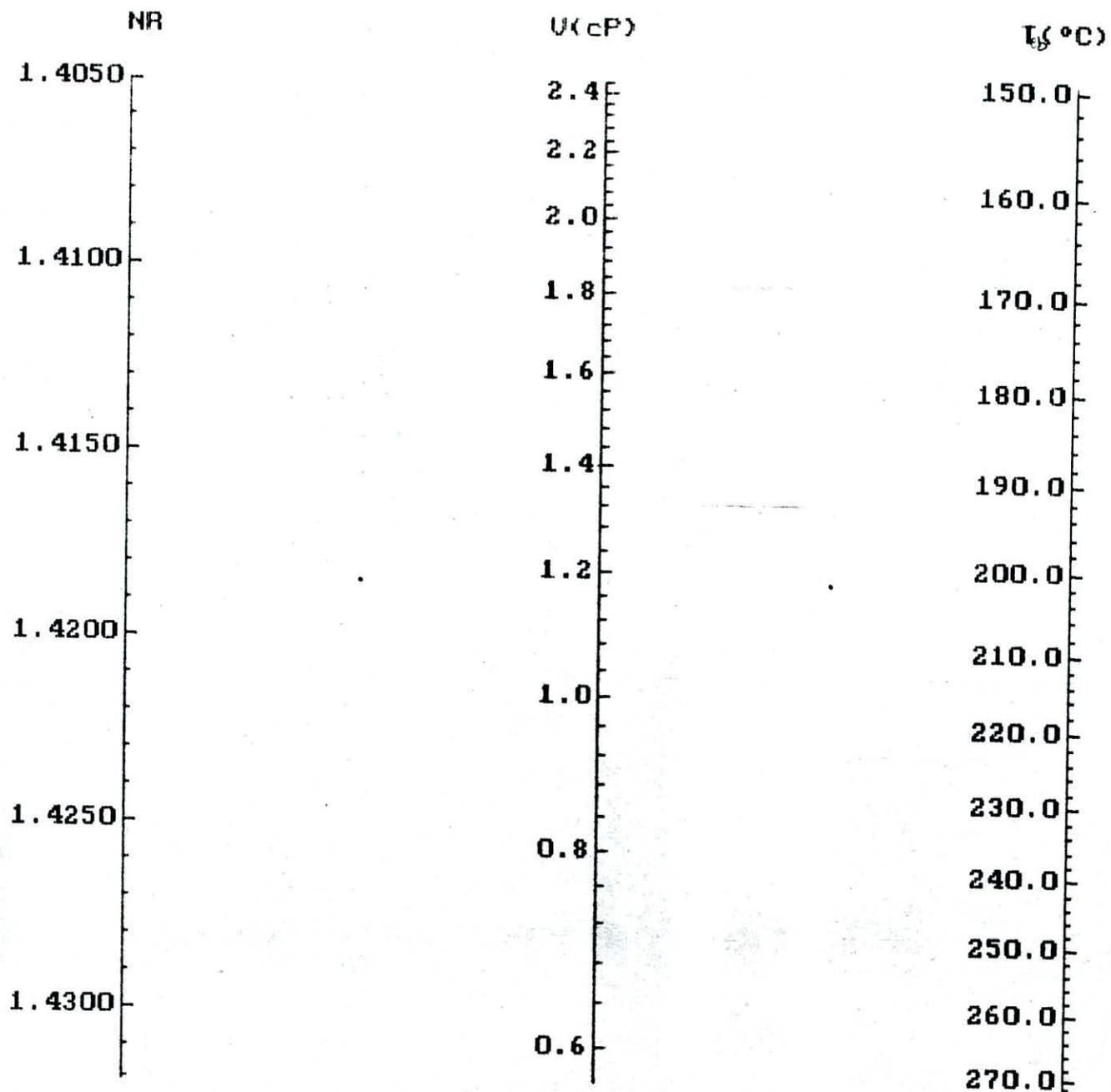
PARAFFINES (150-300°C)

NR
1.4054
1.4104
1.4154
1.4204
1.4254
1.4304
1.4319

TEB(°C)
270.8
260.8
250.8
240.8
230.8
220.8
210.8
200.8
190.8
180.8
170.8
160.8
150.8

64

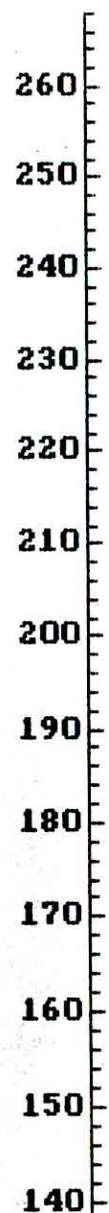
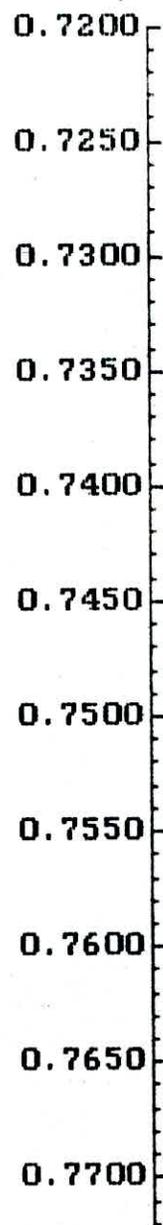
PARAFFINES PURES (150-300°C)



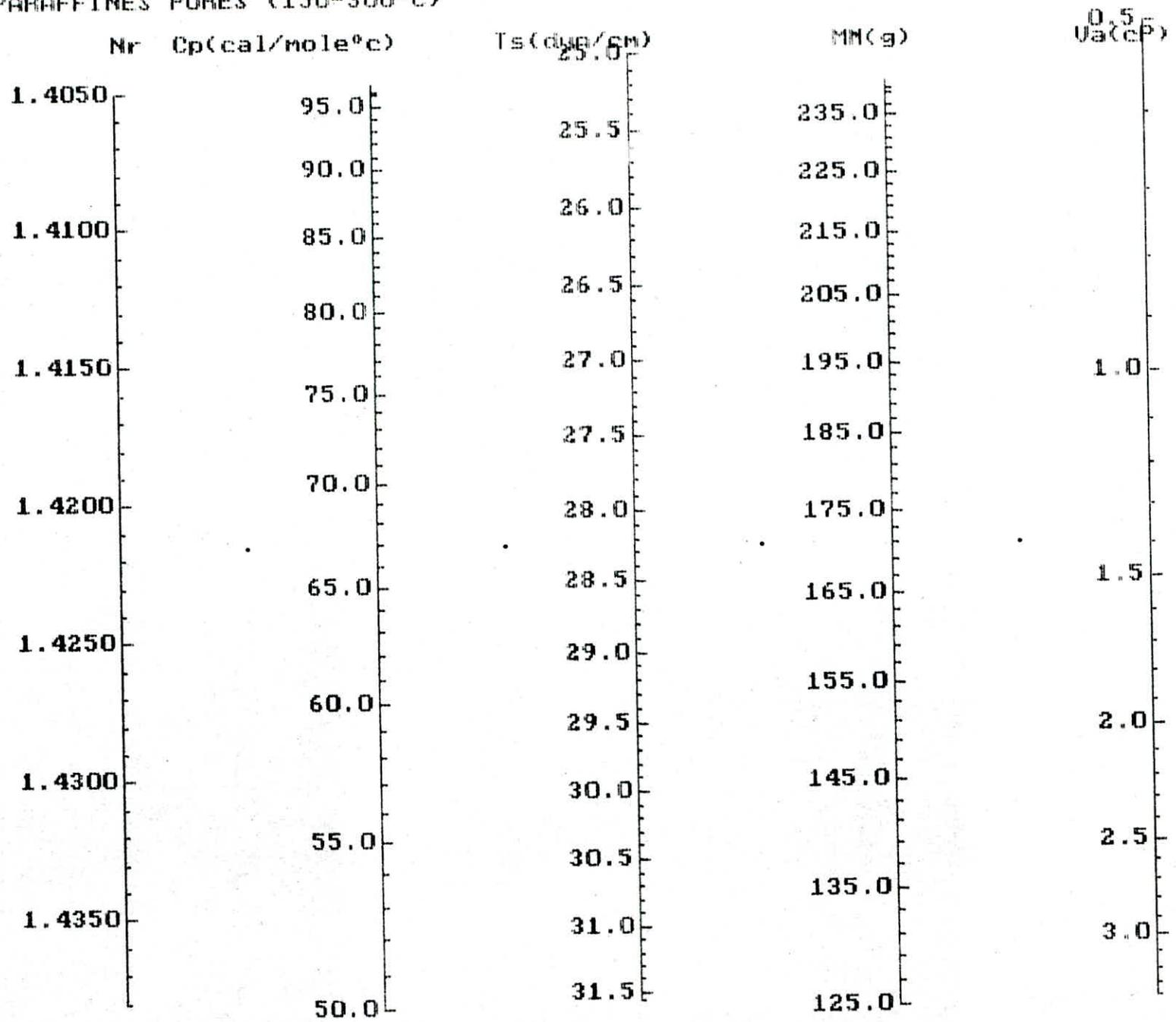
PARAFFINES PURES (150-300 °C)

Spgr(60/60F)

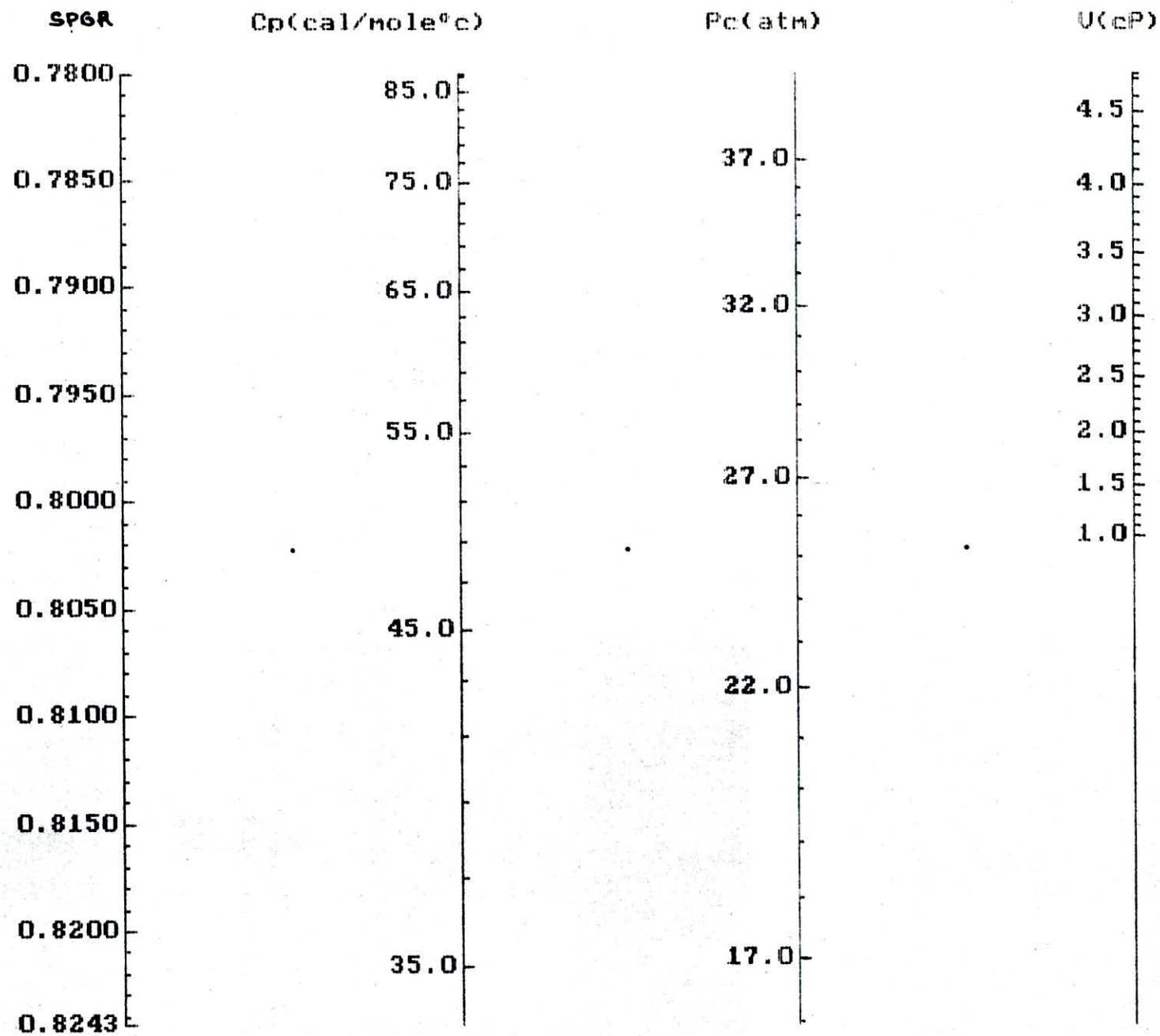
TEB (°C)



