

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

THESE DE MAGISTER

Présentée par : ZIDELKHEIR Belkacem

Le 15 Novembre 1993

Approche à la détermination des propriétés
physiques des corps purs et des fractions
petrolières par des méthodes numériques de
contribution de groupes.

Membres de jury :

Mr M.H GUERMOUCHE	Professeur	USTHB	Président
Mme R.DERRICHE	Chargée de cours	ENP	Examinatrice
Mr R.BELABBES	Professeur	ENP	Examineur
Mme F.ABBASTURKI	Chargée de cours	ENP	Examinatrice
C.E.CHITOUR	Professeur	ENP	Rapporteur

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au centre de calcul du Centre Universitaire MOHAMED BOUDIAF de M'sila sous la direction du Professeur C.E.CHITOUR .

Que Monsieur le Professeur C.E.CHITOUR, qui m'a confié et accepté de diriger le sujet de ma thèse, trouve ici l'expression de ma profonde et sincère gratitude.

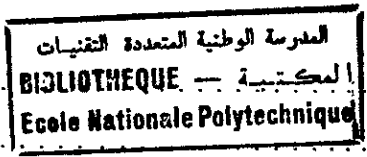
J'exprime ma sincère reconnaissance à Monsieur le Professeur M.H.GUERMOUCHE pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury.

Je remercie vivement le Professeur R.BELABBES ,Madamme R.DERRICHE et Madame ABBAS TERKI pour avoir accepté de participer à la critique de ce travail en siégeant dans ce jury.

Que le responsable du Centre de Calcul Monsieur MIRA ABDERACHID trouve ici mes remerciements sincères.

Ma sympathie va à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A-INTRODUCTION.....	1
<u>PREMIERE PARTIE</u>	
B-PARTIE THEORIQUE.....	3
1-Origine du pétrole.....	3
1-1-Hypothèses de l'origine minérale du pétrole.....	3
1-2-Hypothèses de l'origine organique du pétrole.....	3
2-Accumulation du pétrole.....	4
3-prospection (scouting oil).....	4
4-Production	5
5-Composition du pétrole et des fractions pétrolières.....	5
5-1-Introduction.....	5
5-2-Hydrocarbures présents dans le pétrole.....	6
5-2-1-Les hydrocarbures saturés.....	6
5-2-1-1-Les alcanes.....	6
5-2-1-2-Les cycloalcanes.....	7
5-2-2-Les hydrocarbures insaturés.....	7
5-2-2-1-Les hydrocarbures aromatiques.....	7
5-2-3-Les hydrocarbures mixtes.....	8
6-Séparation et analyse du pétrole brut.....	8
6-1-Distillation.....	9
6-1-1-Distillation "TBP".....	9
6-1-2-Distillation "ASTM".....	10
6-2-Méthodes physico-chimiques d'analyse.....	11
6-2-1-Méthodes chimiques de séparation des hydrocarbures.....	11
6-2-2-méthodes chromatographiques de séparation et d'analyse du pétrole.....	11
7-Propriétés physiques des pétroles et des produits pétroliers.....	13
7-1-Densité.....	13



7-2-Masse moléculaire.....16

7-3-Viscosité.....17

7-4-Tension superficielle.....19

7-5-Indice de réfraction.....21

7-6-Température d'ébullition.....23

7-7-Température de congélation.....25

7-8-Point d'aniline.....26

7-9-Propriétés critiques.....26

 7-9-1-Hydrocarbures purs.....27

 7-9-2-Fraction pétrolière.....29

7-10-Chaleur latente de vaporisation.....31

 7-10-1-Hydrocarbures purs.....32

 7-10-2-Mélange d'hydrocarbures.....34

 7-10-3-Fraction pétrolière.....34

8-Autres corrélations.....35

9-Tension de vapeur.....36

 9-1-Hydrocarbure pur.....36

 9-2-Mélange d'hydrocarbures.....36

 9-3-Fraction pétrolière.....37

10-Méthodes de détermination de la composition des fractions
pétrolières.....37

 10-1- Introduction.....37

 10-2- La chromatographie en phase gazeuse (CPG).....37

 10-3- La chromatographie en phase liquide (LPC).....38

 10-4- Couplage (CPG-SM).....38

 10-5- Corrélations.....39

 10-5-1- Méthode n.d.PA.....39

 10-5-2- Méthode n. d. M.....40

 10-5-3- Méthode O.Dermoune et C.E.Chitour.....40

DEUXIEME PARTIE

Introduction41

1.Estimation du coefficient d'activité de mélanges liquides
non idéaux.....41

2.Estimation des propriétés critiques42

3.Estimation du volume moléculaire et de la densité...44

4. Estimation de la viscosité.....	46
5. Estimation de la tension de vapeur	47
6. Estimation des propriétés thermiques.....	49
C-PARTIE EXPERIMENTALE.....	51
I-Introduction.....	51
II-Analyse préliminaire du pétrole brut.....	51
II-1-Distillation fractionnée.....	51
II-2-Analyses préliminaires des fractions N° 1, 2 et 3.....	52
II-3-Détermination des compositions par la méthode n.d.PA.....	52
D-PARTIE CALCUL.....	54
I-Introduction.....	54
II-Les corrélations proposées.....	54
II-1-Fondement théorique général.....	54
II-2-Corrélation de type 1.....	55
II-3-Corrélation de type 2.....	57
II-4-Corrélation de type 3.....	57
II-5-Corrélation de type 4.....	57
III-Les résultats.....	58
III-1-Applications des équations aux corps purs.....	58
III-1-1-Corrélation 1.....	59
III-1-1-1-Commentaire.....	59
III-1-2-Corrélation 2.....	60
III-1-2-1-Commentaire.....	60
III-1-3-Corrélation 3.....	61

III-1-3-1-Commentaire.....	61
III-1-4-Conclusion.....	61
III-2-Application des corrélations 1), (2 , et (3) aux mélanges de corps purs.....	61
III-2-1 -Mélange équimolaire de corps purs de même famille.....	145
III-2-1-1-Mélange paraffinique.....	145
III-2-1-2-Mélange naphénique.....	145
III-2-1-3-Mélange oléfinique.....	145
III-2-1-4 Mélange aromatique.....	145
III-2-2 Mélange binaire de corps purs de familles différentes et même nombre d'atomes de carbone.....	146
III-2-2-1-Mélange : paraffine + naphéne.....	146
III-2-2-2 Mélange : paraffine + oléfine.....	146
III-2-2-3-Mélange : paraffine + aromatique.....	146
III-2-2-4-Mélange : naphéne + aromatique.....	146
III-2-3-Mélange de corps purs de familles différente et nombre d'atomes de carbone différent.....	147
III-2-3-1-Mélange : paraffine + naphéne.....	147
III-2-3-2-Mélange : paraffine + aromatique.....	147
III-2-3-3-Mélange : Naphténe + aromatique.....	147
III-2-4-Mélange ternaire de corps purs de même famille.....	147
III-2-5 -Mélange ternaire de corps purs de familles différentes et même nombre d'atomes de carbone.....	147
III-2-6-Mélange ternaire de corps purs de familles différentes et nombre d'atomes de carbone différent.....	148
III-2-7-Conclusion.....	148
III-3-Application des corrélations (1) (3 et (4) aux fractions pétrolières.....	170

III-3-1-Fondement théorique.....	170
III-3-2-Application des corrélations à une charge de normales paraffine.....	171
III-3-3-Application des corrélations à un distillat lourd issus de la distillation "TBP" d'un pétrole brut de Hassi Messaoud [2].....	171
III-3-4-Application des corrélations à une fraction pétrolière issue de la distillation du pétrole brut de Hassi Messaoud [1].....	173
III-3-5-Application des corrélations à une fraction pétrolière issue de la distillation du pétrole brut de Guellala [1].....	174
III-3-6-Application des corrélations aux fraction pétrolières N°1 , 2 et 3.....	175
D-UTILISATION DE LA NOMOGRAPHIE.....	177
1-Introduction.....	177
2-Resultas.....	177
ANNEXE 1: Rappels sur la nommographie.....	190
1-Introduction.....	190
2-Méthode analytique de construction d'une échelle à pivot.....	190
2-1-Constuction des échelles.....	190
2-2-Détermination du paramètre m.....	190
2-3-Tracé de l'échelle.....	191
2-4-Utilisation.....	191
2-5-Applications.....	191
3-Abaques à systèmes d'échelles à pivot.....	192
3-1-Construction des échelles.....	192
3-2-Tracé des échelles.....	193
3-3-Utilisation.....	193
3-4-Applications.....	194

ANNEXE 2: Les differentes équations de la corrélation 4195

CONCLUSION GENERALE.....199

BIBLIOGRAPHIE DE LA PREMIERE PARTIE

BIBLIOGRAPHIE DE LA DEUXIEME PARTIE

NOMENCLATURE

- M :Masse moleculaire (noté aussi Mw) en g/mol
- Teb :Température d'ébullition en °C (notée aussi T_b)
- Cg :Température de congélation en °K
- Tc :Température critique en °K.
- Pc :Pression critique en atm
- Vc :Volume critique en l/mol
- d :densité à 20°C
- n :indice de réfraction (noté aussi IR) à 20°C
- Va :Viscosité absolue en Cpoise.
- Ts :Tension superficielle en dyne/Cm
- Hv :Enthalpie de vaporisation en kcal/mol
- Cp :Capacité calorifique en Cal/mol.°K
- I :Indice de corrélation
- KUOP :Facteur de caractérisation
- PA :Point d'aniline en °C
- ASTM :American Society for Testing Matzrial
- API :American Petroleum Institute
- TBP :True Boiling Point
- Atm :Atmosphere
- CPG :Chromatographie en Phase Gaseuse
- Cpoise:Centipoise
- g :gramme
- ndM :Indice de réfraction, desité,Masse moléculaire
- ndPA :Indice de réfraction,densité, Point d'aniline
- Ri :Refractive intercept
- SpGr :Specific Gravity
- Val :Valeur
- UNIQUAC:Universal Quasi Chemical
- UNIFAC: Universal Fonctional Activity
- γ :Contribution au coefficients d'activité
- Ln :Logarithme Neperien
- Δ :Contribution du groupe j dans une propriété critique
- Q :Propriété critique dans le cas général

A- INTRODUCTION [5]

Le pétrole est la principale source d'énergie dans la plupart des pays notamment les pays industrialisés. Les combustibles tirés du pétrole animent les transports par terre, par eau et par air. Ils fournissent l'énergie électrique dans les centrales thermiques. Le pétrole est aussi utilisé dans l'industrie chimique où il donne par une série de transformations chimiques, plastiques, caoutchoucs, fibres artificielles, agents tensioactifs, pesticides. Du fait que le pétrole est une énergie épuisable, son utilisation devait se faire d'une manière économique et rationnelle, ce qui n'est pas le cas, puisque les pays développés qui représentent 20% en population, consomment 80% de l'énergie d'une façon inconsidérée, du fait du prix dérisoire du pétrole (environ 18\$ ce qui équivaut à 5\$ de 1974).

L'intérêt accru que le pétrole suscite en sa qualité de matière première pour la synthèse organique est à l'origine d'une étude approfondie de sa composition et des propriétés physiques et thermodynamiques des corps purs et des fractions pétrolières qui le constituent. Les chercheurs ont élargi de façon significative les connaissances sur le pétrole. Cela se rapporte en particulier à l'étude systématique de la composition des pétroles dans le cadre du « Sixième projets » de l'American Petroleum Institute, leader mondiale des études sur le pétrole.