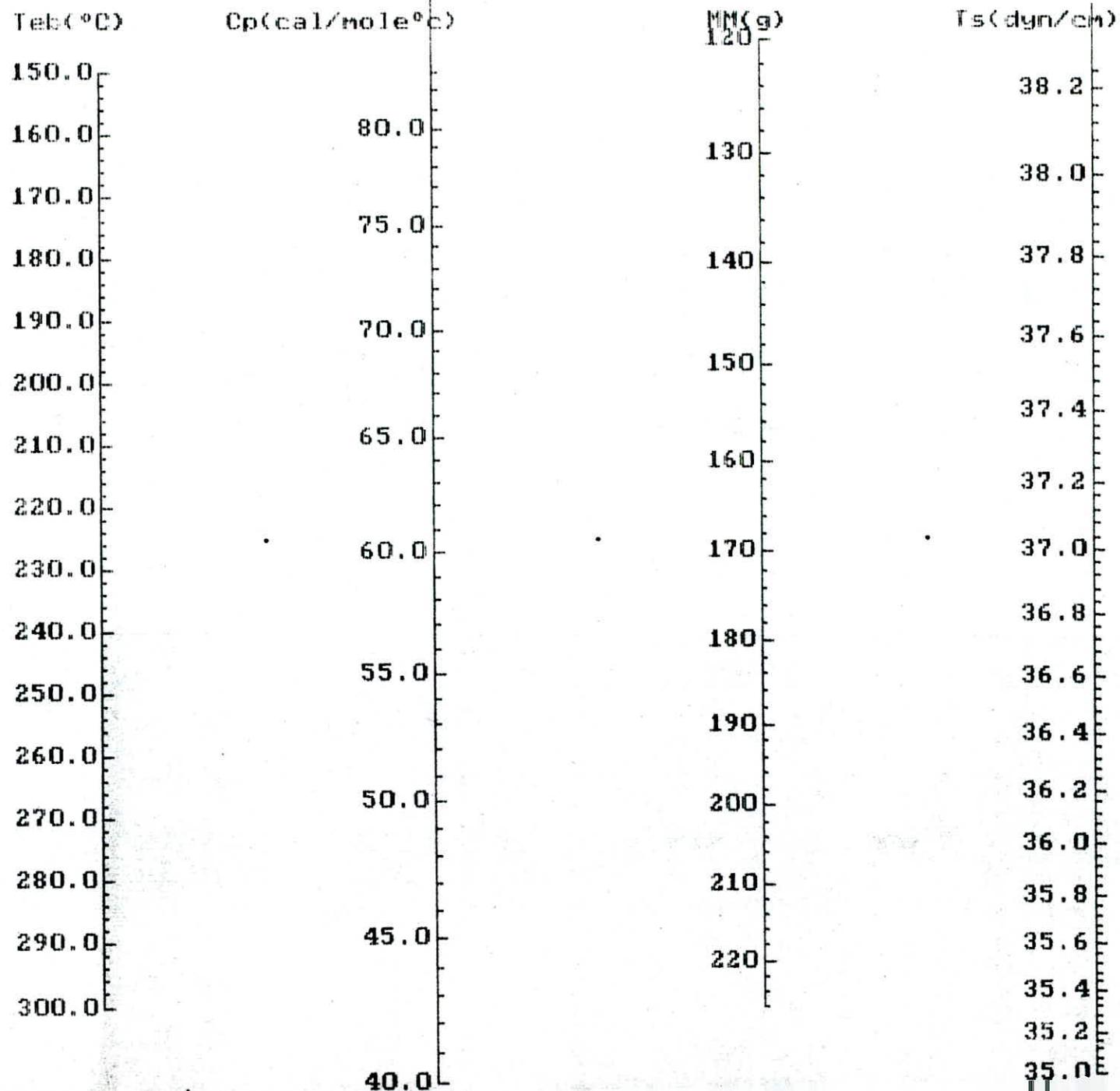
PARAFFINES PURES (150-300°C)



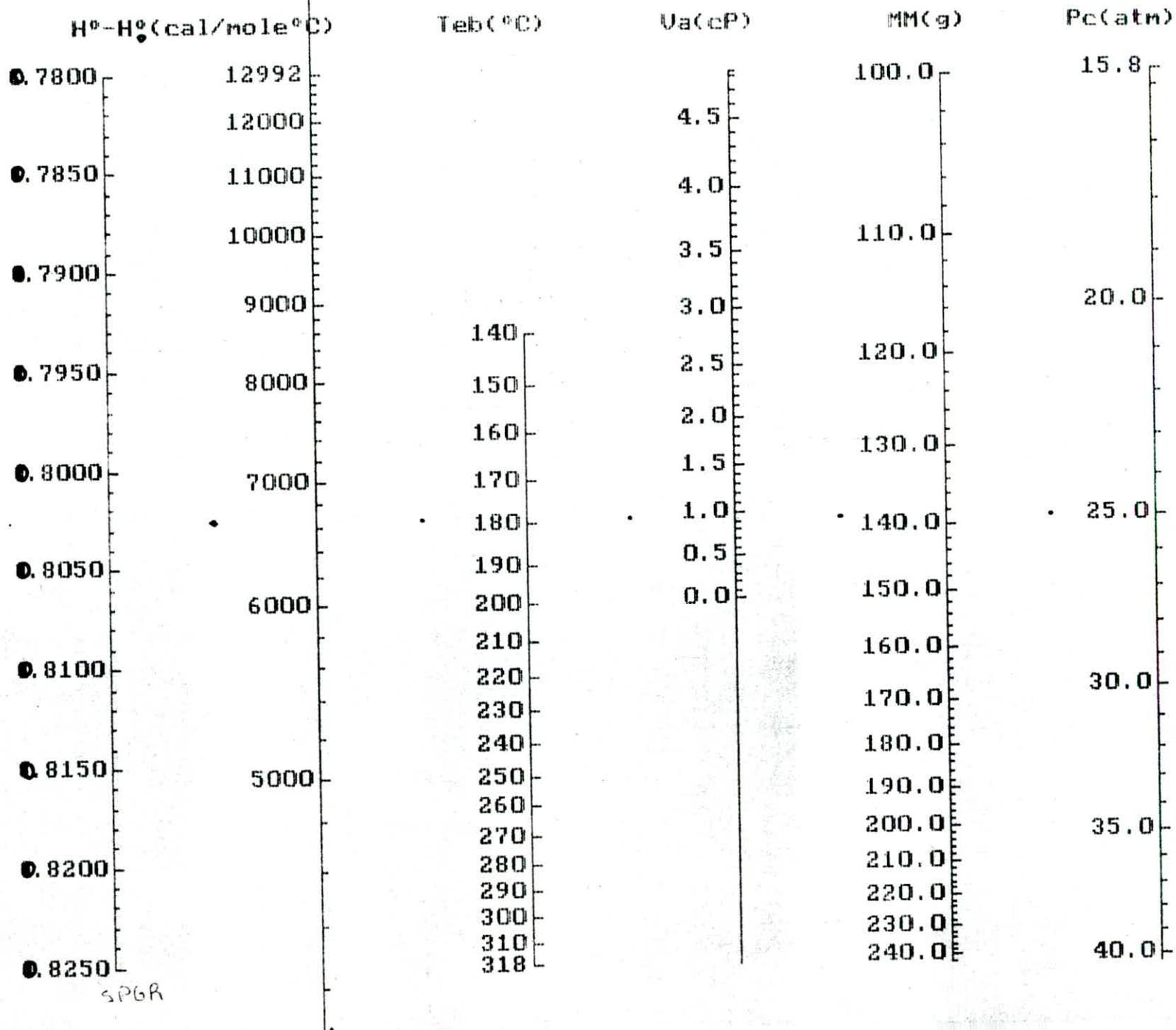
NAPHTENIQUES (150-300 °C)



NAPHTENIQUES PURS (150-300°C)



MAPHTENIQUES PURS (150-300°C)



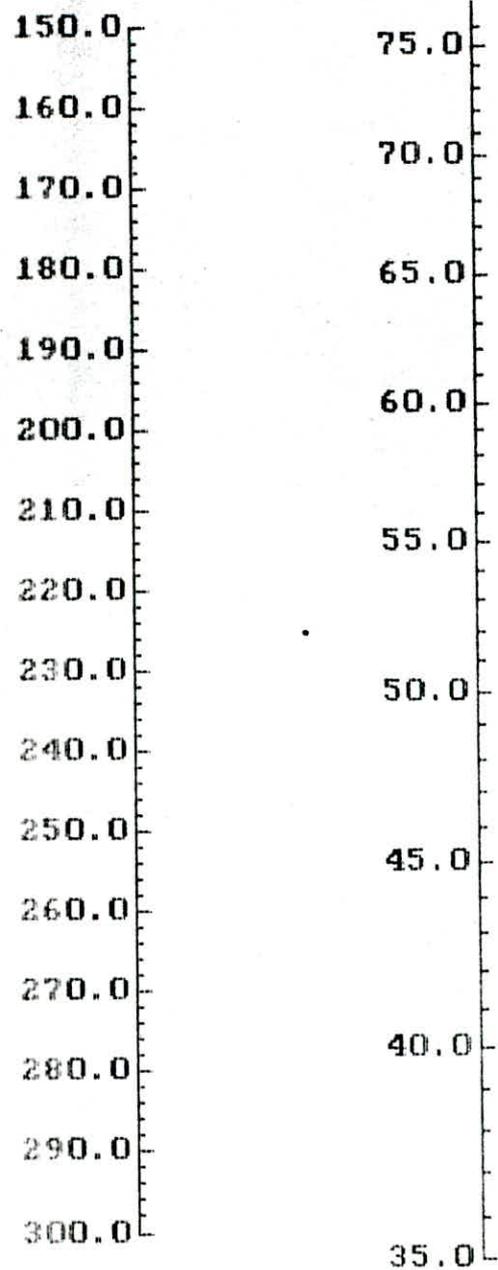
SPGR

AROMATIQUES PURS (150_300 °C)

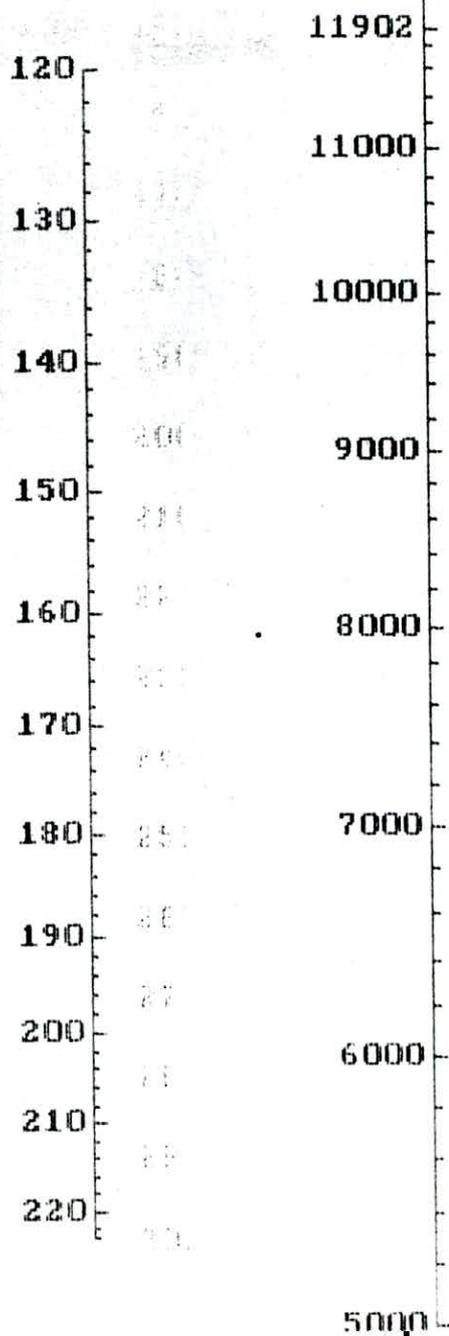
Nr	MM(g)	Teb(°C)	Pc(atm)
1.4830	130	290	28.0
1.4840	140	285	27.0
1.4850	150	280	26.0
1.4860	160	275	25.0
1.4870	170	270	24.0
1.4880	180	265	23.0
1.4890	190	260	22.0
1.4900	200	250	21.0
		245	20.0
		240	19.0
		235	18.0
		230	17.6

AROMATIQUES PURS (150-300 °C)

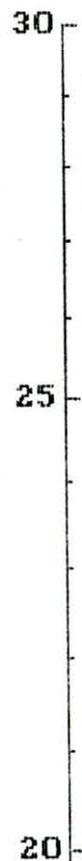
Teb(°c) CP(cal/mole°c)



MM(g) H°-H₂(cal/mole°c)

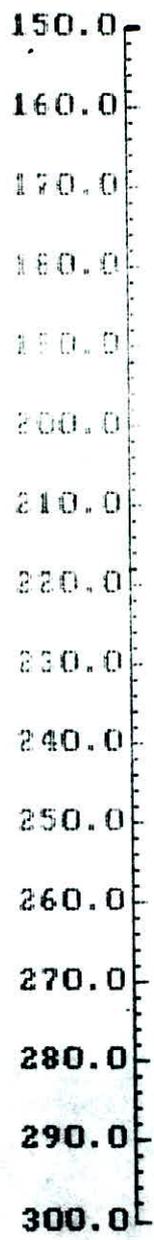


Pc(atm)

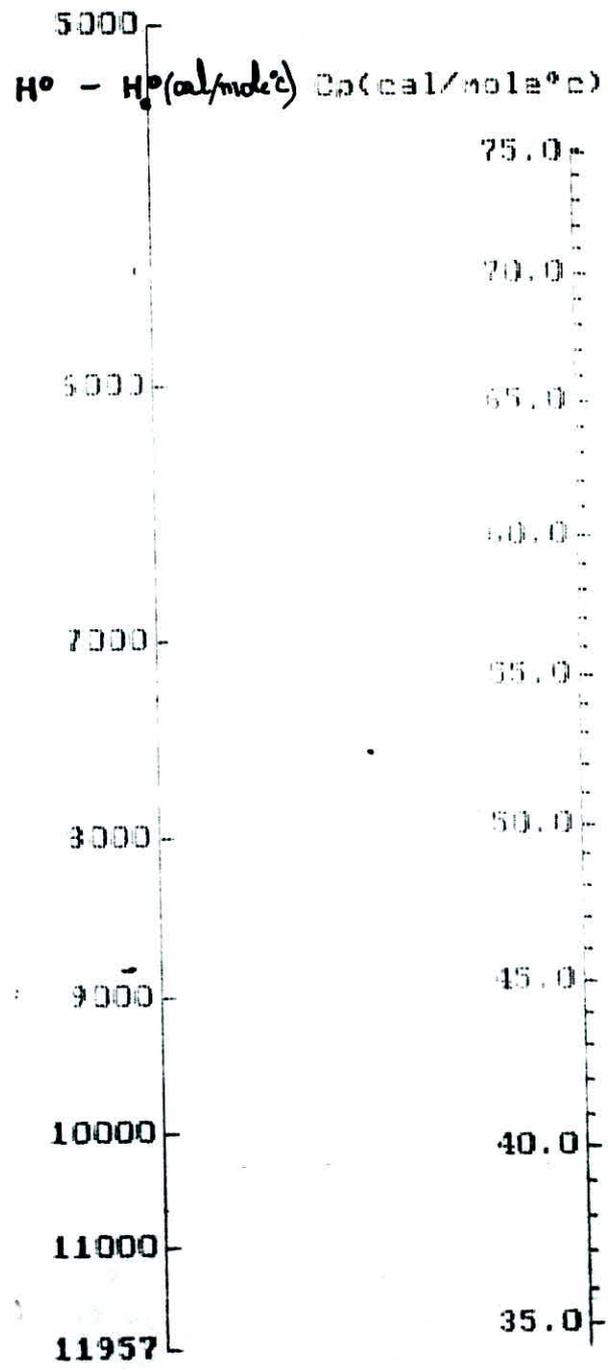


AROMATIQUES PURS (150_300 °C)

Teb (°C)



MM(g)



VII CONCLUSION :

Ce travail est une autre contribution au domaine de la recherche des propriétés du pétrole brut et des fractions pétrolières .

Il ne concerne en fait pas une coupe pétrolière en particulier , même si quelques-fois nos applications ont porté sur une coupe moyenne , ces exemples ont uniquement été choisis pour indiquer une méthodologie de travail .

Le programme **NOMOG.EXE** facilite le tracé de nomogrammes et représente un début dans la conception de programmes plus compliqués traçant par exemple des nomogrammes avec plusieurs points pivots ; on peut avancer que cette méthode est très commode pour la détermination rapide des propriétés plus importantes .

En ce qui concerne les corrélations sur les propriétés physiques des hydrocarbures , la méthode des moindres carrés s'est trouvée la plus indiquée pour des interpolations non linéaires . Les propriétés physiques déterminées présentent d'assez bons résultats , nous avons préférés ne pas présenter les corrélations qui ne donnent pas d'assez bons résultats notamment pour les aromatiques .

Notre travail , s'est voulu un point de raccordement entre les travaux entrepris avant nous sur les légers et les lourds , même si nous avons été limités par le nombre réduit d'observations et quelques anomalies de données de base .

Enfin , pour la détermination de la composition de fractions pétrolières , nous avons préparés la méthodologie de travail pour la recherche de corrélations et facteurs de caractérisation.

Concernant le programme **CORRELAT.PAS** , il ne reste qu'à optimiser le fichier de données **PRJ.DAT** , l'étendre à des hydrocarbures allant des plus légers aux plus lourds et surtout il est conseillé de ne pas se restreindre aux paraffines linéaires (ces dernières ne représentent que 15% des paraffines totales issues d'un gasoil provenant de la raffinerie d'Alger), aux alkyls cyclohexane et alkyls benzène .

Pour ce qui de la deuxième approche ($n^{\circ} = 2$) du problème , c'est à dire effectuer des régressions sur des compositions de fractions pétrolières déterminées par CGMS , la voie est toute indiquée et les moyens sont disponibles . Dorénavant , chaque CGMS effectuée devra être versée dans un fichier historique pour améliorer les équations que nous avons obtenus et pour étendre ces régressions à des produits autres que pétroliers (par exemple les produits terpéniques dans l'identification des huiles essentielles) .

BIBLIOGRAPHIE:

1. S.E CHITOUR : Corrélation sur le pétrole brut et les fractions pétrolières. Tome 1 et 2.
Edit OPU 1983.
2. AMERICAN PETROLIUM INSTITUTE (A.P.I): Selected value of properties of hydrocabons and related compounds (Projet 44)
3. Maxwell, Data books of hydrocarbons
Edit Mac GrawHill .
4. VIDAL Thermodynamique: méthodes appliquées au raffinage et au génie chimique, Tome 1 et 2
Edit Techni, 1974.
5. S.AIVAZIAN, I.ENUKOV, L.MECHALKINE: Elément de modélisation et traitement primaire des données.
EDIT MIR MOSCOU 1986
6. PERRY 'S , Chemical engineers handbook
6ieme edition 1990 .
7. P. WUITHIER , LE PETROLE ,Raffinage et genie chimique
TOME I ET II
2ieme edition TECHNIP PARIS 1972 .
8. WARREN J. LYMAN , Property estimation behavior of organic compounds .
1986.
9. M.LEDRA : Projet de fin d'études (Juin 1990)

A N N E X E I

```

program SIMUL (fe, input, output);
uses printer, crt;
const col=3; lin=21;
type
  colindex=1..col;
  linindex=1..lin;
  matrice=array[LININDEX,colindex] of real;
  vect=array[colindex] of real;
  vect1=array[colindex] of integer;
  var
  m,n,ku,sp,p,te,iii,t1,t,lgx:real;
  spgr,spgrc,nr,pa,nrc,mm,mmc,teb,tebc,pac:matrice;
  X,Y,Z,Xv,Yv,Zv,w1,w2,w3:real;
  m1,m2,m3:string;
  i,j,yi,xi:integer;
  prj,vol,mass,mol:text;
  Pc_fr,mm_fr,pf,pi,spgr_fr,pac_fr,nr_fr,teb_fr:real;
  i1,i11,i12,i13, i21,i22,i23 ,i31,i32,i33:integer;
  nc2,nc:vect1;

procedure somme(p:matrice;var p_fr :real;var fichier :text;l:integer);
begin
  p_fr:=X*(X*p[i11,1]+Y*p[i12,1]+Z*p[i13,1])+Y*(X*p[i21,2]+Y*p[i22,2]+Z*p[i23,2])+
  Z*(X*p[i31,3]+Y*p[i32,3]+Z*p[i33,3]);
  Write(fichier,' ',p_fr:6:1)
end;

procedure convert1;
var s:real;
begin
  s:=1/spgrc[i11,1]*X*x*MMc[i11,1]+1/spgrc[i12,1]*X*y*MMc[i12,1]+
  1/spgrc[i13,1]*X*z*MMc[i13,1]+1/spgrc[i21,2]*y*x*MMc[i21,2]
  +1/spgrc[i22,2]*y*y*MMc[i22,2]+1/spgrc[i23,2]*y*z*MMc[i23,2]+
  1/spgrc[i31,3]*Z*x*MMc[i31,3]+1/spgrc[i32,3]*Z*y*MMc[i32,3]
  +1/spgrc[i33,3]*Z*z*MMc[i33,3];
  XV:=(1/spgrc[i11,1]*X*x*MMc[i11,1]+1/spgrc[i12,1]*X*y*MMc[i12,1]
  +1/spgrc[i13,1]*X*z*MMc[i13,1])/s;
  zV:=(1/spgrc[i31,3]*Z*x*MMc[i31,3]+1/spgrc[i32,2]*Z*y*MMc[i32,3]
  +1/spgrc[i33,3]*Z*z*MMc[i33,3])/s;
  yV:=(1/Spgrc[i21,2]*y*x*MMc[i21,2]+1/spgrc[i22,2]*y*y*MMc[i22,2]
  +1/spgrc[i23,2]*y*z*MMc[i23,2])/s
end;

procedure convert2;
var s:real;
begin
  s:=X*x*MMc[i11,1]+X*y*MMc[i12,1]+
  X*z*MMc[i13,1]+y*x*MMc[i21,2]+y*y*MMc[i22,2]+y*z*MMc[i23,2]
  +Z*x*MMc[i31,3]+Z*y*MMc[i32,3]+Z*z*MMc[i33,3];
  w1:=(X*x*MMc[i11,1]+X*y*MMc[i12,1]+X*z*MMc[i13,1])/s;
  w2:=(z*x*MMc[i31,3]+z*y*MMc[i32,3]+z*z*MMc[i33,3])/s;
  w3:=(y*x*MMc[i21,2]+y*y*MMc[i22,2]+y*z*MMc[i23,2])/s
end;

procedure identifie(var f:text;pi,pf:real;i1,i2,i3:real;all:vector);
begin
  writeln(f,'la fraction simulee a un PI et un PF:');
  write(f,'pi('c)=';pi:6:2);write(f,' pf('c)=';pf:6:2);
  writeln(f);writeln(f,all);

```

end;

```
begin {programme principal}
clrscr;
assign(prj,'prj.dat');
assign(vol,'vol.dat');
assign(mass,'mass.dat');
assign(mol,'mol.dat');

reset(prj);
rewrite(vol);
rewrite(mass);
rewrite(mol);
writeln('ENTRER PI ET PF EN °C: ');
write('pi=');readln(pi);
write('pf=');readln(pf);
nc[1]:=21;
nc[2]:=21;
nc[3]:=21;
m1:='(compositions molaires)';
m2:='(compositions massiques)';
m3:='(compositions volumiques)';
for j:=1 to 3 do
  for i:=1 to nc[j] do
    readln (prj,teb[i,j],spgr[i,j],nr[i,j],pa[i,j],mm[i,j]);
    identifie(mol,pi,pf,x,y,z,m1);identifie(vol,pi,pf,xv,yv,zv,m3);
    identifie(mass,pi,pf,w1,w2,w3,m2);
  for j:=1 to 3 do
begin
  ll:=0;
  begin
  for i:=1 to nc[j] do
  if(teb[i,j]<=Pf)and(teb[i,j]>=pi) then
  begin
  ll:=ll+1;
  mmc[ll,j]:=mm[i,j];
  spgrc[ll,j]:=spgr[i,j];
  nrc[ll,j]:=nr[i,j];
  pac[ll,j]:=pa[i,j];
  tebc[ll,j]:=teb[i,j];
  end;
nc2[j]:=ll
end;
end;

Z:=1.0;
I11:=1;
i12:=trunc(nc2[1]);
I13:=nc2[1];
I21:=1;
i22:=trunc(nc2[2]);
I23:=nc2[2];
I31:=1;
i32:=trunc(nc2[3]);
I33:=nc2[3];
```

```

for xi:=20 downto 0 do
begin
x:=xi/20;
for yi:=20-xi downto 0 do
begin
y:=yi/20;
Z:=1.0-(X+Y);
write (mol,abs(X):2:2,' ',abs(Y):2:2,' ',abs(Z):2:2);
convert1;
convert2;
write(vol,abs(Xv):2:2,' ',abs(Yv):2:2,' ',abs(Zv):2:2);
write(mass,abs(w1):2:2,' ',abs(w2):2:2,' ',abs(w3):2:2);
somme(pac,pac_fr,vol,0);
somme(pac,pac_fr,mol,0);
somme(pac,pac_fr,mass,0);
somme(spgrc,spgr_fr,mol,4);
somme(spgrc,spgr_fr,mass,4);
somme(spgrc,spgr_fr,vol,4);
somme(Tebc,Teb_fr,vol,0);
somme(Tebc,Teb_fr,mol,0);
somme(Tebc,Teb_fr,mass,0);
somme(MM,MM_fr,fich_mol2);
somme(MM,MM_fr,fich_vol);
somme(nrc,nr_fr,vol,4);
somme(nrc,nr_fr,mol,4);
somme(nrc,nr_fr,mass,4);
writeln(mass);writeln(vol);writeln(mol)
end;
end;
close(vol);close(mass);close(mol)
end.