Le pétrochimiste ou le raffineur doit connaître, avec davantage de précision et de détail qu'autrefois, les données relatives aux principales propriétés et caractéristiques du pétrole brut et des fractions pétrolières dont il doit effectuer le traitement.

Plusieurs travaux de recherches ont été effectués sur le calcul des propriétés physiques des hydrocarbures et des fractions

pétrolières , et que nous citerons par la suite le laboratoire de valorisation des énergies fossiles , s'intéresse depuis une dizaine d'années à la connaissance des propriétés des fractions pétrolières et plusieurs travaux ont été réalisés . Le travail qui nous a été confié , consiste à l'aide de méthodes numériques de proposer des corrélations simples reliant une propriété physique avec le nombre d'atomes de carbone qui constituent le corps simple, d'approximer ensuite la contribution des groupes $-CH_2$ pour chaque famille , et de proposer une valeur moyenne sur la base de la formule de cet hydrocarbure ou fraction pétrolière. Les calculs ont été effectués pour (13) propriétés, (04) familles d'hydrocarbures à savoir les paraffines, naphthenes, oléfines et aromatiques, (24) corps purs.

Dans le but de rendre ces corrélations plus simples, nous avons été conduit à mettre au point une méthode graphique appelée «NOMOGRAPHIE» qui permet immédiatement d'aboutir par simple lecture à la valeur de la propriété désirée . Des comparaisons de propriétés physiques de certains mélanges de corps purs obtenus expérimentalement ont été faites avec celles déduites de ces corrélations.

— PREMIERE PARTIE —

BIBLIOGRAPHIE SUR LA CONNAISSANCE DU PÉTROLE ET LA
DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES PAR DES MÉTHODES
AUTRES QUE LA CONTRIBUTION DE GROUPE.

B-PARTIE THEORIQUE

1-Origine du pétrole [5]

L'origine du pétrole et la formation de ses gisements constituent depuis longtemps un des plus grands problèmes des sciences naturelles modernes. Outre son aspect purement théorique, ce problème présente un grand intérêt pratique permettant d'agir en connaissance de cause en recherchant de nouveaux gisements de pétrole et en estimant ses réserves commerciales et hypothétiques.

Ce problème est pour l'ensemble résolu à l'heure actuelle. Il ne s'agit plus de conjectures et hypothèses, mais d'une théorie scientifique argumentée de l'origine organique du pétrole. Cependant on trouve encore des partisans de l'hypothèse de l'origine minérale du pétrole.

1-1-hypothèses de l'origine minérale du pétrole [5]

Parmi les théories prévoyants l'origine minérale du pétrole, citons l'hypothèse COSMIQUE de SOKOLOV [5](1892), la théorie des CARBURES de MENDELEIEV [5] (1877), enfin la théorie de KOUDRIAVTSEV que son auteur appelait MAGMATIQUE [5].

Toutes ces hypothèses d'origine minérale du pétrole sont en contradiction avec les données géologiques, ainsi qu'avec ce que nous savons aujourd'hui sur la composition du pétrole.

1-2-Hypothèse de l'origine organique du pétrole [5]

L'idée de l'origine organique du pétrole avait été avancée pour la première fois par LOMONOSSOV [5] (1763). On trouve dans la littérature plusieurs hypothèses de l'origine organique qui traitent de manières différentes la composition, de la matière initiale, des conditions et de la forme de son accumulation et de sa déposition, des équilibres observés au cours de ce processus, des conditions et des facteurs de la transformation en pétrole. On

considère que cette matière initiale s'était transformée en pétrole dans la couche sédimentaire de la terre , lorsque les conditions faciales y étaient favorables.

2-Accumulation du pétrole [2]

Les hydrocarbures sont susceptibles de se former dans les roches mères, cependant d'autres phénomènes vont intervenir, ce sont essentiellement les processus de migration et de piégeage. Lorsque du pétrole est formé dans une roche mère, deux cas peuvent se présenter :

* Le pétrole produit n'est pas expulsé, la couche s'enrichit en pétrole et devient un schiste bitumeux .

* le pétrole est expulsé, c'est le processus de migration primaire mal connu. Une fois expulsé, il circule dans les milieux poreux obéissant aux lois de la mécanique des fluides, c'est la migration secondaire.

* si le pétrole au cours de sa circulation rencontre une barrière de perméabilité, il peut être piégé. Un gisement se forme donc au cours de cette migration, accumulation et conservation des hydrocarbures dans ces pièges.

3-Prospéction (scouting oil) [11]

Le but de la prospection est de rechercher, de la façon la plus efficace possible, compte tenu des moyens aussi bien techniques que financières, et de découvrir des hydrocarbures en quantités suffisantes pour en justifier économiquement l'exploitation.

L'inégalité très grande de la répartition des hydrocarbures dans l'écorse terrestre fait que le problème de l'exploration est de dresser, pour la région prospectée, une carte de probabilités en délimitant sur une carte géographique les zones favorables, moins favorables , défavorables , et de confirmer ou d'infirmer les

de pétrole.

5-2-1-2 les cycloalcanes [5]

Ce sont les hydrocarbures cycliques saturés, $C_n H_{2n}$ simples ou substitués par des chaînes d'alcane dont plusieurs portent des groupements méthyles. Les pétroles en contiennent entre 25% et 75% (massiques), et sont présents dans toutes les fractions à partir de C_5 . La teneur en cycloalcanes augmente parallèlement à la masse des fractions. Elle ne diminue qu'au niveau des fractions au point d'ébullition le plus élevé (huiles lourdes), fortement aromatisés. Les cycles penta et hexagonaux sont les plus stables et prédominent dans les pétroles.

5-2-2 Les hydrocarbures insaturés [2,5]

Ils ont une formule générale $C_n H_{2n}$ lorsqu'ils sont en chaîne ouverte. Les alcènes sont également appelés hydrocarbures oléfiniques. Les hydrocarbures insaturés ayant plus d'une double liaison sont désignés par le terme "polyènes", on distingue les diènes, les triènes, etc. Les composés non saturés (alcènes ou oléfines) sont absents dans le pétrole brut et le gaz naturel. Ils sont formés dans les procédés de transformation chimique de certaines coupes pétrolières, tels que le reforming catalytiques des essences lourdes, ou le cracking des coupes moyennes ou lourdes (naphta, gas oil, fuel). Ces substances sont de très importants produits de départ de la synthèse pétrochimique et organique de base.

5-2-2-1 Les hydrocarbures aromatiques [2,5]

Sont les composés contenant au moins un noyau benzénique dans la molécule. En règle générale, les hydrocarbures aromatiques sont moins abondants dans les pétroles que les alcanes et les cycloalcanes. Cette classe d'hydrocarbure est représentée dans les

pétroles par le benzène et ses homologues. La teneur globale en ces hydrocarbures varie considérablement suivant les pétroles, la moyenne étant de 10%-20% (massique). La séparation des hydrocarbures aromatiques des mélanges avec les alcanes et cyclanes est souvent difficile car les points d'ébullitions sont très voisins. Leurs réactions les plus caractéristiques sont celles d'addition sur le cycle, ensuite de substitution .

5-2-3 Les hydrocarbures mixtes [6]

Des cycles peuvent se substituer sur les chaînes paraffiniques ou inversement. Les propriétés de la molécule mixte seront fonction de l'importance relative des noyaux et des chaînes dans la structure. Ainsi, par exemple, le toluène ou méthyle benzène est considéré comme un hydrocarbure aromatique car la chaîne méthyle substituée est courte, par contre si l'on substitue un noyau benzénique sur une chaîne droite à 26 atomes de carbone ou phenylhexacosane, la molécule résultante aura un caractère paraffinique. Ces hydrocarbures se distribueront régulièrement entre les composés des paraffines et naphthenes, ou paraffines et aromatiques.

6-Séparation et analyse du pétrole brut

Le pétrole brut se trouve souvent mélangé dans le gisement avec le gaz naturel et d'eau salée. Pour les séparer, diverses techniques de séparation sont utilisées, c'est le cas de la gravité, l'injection de produits chimiques et la séparation par distillation. Pour se débarrasser de l'eau salée, le pétrole brut doit passer dans des dessaleurs en séries, puis dans un dégazeur où l'oxygène dissous sera éliminé. Enfin, les gazs naturels sont séparés des hydrocarbures légers liquides pour être utilisés soit pour la réinjection, soit pour les brûleurs aux torches.

6-1-Distillation [5]

La distillation sous ses différentes formes et la rectification gardent leur importance en tant que procédés physiques de séparation des composants du pétrole et des produits dérivés suivant leurs masses moléculaires.

6-1-1-Distillation " T.B.P " [1]

La distillation "T.B.P" (true boiling point), ou distillation "parfaite " est un procédé de séparation d'un pétrole brut ou d'une coupe pétrolière en fractions d'hydrocarbures ayant des propriétés suffisamment voisines pour leur donner la même utilisation. C'est une opération fondamentale dans l'industrie du raffinage. Et pour séparer, ce type de distillation utilise la différence des points d'ébullition entre des produits qui se trouvent mélangés et même dissous les un dans les autres. Une telle distillation est conduite dans une colonne à garnissage. Au sommet de cette colonne passe tout d'abord la totalité du constituant le plus volatil et ensuite tous les constituants purs, par ordre de volatilité.

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

Pour un mélange constitué d'un nombre limité de constituants, la courbe est formée d'une succession de paliers horizontaux, la longueur de chaque palier étant proportionnelle à la concentration

du corps pur bouillant à cette température dans le mélange Fig 20.