```

Fichier molalite

la fraction simulee a un PI et un PF:

pi(°c)=180.00 pf(°c)=368.00

X	Y	Z	PA(°c)	spgr60/60	Teb(°c)	nr(20°c)
1.00	0.00	0.00	80.0000	0.7443	195.2800	1.4173
0.94	0.06	0.00	80.0415	0.7503	203.9989	1.4200
0.93	0.00	0.07	76.3377	0.7549	205.1743	1.4235
0.88	0.12	0.00	80.2185	0.7560	212.6750	1.4227
0.88	0.06	0.06	76.5684	0.7603	213.7325	1.4258
0.87	0.00	0.13	72.9813	0.7647	214.8323	1.4292
0.83	0.17	0.00	80.5214	0.7614	221.3086	1.4253
0.82	0.11	0.06	76.9205	0.7654	222.2481	1.4281
0.82	0.06	0.13	73.3810	0.7695	223.2339	1.4311
0.81	0.00	0.19	69.9005	0.7737	224.2655	1.4344
0.77	0.23	0.00	80.9415	0.7667	229.9011	1.4278
0.77	0.17	0.06	77.3855	0.7703	230.7224	1.4303
0.76	0.11	0.13	73.8895	0.7741	231.5941	1.4330
0.76	0.06	0.19	70.4513	0.7780	232.5156	1.4360
0.75	0.00	0.25	67.0686	0.7820	233.4861	1.4392
0.72	0.28	0.00	81.4713	0.7717	238.4546	1.4302
0.71	0.22	0.06	77.9562	0.7751	239.1576	1.4323
0.71	0.17	0.12	74.4999	0.7785	239.9151	1.4348
0.71	0.11	0.18	71.1001	0.7821	240.7263	1.4374
0.70	0.05	0.24	67.7548	0.7858	241.5904	1.4404
0.70	0.00	0.30	64.4618	0.7897	242.5068	1.4436
0.67	0.33	0.00	82.1037	0.7765	246.9724	1.4325
0.66	0.28	0.06	78.6258	0.7796	247.5568	1.4343
0.66	0.22	0.12	75.2056	0.7828	248.1998	1.4364
0.65	0.16	0.18	71.8409	0.7861	248.9005	1.4388
0.65	0.11	0.24	68.5296	0.7895	249.6582	1.4415
0.65	0.05	0.30	65.2696	0.7931	250.4719	1.4445
0.64	0.00	0.36	62.0589	0.7968	251.3410	1.4477
0.62	0.38	0.00	82.8329	0.7812	255.4588	1.4347
0.61	0.33	0.06	79.3887	0.7839	255.9241	1.4362
0.61	0.27	0.12	76.0012	0.7868	256.4521	1.4380
0.60	0.22	0.18	72.6683	0.7899	257.0421	1.4402
0.60	0.16	0.24	69.3878	0.7930	257.6930	1.4426
0.60	0.11	0.30	66.1577	0.7963	258.4039	1.4452
0.59	0.05	0.35	62.9761	0.7998	259.1741	1.4482
0.59	0.00	0.41	59.8411	0.8034	260.0028	1.4515
0.57	0.43	0.00	83.6537	0.7857	263.9192	1.4369
0.56	0.38	0.06	80.2399	0.7881	264.2646	1.4381
0.56	0.32	0.12	76.8819	0.7907	264.6771	1.4396
0.56	0.27	0.18	73.5776	0.7935	265.1558	1.4414
0.55	0.21	0.23	70.3249	0.7964	265.6995	1.4435
0.55	0.16	0.29	67.1218	0.7995	266.3073	1.4459
0.55	0.10	0.35	63.9664	0.8027	266.9785	1.4486
0.54	0.05	0.40	60.8568	0.8060	267.7120	1.4516
0.54	0.00	0.46	57.7913	0.8095	268.5071	1.454
0.52	0.48	0.00	84.5618	0.7900	272.3602	1.4390
0.51	0.43	0.06	81.1751	0.7922	272.5848	1.4398
0.51	0.37	0.12	77.8436	0.7945	272.8809	1.4410
0.51	0.32	0.17	74.5650	0.7970	273.2475	1.4425
0.50	0.26	0.23	71.3372	0.7996	273.6834	1.4444
0.50	0.21	0.29	68.1583	0.8024	274.1877	1.4465
0.50	0.16	0.34	65.0264	0.8054	274.7593	1.4490
0.50	0.10	0.40	61.9396	0.8085	275.3974	1.4517
0.49	0.05	0.45	58.8962	0.8118	276.1011	1.4548
0.49	0.00	0.51	55.8944	0.8152	276.8696	1.4581
0.47	0.53	0.00	85.5535	0.7942	280.7896	1.4410
0.46	0.48	0.06	82.1911	0.7961	280.8921	1.4415
0.46	0.42	0.12	78.8830	0.7981	281.0708	1.4424
0.46	0.37	0.17	75.6272	0.8003	281.3247	1.4438
0.46	0.31	0.23	72.4216	0.8027	281.6516	1.4451
0.45	0.26	0.28	69.2642	0.8053	282.0515	1.4470
0.45	0.21	0.34	66.1532	0.8080	282.5232	1.4482
0.45	0.15	0.40	63.0867	0.8109	283.0654	1.4517

la fraction simulee a un PI et un PF:

pi(°c)=180.00 pf(°c)=200.00

(compositions volumiques)

X	Y	Z	PA(°c)	spgr60/60	Teb(°c)	nr(20°c)
1.00	0.00	0.00	80	0.7443	195	1.4173
0.96	0.04	0.00	79	0.7472	195	1.4183
0.96	0.00	0.04	76	0.7503	195	1.4208
0.92	0.08	0.00	77	0.7502	194	1.4194
0.92	0.04	0.04	75	0.7532	194	1.4219
0.92	0.00	0.08	72	0.7563	194	1.4244
0.87	0.13	0.00	76	0.7531	193	1.4204
0.88	0.09	0.04	73	0.7562	193	1.4230
0.88	0.04	0.08	70	0.7592	193	1.4255
0.88	0.00	0.12	68	0.7622	193	1.4280
0.83	0.17	0.00	75	0.7561	192	1.4215
0.83	0.13	0.04	72	0.7591	193	1.4240
0.84	0.09	0.08	69	0.7621	193	1.4266
0.84	0.04	0.12	66	0.7652	193	1.4291
0.84	0.00	0.16	64	0.7682	193	1.4316
0.78	0.22	0.00	74	0.7590	192	1.4226
0.79	0.17	0.04	71	0.7621	192	1.4251
0.79	0.13	0.08	68	0.7651	192	1.4276
0.79	0.09	0.12	65	0.7681	192	1.4302
0.80	0.04	0.16	62	0.7711	192	1.4327
0.80	0.00	0.20	59	0.7742	192	1.4352
0.74	0.26	0.00	72	0.7620	191	1.4236
0.74	0.22	0.04	69	0.7650	191	1.4262
0.74	0.18	0.08	67	0.7680	191	1.4287
0.75	0.13	0.12	64	0.7711	191	1.4312
0.75	0.09	0.16	61	0.7741	191	1.4338
0.76	0.04	0.20	58	0.7771	192	1.4363
0.76	0.00	0.24	55	0.7802	192	1.4388
0.69	0.31	0.00	71	0.7649	190	1.4247
0.69	0.27	0.04	68	0.7679	190	1.4272
0.70	0.22	0.08	65	0.7710	190	1.4298
0.70	0.18	0.12	62	0.7740	191	1.4323
0.70	0.14	0.16	60	0.7770	191	1.4348
0.71	0.09	0.20	57	0.7801	191	1.4374
0.71	0.05	0.24	54	0.7831	191	1.4399
0.72	0.00	0.28	51	0.7861	191	1.4424
0.64	0.36	0.00	70	0.7679	190	1.4258
0.65	0.31	0.04	67	0.7709	190	1.4283
0.65	0.27	0.08	64	0.7739	190	1.4308
0.65	0.23	0.12	61	0.7770	190	1.4334
0.66	0.18	0.16	58	0.7800	190	1.4359
0.66	0.14	0.21	55	0.7830	190	1.4384
0.66	0.09	0.25	53	0.7860	190	1.4410
0.67	0.05	0.29	50	0.7891	190	1.4435
0.67	0.00	0.33	47	0.7921	190	1.4460
0.60	0.40	0.00	68	0.7708	189	1.4268
0.60	0.36	0.04	65	0.7738	189	1.4293
0.60	0.32	0.08	63	0.7769	189	1.4319
0.60	0.27	0.12	60	0.7799	189	1.4344
0.61	0.23	0.17	57	0.7829	189	1.4370
0.61	0.18	0.21	54	0.7860	189	1.4395
0.61	0.14	0.25	51	0.7890	190	1.4420
0.62	0.09	0.29	49	0.7920	190	1.4446
0.62	0.05	0.33	46	0.7950	190	1.4471
0.62	0.00	0.38	43	0.7981	190	1.4496
0.55	0.45	0.00	67	0.7738	188	1.4279
0.55	0.41	0.04	64	0.7768	188	1.4304
0.55	0.37	0.08	61	0.7798	188	1.4329
0.55	0.32	0.13	59	0.7828	188	1.4355
0.56	0.28	0.17	56	0.7859	189	1.4380
0.56	0.23	0.21	53	0.7889	189	1.4406
			50	0.7919	189	1.4431

0.57	0.05	0.38	42	0.8010	189	1.4507
0.57	0.00	0.43	39	0.8041	189	1.4532
0.50	0.50	0.00	66	0.7767	187	1.4289
0.50	0.46	0.04	63	0.7797	187	1.4315
0.50	0.42	0.09	60	0.7828	188	1.4340
0.50	0.37	0.13	57	0.7858	188	1.4365
0.51	0.33	0.17	54	0.7888	188	1.4391
0.51	0.28	0.21	52	0.7918	188	1.4416
0.51	0.24	0.26	49	0.7949	188	1.4441
0.51	0.19	0.30	46	0.7979	188	1.4467
0.52	0.14	0.34	43	0.8009	188	1.4492
0.52	0.10	0.39	40	0.8040	188	1.4518
0.52	0.05	0.43	37	0.8070	189	1.4543
0.53	0.00	0.47	35	0.8100	189	1.4568
0.44	0.56	0.00	64	0.7796	187	1.4300
0.45	0.51	0.04	62	0.7827	187	1.4325
0.45	0.47	0.09	59	0.7857	187	1.4351
0.45	0.42	0.13	56	0.7887	187	1.4376
0.45	0.38	0.17	53	0.7918	187	1.4401
0.46	0.33	0.22	50	0.7948	187	1.4427
0.46	0.29	0.26	47	0.7978	187	1.4452
0.46	0.24	0.30	45	0.8009	187	1.4477
0.46	0.19	0.35	42	0.8039	188	1.4503
0.47	0.15	0.39	39	0.8069	188	1.4528
0.47	0.10	0.44	36	0.8099	188	1.4554
0.47	0.05	0.48	33	0.8130	188	1.4579
0.47	0.00	0.53	31	0.8160	188	1.4604
0.39	0.61	0.00	63	0.7826	186	1.4311
0.40	0.56	0.04	60	0.7856	186	1.4336
0.40	0.52	0.09	57	0.7886	186	1.4361
0.40	0.47	0.13	55	0.7917	186	1.4387
0.40	0.43	0.18	52	0.7947	186	1.4412
0.40	0.38	0.22	49	0.7977	187	1.4437
0.41	0.34	0.26	46	0.8008	187	1.4463
0.41	0.29	0.31	43	0.8038	187	1.4488
0.41	0.24	0.35	41	0.8068	187	1.4513
0.41	0.20	0.40	38	0.8099	187	1.4539
0.41	0.15	0.44	35	0.8129	187	1.4564
0.42	0.10	0.49	32	0.8159	187	1.4589
0.42	0.05	0.53	29	0.8189	187	1.4615
0.42	0.00	0.58	26	0.8220	187	1.4640
0.34	0.66	0.00	62	0.7855	185	1.4321
0.34	0.62	0.04	59	0.7886	185	1.4347
0.34	0.57	0.09	56	0.7916	185	1.4372
0.35	0.53	0.13	53	0.7946	186	1.4397
0.35	0.48	0.18	51	0.7977	186	1.4423
0.35	0.44	0.22	48	0.8007	186	1.4448
0.35	0.39	0.27	45	0.8037	186	1.4473
0.35	0.34	0.31	42	0.8067	186	1.4499
0.35	0.30	0.36	39	0.8098	186	1.4524
0.36	0.25	0.40	36	0.8128	186	1.4549
0.36	0.20	0.45	34	0.8158	186	1.4575
0.36	0.15	0.49	31	0.8189	187	1.4600
0.36	0.10	0.54	28	0.8219	187	1.4625
0.36	0.05	0.59	25	0.8249	187	1.4651
0.37	0.00	0.63	22	0.8279	187	1.4676
0.29	0.71	0.00	61	0.7885	184	1.4332
0.29	0.67	0.04	58	0.7915	185	1.4357
0.29	0.63	0.09	55	0.7945	185	1.4383
0.29	0.58	0.13	52	0.7976	185	1.4408
0.29	0.53	0.18	49	0.8006	185	1.4433
0.29	0.49	0.23	46	0.8036	185	1.4459
0.30	0.44	0.27	44	0.8067	185	1.4484
0.30	0.40	0.32	41	0.8097	185	1.4509
0.30	0.35	0.36	38	0.8127	185	1.4535

la fraction simulee a un PI et un PF:

pi(°c)=180.00 pf(°c)=200.00

(compositions molaires)

X	Y	Z	PA(°c)	spgr60/60	Teb(°c)	nr(20°c)
1.00	0.00	0.00	80	0.7443	195	1.4173
0.95	0.05	0.00	79	0.7472	195	1.4183
0.95	0.00	0.05	76	0.7503	195	1.4208
0.90	0.10	0.00	77	0.7502	194	1.4194
0.90	0.05	0.05	75	0.7532	194	1.4219
0.90	0.00	0.10	72	0.7563	194	1.4244
0.85	0.15	0.00	76	0.7531	193	1.4204
0.85	0.10	0.05	73	0.7562	193	1.4230
0.85	0.05	0.10	70	0.7592	193	1.4255
0.85	0.00	0.15	68	0.7622	193	1.4280
0.80	0.20	0.00	75	0.7561	192	1.4215
0.80	0.15	0.05	72	0.7591	193	1.4240
0.80	0.10	0.10	69	0.7621	193	1.4266
0.80	0.05	0.15	66	0.7652	193	1.4291
0.80	0.00	0.20	64	0.7682	193	1.4316
0.75	0.25	0.00	74	0.7590	192	1.4226
0.75	0.20	0.05	71	0.7621	192	1.4251
0.75	0.15	0.10	68	0.7651	192	1.4276
0.75	0.10	0.15	65	0.7681	192	1.4302
0.75	0.05	0.20	62	0.7711	192	1.4327
0.75	0.00	0.25	59	0.7742	192	1.4352
0.70	0.30	0.00	72	0.7620	191	1.4236
0.70	0.25	0.05	69	0.7650	191	1.4262
0.70	0.20	0.10	67	0.7680	191	1.4287
0.70	0.15	0.15	64	0.7711	191	1.4312
0.70	0.10	0.20	61	0.7741	191	1.4338
0.70	0.05	0.25	58	0.7771	192	1.4363
0.70	0.00	0.30	55	0.7802	192	1.4388
0.65	0.35	0.00	71	0.7649	190	1.4247
0.65	0.30	0.05	68	0.7679	190	1.4272
0.65	0.25	0.10	65	0.7710	190	1.4297
0.65	0.20	0.15	62	0.7740	191	1.4323
0.65	0.15	0.20	60	0.7770	191	1.4348
0.65	0.10	0.25	57	0.7801	191	1.4374
0.65	0.05	0.30	54	0.7831	191	1.4399
0.65	0.00	0.35	51	0.7861	191	1.4424
0.60	0.40	0.00	70	0.7679	190	1.4258
0.60	0.35	0.05	67	0.7709	190	1.4283
0.60	0.30	0.10	64	0.7739	190	1.4308
0.60	0.25	0.15	61	0.7770	190	1.4334
0.60	0.20	0.20	58	0.7800	190	1.4359
0.60	0.15	0.25	55	0.7830	190	1.4384
0.60	0.10	0.30	53	0.7860	190	1.4410
0.60	0.05	0.35	50	0.7891	190	1.4435
0.60	0.00	0.40	47	0.7921	190	1.4460
0.55	0.45	0.00	68	0.7708	189	1.4268
0.55	0.40	0.05	65	0.7738	189	1.4293
0.55	0.35	0.10	63	0.7769	189	1.4319
0.55	0.30	0.15	60	0.7799	189	1.4344
0.55	0.25	0.20	57	0.7829	189	1.4370
0.55	0.20	0.25	54	0.7860	189	1.4395
0.55	0.15	0.30	51	0.7890	190	1.4420
0.55	0.10	0.35	49	0.7920	190	1.4446
0.55	0.05	0.40	46	0.7950	190	1.4471
0.55	0.00	0.45	43	0.7981	190	1.4496
0.50	0.50	0.00	67	0.7738	188	1.4279
0.50	0.45	0.05	64	0.7768	188	1.4304
0.50	0.40	0.10	61	0.7798	188	1.4329
0.50	0.35	0.15	59	0.7828	188	1.4355
0.50	0.30	0.20	56	0.7859	188	1.4380
0.50	0.25	0.25	53	0.7889	188	1.4406

0.50	0.15	0.35	47	0.7950	189	1.4456
0.50	0.10	0.40	44	0.7980	189	1.4482
0.50	0.05	0.45	42	0.8010	189	1.4507
0.50	0.00	0.50	39	0.8041	189	1.4532
0.45	0.55	0.00	66	0.7767	187	1.4289
0.45	0.50	0.05	63	0.7797	187	1.4315
0.45	0.45	0.10	60	0.7828	188	1.4340
0.45	0.40	0.15	57	0.7858	188	1.4365
0.45	0.35	0.20	54	0.7888	188	1.4391
0.45	0.30	0.25	52	0.7918	188	1.4416
0.45	0.25	0.30	49	0.7949	188	1.4441
0.45	0.20	0.35	46	0.7979	188	1.4467
0.45	0.15	0.40	43	0.8009	188	1.4492
0.45	0.10	0.45	40	0.8040	188	1.4518
0.45	0.05	0.50	37	0.8070	189	1.4543
0.45	0.00	0.55	35	0.8100	189	1.4568
0.40	0.60	0.00	64	0.7796	187	1.4300
0.40	0.55	0.05	62	0.7827	187	1.4325
0.40	0.50	0.10	59	0.7857	187	1.4351
0.40	0.45	0.15	56	0.7887	187	1.4376
0.40	0.40	0.20	53	0.7918	187	1.4401
0.40	0.35	0.25	50	0.7948	187	1.4427
0.40	0.30	0.30	47	0.7978	187	1.4452
0.40	0.25	0.35	45	0.8009	187	1.4477
0.40	0.20	0.40	42	0.8039	188	1.4503
0.40	0.15	0.45	39	0.8069	188	1.4528
0.40	0.10	0.50	36	0.8099	188	1.4554
0.40	0.05	0.55	33	0.8130	188	1.4579
0.40	0.00	0.60	31	0.8160	188	1.4604
0.35	0.65	0.00	63	0.7826	186	1.4311
0.35	0.60	0.05	60	0.7856	186	1.4336
0.35	0.55	0.10	57	0.7886	186	1.4361
0.35	0.50	0.15	55	0.7917	186	1.4387
0.35	0.45	0.20	52	0.7947	186	1.4412
0.35	0.40	0.25	49	0.7977	187	1.4437
0.35	0.35	0.30	46	0.8008	187	1.4463
0.35	0.30	0.35	43	0.8038	187	1.4488
0.35	0.25	0.40	40	0.8068	187	1.4513
0.35	0.20	0.45	38	0.8099	187	1.4539
0.35	0.15	0.50	35	0.8129	187	1.4564
0.35	0.10	0.55	32	0.8159	187	1.4589
0.35	0.05	0.60	29	0.8189	187	1.4615
0.35	0.00	0.65	26	0.8220	187	1.4640
0.30	0.70	0.00	62	0.7855	185	1.4321
0.30	0.65	0.05	59	0.7886	185	1.4347
0.30	0.60	0.10	56	0.7916	185	1.4372
0.30	0.55	0.15	53	0.7946	186	1.4397
0.30	0.50	0.20	51	0.7977	186	1.4423
0.30	0.45	0.25	48	0.8007	186	1.4448
0.30	0.40	0.30	45	0.8037	186	1.4473
0.30	0.35	0.35	42	0.8067	186	1.4499
0.30	0.30	0.40	39	0.8098	186	1.4524
0.30	0.25	0.45	36	0.8128	186	1.4549
0.30	0.20	0.50	34	0.8158	186	1.4575
0.30	0.15	0.55	31	0.8189	187	1.4600
0.30	0.10	0.60	28	0.8219	187	1.4625
0.30	0.05	0.65	25	0.8249	187	1.4651
0.30	0.00	0.70	22	0.8279	187	1.4676
0.25	0.75	0.00	61	0.7885	184	1.4332
0.25	0.70	0.05	58	0.7915	185	1.4357
0.25	0.65	0.10	55	0.7945	185	1.4382
0.25	0.60	0.15	52	0.7976	185	1.4408
0.25	0.55	0.20	49	0.8006	185	1.4433
0.25	0.50	0.25	46	0.8036	185	1.4459

La fraction simulée a un P i et un . . .
 pi(°c)=180.00 pf(°c)=200.00
 (compositions massiques)

X	Y	Z	PA(°c)	spgr60/60	Teb(°c)	nr(20°c)
1.00	0.00	0.00	80	0.7443	195	1.4173
0.95	0.00	0.05	79	0.7472	195	1.4183
0.96	0.04	0.00	76	0.7503	195	1.4208
0.91	0.00	0.09	77	0.7502	194	1.4194
0.91	0.04	0.05	75	0.7532	194	1.4219
0.91	0.09	0.00	72	0.7563	194	1.4244
0.86	0.00	0.14	76	0.7531	193	1.4204
0.86	0.04	0.09	73	0.7562	193	1.4230
0.87	0.09	0.05	70	0.7592	193	1.4255
0.87	0.13	0.00	68	0.7622	193	1.4280
0.82	0.00	0.18	75	0.7561	192	1.4215
0.82	0.04	0.14	72	0.7591	193	1.4240
0.82	0.09	0.09	69	0.7621	193	1.4266
0.82	0.13	0.05	66	0.7652	193	1.4291
0.82	0.18	0.00	64	0.7682	193	1.4316
0.77	0.00	0.23	74	0.7590	192	1.4226
0.77	0.04	0.18	71	0.7621	192	1.4251
0.77	0.09	0.14	68	0.7651	192	1.4276
0.77	0.13	0.09	65	0.7681	192	1.4302
0.78	0.18	0.05	62	0.7711	192	1.4327
0.78	0.22	0.00	59	0.7742	192	1.4352
0.72	0.00	0.28	72	0.7620	191	1.4236
0.72	0.04	0.23	69	0.7650	191	1.4262
0.73	0.09	0.19	67	0.7680	191	1.4287
0.73	0.13	0.14	64	0.7711	191	1.4312
0.73	0.18	0.09	61	0.7741	191	1.4338
0.73	0.22	0.05	58	0.7771	192	1.4363
0.73	0.27	0.00	55	0.7802	192	1.4388
0.67	0.00	0.33	71	0.7649	190	1.4247
0.68	0.04	0.28	68	0.7679	190	1.4272
0.68	0.09	0.23	65	0.7710	190	1.4298
0.68	0.13	0.19	62	0.7740	191	1.4323
0.68	0.18	0.14	60	0.7770	191	1.4348
0.68	0.22	0.09	57	0.7801	191	1.4374
0.68	0.27	0.05	54	0.7831	191	1.4399
0.68	0.32	0.00	51	0.7861	191	1.4424
0.63	0.00	0.37	70	0.7679	190	1.4258
0.63	0.04	0.33	67	0.7709	190	1.4283
0.63	0.09	0.28	64	0.7739	190	1.4308
0.63	0.14	0.24	61	0.7770	190	1.4334
0.63	0.18	0.19	58	0.7800	190	1.4359
0.63	0.23	0.14	55	0.7830	190	1.4384
0.63	0.27	0.09	53	0.7860	190	1.4410
0.63	0.32	0.05	50	0.7891	190	1.4435
0.64	0.36	0.00	47	0.7921	190	1.4460
0.58	0.00	0.42	68	0.7708	189	1.4268
0.58	0.05	0.38	65	0.7738	189	1.4293
0.58	0.09	0.33	63	0.7769	189	1.4319
0.58	0.14	0.28	60	0.7799	189	1.4344
0.58	0.18	0.24	57	0.7829	189	1.4370
0.58	0.23	0.19	54	0.7860	189	1.4395
0.58	0.27	0.14	51	0.7890	190	1.4420
0.58	0.32	0.10	49	0.7920	190	1.4446
0.59	0.37	0.05	46	0.7950	190	1.4471
0.59	0.41	0.00	43	0.7981	190	1.4496
0.53	0.00	0.47	67	0.7738	188	1.4279
0.53	0.05	0.43	64	0.7768	188	1.4304
0.53	0.09	0.38	61	0.7798	188	1.4329
0.53	0.14	0.33	59	0.7828	188	1.4355
0.53	0.18	0.29	56	0.7859	189	1.4380
0.53	0.23	0.24	53	0.7889	189	1.4406
0.53	0.27	0.19	50	0.7919	189	1.4431