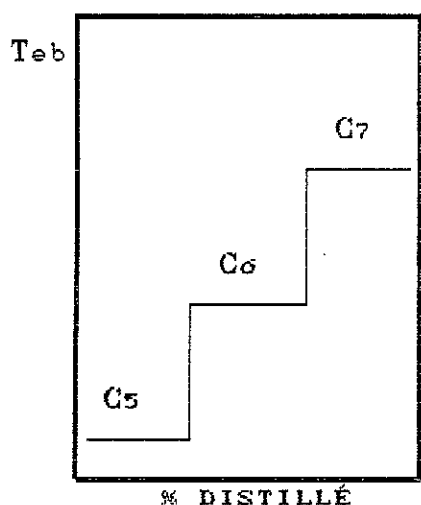


FIG1: DISTILLATION D'UN MELANGE DE C_5, C_6, C_7
DANS UNE COLONNE A NOMBRE DE PLATEAUX
TRES ELEVES

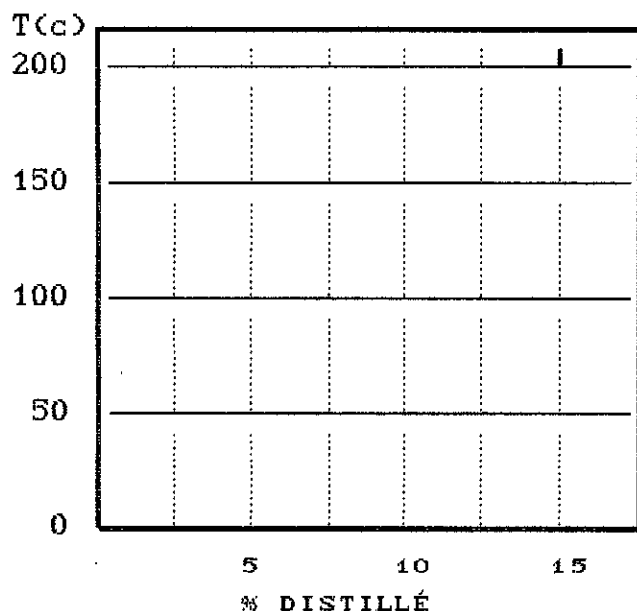


FIG 2: COUREBE DE DISTILLATION
T. B. P D'UN PÉTROLE BRUT

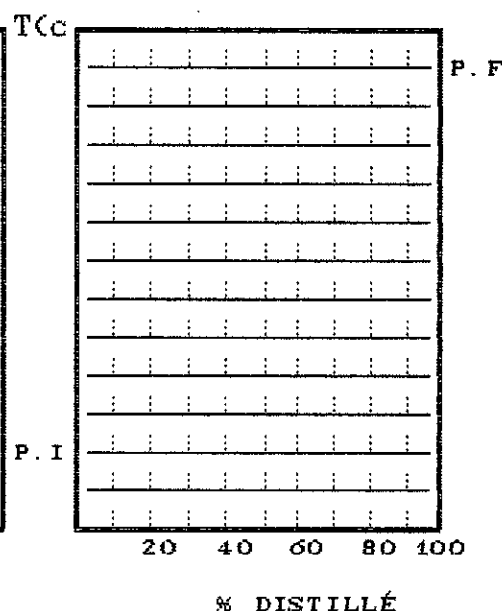


FIG 3: COURBE DE DISTILLATION
A. S. T. M

6-1-2 Distillation A.S.T.M [6]

L'appareillage utilisé dans cette technique de distillation comporte un ballon de distillation pouvant contenir 100 ou 200 cm³ de produit que l'on chauffe et distille à une vitesse déterminée. Les vapeurs formées sont condensées dans un tube en cuivre baignant dans un mélange d'eau et de glace pilée, puis recueillis dans une éprouvette graduée. Lorsque la première goutte de condensat apparait à la sortie du tube, on note la température

dans le ballon, c'est le point initial de la distillation. Ensuite la température est relevée régulièrement lorsque 5,10,20,...90 et 95% du produit sont distillés et recueillis dans l'éprouvette. Enfin de distillation, la température décroît par suite de l'altération thermique des dernières traces liquides dans le ballon. Le maximum de température est le point final de distillation. La courbe de la température en fonction du pourcentage distillé est appelée "courbe de distillation ASTM (American society for testing material) Fig 2.

La distillation ASTM permet de prévoir le comportement du pétrole ou de la coupe durant la T.B.P, son mode d'utilisation est simple. Les distillations ASTM sont surtout utilisées pour fournir les spécifications de distillation des produits pétroliers. De plus, leur principale avantage est le temps court qu'elles nécessitent.

6-2 Méthodes physico-chimiques d'analyse

6-2-1 Méthodes chimiques de séparation des hydrocarbures [5]

Les méthodes chimiques de séparation et d'identification des composants du pétrole et du gaz ont perdu beaucoup de leur importance avec l'avènement de la chromatographie et d'autres méthodes physiques ou physico-chimiques. Mais il y'a des cas où les méthodes chimiques constituent un complément indispensable du schéma de séparation. La séparation est basée sur le comportement différent des composants lors des réactions d'hydrogénation, de déshydrogénation, de sulfonation, d'isomérisation, d'halogénéation, etc.

6-2-2 Méthodes chromatographiques de séparation et d'analyse des pétroles [5]

La chromatographie est une méthode physico-chimique de séparation, basée sur la séparation des composants entre deux

phases: fixe et mobile, cette dernière traversant en continu la phase stationnaire.

Il existe plusieurs techniques ou types de chromatographie. Suivant la nature des phénomènes qui déterminent la séparation, on distingue les chromatographies d'adsorption, de partage et de précipitation, la chromatographie liquide haute pression (HPLC). La chromatographie d'adsorption utilise les adsorbabilités différentes des corps à séparer à la surface solide de l'adsorbant. Dans la chromatographie de partage, où les constituants sont absorbés par un liquide, on joue sur les différences de leurs solubilités et des coefficients de répartition entre deux phases coexistantes (liquide-liquide) ou (liquide-gas). Enfin, dans la chromatographie de précipitation on se sert de la formation de composés insolubles par réaction d'un agent de précipitation sur les composants du mélange.

La séparation des composants se fait dans une colonne de remplissage (chromatographie sur colonne), dans les capillaires remplis de phase liquide stationnaire (chromatographie capillaire), sur du papier à filtrer (chromatographie sur papier), dans une mince couche de sorbant appliquée sur une plaque de verre (chromatographie sur couche mince).

- * On peut citer d'autres techniques d'analyse comme :
- Le couplage de la chromatographie en phase gazeuse ou en phase liquide avec la spectrométrie de masse (SM), constitue la technique la plus élaborée, la plus fine, surtout sur une banque de données informatisée pouvant détecter en qualité et en quantité les différents pics,
 - L'infrarouge et l'UV,
 - La RMN du ^{13}C et à la transformée de Fourier,
 - La chromatographie en phase liquide.

7-Propriétés physiques des pétroles et des produits pétroliers

La connaissance la plus approchée possible de la valeur réelle des propriétés physiques est nécessaire pour le dimensionnement des équipements de transformations physiques et chimiques, par exemple il est nécessaire de connaître l'enthalpie liquide et vapeur, ainsi que l'enthalpie de vaporisation pour dimensionner un four de raffinerie. Les propriétés physiques changent d'un corps à un autre. Elles sont aussi dépendantes de la température, de la pression, de la composition et peut être d'autres paramètres. Certaines propriétés physiques sont accessibles expérimentalement, par contre pour d'autres, ceci est difficilement réalisable (appareillage coûteux, protocole long). Dans ces conditions, des corrélations seront utilisées pour prédire les propriétés physiques des corps purs, des mélanges de corps purs et des fractions pétrolières [10].

7-1 Densité [5]

La mesure de la densité fait l'objet des normes: NF T 60-101 pour les produits courants T66-007 pour les produits bitumeux. La densité est définie comme le rapport de la masse d'un corps au volume qu'il occupe. L'unité dans le système internationale (SI) est: kg/m^3 .

La densité relative est le rapport de la densité du corps considéré à celle du corps considéré comme référence; l'eau à 4°C.

Une des meilleures procédures pour estimer la densité des liquides est celle de Lydersen, Green-korn et Hougen [18]. Ce modèle est une fonction de trois paramètres qui sont le facteur critique de compressibilité, la pression réduite et la température réduite.

Ils ont calculé la densité des corps purs ou des mélanges par l'équation :

$$\rho = \rho_r \rho_c \quad (1)$$

ρ_r est présentée dans des tableaux en fonction du facteur critique de compressibilité, de la température réduite et la pression réduite. Les facteurs critiques des corps sont groupés en fonction du facteur acentrique ω .

■ LU [19] a calculé la densité des liquides en fonction de la densité critique des corps purs ou des mélanges.

$$K = \left[\frac{V_c}{V} \right]^{1.77} \left[\frac{P_c}{RT_c} \right]^{0.77} \quad (2)$$

Où :

K est une fonction graphique de la température réduite et la pression réduite.

V est le volume critique en $\frac{ft^3}{lb.mole}$ ou $\frac{cm^3}{g.mole}$.

V est le volume molaire en $\frac{ft^3}{lb.mole}$ ou $\frac{cm^3}{g.mole}$.

P_c est la pression critique en PSI ou atm

R est la constante des gaz universels en unité appropriée.

T_c est la température critique en °R ou °K

■ Goldhammer [20] a relié la densité des liquides, la densité du vapeur, la température critique et la température comme suit :

$$\rho_L - \rho_V = (\Delta\rho)_1 \left[\frac{T_c - T}{T_c - T_1} \right]^\eta \quad (3)$$

Où :

$(\Delta\rho)_1 = \rho_L - \rho_V$ à une condition de température et de pression.

T_c est la température critique en °R ou °K.

T est la température à laquelle la densité est désirée.

T₁ est la température à laquelle la différence entre la densité du liquide et celle de la vapeur est connue.

ρ_L est la densité du liquide en $\frac{ft^3}{lb.mole}$ ou $\frac{cm^3}{g.mole}$

ρ_V est la densité de la vapeur en $\frac{ft^3}{lb.mole}$ ou $\frac{cm^3}{g.mole}$

■ Fishtine [21] a modifié l'équation de Goldhammer [20] pour obtenir des valeurs de densité plus précises. Il a donné, à l'exposant η les valeurs suivantes.

0.29 pour tous les hydrocarbures (paraffiniques, oléfiniques, et aromatiques).

0.25 pour les alcools

0.31 pour tous les autres composés organiques.

0.33 pour les composés inorganiques non polaires ou légèrement polaires.

■ Rackett [22] a développé une équation pour les corps purs :

$$\rho_r = Z_c^{2/7} (1 - T_r)^{2/7} \quad (4)$$

$$\rho = \rho_r \rho_c \quad (5)$$

Où: ρ_r est la densité réduite

ρ_c est la densité critique, elle est définie comme :

$$\rho_c = \frac{MP_c}{Z_c R T_c} \quad (6)$$

où: Z_c le facteur critique de compressibilité

T_c = température réduite du corps pur.

Cette équation est utilisée par Rackett pour calculer la densité des corps purs saturés. Il a modifié cette équation pour être utilisée dans les mélanges avec:

$$V_c = \sum x_i V_{c_i} \quad (7)$$

$$Z_c = \sum_i x_i Z_{c_i}$$

où x_i est la fraction molaire d'un corps dans le mélange liquide.

La densité est une propriété additive, il est donc possible d'avoir sa valeur pour n'importe quel mélange de corps pur ou fractions pétrolières en sommant la densité de chaque petite fraction.

$$d = \frac{\sum_i x_i d_i}{\sum_i x_i} \quad (8)$$

x_i est la fraction molaire

d_i est la densité de la fraction

7-2 Masse moléculaire [5]

La masse moléculaire est la plus importante caractéristique physico-chimique de toute substance. Dans les cas des produits pétroliers, ce paramètre présente un intérêt particulier, car il fournit la valeur moyenne de la masse moléculaire des corps constituant telle ou telle fraction pétrolière. On en tient largement compte dans les calculs des appareils pour les raffineries, car c'est un indice important de la composition des produits pétroliers.

On dispose de plusieurs méthodes diverses pour déterminer la masse moléculaire des produits pétroliers, ainsi que des corps individuels, ce qui s'explique par la diversité des propriétés de ces produits. Dans la pratique analytique, on emploie les méthodes *cryoscopiques*, *ébullioscopiques* et plus rarement *osmométriques*. Il existe en outre des méthodes de calcul approchées.

La formule empirique la plus usitée pour la détermination de la masse moléculaire des produits pétroliers est la relation de

Voinov [5] :

$$M_{\text{moyen}} = a + b t_{\text{moyen}} + c t_{\text{moyen}}^2 \quad (9)$$

Où: * a,b et c sont des constantes à valeurs différentes suivant la classe des hydrocarbures,

* t_{moyen} est la température d'ébullition moyenne du produit concerné tirée des tables ou des abaques correspondantes.

Pour les alcanes la formule de Voinov a la forme suivante :

$$M_{\text{moyen}} = (7k-21.5) + (0.76-0.04k)t_{\text{moyen}} + (0.0003k-0.00245)t_{\text{moyen}}^2 \quad (10)$$

où k est le facteur de caractérisation variant entre 10.0 et 12.5.

La masse moléculaire est une propriété additive ,il est donc possible d'écrire :

$$M = \frac{\sum M_i X_i}{\sum X_i} \quad (11)$$

x_i est la fraction molaire du constituant i.

Pour les fractions pétrolières le API data book donne une relation liant le poids moléculaire (M), la température d'ébullition moyenne pondérée ou température mean average (T_b) et la specific gravity (S).

$$M = 204.38 * e^{0.002218 T_b} * e^{-3.07 * S} * T_b^{0.118} * S^{1.88}$$

On peut déterminer la masse moléculaire d'une fraction pétrolière à partir du diagramme de KUOP ou l'abaque de MAXWELL.

7-3 Viscosité [5]

La viscosité est le pouvoir caractéristique des fluides de résister au déplacement d'une partie de fluide par rapport à l'autre. Ce déplacement est proportionnelle au gradient de la vitesse en direction de la normale à l'écoulement du fluide, ce qui est donné par l'équation de NEWTON:

$$F = \frac{\eta S (v_2 - v_1)}{y_2 - y_1} \quad (12)$$

Où: * F est la force tangentielle extérieure

* S est l'aire des couches de fluide

* $\frac{(v_2 - v_1)}{y_2 - y_1}$ est la différence de vitesse entre deux couches de fluide séparée par la distance $y_2 - y_1$.

On distingue les viscosités dynamiques, cinématiques et conventionnelle.

La viscosité conventionnelle, en usage dans l'industrie du raffinage, s'exprime par le rapport des temps d'écoulement d'un volume déterminé d'eau et de produit pétrolier, ou tout simplement par le temps d'écoulement du produit depuis un appareil normalisé.

■ **Souders** [23] a développé une corrélation empirique pour les corps purs. L'équation est de la forme:

$$\log(\log 10 \mu_L) = m \rho_L - 2.9 \quad (13)$$

Où: * μ_L est la viscosité en centipoise

* ρ_L est la densité en g/cm^3

* $m = \frac{I}{M} = \text{constante}$

* I est la constante de viscosité calculée à partir de la constante structurale et atomique présentée par Souder.

* M = poids moléculaire

■ **Lima** [24] a modifié l'équation de **Souder** pour être utilisée aux mélanges. L'équation est de la forme:

$$\left[\log \log 10 \mu_{Lm} \right] = \rho_{Lm} \left[\frac{\left[x_1 I_1 + x_2 I_2 \right]}{\left[x_1 M_1 + x_2 M_2 \right]} \right] - 2.9 \quad (14)$$

Où: * μ_{Lm} est la viscosité du mélange binaire en centipoise.

* ρ_{Lm} est densité du mélange binaire en g/cm^3

* x est la fraction molaire du corps pur dans le liquide.

* M est le poids moléculaire du corps pur.

■ Thomas [25] a développé une corrélation du type:

$$\log 8.569 \left(\frac{\mu_L}{\rho_L} \right) = E \frac{1}{T_r} - 1 \quad (15)$$

* E est la constante de viscosité qui dépend de la liaison.

* μ_L est la viscosité du liquide

* ρ_L est la densité du liquide

* T_r est la température réduite

L'équation de Thomas est utilisée pour les corps purs seulement et en dessous de la température d'ébullition.

■ L'équation d'Arrhenius [26] est applicable aux mélanges binaires

$$\mu_{Lm} = \mu_1 x_{v1} + \mu_2 x_{v2} \quad (16)$$

Où: * μ_{Lm} est la viscosité d'un mélange binaire.

* μ_1, μ_2 sont les viscosités des corps purs 1 et 2.

* x_v est la fraction volumique du corps pur.

Cette équation est restreinte aux mélanges binaires

■ Kendall et Monroe [27] ont développé une corrélation spécifique aux mélanges binaires.

$$\mu_{Lm} = x_1 \mu_{L_1}^{1/3} + x_2 \mu_{L_2}^{1/3} \quad (17)$$

7-4 Tension superficielle [10]

Adreas et al [28] ont défini la tension superficielle comme étant la mesure de l'énergie libre de l'interface d'un fluide.

Hough [29] et ses collaborateurs ont défini la tension

superficielle comme étant la mesure de l'énergie libre entre deux phases ayant la même composition, par exemple un liquide pur en équilibre avec sa vapeur. De la même manière, ils ont défini la tension interfaciale comme étant la mesure de l'énergie libre entre deux phases ayant des compositions différentes. La plus part des corrélations dans la littérature ne font pas de différence entre la tension superficielle et la tension interfaciale. Elles sont basées généralement sur un mélange de données de tension superficielle et tension interfaciale.

■ **Sudgen [30]** a développé une corrélation très connue et largement utilisée. Elle est valable seulement pour les corps purs.

$$\gamma = \frac{1/4 [P](\rho_L - \rho_v)}{M} \quad (18)$$

où: * γ est la tension interfaciale en dyne/cm

* [P] est le parachor

* ρ_L est la densité du liquide en g/cm³

* ρ_v est la densité du vapeur en g/cm³

* M est le Poids moléculaire en g

■ **Weinaug et Katz [31]** ont modifié l'équation de **Sudgen** pour être applicable aux mélanges. L'équation est de la forme:

$$\sigma_m = \sum_{i=1}^n [P_i] \left(\frac{\rho_L}{M_L} x_i - \frac{\rho_v}{M_v} y_i \right)^4 \quad (19)$$

Où: * σ_m est la tension interfaciale du mélange liquide.

* x est la fraction molaire du liquide

* y est la fraction molaire de la vapeur

Les indices: L = liquide ; v = vapeur ; i = constituant individuel

■ **Hakim [32]** et son équipe ont développé une corrélation

valable pour les corps purs à une température réduite égale à 0.6.

L'équation s'écrit:

$$\gamma_r = \left[\gamma_r \Big|_{T_r=0.6} \right] \left[\frac{1-T_r}{0.4} \right]^{m(\omega,x)} \quad (20)$$

$$\text{où: } \gamma_r = \frac{\gamma}{P_c^{2/3} T_c^{1/3}} \quad (21)$$

$$m(\omega,x) = 1.210 + 0.5385\omega - 14.61x - 32.07x^2 - 1.65\omega^2 + 22.03\omega x \quad (22)$$

Où: * ω est le facteur acentrique

* x est un paramètre des fluides polaires présenté dans des tables dans l'article originale.

■ Meissner et Michaels [33] ont corrélé la tension interfaciale en terme de parachor et l'indice de réfraction.

$$\sigma = \left[\frac{[P]}{R_m} \left(\frac{n^2-1}{n^2+2} \right) \right]^4 \quad (23)$$

Où: * n est l'indice de réfraction du corps pur ou du mélange.

* R_m est la Réfraction molaire du corps pur ou du mélange.

■ Morgan et Griggs [34] ont suggéré une relation de tension interfaciale pour les mélanges.

$$\sigma_m = \sum_{i=1}^n x_i \sigma_i \quad (24)$$

Où: * x_i est la fraction molaire du constituant i

* σ_i est la tension interfaciale du constituant i

* σ_m est la tension interfaciale du mélange.

7-5 Indice de réfraction [5]

Les rayons lumineux changent leurs vitesse et direction en

passant d'un milieu dans un autre. Ce phénomène est appelé *réfraction*.

Le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction est une constante indépendante de la valeur de l'angle d'incidence pour tout milieu donnée:

$$n = \frac{\sin(r)}{\sin(i)} \quad (25)$$

Où * n est l'indice de réfraction

* r est l'angle de réfraction

* i est l'angle d'incidence

L'indice de réfraction dépend de la température et de la longueur d'onde. On utilise le plus souvent la raie jaune de sodium dont la longueur d'onde est $\lambda = 589.3 \text{ nm}$.

$$n_D^{t_0} = n_D^t - a(t_0 - t) \quad (26)$$

Où * $t_0 = 20^\circ \text{C}$

* t est la température au moment de l'expérience.

* a est un coefficient égal à 0.0004.

L'indice de réfraction présente un grand intérêt non seulement pour les corps purs, mais aussi pour les produits pétroliers. Pour les hydrocarbures, l'indice de réfraction est d'autant plus petit que la teneur en hydrogène est plus élevée.

Certaines autres caractéristiques importantes sont dérivées de l'indice de réfraction, dont, par exemple la *réfraction spécifique*.

$$R_1 = \frac{n_D - 1}{\rho} \quad (\text{formule de Gladstone-Dale}) \quad [5] \quad (27)$$

$$R_2 = \frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} \frac{1}{\rho} \quad (\text{formule de Lorenz-Lorentz}) \quad [5] \quad (28)$$

Où : ρ = densité du produit mesuré à la même température que l'indice de réfraction .

Le produit de la réfraction spécifique par la masse moléculaire est dit: *réfraction moléculaire*.

$$R_1 M = (n_D - 1) \frac{M}{\rho} = (n_D - 1) V \quad (29)$$

$$R_2 M = \frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} V \quad (30)$$

Où * M est la masse moléculaire

* V est le volume moléculaire du corps analysé.

L'*intercepte de réfraction* (RI) est donné par la relation :

$$RI = n_D^{20} - \frac{\rho_4^{20}}{2} \quad (31)$$

Cette quantité est constante pour les hydrocarbures d'une même série homologue.

Les propriétés optiques (n et RI) sont des propriétés additives. L'appareil de mesure de l'indice de réfraction des corps purs , des mélanges de corps purs et des fractions pétrolières est appelé: *Refractometre*.

7-6 Température d'ébullition

Lorsque la vaporisation est réalisée en l'absence d'air, tout au moins au voisinage de l'interface, et que la chaleur nécessaire au changement d'état est fournie par une source thermique contrôlée, dont la température est légèrement supérieure à celle du fluide, on observe alors *l'ébullition* [6].

Pour un corps pur, la température demeure constante au cours de

l'ébullition. Pour un mélange de corps purs, on définit une température moyenne d'ébullition correspondant à la température du point 50% de distillation. En comptant les pourcentages distillés en volume, en poids ou en moles, on obtient respectivement les températures volumiques (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 définit alors une température moyenne pondérée ou température *mean-average* (T_{mean}) qui peut être calculée à partir des températures en y ajoutant un incrément qui dépendra de la pente de la distillation "T.B.P" ou "A.S.T.M" (norme NF M 07-002 pour les produits légers jusqu'au Kérosène; norme NF M 07-009 pour les produits les plus lourds [4]). La température d'ébullition notée (T_{eb}) est une propriété additive.

Pour un mélange de corps purs [2]

$$\left(T_{eb}\right)_m = \frac{\sum (T_{eb})_i x_i}{x_i} \quad (32)$$

* x_i est la fraction molaire

* ($T_{eb})_i$ est la température d'ébullition du constituant i .

* ($T_{eb})_m$ est la température d'ébullition du mélange.