0.53	0.32	0.14	47	0.7950	189	1.4456
0.54	0.37	0.10	44	0.7980	189	1.4482
0.54	0.41	0.05	42	0.8010	189	1.4507
0.54	0.46	0.00	39	0.8041	189	1.4532
0.48	0.00	0.52	66	0.7767	187	1.4289
0.48	0.05	0.48	63	0.7797	187	1.4315
0.48	0.09	0.43	60	0.7828	188	1.4340
0.48	0.14	0.38	57	0.7858	188	1.4365
0.48	0.18	0.34	54	0.7888	188	1.4391
0.48	0.23	0.29	52	0.7918	188	1.4416
0.48	0.28	0.24	49	0.7949	188	1.4441
0.48	0.32	0.19	46	0.7979	188	1.4467
0.48	0.37	0.15	43	0.8009	188	1.4492
0.49	0.42	0.10	40	0.8040	188	1.4518
0.49	0.46	0.05	37	0.8070	189	1.4543
0.49	0.51	0.00	35	0.8100	189	1.4568
0.43	0.00	0.57	64	0.7796	187	1.4300
0.43	0.05	0.53	62	0.7827	187	1.4325
0.43	0.09	0.48	59	0.7857	187	1.4351
0.43	0.14	0.43	56	0.7887	187	1.4376
0.43	0.18	0.39	53	0.7918	187	1.4401
0.43	0.23	0.34	50	0.7948	187	1.4427
0.43	0.28	0.29	47	0.7978	187	1.4452
0.43	0.32	0.24	45	0.8009	187	1.4477
0.43	0.37	0.19	42	0.8039	188	1.4503
0.43	0.42	0.15	39	0.8069	188	1.4528
0.44	0.47	0.10	36	0.8099	188	1.4554
0.44	0.51	0.05	33	0.8130	188	1.4579
0.44	0.56	0.00	31	0.8160	188	1.4604
0.37	0.00	0.63	63	0.7826	186	1.4311
0.38	0.05	0.58	60	0.7856	186	1.4336
0.38	0.09	0.53	57	0.7886	186	1.4361
0.38	0.14	0.48	55	0.7917	186	1.4387
0.38	0.19	0.44	52	0.7947	186	1.4412
0.38	0.23	0.39	49	0.7977	187	1.4437
0.38	0.28	0.34	46	0.8008	187	1.4463
0.38	0.33	0.29	43	0.8038	187	1.4488
0.38	0.37	0.24	41	0.8068	187	1.4513
0.38	0.42	0.20	38	0.8099	187	1.4539
0.38	0.47	0.15	35	0.8129	187	1.4564
0.38	0.52	0.10	32	0.8159	187	1.4589
0.38	0.57	0.05	29	0.8189	187	1.4615
0.39	0.61	0.00	26	0.8220	187	1.4640
0.32	0.00	0.68	62	0.7855	185	1.4321
0.32	0.05	0.63	59	0.7886	185	1.4347
0.32	0.09	0.58	56	0.7916	185	1.4372
0.33	0.14	0.54	53	0.7946	186	1.4397
0.33	0.19	0.49	51	0.7977	186	1.4423
0.33	0.23	0.44	48	0.8007	186	1.4448
0.33	0.28	0.39	45	0.8037	186	1.4473
0.33	0.33	0.34	42	0.8067	186	1.4499
0.33	0.38	0.29	39	0.8098	186	1.4524
0.33	0.42	0.25	36	0.8128	186	1.4549
0.33	0.47	0.20	34	0.8158	186	1.4575
0.33	0.52	0.15	31	0.8189	187	1.4600
0.33	0.57	0.10	28	0.8219	187	1.4625
0.33	0.62	0.05	25	0.8249	187	1.4651
0.33	0.67	0.00	22	0.8279	187	1.4676
0.27	0.00	0.73	61	0.7865	184	1.4382
0.27	0.05	0.68	58	0.7915	185	1.4407
0.27	0.09	0.63	55	0.7945	185	1.4433
0.27	0.14	0.59	52	0.7976	185	1.4458
0.27	0.19	0.54	49	0.8006	185	1.4483

A N N E X E 2

```

program correlat(input,output);
uses crt{,graph!};
label 20;
const col=3;lin=21;kk1=100;
type
  colindex=1..col;
  linindex=1..lin;
  k1index=1..kk1;
  matrice=array[LININDEX,colindex] of real;
  matrice2=array[k1index,colindex] of real;
  vect=array[colindex] of real;
  vect2=array[k1index] of real;
  vect3=array[1..3] of integer;
  var
    compt,ff,i,111,11,dt,j,k,cor1,l,gd,k1,gm,e,en,il,mi,t4:integer;
    est,m,n,ku,sp,p,te,iii,t1,t,lgx,vi,ecrt,pi,pf,lar:real;
    spgrc,nrc,spgr,mm,nr,pac,teb,mmc,cor2,pa:matrice;
    cora,dif1,dif2,int: vect2;
    nc,nc2:vect3;
    X,Y,Z,W,det:extended;
    prj,exc,fe,prjt4:text;
    min1,max1,min2,max2,a:vect;
    color:word;clip:boolean;
    Pc_fr,mm_fr,spgr_fr,pa_fr,nr_fr,teb_fr,visc_fr:real;
    coef:matrice2;
    tt:char;

```

```

function puce(v,e:real):real;
begin
  if v=0 then puce:=1
  else puce:=exp(e*ln(v))
  end;

```

A3

```

FUNCTION FUNC1(p1,p2,p3,p4:real):real;
begin
  {*****INDIQUER LE TYPE DE CORRELATION DESIRE*****}
  FUNC1:=sp*p1+p*p3/100;
end;

```

```

FUNCTION FUNC2(p1,p2,p3,p4:real):real;
begin
  {*****INDIQUER LE TYPE DE CORRELATION DESIRE*****}
  FUNC2:=puce(p1,sp)*puce(p2,n);
end;

```

```

procedure ordre(var min,max:vect);
var t,t1:real;
begin
  writeln('ordre');
  for j:= 1 to 2 do
  begin
    for i:=j+1 to 3 do
    begin
      if min [j]>min[i] then
      begin
        t:=min[j];t1:=max[j];
        min[j]:=min[i];max[j]:=max[i];
        min [ i ] :=t;max[i]:=t1;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

procedure moy(var a:vect;core:matrice);
begin
for j:=1 to 3 do
begin
a[j]:=0;
for i:=1 to nc2[j] do
a[j]:=a[j]+core[i,j];
a[j]:=a[j]/nc2[j]
end
end;

```

```

procedure recher(a1,a2,a3,a11,a12,a13:real;A,B:real);
begin
det:=a1*(a12-a13)-a2*(a11-a13)+a3*(a11-a12);
if det<>0 then
begin
X:=(A*(a12-a13)-a2*(b-a13)+a3*(b-a12))/det;
Y:=(a1*(b-a13)-a*(a11-a13)+a3*(a11-b))/det;
Z:=(a1*(a12-b)-a2*(a11-b)+a*(a11-a12))/det;
writeln(fe,' X=',X:2:4,' Y=',Y,' Z-',z);
W:=X*Y*Z;
if (w=1.0)and (x)=0.0)and(z)=0.0)and(y=0.0) then
begin
writeln(fe,'k1 ',k1,' j=',j);
writeln(fe,'w ',w:4:2,' X ',X:4:2,' Y ',Y:4:2,' Z ',z:4:2)
end
end
end;

```

```

procedure resout(mp:integer);
begin
for k1:=1 to mp-1 do
for j:=k1+1 to mp do
recher(coef[k1,1],coef[k1,2],coef[k1,3],cbef[j,1],cbef[j,2],
coef[j,3],cora[k1],cora[j]);
close(fe);
writeln('Consultez votre fichier de résultats');close(exc);delay(4000)
end;

```

```

procedure test( min,max:vect;ff:integer);
begin l:=l+1;
for mi:=1 to 3 do
begin
for j:=1 to 3 do
if j<>i then
for k:=1 to 3 do
if (k<>mi)and(k<>j) then

if (min[mi]-max[j]>ecrt)and (min[k]-max[mi]>ecrt) then
begin
int[1]:=abs(min[1]-max[1]);
int[2]:=abs(min[2]-max[2]);
int[3]:=abs(min[3]-max[3]);
if (int[1]<=lar)and (int[2]<=lar)and (int[3]<=lar) then
begin writeln('K1-',k1);
if dt<>1 then writeln(exc,sp,' ',n,' ',p,' ',m,ff);
dif1[k1]:=min[mi]-max[j];dif2[k1]:=min[k]-max[mi];

```

```

if (n<10) or (p<10) or (m<10) or (sp<10) or (p<10) then
  write(fe, '|', ff:3, '|', n:5:2, '|', sp:5:2, '|',
  ,P:6:2, '|', M:6:2, '|');
else write(fe, '|', k1:3, '|', n:4:1, '|', sp:4:2, '|',
,P:6:3, '|', M:6:3, '|');
moy(a, cor2);
  for j:=1 to 3 do
    begin
      coef[k1, j]:=a[j];
    if coef[k1, j] < 10 then
      begin
        write(fe, coef[k1, j]:6:3); write(fe, '|'); end
      else
        begin
          write(fe, coef[k1, j]:5:3); write(fe, '|'); end
        end;
      writeln(fe);
      writeln(fe, '|-----|-----|-----|-----|');
    end;

```

CASE FF OF

```

1: corA[k1]:=func1(spgr_fr, nr_fr, pa_fr, mm_fr);
2: corA[k1]:=func2(spgrc[i, j], nr_fr, pa_fr, mm_fr)
end;

```

```

k1:=k1+1; {sp:=sp+0.1; }

```

```

if k1 > cor1 then

```

```

begin

```

```

  writeln( fe, '|-----|-----|-----|-----|');
  -----|');

```

```

  writeln('APPUYEZ SUR RETURN SVP'); readln;
  RESOUT (CORL);

```

```

end

```

```

end

```

```

end

```

```

end

```

```

end;

```

```

procedure ebornes(core:matrice; var min, max:vect);

```

```

begin

```

```

  min[j]:=core[i, j]; max[j]:=core[i, j];

```

```

  FOR I:=1 to nc2[j] do

```

```

    if min[j] > core [i, j] then min[j]:=core[i, j]

```

```

  else

```

```

    if max[j] < core[i, j] then

```

```

      max[j]:=core[i, j]

```

```

end;procedure calcul(ff:integer);
begin
  for j:=1 to 3 do
    begin
      for i:=1 to nc2[j] do
        CASE FF OF
          1:cor2[i,j]:=func1(spgre[i,j],nrc[i,j],pac[i,j],mme[i,j]);
          2:cor2[i,j]:=func2(spgre[i,j],nrc[i,j],pac[i,j],mme[i,j])
        end;
      bornes(cor2,min2,max2) ;
    end;
  end;

procedure domaine(PI1,PN1,PI2,PN2,PI3,PN3,PI4,PN4:real;ff:integer);
label 200;
BEGIN
if compt>1 then
  begin
    WRITELN('POUR CE NOUVEAU TYPE DE CORRELATION INDIQUER :');
    200:write( 'La largeur des intervalles est inférieure à:');readln(lar);
    write('L''écart minimum entre les intervalles :');readln(ecrt);
    writeln(fe, 'La largeur des intervalles est inférieure à:',lar:6:4);
    writeln(fe, 'L''écart minimum entre les intervalles :',ecrt:6:4);
    writeln(fe, '-----');
    writeln(fe, '      FF', ' ', 'n', ' ', 'sp', ' ', ' ', 'P', ' ', ' ',
      '      A2', ' ', ' ', 'A3', ' ', ' ');
    writeln(fe, '-----');
    writeln('Voulez vous recommencer ? taper o ou n:');readln(tt);
    if tt='o' then goto 200
    end;
    sp:=pi1;
    repeat
      n:=pi2;
      repeat
        p:=pi3;
        repeat
          m:=pi4;
          repeat
            calcul(ff);
            test(min2,max2);
            m:=m+0.1
            until m>pn4 ;
          p:=p+0.01
          until p>pn3;
        n:=n+0.1
        until n>pn2;
      sp:=sp+0.1
      until (sp>pn1)or(keypressed);
      writeln( fe, '-----');
      if keypressed then
        begin
          writeln('APPUYEZ SUR RETURN SVP');readln;resout(k1-1)
        end;
    compt:=compt+1
  end;

```

```
{*****PROGRAMME PRINCIPAL*****}
```

```
BEGIN
```

```
clrscr;
```

```
20:assign(prj,'prj.dat');
```

```
assign(fe,'fe.dat');
```

```
reset(prj);
```

```
rewrite(fe);
```

```
clrscr;
```

```
write('Nombre de corrèlations désiré (<100)et(>2):');readln(corl);
```

```
writeln;
```

```
write('Introduisez : pi(°c)=');readln(Pi);
```

```
write('Pf(°c)=');readln(pf);
```

```
writeln('Entrez les propriétés physiques de la fraction:');
```

```
write('Spgr=');readln(Spgr_fr);
```

```
write('Nr=');readln(nr_fr);
```

```
write('PA=');readln(pa_fr);
```

```
write('MM=');readln(mm_fr);
```

```
l:=1;
```

```
nc[l]:=21;
```

```
nc[2]:=21;
```

```
nc[3]:=21;
```

```
for j:=1 to 3 do
```

```
  for i:=1 to nc[j] do
```

```
    readln (PRJ,TEB[i,j],SPGR[i,j],NR[I,j],PA[I,J],MM[I,J]);
```

```
kl:=j;ll:=j;pgf[i,j];
```

```
writeln(fe,'Hydrocarbures ayant Teb(°c) compris entre ',pi:7:2,' ' ,pf:7:2)
```

```
write('La largeur des intervalles est infèrieure à:');readln(lar);
```

```
write('L'écart minimum entre les intervalles A);readln(ecrt);
```

```
write('Voulez vous recommencer ? taper o ou n:');readln(tt);
```

```
if tt='o' then goto 20;
```

```
writeln(fe, 'La largeur des intervalles est infèrieure à:',lar:7:4);
```

```
write(fe,'L'écart minimum entre les intervalles :',ecrt:6:3);
```

```
writeln(fe);
```

```
writeln(fe, '-----
```

```
-----);
```

```
writeln(fe, '  FF' , '  n' , '  sp' , '  P' , '  ',
```

```
  M  A1  A2  A3  );
```

```
writeln(fe, '-----
```

```
-----);
```

```
for j:=1 to 3 do
```

```
  begin
```

```
    ll:=0;
```

```
    begin
```

```
      for i:=1 to nc[j] do
```

```
        if(teb[i,j]<=Pf)and(teb[i,j]>=pi) then
```

```
          begin
```

```
            ll:=ll+1;
```

```
            spgrc[ll,j]:=spgr[i,j];
```

```
            nrc[ll,j]:=nr[i,j];
```

```
            pac[ll,j]:=pa[i,j];
```

```
            mmc[ll,j]:=mm[i,j];
```

```
          end;
```

```
nc2[J] := ll;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
{*****DOMAINE DE RECHERCHE DE CORRELATION*****}
```

```
compt:=1;
```

```
DOMAINE(2.6,2.7,0,0,-0.2,0,0,0,1);
```

```
DOMAINE(-0.09,0.1,0.05,0.08,0,0,0,0,2);
```

```
if k1<>1 then
```

```
RESOUT(CORL);
```