■ Une corrélation est proposée par Sudgen et citée par [2] faisant intervenir des contributions de groupes.

$$T_{eb} = \frac{637(R_D)^{1.47} + B}{(P)} \quad (33)$$

R_D et (P) sont des contributions de groupe respectivement de la réfraction molaire et du parachor, B est une constante qui est

fonction de la famille chimique du composé. L'erreur maximale de cette corrélation est 5% .

■ Stiel et Thodos cités par [2] ont développé une équation empirique pour calculer la température d'ébullition normale des corps purs mais valable uniquement pour les hydrocarbures aliphatiques saturés.

$$T_{bN} = 1209 - \frac{1163}{1 + 0.0742(N^{0.85})} \quad (34)$$

Où * N est le nombre d'atomes de carbone dans le composé

* T_{bN} est la température d'ébullition (K°)

■ Kreglewski et Zwolinski cités par [2] ont proposé pour les normales alcanes une équation liant la température d'ébullition et le nombre d'atomes de carbones pour un nombre supérieur ou égal à 3.

$$\ln (1071.28 - T_{eb}) = 6.97596 - 0.116307 N_c^{2/3} \quad (35)$$

Où : N_c est le nombre d'atomes de carbone.

L'erreur maximale est 0.1% .

Concernant les fractions pétrolières, on utilise les abaques de Maxwell et Wuithier.

7-7 Température de congélation

La température de congélation est la température à laquelle la fraction soumise au refroidissement dans une éprouvette demeure immobile, lorsque l'éprouvette est inclinée de 45°C [5]. Il n'y'a pas de règle générale pour prévoir ces points de congélation à partir des paramètres classiques, tel que densité, Kuop, point d'aniline, car la composition des distillats est très complexe. Toutefois, en première approximation , W.L.Nelson propose que ce point soit estimé à partir du facteur de caractérisation et du

point 50% ASTM pour les carburéacteurs [6]. Généralement, le point de congélation des paraffines sont plus faibles que ceux des naphthènes qui ont des valeurs intermédiaires, et ceux des aromatiques sont les plus élevés [2].

Pour les mélanges et les fractions pétrolières, la règle d'additivité est applicable.

$$(T_{cg})_m = \frac{\sum x_i T_{cg_i}}{\sum x_i}$$

La norme utilisée pour mesurer le point de congélation des carburéacteurs est :NF air 1088 ou freezing test D1477.

7-8 point d'aniline

Le point d'aniline est la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et du produit à examiner sont complètement miscibles.

Le point d'aniline est en relation avec l'aromaticité du produit et entre dans les formules de caractérisation de différentes propriétés. La mesure du point d'aniline avant et après l'élimination des aromatiques peut servir à l'étude de la composition d'une fraction pétrolière [1].

7-9 Propriétés critiques [4].

La connaissance des propriétés critiques des substances pures, des mélanges de corps purs et des fractions pétrolières est d'une grande importance pratique, car elles permettent de prévoir le comportement de ces dernières dans un large intervalle de pression et de température. La détermination expérimentale n'est pas aisée, appareillage coûteux et d'une manipulation longue et délicate. Aussi, il faut très souvent faire appel à une approche thermodynamique et à des corrélations dont certaines sont basées sur la loi des états correspondants.

7-9-1 Hydrocarbures purs [4]

la température et la pression sont aussi des caractéristiques physiques des hydrocarbures. Ces deux paramètres définissent le point limite supérieur de la courbe de tension de vapeur, au delà duquel le changement de phase n'est plus observé, ce point critique correspond à l'identité parfaite des propriétés du liquide et de la vapeur: densité, indice de réfraction, etc. En particulier, en ce point, la chaleur de vaporisation devient nulle. Pour chaque famille d'hydrocarbure, les points critiques sont régulièrement distribués sur des courbes dans le diagramme: tension de vapeur-température.

Certaines corrélations ont été proposées afin d'estimer ces propriétés [4,8].

■ Relation de Lydersen [18]: $T_c = T_{eb} \left[0.567 + \frac{\sum \Delta T - (\sum \Delta T)^2 - 1}{\sum \Delta T} \right]$ (36)

$$P_c = M \left[0.34 + \sum \Delta P \right]^{-2} \quad (37)$$

$$V_c = 40 + \sum \Delta V \quad (38)$$

Où: * T_c est la température critique (°K)

* T_{eb} est la température d'ébullition (°K)

* P_c est la pression critique (atm)

* M est la masse moléculaire

* V est le volume critique (Cm /mol)

Dans le tableau 2 , on donne quelques valeurs de $\Delta T, \Delta P, \Delta U$.

Groupelement	ΔT	ΔP	ΔU
-CH ₃	0.020	0.227	55
-CH ₂ -	0.020	0.227	55
-CH- 	0.012	0.210	51
-CH ₂ - (cycle)	0.013	0.184	44.5
=CH(cycle) 	0.011	0.154	37

TABLEAU 2: VALEURS DES CONTRIBUTIONS DE GROUPEMENT D'APRES LYDERSEN.

■ Relation de Nokay citée par [4]:

Nokay donne une relation pour évaluer la température critique.

$$\text{Log}(T_c) = A + B \text{Log}(\text{spGr}) + C \text{Log}(T_{eb}) \quad (39)$$

Où: * T_c est la température critique en °K

* T_{eb} est la température d'ébullition en °K

* SpGr est la spécifique gravity de l'hydrocarbure à 60°F

* A, B, C sont des constantes caractéristiques des différentes familles d'hydrocarbures, tableau 3.

	A	B	C
Paffine	1.35940	0.43684	0.56224
Naphtenes	0.65812	-0.07165	0.81196
Aromatiques	1.0615	0.22732	0.66929
Olefine	1.09534	0.27749	0.65563

TABLEAU 3: VALEURS DE A, B, C D'APRES NOKAY.

■ Relation d'Ambrose citée par [2] :

$$T_b / T_c = \frac{1.242 + 0.138 n_c}{n_c} \quad (40)$$

T_b et T_c sont exprimées en (°K).

■ Spencer (1973) cité par [2] a proposé une corrélation pour estimer la température critique d'un mélange.

$$(T_c)_m = \sum \delta_i T_{c_i} \quad (41)$$

avec:
$$\delta_i = y_i C_{vi} / \sum y_i C_{vi} \quad (42)$$

Où: * y_i est la fraction molaire du constituant i

* C_{vi} est la capacité calorifique du constituant i

* T_{ci} est la température critique du constituant i

* (T_c) est la température critique du mélange.

7-9-2 Mélanges de corps purs et Fraction pétrolière.

Contrairement aux corps purs, il n'existe pas des relations donnant directement une propriété critique d'une fraction pétrolière. Pour cette dernière, il existe une courbe de tension de vapeur qui se décompose en deux courbes bulle et rosée définissant ainsi un domaine d'existence liquide vapeur. Ces deux courbes ont un point d'intersection " C " définissant les coordonnées critiques (T_c, P_c) du mélange.

En assimilant la fraction pétrolière à un hydrocarbure pur fictif ayant une courbe de tension de vapeur moyenne comprise entre la courbe de bulle et celle de rosée. Cet hydrocarbure aurait un point critique vrai " C " situé entre la courbe de bulle et de rosée de la fraction pétrolière et appelé *pseudo-critique* de la fraction. Ces coordonnées pseudo-critiques seront utilisés dans les calculs des conditions réduites T_r et P_r fig.3 [6].

■ Pour un mélange défini de constituants W.B.Kay cité par [2] propose la relation suivante en supposant que les propriétés sont additives.

$$T_{pc} = \sum_{i=1}^n x_i T_{ci} \quad (43)$$

Où: * T_{pc} est la température pseudo-critique du mélange en °R

* T est la température critique du constituant pur i en °R

* x_i est la fraction molaire du composé pur i dans le mélange.

■ Pour une fraction pétrolière complexe, on utilise des abaques faisant intervenir la température d'ébullition, la densité et le facteur de caractérisation de la fraction.

■ Relation de VETTERE [13] de la partie 2.

Cette relation concerne le volume critique et est de la forme :

$$V_c = 33 + \sum (\Delta V_i M)^{1.029} \quad 43 \text{ bis}$$

* M est la masse moléculaire

* ΔV_i est la contribution du groupement i à la valeur du volume critique.

7-10 Chaleur latente de vaporisation

C'est la quantité de chaleur fournie à l'unité de poids pour la transformer en vapeur. Dans le cas des hydrocarbures purs, cette transformation s'effectue à pression et température constantes, alors que pour les mélanges elle peut se réaliser soit à pression constante et température variable, ce qui est le cas le plus fréquent, soit à température constante et pression variable. Elle s'exprime en cal/Kg ou cal/mol [6].

■ Règle de maxwell

Un composé inconnu aura la même chaleur molaire de vaporisation qu'une paraffine à la même température et à la même pression réduite.

Cette méthode consiste à prendre la paraffine normale ayant la même température d'ébullition que le composé inconnu, relever son poids son poids moléculaire et sa pression critique, puis calculer

sa tension de vapeur à la température considérée en multipliant la pression réduite de l'hydrocarbure non paraffinique par la pression critique de la paraffine. Cette valeur de la tension de vapeur, associé à la température d'ébullition, donne la chaleur latente de vaporisation cherchée [6].

7-10-1 Hydrocarbures purs

La chaleur latente de vaporisation d'un corps pur peut être obtenue à l'aide de la relation de Clapeyron :

$$H_v = R T (-\ln P_v + \text{constante}) \quad (44)$$

■ La loi des états correspondants cité par [4]

$$\frac{d(\ln P_{vr})}{d(1/T_r)} = - \frac{\Delta H_v}{RT_c} \frac{1}{\Delta Z_v} \quad (45)$$

$\frac{-\Delta H_v}{RT_c}$ est l'enthalpie réduite de vaporisation est dans ce cas fonction de deux paramètre qui sont:

$$\frac{1}{\Delta Z_v} \text{ et } \frac{d(\ln P_{vr})}{d(1/T_r)}$$

Où: * ΔP_{vr} est la Pression de vapeur réduite

* ΔZ_v est l'incrément

■ Corrélation de Pitzer citée par [4]

Cette corrélation fait intervenir le facteur acentric ω .

$$\frac{\Delta H_v}{RT_c} = 7.08(1-T_r)^{0.354} + 10.95\omega(1-T_r)^{0.456} \quad (46)$$

Le facteur acentrique ω peut être calculé par les corrélations suivantes, citées par [2].

$$* \omega = -\ln P_{vr} - 1.000 \quad \text{à } T_r = 0.7 \quad (47)$$

* Corrélation d'Emister

$$\omega = \frac{3}{7} \frac{\theta}{1-\theta} (\ln P_c - 1) \quad (48)$$

Où: P_c est la pression critique en atm

$$\theta = T_{eb}/T_c \quad T_{eb} \text{ et } T_c \text{ en } ^\circ\text{K} \quad (49)$$

■ Corrélation de Trouton citée par [12]

$$H_v = [1/M] 120.5 T_b \quad (50)$$

■ Corrélation de Nerst-Bingham citée par [12]

$$H_v = \frac{1}{M} (17 + 0.011T) T_b \quad (51)$$

Pour les corrélations de Trouton et Nerst-Bingham,

* V est la chaleur latente de vaporisation

* T est la température d'ébullition ($^\circ\text{K}$) sous 760 mmHg

* M est la Masse moléculaire

■ Corrélation de CHEN citée par [4].

$$\Delta H_v = \frac{3.978RT_c T_{br} - 3.978 - 1.555 \ln P_c}{1.07 - T_{br}} \quad (52)$$

- T_c, P_c étant les température et pression critiques

- T_{br} température réduite rapportée à la température d'ébullition normale.

■ Corrélation de Ridel citée par [4].

$$\Delta H_v = 1.093RT_c \left[T_{br} \frac{\ln P_c - 1}{0.930 - T_{br}} \right] \quad (53)$$

ΔH_v est prise à la température normale d'ébullition. L'erreur varie de 1 à 4% selon la famille d'hydrocarbures considérées.

■ Relation de Watson-Theissen citée par [4].

Elle décrit la variation de ΔH_v avec la température.

La chaleur latente de vaporisation décroît avec la température et

9- Tension de vapeur [6]

9-1 Hydrocarbures purs

La tension de vapeur mesure la tendance des molécules à s'échapper d'une phase liquide pour engendrer une phase vapeur en équilibre thermodynamique. C'est une fonction croissante de la température et spécifique de chaque corps pur.

En thermodynamique, l'équation de clapeyron appliquée à un gaz parfait donne la tension du liquide.

$$d(\ln P) = - \frac{1}{R} d\left(\frac{1}{T}\right) \quad (58)$$

En intégrant cette équation, on obtient:

$$\ln P = - \frac{r}{R} \frac{1}{T} + C \quad (59)$$

Où: P est la pression du gaz saturé ou la tension de vapeur Π du liquide

- * r est la chaleur de vaporisation moléculaire
- * R est la constante des gaz parfaits
- * T est la température absolue en °K

9-2 Mélange d'hydrocarbures:

Qu'il s'agisse d'un mélange d'hydrocarbures purs connus ou de fractions complexes, l'additivité des tensions de vapeur vraies met en cause des molécules; par conséquent, il faut pondérer cette propriété en fonction des pourcentages moléculaires de chaque constituant, comme le prévoit la loi de Raoult pour les solutions idéales.

$$(T_{vv})_m = \sum_i (T_{vv})_i x_i \quad (60)$$

Où: * $(T_{vv})_m$ est la tension de vapeur vraie du mélange à T_o

* $(T_{vv})_i$ est tension de vapeur vraie d'un constituant i quelconque du mélange à T_o

* x_i est la fraction molaire du constituant i dans le mélange.

9-3 Fraction pétrolière:

La tension de vapeur d'une fraction pétrolière peut se mesurer comme celle d'un corps pur. 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 cette tendance des molécules à s'échapper par un essai plus simple, et qui donne la tension de vapeur Reid ou T.V.R. La valeur de la T.V.R à 37.8°C (100°F) est la somme de tension de vapeur partielle des hydrocarbures et de la pression partielle de l'air. Comme le volume de la chambre à air est normalisé, il est donc possible d'établir une corrélation entre la tension de vapeur Reid et la tension de vapeur vraie du mélange.

10-Méthodes de détermination de la composition des fractions pétrolières.

10-1 Introduction:

Même les fractions pétrolières légères sont des mélanges assez complexes d'hydrocarbures et de leurs dérivés hétéroatomiques. A l'heure actuelle, il est devenu possible de séparer les fractions légères (essence et même kérosène) en hydrocarbures individuels. Cela se fait au moyen de la chromatographie gaz-liquide [5].

10-2 La chromatographie en phase gazeuse (CPG) [2]

La chromatographie est une méthode d'analyse qui permet de séparer les constituants d'un mélange en utilisant les

différences entre les constantes d'équilibres de ces corps lors de leur partage entre une phase mobile dans laquelle ils sont solubles, et une phase dite fixe ou stationnaire qui exerce sur eux un effet retardateur .

De fait, la chromatographie en phase gazeuse présente des limitations dans trois cas :

- * Substances peu volatils, ce qui est souvent le cas de celles dont la masse moléculaire est supérieur à 300g.
- * Substances sensibles à une élévation même modérée de la température (ce qui est le cas de nombreux composés biologiques).
- * Substances ionisées (car elles sont en général très peu volatils).

10-3 Chromatographie en phase liquide (LPC) [2].

La chromatographie en phase liquide n'est limitée ni par la volatilité de l'échantillon ni par la stabilité thermique .D'autre part, la chromatographie en phase liquide est souvent plus efficace que la chromatographie en phase gazeuse dans le cas des séparations difficiles.

La chromatographie en phase gazeuse reste donc une méthode qui, pour nombre de séparation n'offrant pas de difficultés particulières est plus simple, souvent plus rapide et plus sensible que la chromatographie en phase liquide .

10-4 Couplage chromatographie en phase gazeuse avec spectrométrie de masse (CPG-SM) [2].

L'identification des composés organiques est particulièrement utile lorsqu'on se trouve en présence de mélanges.

La chromatographie en phase gazeuse constitue pour de nombreux composés, une méthode de séparation extrêmement puissante, par

contre une mauvaise méthode d'identification .

La spectrométrie de masse, qui n'est pas une méthode de séparation est une excellente méthode d'identification .

Le couplage (CPG-SM) connaît un essor extraordinaire, c'est en fait la seule technique qui permet de séparer, d'identifier et de déterminer la structure des constituants d'un mélange complexe, sur des quantités très faibles .

Une conséquence importante de l'utilisation de l'association (CPG-SM) sur des mélanges complexes est le nombre élevé de spectres produits en peu de temps . L'exploitation de ces spectres (comptage, mesure d'intensité, dessin du spectre normalisé, comparaison avec des spectres de composés connus) prend un temps considérable . Aussi utilise t'on aujourd'hui des ordinateurs qui effectuent automatiquement l'acquisition et la normalisation des spectres, comparent le spectre inconnu avec les spectres contenus dans une bibliothèque de spectres.

10-5 Corrélations [5].

Les données expérimentales accumulées ont permis de trouver des corrélations entre la répartition du carbone parmi les différents fragments structuraux d'une molécule et les constantes physiques des hydrocarbures et de leurs mélanges . Ces méthodes basées sur un calcul empirique, ne peuvent prétendre à une bonne précision Néanmoins, c'est actuellement le moyen le plus pratique d'analyser les fractions pétrolières en question.

10-5-1 Méthode n.d.PA citée par [4]

Elle est basée sur la mesure de l'indice de réfraction (IR), de la densité (d), du point d'aniline (PA) et sur l'utilisation des formules suivantes :

$$\%C_A = 1039.4 \text{ IR} - 470.4 \text{ d} - 0.315 \text{ PA} - 1094.3$$

$$\%C_N = -1573.3 \text{ IR} + 840.15 \text{ d} - 0.4619 \text{ PA} + 1662.2$$

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

10-5-2 Méthode n.d.M citée par [5]

Pour déterminer la composition d'une fraction pétrolière à l'aide de la méthode ndM, il est nécessaire de connaître son indice de réfraction (à ± 0.0001 près), sa densité (à ± 0.0002 près) et sa masse moléculaire (à $\pm 3\%$ près).

10-5-3 Méthode de O.Dermoune, F.Bouamra et C.E.Chitour [2].

O.Dermoune et C.E.Chitour ont proposé des équations pour la détermination de la composition d'une fraction pétrolière légère. Ces équations sont de la forme :

$$X_p = -6244.549 A + 2.854 \cdot 10^{-4} B + 1.4647$$

$$X_N = +7793.582 A - 7.072 \cdot 10^{-4} B - 0.2973$$

$$X_A = -1549.033 A + 4.219 \cdot 10^{-4} B - 0.1673$$

Les fonctions A et B sont définies comme suit :

$$A = d^{7.3/M^{1.26}}$$

$$B = n^2$$

DEUXIEME PARTIE

**BIBLIOGRAPHIE SPÉCIFIQUES DES MÉTHODES DE CONTRIBUTION DE
GROUPES.**

Les méthodes de contribution de groupes:

Introduction:

Nous avons voulu rassembler sous ce chapitre toutes les propriétés que l'on peut prévoir par des méthodes de contribution de groupes constitutifs de la molécule; l'idée de base est qu'une propriété donnée; peut être reconstituée par une contribution des atomes ou groupes d'atomes constituant la molécule.

l'un des premiers travaux réalisés est celui de **LYDERSEN [1]** en 1955, concernant les propriétés critiques, depuis plusieurs travaux ont été réalisés et ont concerné différentes propriétés.

Nous citerons dans ce qui suit les propriétés étudiées par cette méthode.

1. Estimation du coefficient d'activité de mélanges liquides non idéaux.

La méthode de contribution de groupes est utilisée pour la détermination des coefficients d'activité de mélanges liquides non idéaux, cette méthode combine la contribution des groupes constituant la molécule et le modèle des coefficient d'activité basé sur une extension de la théorie universelle quasi chimique des mélanges liquides (UNIQAC : universal quasi chemical) , appliquée aux coefficients d'activité, elle donne , elle donne lien à la théorie universelle pour l'activité de groupes fonctionnels (UNIFAC) . Cette théorie générale a été présenté pour la première fois par **DEER** et **DEALS [2]** en 1969, ces auteurs séparent le coefficient d'activité en deux partie , une partie concernera la contribution de groupes a l'activité par la différence de taille , et l'autre concernera la contribution des interactions moléculaires.

ABRAMS et **PRAUSNITZ [3]** en 1975 ont montré que l'équation UNIQAC donne une bonne représentation des équilibres Liquide Vapeur et

Liquide Liquide pour des mélanges binaires et complexe, contenant des substances non électrolytiques tels que les hydrocarbures, les cétones, l'équation pour un composé moléculaire est de la forme

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad (1)$$

γ_i^C et γ_i^R représentent les contributions au coefficient d'activité et provenant de la forme et l'autre des interactions.

C'est aussi que des tableaux de valeur sont donnés pour les contributions des différents groupements, CH_2 , CH_3 , CH , CH Aromatique et les représentations des coefficients d'activité pour différentes molécules sont assez bien représentatives par cette méthode UNIFAC [4]. Signalons, que pour des solutions d'hydrocarbures surtout s'ils appartiennent à des familles chimiques voisines, les coefficients d'activité sont égaux à un, et n'interviennent pas.

2. Estimation des propriétés critiques.

LYDERSEN [1] a proposé pour les hydrocarbures de C_1 à C_{13} trois corrélations pour les propriétés critiques qui sont déjà présentés dans la première partie.

NOKAY [5] déjà décrit, propose une corrélation pour la température critique basée sur la contribution non pas des groupements constitutifs de la molécule, mais de la nature chimique de la molécule elle-même, cette corrélation n'est pas valable pour les molécules à poids moléculaires élevés.

Une autre estimation des propriétés basée sur la même a été publiée par AMBROSE [6] en 1980, qui propose une corrélation générale de la forme :

$$\phi = a + \sum_{j=1}^M n_j \Delta_j + \left[\sum_{j=1}^M n_j \Delta_j \right]^2 \quad (2)$$

Δ_j est la contribution du groupe j , n_j est le nombre de groupements, M est le nombre total de différents types de groupements. les différentes valeurs de Δ_j sont données dans les tables calculées par AMBROSE.