A2

```
writeln ('FIN DE L''EXECUTION DE CORRELATION ');
```

```
program correl2(input,output);
uses crt{,graph};
```

```
function puce(v,e:real):real;
```

```
FUNCTION FUNC1(p1,p2,p3,p4:real):real;
```

```
FUNCTION FUNC2(p1,p2,p3,p4:real):real;
```

```
procedure ordre(var min,max:vect);
```

```
procedure moy(var a:vect;core:matrice);
```

```
Procedure recher2(a1,a2,a3,a11,a12,a13:real;A,B:real);
```

```
begin
```

```
bool:=false;
```

```
X:=1;
```

```
repeat
```

```
  y:=1-x;
```

```
  repeat
```

```
    z:=1-(x+y);
```

```
    tol:=a1*x+a2*y+a3*z;
```

```
    tol2:=a11*x+a12*y+a13*z;
```

```
    Lab:=abs(Tol/cora[k1]-1);
```

```
    Lab2:=abs(tol2/cora[j]-1);
```

```
    IF (Lab<= 0.001)and(Lab2<=0.001) then begin
```

```
      bool:=true;
```

```
      writeln(fe,'Pour k1=',k1,' et k1=',j);
```

```
      writeln(fe,'X=',x:4:2,' Y=',y:4:2,' Z=',z:4:2);
```

```
    end;
```

```
    y:=y-0.01
```

```
    until y<=0;
```

```
    x:=x-0.01
```

```
  UNTIL (BOOL=true) or (x<=0)or (keypressed);
```

```
end;
```

```
procedure resout(mp:integer);
```

```
procedure test( min,max:vect;ff:integer);
```

```
procedure bornes(core:matrice;var min, max:vect);
```

```
procedure calcul(ff:integer);
```

```
procedure domaine(PI1,PN1,PI2,PN2,PI3,PN3,PI4,PN4:real;ff:integer);
```

```
{*****PROGRAMME PRINCIPAL*****}
```

```
BEGIN
```

```
end.
```

FICHER PRJ.DAT :

174.12	0.7356	1.4050	78.00	142.28
195.28	0.7443	1.4173	80.00	156.30
218.27	0.7526	1.4216	83.00	170.35
235.43	0.7601	1.4256	85.00	184.35
253.51	0.7667	1.4289	88.50	198.38
270.81	0.7721	1.4319	92.00	212.41
286.79	0.7773	1.4345	95.50	226.43
302.15	0.7817	1.4368	97.50	240.46
316.71	0.7856	1.4389	99.00	254.48
330.60	0.7892	1.4408	102.00	268.54
343.80	0.7924	1.4425	104.00	282.54
356.50	0.7954	1.4440	105.50	296.56
368.60	0.7981	1.4454	108.00	310.59
380.20	0.8006	1.4467	110.00	324.61
391.30	0.8027	1.4479	112.50	338.64
401.90	0.8048	1.4490	114.00	352.67
412.20	0.8069	1.4500	116.50	366.69
422.10	0.8086	1.4510	117.50	380.69
431.60	0.8104	1.4519	119.00	394.74
440.80	0.8120	1.4528	122.00	408.77
449.70	0.8133	1.4535	125.00	422.80

180.84	0.8032	1.4385	54.00	140.27
203.67	0.8077	1.4437	59.50	154.29
274.72	0.8115	1.4462	68.00	168.34
244.88	0.8148	1.4484	73.50	182.34
263.61	0.8176	1.4504	78.00	196.36
281.50	0.8201	1.4520	81.00	210.39
297.68	0.8224	1.4534	84.00	224.42
313.32	0.8243	1.4547	88.00	238.44
327.88	0.8261	1.4559	92.00	252.47
341.88	0.8277	1.4570	96.00	266.49
355.00	0.8290	1.4579	98.00	280.52
367.78	0.8303	1.4588	100.00	294.55
380.00	0.8316	1.4596	102.00	308.57
391.11	0.8326	1.4603	104.00	322.60
402.22	0.8337	1.4610	105.50	336.62
412.22	0.8346	1.4616	107.00	350.65
422.22	0.8355	1.4622	108.00	364.68
432.22	0.8363	1.4627	109.00	378.70
441.11	0.8370	1.4632	109.50	392.73
448.89	0.8377	1.4637	110.00	406.75
457.78	0.8384	1.4641	110.50	420.78

183.27	0.8638	1.4892	-2.50	134.22
205.46	0.8628	1.4878	4.00	148.24
226.10	0.8617	1.4864	10.00	162.26
246.10	0.8609	1.4854	14.00	176.20
264.40	0.8603	1.4845	16.50	190.32
282.00	0.8599	1.4838	19.00	204.34
298.89	0.8596	1.4832	22.00	218.37
313.20	0.8593	1.4828	24.00	232.34
327.80	0.8591	1.4824	31.00	246.42
341.30	0.8589	1.4821	32.00	260.45
354.00	0.8587	1.4818	33.00	274.47

366.00	0.8586	1.4815	42.00	288.50
378.00	0.8586	1.4813	48.00	302.32
389.00	0.8585	1.4810	57.00	316.55
400.00	0.8585	1.4809	62.50	330.58
410.00	0.8584	1.4807	69.00	344.60
420.00	0.8584	1.4805	75.00	358.63
429.00	0.8583	1.4804	77.50	372.65
438.00	0.8583	1.4802	82.50	386.63
446.00	0.8582	1.4801	85.00	400.71

PARAFFINES LINEAIRES $C_n H_{2n+2}$

	Teb	spgr	Pa	Nr	MM
C10	174.1	0.7356	78.0	1.4050	142.3
C11	195.3	0.7443	80.0	1.4173	156.3
C12	218.3	0.7526	83.0	1.4216	170.4
C13	235.4	0.7601	85.0	1.4256	184.4
C14	253.5	0.7667	88.5	1.4289	198.4
C15	270.8	0.7721	92.0	1.4319	212.4
C16	286.8	0.7773	95.5	1.4345	226.4
C17	302.1	0.7817	97.5	1.4368	240.5
C18	316.7	0.7856	99.0	1.4389	254.5
C19	330.6	0.7892	102.0	1.4408	268.5
C20	343.8	0.7924	104.0	1.4425	282.5
C21	356.5	0.7954	105.5	1.4440	296.6
C22	368.6	0.7981	108.0	1.4454	310.6
C23	380.2	0.8006	110.0	1.4467	324.6
C24	391.3	0.8027	112.5	1.4479	338.6
C25	401.9	0.8048	114.0	1.4490	352.7
C26	412.2	0.8069	116.5	1.4500	366.7
C27	422.1	0.8086	117.5	1.4510	380.7
C28	431.6	0.8104	119.0	1.4519	394.7
C29	440.8	0.8120	122.0	1.4528	408.8
C30	457.8	0.8384	110.5	1.4641	420.8

NAPHTENES (ALKYLS CYCLO HEXANE) C_nH_{2n}

	Teb	spgr	Pa	Nr	MM
C10	180.8	0.8032	54.0	1.4385	140.3
C11	203.7	0.8077	59.5	1.4437	154.3
C12	224.7	0.8115	68.0	1.4462	168.3
C13	244.9	0.8148	73.5	1.4484	182.3
C14	263.6	0.8176	78.0	1.4504	196.4
C15	281.5	0.8201	81.0	1.4520	210.4
C16	297.7	0.8224	84.0	1.4534	224.4
C17	313.2	0.8243	88.0	1.4547	238.4
C18	327.9	0.8261	92.0	1.4559	252.5
C19	341.9	0.8277	96.0	1.4570	266.5
C20	355.0	0.8290	98.0	1.4579	280.5
C21	367.8	0.8303	100.0	1.4588	294.5
C22	380.0	0.8316	102.0	1.4596	308.6
C23	391.1	0.8326	104.0	1.4603	322.6
C24	402.2	0.8337	105.5	1.4610	336.6
C25	412.2	0.8346	107.0	1.4616	350.6
C26	422.2	0.8355	108.0	1.4622	364.7
C27	432.2	0.8363	109.0	1.4627	378.7
C28	441.1	0.8370	109.5	1.4632	392.7
C29	448.9	0.8377	110.0	1.4637	406.8
C30	457.8	0.8384	110.5	1.4641	420.9

ALKYLS BENZENE (AROMATIQUES)

Teb	spgr	nr	PA	MM
183.27	0.8638	1.4892	-2.50	134.22
205.46	0.8628	1.4878	4.00	148.24
226.10	0.8617	1.4864	10.00	162.26
246.10	0.8609	1.4854	14.00	176.20
264.40	0.8603	1.4845	16.50	190.32
282.00	0.8599	1.4838	19.00	204.34
298.89	0.8596	1.4832	22.00	218.37
313.20	0.8593	1.4828	24.00	232.39
327.80	0.8591	1.4824	31.00	246.42
341.30	0.8589	1.4821	32.00	260.45
354.00	0.8587	1.4818	33.00	274.47
366.00	0.8586	1.4815	42.00	288.50
378.00	0.8586	1.4813	48.00	302.32
389.00	0.8585	1.4810	57.00	316.55
400.00	0.8585	1.4809	62.50	330.58
410.00	0.8584	1.4807	69.00	344.60
420.00	0.8584	1.4805	75.00	358.63
429.00	0.8583	1.4804	77.50	372.65
438.00	0.8583	1.4802	82.50	386.63
446.00	0.8582	1.4801	85.00	400.71
454.00	0.8582	1.4800	88.00	414.73

$$COR = SPGR \times NA$$

Hydrocarbures ayant $T_{eb}(^{\circ}C)$ compris entre 174.00 350.00
la largeur des intervalles est inferieur \bar{a} : 0.0080

k1	n	sp	dif1	dif2	A1	A2	A3
1	-0.3	0.2	0.001	0.001	0.852	0.859	0.862

Hydrocarbures ayant $T_{eb}(^{\circ}C)$ compris entre 180.00 300.00
la largeur des intervalles est inferieur \bar{a} : 0.0035

k1	n	sp	dif1	dif2	A1	A2	A3
1	-0.7	0.2	0.002	0.001	0.739	0.740	0.736
2	-1.0	0.3	0.001	0.002	0.646	0.649	0.644
3	-1.4	0.4	0.003	0.001	0.546	0.548	0.542
4	-1.3	0.5	0.004	0.001	0.460	0.463	0.455

Hydrocarbures ayant $T_{eb}(^{\circ}C)$ compris entre 220.00 380.00
la largeur des intervalles est inferieur \bar{a} : 0.0035

k1	n	sp	dif1	dif2	A1	A2	A3
1	0.7	-0.2	0.001	0.003	1.354	1.351	1.358
2	-0.1	0.1	0.002	0.002	0.941	0.945	0.947
3	-1.0	0.3	0.001	0.002	0.646	0.649	0.644
4	-1.4	0.4	0.003	0.001	0.546	0.548	0.542

Hydrocarbures ayant $T_{eb}(^{\circ}C)$ compris entre 300.00 500.00
la largeur des intervalles est inferieur \bar{a} : 0.0035

k1	n	sp	dif1	dif2	A1	A2	A3
1	1.3	-0.4	0.005	0.002	1.767	1.760	1.771
2	1.0	-0.3	0.003	0.002	1.547	1.543	1.550
3	0.7	-0.2	0.001	0.003	1.354	1.352	1.357
4	0.1	-0.1	0.001	0.007	1.061	1.058	1.070

A N N E X E 3

PROPRIETES DES PARAFFINES LINEAIRES :