KLINCEWICZ KM, REID R.C [7] se basant sur la même équation générale ont proposé les corrélations suivantes

$$T_c = 45.40 - 0.77.MW + 1.55.T_{eb} + \sum_{j=1}^n n_j \Delta T_c \quad (3)$$

$$\left[\frac{MW}{P_c} \right]^{1/2} = 0.335 + 0.010.MW + \sum_{j=1}^n n_j \Delta P_c \quad (4)$$

$$V_c = 25.2 + 2.80.MW + \sum_{j=1}^n n_j \Delta V_c \quad (5)$$

Les valeurs de ΔT_c , ΔP_c , ΔV_c sont données dans le tableau suivant pour quelques groupements.

incréments → groupements ↓	ΔT_c	ΔP_c	ΔV_c
-CH ₃	-2.433	0.026	16.2
-CH ₂	0.353	-0.015	16.1
-CH ₂ (ring)	4.253	-0.046	8.2
>CH-	6.266	-0.083	12.1
>CH- (ring)	-0.335	-0.027	7.4
>CH< (ring)	12.435	-0.111	-6.6
=CH ₂	-0.991	-0.015	13.9
=CH-	3.786	-0.050	9.8
=CH- (ring)	3.373	-0.066	5.1
>CH=	7.169	-0.067	2.7
>CH= (ring)	5.623	-0.089	0.2

TABLEAU 1: VALEURS DE L'INCRÉMENT POUR DIFFÉRENTES PROPRIÉTÉS SELON KLINCEWICZ

Nous résumons dans le tableau suivant les principaux auteurs qui ont publié des corrélations sur la base de l'équation (2) et donnant les valeurs des coefficients a et b selon la propriété considérée.

Auteur	Fonction ϕ	a	b	MW	Tb
<u>1. Température critique:</u>					
RIEDEL (1952) (8)	T_b/T_c	0.574	0	0	0
EDULFEE GAMBILL (1959) (9)	T_b/T_c	0	0	0	0
FEDORS (1982) (10)	$10^{T_c/0.535}$	0	0	0	0
LYDERSEN (1955) (1)	T_b/T_c	0.567	-1	0	0
AMBROSE (1980) (6)	$T_b(T_c - T_b)$	1.242	0	0	0
KLINCEWICK (1984) (7)	T_c	45.40	1	-0.77	1.55
<u>2. Pression critique:</u>					
RIEDEL (1949) (11)	$(MW/P_c)^{1/2}$	0.32	0	0	0
EDULFEE, GAMBILL (1959) (9)	$(MW/P_c)^{1/2}$	0	0	0	0
LYDERSEN (1955) (1)	$(MW/P_c)^{1/2}$	0.33	0	0	0
AMBROSE (1980) (6)	$(MW/P_c)^{1/2}$	0.339	0	0	0
KLINCEWICK (1984) (7)	$(MW/P_c)^{1/2}$	0.335	1	0.010	
<u>2. Volume critique:</u>					
FEDORS (1979) (12)	V_c	26.6	0	0	0
VETERE (1976) (13)	$(V_c - 0.33)^{0.9728}$	0	0	0	0
LYDERSEN (1)	V_c	40	0	0	0
AMBROSE (1979) (14)	V_c	40	0	0	0
KLINCWICZ (1984) (7)	V_c	25.2	1	2.8	0

TABEAU 2:PREVISION DES COEFFICIENTS DES DIFFERENTS GROUPEMENTS POUR LES PROPRIÉTÉS CRITIQUES RAPPORTÉS PAR KLINCEWICZ [7]

3. Estimation du volume moléculaire et de la densité:

Le premier à avoir proposé une corrélation basée sur la méthode de contribution de groupe a été LEBAS [15] en 1915. REID et ses collaborateurs [16] ont par la suite amélioré la méthode de LEBAS. SLADKOV [17] a proposé des corrélations basées sur le même principe pour les composés inorganiques. ROGARSKI et NEAU [18] ont

developpé une corrélation pour les aromatiques ,alcanes et alcenes, cette corrélation présente cependant des limites.

SCHOTTE [19] a présenté récemment en 1972, une corrélation de la forme :

$$V = 0.32.L(L-1) + \sum_j A_j G_j \quad (6)$$

Où: * V est le volume molaire en cm³/mol à la température normale d'ébullition.

* L représente l'effet de la longueur de la chaine. Quand le nombre de carbone est inférieur à 3 , L est égal à 0 . L est égal à 1 quand la chaine est supérieure ou égale à 4.

* A represente le nombre de groupements.

Cette équation est aussi valable pour les substances minérales et organominérales. le tableau suivant donne les valeurs des increments.

groupement	G _j	groupement	G _j
-CH ₄	37.97	≡CH	20.91
-CH ₃ lié à C	27.38	≡C-	9.89
-CH ₃ libre	25.76	=C=	10.34
-CH ₂	19.02	=CH- (cycle)	15.52
>CH-	12.79	=CH< (cycle)	9.12
>CH<	7.60	increment de cycle	
=CH ₂	24.55	3 et 4 membered cycle	5.05
=CH-	15.05	5 et 6 membered cycle	3.33
=C<	7.77	segment de cycle	2.56
		second 6 membre de cycle	7.12

TABLEAU 3:VALEURS DES DIFFERENTS INCREMENTS D'APRES SCHTTE [19]

La connaissance du volume molaire permet d'atteindre la

densité . C'est ainsi que SPENCER et DANNER en modifiant l'équation de RACKETT ont pu a partir de la connaissance d'une valeur experimentale de la densité , calculer toutes les densités partant d'un point triple jusqu'au point critique.

4.Estimation de la viscosité:

Plusieurs méthodes ont été proposées pour l'estimation de la viscosité , et ceci en dessous de la température d'ébullition pour des liquides non associés [21][22].

les méthodes proposées par VELZEN et coll [23], ainsi que par LETSOU et STIEL [24] sont recommandées pour l'étude des viscosités dans le domaine des hautes températures .

SASTRI et RAO [24], ont proposé une corrélation basée sur la relation entre la viscosité et la pression de vapeur de la forme :

$$\mu_T = \mu_B \cdot P^{-N} \quad (7)$$

Où: μ_B et μ_T sont les viscosités à la température d'ébullition normale et à la température T en (mPa/s).

P est la pression de vapeur en atmosphere.

N valeur differente selon les groupes.

On donne:

$$\ln P = \left[4.5398 + 1.0309 \ln \frac{T}{T_{eb}} \right] \left[1 - \frac{(3 - 2T/T_{eb})^{0.19}}{T/T_{eb}} - 0.38(3 - 2T/T_{eb})^{-0.81} \ln \frac{T}{T_{eb}} \right]$$

$$N_B = \sum \Delta \mu_B + \Delta \mu_{B(\text{corr})} \quad (9)$$

$$N = 0.2 + \sum \Delta N + \sum \Delta N_{(\text{corr})} \quad (10)$$

$\Delta \mu_{B(\text{corr})}$ et $\Delta N_{(\text{corr})}$ sont des paramètres de correction pour des structures particulières.

Les contributions des différents groupements fonctionnels sont donnés dans le tableau suivant:

groupement	$\Delta\mu_B$	ΔN	groupement	$\Delta\mu_B$	ΔN
<u>Pas dans le cycle</u>			<u>dans le cycle</u>		
-CH ₃	0.105	0.000	>CH ₂	0.060	0.000
>CH ₂	0.000	0.000	>CH-	-0.085	0.000
>CH-	-0.110	0.050	>CH<	-0.180	0.000
>CH<	-0.180	0.100	=CH- (alicyclique)	0.040	0.000
=CH ₂	0.085	0.000	=CH	0.050	0.000
=CH-	-0.005	0.000	(autre) =CH<	-0.100	0.000
=CH-	-0.100	0.000	(alicyclique) =CH<	-0.120	0.000
Pour les n alcanes, nalcenes ,			(autres) =CH<	-0.040	0.000
n alcynes $\Delta N=0.050$ quand C > 8			(fusion) =CH<	-0.040	0.000

TABLEAU 4 : VALEURS DES INCREMENTS DE VISCOSIT2 SELON SASTRI et
RAO [25]

5.Estimation de la tension de vapeur et de l'enthalpie de vaporisation

Il existe une abondante litterature pour les valeurs experimentales concernant les hydrocarbures à bas poids moléculaire ; exeption faite des n paraffines , les données pour les hydrocarbures à une température d'ébullition supérieure à 200°C sont beaucoup moins disponibles.

Plusieurs équations utilisent les données critiques , pour developper les relations des états correspondants , surtout pour les hydrocarbures légers.

ABRAMS et coll [26] ont proposé une relation de la forme :

$$\ln P = A + \frac{B}{T} + C \cdot \ln T + D \cdot T + E \cdot T^2 \quad (11)$$

A,B,C,D,E étant des paramètres définies de la façon suivante.

$$A = \ln \left[\frac{R}{V_w} \right] + \left(S - \frac{1}{2} \right) \ln \left[\frac{E_o}{R} \right] - \ln \left[(S-1) \right] + \ln \alpha \quad (12)$$

$$B = - \frac{E_o}{R} \quad (13)$$

$$C = \frac{2}{S-1} - S \quad (14)$$

$$D = \frac{2}{(E_o/R)} \quad (15)$$

$$E = \frac{(S-3)(S-1)}{2(E_o/R)^2} \quad (16)$$

avec V_w covolume de VANDERWALLS, E_o enthalpie de vaporisation d'un hydrocarbure liquide à $T=0$, S le nombre d'oscillations équivalents par molécule, R la constante des gaz parfaits.

$$R = 82.06 \text{ cm}^3 \text{ atm/g.mol K}^\circ$$

E_o/R est en Kelvins, α constante universelle, $\alpha = 0.0966$ quand P est donnée en atmosphere et T en °Kelvin.

Ces auteurs montrent que les résultats sont corrects dans le domaine 10^{-6} à 2 atm.

Les trois paramètres fondamentaux V_w , S et E_o/R ont une signification physique, ils reflètent la taille, la grosseur et les forces intermoléculaires de la molécule.

MACKNICK et PRAUSNITZ [27] reprenant l'équation d'ABRAMS ont proposé de définir les paramètres précédents par des méthodes de contribution de groupes en écrivant

$$S = \sum_i \nu_i S_i \quad (17)$$

$$E_o/R = \sum_i \nu_i (e_{oi}/R) \quad (18)$$

$$V_w = \sum_i \nu_i v_{wi} \quad (19)$$

S_i , e_{oi} , v_{wi} sont les contributions des différents groupements de type i , v_i est le nombre d'atomes de carbone de type i dans la molécule. Le tableau suivant donne les valeurs de ces paramètres.

Type de carbone	S_i	e_{oi}/R	Exemple
aliphatique CH_3	2.359	1162.7	n paraffines
aliphatique $-\text{CH}_2$	0.479	674.4	n paraffines
aliphatique $\begin{array}{c} \\ \text{Ar}-\text{CH} \\ \end{array}$	-2.189	-372.9	paraff branché $\sim \text{C}_{10}$
Aromatique $\begin{array}{c} \text{Ar} \\ \\ \text{Ar}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	1.175	939.5	benzene
Aromatique $\begin{array}{c} \text{Ar} \\ \\ \text{Ar}-\text{C}-\text{R} \end{array}$	-0.520	583.0	aromatique substitué
Aromatique condensé $\begin{array}{c} \text{Ar} \\ \\ \text{Ar}-\text{C}-\text{cond} \end{array}$	-0.774	432.5	naphtalene
naphtenique $>\text{CH}_2$	1.188	928.0	cyclohexane
naphtene $>\text{C} \begin{array}{l} \text{H} \\ \diagup \\ \text{R} \end{array}$	-1.938	-438.0	cyclohexane substitué

TABLEAU 5: VALEURS DES DIFFERENTS INCREMENTS D'APRES MACKNICK et PRAUSNITZ [27]

Le valeur de V_{wi} donnée à partir des corrélations de groupes données par BONDI [28]. les calculs de l'enthalpie de vaporisation peuvent se calculer à partir de l'équation $\ln P$ et celle de CLAPEYRON.