	P _c	spgr ²⁰	MM	T _{eb}	NA	H ^o -H ₂	C _p	T _v	V _a	T _g
C 9	22.6	0.7220	128.3	150.8	1.4054	8381	50.6	60.0	—	22.4
C10	20.8	0.7340	142.3	174.1	1.4097	9941	56.1	29.0	0.88	23.4
C11	18.4	0.7440	158.4	195.3	1.4173	10030	61.5	13.8	1.08	24.2
C12	18.1	0.7530	170.3	218.3	1.4216	10530	67.0	8.5	1.37	24.8
C13	17.0	0.7601	184.4	235.4	1.4256	11090	72.5	3.2	1.70	25.5
C14	16.0	0.7667	188.3	253.5	1.4289	11800	77.9	1.7	2.10	26.1
C15	15.1	0.7721	212.4	270.8	1.4319	12070	83.5	0.9	2.58	26.6

PROPRIETES DES ALKYL CYCLO HEXANE (NAPHTENES) :

	P _c	spgr ²⁰	MM	T _{eb}	NR	H ^o -H ₂	C _p	T _v	V _a	T _g
C 9	27.0	0.7834	126.0	156.8	1.4290	5884	44.0	50.6	—	35.5
C10	25.4	0.7955	140.3	180.8	1.4385	6740	49.5	24.1	1.31	36.3
C11	23.2	0.8077	154.3	203.7	1.4437	7605	55.0	11.0	1.71	36.8
C12	21.4	0.8115	168.3	274.7	1.4462	8459	60.4	5.2	2.21	36.8
C13	18.8	0.8148	182.4	244.9	1.4484	9351	65.9	2.5	2.80	36.8
C14	18.4	0.8118	196.4	263.6	1.4504	10206	71.4	1.3	3.50	37.9
C15	17.3	0.8201	210.4	281.5	1.4528	11033	76.8	0.9	4.31	38.2
C16	16.3	0.8243	224.4	297.7	1.4534	11926	82.3	0.4	5.24	38.3

PROPRIETES DES ALKYL BENZENE (AROMATIQUES)

	P _c	spgr ²⁰	MM	T _{eb}	NA	H ^o -H ₂	C _p	T _v	V _a	T _g
C 9	30.2	0.8879	120.0	159.2	1.4920	5412	86.5	86.5	—	28.5
C10	28.5	0.8668	134.2	183.3	1.4874	6447	41.8	21.4	0.95	28.3
C11	25.7	0.8628	148.2	205.5	1.4878	7310	47.3	8.8	1.22	29.8
C12	23.5	0.8617	162.3	226.1	1.4864	5959	52.8	4.5	1.52	31.2
C13	21.9	0.8609	176.3	246.1	1.4854	9032	58.3	2.2	1.88	32.5
C14	20.1	0.8603	190.3	264.4	1.4845	9893	63.7	1.1	2.30	33.7
C15	18.9	0.8599	204.3	282.0	1.4838	10759	69.2	0.6	2.79	34.9
C16	17.5	0.8596	218.4	298.9	1.4832	11617	74.7	0.3	3.36	35.8

UNITES :

[Pc] = atm

[MM] = g

[Teb] = °C

[H° - H°₀] = cal/mole deg C

[Tv] = atm

[Va] = cP

[Ts] = dyn /cm

[Cp] = cal/mole deg C

	N_{20}	D_4^{20}	PA	$\%X_p$	$\%X_n$	$\%X_a$
30	1.4716	0.8495	54.0	0	65	35
31	1.4776	0.8505	37.5	0	39	61
32	1.4600	0.8233	78.0	32	33	35

30 mélange équimoléculaire de n heptyl cyclo hexane +
n_octyl_cyclo_hexane + dodecyl hexane .

31 mélange de n heptyl cyclo hexane (1 ml) + n
octyl_cyclo_hexane (3 ml) + dodecyl hexane (6 ml).

32 mélange équimoléculaire de trois constituants purs en C20
issus de familles différentes (Mme BOUAMRA).

X_i compositions molaires .

```

program nomographie(input,output);
uses graph,crt;
label 10,20,30,40;
const maxax=5;indi=300;
type mat5=array[1..5]of real;
      matin=array[0..maxax,0..indi]of integer;
      matg=array[0..maxax,0..indi]of real;
      legende=array[0..7]of string;
var c,e:mat5;
nn,l,i,j,n,ni,x,k,nax:integer;
vari,Tv:matg;
coord:matin;
gd,gm:integer;
ll,compt,lgx,lgy,hy:integer;
lgx1,lgyl:real;
lll,A,B,ll,pas,nomin,nomax,min,max,red:real;
ttt,t,vcc:char;
nc2:array[0..maxax] of integer;
chi:legende;
tss:char;
format:array[0..maxax]of integer;
ch,tt:string;
bl:array[0..maxax]of char;

function puce(ee,v:real):extended;
begin
if v=0 then puce:=0
else puce:=exp(ee*ln(v))
end;

procedure position(pp:matg;var ppp:matin);
var ll,l:real;
begin
for j:=0 to nc2[ll] do
begin
l:=-pp[0,0]+pp[0,nc2[0]];
ll:=-pp[0,0]+pp[compt,j];
ppp[compt,j]:=trunc(ll*8*lgyl/l)
end
end;

function func(p:real):real;
begin
func:=c[1]*puce(e[1],p)+c[2]*puce(e[2],p)+c[3]*puce(e[3],p)
+c[4]*puce(e[4],p)+ c[5]
end;

function func1(p:real):real;
begin
func1:=c[1]*ln(c[2]*puce(e[1],p))+c[3];
end;

function func2(p:real):extended;
begin
func2:=c[1]*exp(c[2]*puce(e[1],p))+c[3];
end;

procedure point(aa,bb:real;var ppo:matg);
var npi:real;
begin
writeln ('Pi=',aa,' Pf=',bb);
write('NPI=');readln(npi);
writeln('indiquez le pas pour chaque graduation (sous la forme A*10^B)');
write('A=');readln(A);

```

```

write('B=');readln(b);
WRITE('GRADUATIONS INTERMEDIAIRES(sans labels) o/n ?');readln(bl[111]);
PAS:=a*puce(b,10);
i:=0;
if npi=aa then
PPo[COMPT,i]:=aa
else PPo[COMPT,i]:=npi;
if aa<bb then
begin
while (ppo[compt,i]<bb)and(i<indi) do
begin
I:=I+1;
ppo[compt,i]:=ppo[compt,i-1]+pas/5;
end
end
else
begin
while (ppo[compt,i]>bb)and(i<indi) do
begin
I:=I+1;
ppo[compt,i]:=ppo[compt,i-1]-pas/5;
end
end;
ppo[compt,i]:=bb;
nc2[111]:=i;
end;

procedure transla(k:integer;ppp:matin;pp:matg);
var iii:integer;
begin
putpixel(lgx*k-trunc(2*lgx/2),trunc((9*lgy)/2)+24,15);
n:=trunc(k/2);
if k=2*n then
begin
for j:=0 to nc2[111] do
begin
iii:=trunc(j/5);
if j=iii*5 then
begin
HY:=9*lgy-ppp[compt,j];
line(k*lgx-trunc(lgx/2),hY,k*lgx-trunc(lgx/2)+5,HY) ;
str(pp[compt,j]:6:format[111],ch);
settextjustify(righttext,centertext);
outtextxy(k*lgx-2-trunc(lgx/2),HY,ch)
end
else if bl[111]='o' then
begin
HY:=9*lgy-ppp[compt,j];
line(k*lgx-trunc(lgx/2),hY,k*lgx-trunc(lgx/2)+3,HY)
end
end;
line(lgx*k-trunc(lgx/2),9*lgy-ppp[compt,0],k*lgx-trunc(lgx/2),9*lgy-ppp[
end

```

```

else
begin
for j:=0 to nc2[111] do
begin
iii:=trunc(j/5);
if j=iii*5 then
begin
HY:=lgy+ppp[compt,j];
line(k*lgx-trunc(lgx/2),hY,k*lgx-trunc(lgx/2)+5,HY);
str(pp[compt,j]:6:format[111],ch);
settextjustify(righttext,centertext);
outtextxy(k*lgx-2-trunc(lgx/2),HY,ch)
end
else if bl[111]='o'then
begin
HY:=lgy+ppp[compt,j];
line(k*lgx-trunc(lgx/2),hY,k*lgx-trunc(lgx/2)+2,hY);
end
end
end;
line(lgx*k-trunc(lgx/2),lgy+ppp[compt,0],k*lgx-trunc(lgx/2),lgy+ppp[compt
end;

```

```

procedure calcul(aa,bb:real);
begin
writeln('INTERPOLATION :');
writeln('1:polynomiale');
writeln('2:logarithmiques');
writeln('3:exponentielle');
read(tss);
case tss of
'1':begin
writeln('entrer relation du type p=c1*vari^ e1+c2*vari^ e2....+cste');
for i:=1 to 5 do
begin
if i<>5 then
begin
write('c',i,'=');readln(c[i]);
write('e',i,'=');readln(e[i]);
if(c[i]=0.0)and(e[i]=0.0) then
for i:=i+1 to 4 do begin c[i]:=0.0;e[i]:=0.0 end;
end
else begin write('cste=');readln(c[5]) end;end;
nomin:=func(aa);
nomax:=func(bb);
end;
'2':begin
writeln('entrer relation du type p=c1*log(c2*vari^ e1)+c3');
for i:=1 to 3 do
begin write('c',i,'=');readln(c[i]) end;
write('e',1,'=');readln(e[1]);
nomin:=func1(aa);
nomax:=func1(bb);
end;
'3':begin
writeln('entrer relation du type p=c1*exp(c2*vari^ e1)+c3');
for i:=1 to 3 do
begin

```

```

    nomin:=func2(aa);
    nomax:=func2(bb)
end;
end;
end;

procedure resolution(ts:char;ppr:matg;var pppr:matg);
var t,xj,ff,fff:real;
begin
case ts of
'1':begin
for j:=0 to nc2[11] do
begin
Xj:=pppr[0,0];
repeat
t:=xj;
FF:=c[1]*puce(e[1],XJ)+c[2]*puce(e[2],XJ)+c[3]*puce(e[3],XJ)+c[4]*puce(e[4],XJ)+c[5]*ppr[compt,j];
fff:=c[1]*e[1]*puce(e[1]-1,xj)+c[2]*e[2]*puce(e[2]-1,xj)+c[3]*e[3]*puce(e[3]-1,xj)+c[4]*e[4]*puce(e[4]-1,xj);
xj:=xj-ff/fff;
until abs(xj/t-1)<0.0001;
pppr[compt,j]:=xj;
end;
end;
'2':begin
for j:=0 to nc2[11] do
begin
pppr[compt,j]:=puce(1/e[1],(1/c[2])*exp((ppr[compt,j]-c[3])/c[1]));
end;
end;
'3':begin
for j:=0 to nc2[11] do
pppr[compt,j]:=puce(1/e[1],(1/c[2])*ln((ppr[compt,j]-c[3])/c[1]));
end;
end;
end;
end;

```

```

{programme principal}

```

```

begin
10: clrscr;
k:=1;
write('combien voulez vous d''axes sur votre feuille?(maximum 6) ');
readln(max);
writeln;
writeln('entrer titre du texte');
readln(ch);
writeln;
ll:=0;
compt:=0;
writeln('Soit la variable independante ');
write('PI=');readln(min);
write('PF=');readln(max);
writeln('Legende des axes');
readln(chilcompt);

point(min,max,vari);
writeln('F :nombre de chiffres apres la virgule');

```

```

write('Introduisez F: F=');readln(format[l1]);
write('Voulez vous recommencer ? o/n:');readln(ttt);
if ttt='o' then goto 10;
l1:=1;compt:=1;
while compt<nax do
begin
20: clrscr;
writeln('AXE ',compt+1,' ');
writeln('Legende des axes');
readln(chi[compt]);
calcul(min,max);
write('Voulez vous recommencer ? o/n:');readln(ttt);
if ttt='o' then goto 20;

point(nomin,nomax,tv);
writeln('Pi=',nomin,' Pf=',nomax);
write('introduisez F: F=');readln(format[l1]);
write('Voulez vous recommencer ? o/n:');readln(ttt);
if ttt='o' then goto 20;
resolution(tss,tv,vari);
l1:=l1+1;
compt:=compt+1;
end;

RED:=1;

40: gd:=detect;initgraph(gd,gm,'');
lgx1:=getmaxX/nax;lgx:=trunc(lgx1);
l1:=0;
lgy1:=(getmaxy/10)/red;lgy:=trunc(lgy1);
for compt:=0 to nax-1 do
begin
position(vari,coord);
EN l1:=l1+1;
end;

l1:=9*lgy;l:=trunc(l1/RED);
outtextxy(5,5,ch);
l1:=0;
compt:=0;
k:=1;transla(k,coord,vari);
for compt:=1 to nax-1 do
begin
l1:=l1+1;
k:=k+1;
transla(k,coord,tv);

end;

for i:=0 to nax-1 do
outtextxy((i+1)*lgx-trunc(lgx/2)+15,lgy-20,chi[i]);
delay(7000);
closegraph;
write('VOULEZ VOUS REDUIRE LA TAILLE DES AXES ? Taper o/n:');
readln(tt);if tt='o' then
begin
write('INDIQUER LE PAS DE REDUCTION:');readln(red);
l:=trunc(l/red);goto 40 end;

```

END.