6. Estimation des propriétés thermiques.

Les seules propriétés qui peuvent être calculée à partir des méthodes de contribution de groupe sont:

- * l'enthalpie de formation du composé ΔH_{j298}° à 298°K en $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{k}$.
- * l'entropie de gaz idéal à 298°k S_{298}° à 101.3 kPa en $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{k}$.
- * la capacité calorifique isobarique du gaz idéal C_p en $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{k}$.

Les équations proposées sont alors les suivantes [30][31]:

$$\Delta H_{j298}^{\circ} = 1000.0 \left[\sum \Delta H_{j298}^{\circ} \right] / M \quad (20)$$

$$S_{298}^{\circ} = \left[\sum S_{298}^{\circ} + R \ln(n) - R \ln(\sigma) \right] / M \quad (21)$$

$$C_p = \sum \Delta C_p^{\circ} / M \quad (22)$$

$\sum \Delta H_{j298}^{\circ}$ est la somme des groupements individuels contribuant à l'enthalpie de formation des composés à 298°K, en kj/gmol

$\sum S_{298}^{\circ}$ est la somme des groupements individuels contribuant à l'entropie de gaz idéal en j/gmol.°k.

$\sum C_p^{\circ}$ est la somme des groupements individuels contribuant à la capacité calorifique à pression constante du gaz idéal en j/gmol.°k.

R est la constante des gaz parfaits = 8.3144 kj.kmole.°k.

n nombre d'especes d'isomeres optiques dans le composé

σ nombre de symetrie du composé.

Les valeurs des increments sont données par **BENSON** et Coll [31] , à titre d'exemple quelques valeurs sont données dans le tableau suivant:

Groupement	ΔH_{f298}°	S_{298}°	S_{300}°	C_{p500}	C_{p800}	C_{p1000}
$C(H_3)-(C)$	-42.17	127.24	25.90	39.33	54.48	61.80
$C(H_2)(C)_2$	-20.71	39.41	23.00	34.52	46.32	51.63
$CH-(C)_3$	-7.95	-50.50	19.00	30.00	38.95	42.05
$C-(C)_4$	2.09	-146.86	18.28	30.79	36.69	36.65
cyclopentane	26.36	114.22	-27.20	-18.83	-11.72	-8.8
cyclohexane	-1.51	78.66	-24.27	-12.13	4.60	9.20

TABLEAU : 6 VALEURS DES INCREMENTS DAPRES **BENSON**[31]

B- PARTIE EXPERIMENTALE

I- Introduction

Dans cette partie expérimentale, plusieurs fractions pétrolières ont été étudiées . Parmi ces fractions pétrolières, quelques unes ont fait l'objet de travaux antérieurs [1] et [2], d'autres ont été distillées au laboratoire des sciences fondamentales du centre universitaire Mohamed Boudiaf à M'sila .

L'échantillon du pétrole brut que nous avons étudié provient des gisements de Hassi Messaoud . Cet échantillon est prélevé de la station de pompage de M'sila .

II- Analyse préliminaire du pétrole brut (sahara blend).

Certaines propriétés physiques comme la densité, l'indice de réfraction et la viscosité absolue ont fait l'objet des analyses préliminaires de ce pétrole . Les résultats d'analyse figurent dans le tableau N°1.2 ci dessous .

Propriétés	Valeurs	Appareils utilisés
densité à 25°C	0.785	densimètre à tête plongeante
Indice de réfraction à 25 °C	1.465	Réfractomètre
Viscosité absolue à 25°C en Centipoise	2.8	Viscosimetre rotatif VT01 - Voltage du moteur 6 volts - nombre de tours 62.5 tours/min - Echelle 4 [1.5-33 Cpoise]

TABLEAU 1.2:VALEURS DES PROPRIÉTÉS MESURÉES EXPERIMENTALEMENT
commentaire:Les valeurs montrent que c'est pétrole moyen.

II-1 Distillation fractionnée

L'appareil utilisée est une colonne à distillation comportant trois étages (tête, 2^{ime} étage , et 1^{ere} étage). Chaque étage est

relié par un thermocouple à un indicateur de température digital. La température lue par cet appareil est la température de vapeur de la fraction .

Au total nous avons récupéré trois fractions pétrolières nommées comme suit:

Fraction N°1 est la Fraction récupérée dans la tête de la colonne.

Fraction N°2 est la fraction récupérée dans la 2^{ime} étage .

Fraction N°3 est la fraction récupérée dans la 1^{ere} étage .

II-2 Analyses préliminaires des fractions N°1,2 et 3

Les propriétés physiques qui ont fait l'objet des analyses sont: la densité, l'indice de réfraction, la viscosité absolue et le point d'aniline . Les résultats figurent dans le tableau N°1.4.

NB : Il était impossible de procéder à la mesure de la densité et la viscosité absolue par les méthodes précédentes car les fractions 1 et 2 sont très légères, et ces appareils sont conçus pour les produits lourds comme les huiles . La densité des fractions 1 et 2 ont été déterminé par la méthode classique

$$d = \frac{\text{masse}}{\text{volume}}$$

Propriété	Fractions		
	1	2	3
d	0.6190	0.7165	0.7300
n	1.3722	1.4008	1.4104
PA(°C)	61	100	118

TABLEAU 1.4:VALEURS DE d,n,PA POUR LES TROIS FRACTIONS

II-3 Determination des compositions par la méthodes n.d.PA

Les résultats sont regroupés dans le tableau N°1.5

Fraction	% paraffine	% naphtene	% aromatique
1	83.23	-4.81	21.57
2	92.75	14.10	-6.85
3	106.87	2.02	-8.89

TABLEAU 1.5: COMPOSITION EN PARAFFINE, NAPHTENE ET
AROMATIQUE DES TROIS FRACTIONS PETROLIERES.

Commentaire:

Les valeurs négatives du % naphtene et aromatique, montrent en fait que ces corrélations ne s'appliquent pas .
Seulement la valeur très élevée du point d'aniline permet d'indiquer une tendance paraffinique très poussée (fraction 3), plus élevée que la fraction 2 et surtout la fraction 3.

D-PARTIE CALCUL

I-Introduction

Les propriétés physiques étudiées dans le cadre de ce travail , sont celles considérées comme les plus importantes, il s'agit de : la densité (d), l'indice de réfraction (n), la température d'ébullition (T_{eb}), la viscosité (Va), la chaleur latente de vaporisation (Hv), les propriétés critiques (Tc, Pc, Vc), la température de congélation (Cg) et la tension superficielle (Ts).

Le type d'équations demandées a pour but, la mise en évidence de la contribution des groupes ($-CH_2$) dans une propriété physique donnée.

La méthode de travail a nécessité l'utilisation d'un micro-ordinateur type Olivetti M290, et différents logiciels comme (grapher, turbobasic, ed, cw,...) ainsi que des méthodes de raisonnement mathématiques. L'accomplissement de ce travail a nécessité aussi la collection des données expérimentales des différentes références dont l'API project 44, cela reste souvent insuffisant, ce qui nous a amené dans certains cas à faire des extrapolations .

Ces équations touchent essentiellement les corps purs de C_6 à C_{30} des familles suivantes: Paraffines, naphènes, oléfines et aromatiques. Ces équations ont été par la suite vérifiées pour des mélanges de corps purs et les fractions pétrolières.

II Les corrélations proposées.

II-1 Fondement théorique général.

A partir des données fournies par différentes sources, API project 44, The properties of gases and liquid (Prausnitz), Data book on hydrocarbon de Maxwell, thermodynamique appliquée (Vidal),

et pour une propriété donnée, la courbe incrément $V(i+1)-V(i)$ en fonction du poids moléculaire M est tracée.

II-2 Corrélation de type 1.

La courbe de lissage ou d'approximation choisie est de la forme:

$$V(i+1)-V(i) = Ae^{BM} \quad (1)$$

Où A et B sont des constantes.

Raisonnement mathématique:

$$V_7 - V_6 = Ae^{BM_7} \quad (2)$$

$$V_8 - V_7 = Ae^{BM_8} \quad (3)$$

$$V_9 - V_8 = Ae^{BM_9} \quad (4)$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$V_N - V_{(N-1)} = Ae^{BM_N} \quad (5)$$

En additionnant membre à membre ces équations, on obtient :

$$V_N - V_6 = A \left[e^{BM_7} + e^{BM_8} + e^{BM_9} + \dots e^{BM_N} \right] \quad (6)$$

Posons: $k = e^B \quad (7)$

$$V_N - V_6 = A \left[k^{M_7} + k^{M_8} + k^{M_9} + \dots k^{M_N} \right] \quad (8)$$

D'autre part, l'incrément en poids moléculaire est constant, ceci est vrai pour les paraffines, nous supposons qu'il est vrai pour les naphènes et les aromatiques c'est à dire que l'on ajoute seulement à la chaîne un groupement CH_2 , mais pas au cycle.

$$M_N - M_6 = (N-6)U \quad (9)$$

avec
$$U = M(i+1) - M(i) = 14.02 \quad (10)$$

L'équation (8) s'écrit alors:

$$V_N - V_6 = A \left[k^{M_6+U} + k^{M_6+2U} + k^{M_6+3U} + \dots + k^{M_6+(N-6)U} \right] \quad (11)$$

Posons:
$$K = k^U \quad (12)$$

L'équation (11) devient:

$$V_N - V_6 = AK^{M_6} \left[K + K^2 + K^3 + \dots + K^{N-6} \right] \quad (13)$$

Sachant que:
$$K + K^2 + K^3 + \dots + K^{N-6} = K \frac{1 - K^{N-6}}{1 - K} \quad (14)$$

L'équation (13) devient :

$$\boxed{V_N = V_6 + P \left[1 - K^{N-6} \right]} \quad (15)$$

avec:
$$P = \frac{K}{1-K} AK^{M_6} \quad (16)$$

La forme de l'équation (15) fait apparaître la contribution de (N-6) groupes CH₂ dans une propriété donnée.

Exemple: Supposons que la propriété (V) est la densité (d) des paraffines avec N=10.

$$d_{\left| C_{10}H_{22} \right|} - d_{\left| C_6H_{14} \right|} = P \left[1 - K^4 \right] \quad (17)$$

La différence de groupes entre CH₃ [CH₂]₈ CH₃ et CH₃ [CH₂]₄ CH₃ est 4 groupes CH₂, donc le terme P [1 - K⁴] est la contribution de 4 CH₂.

L'équation (15) est appelée **corrélation (1)**.

Pour la viscosité et la chaleur latente de vaporisation, cette corrélation donne des résultats dont l'écart par rapport aux données expérimentales atteint 25%. Pour réduire cet écart, nous avons essayé de démontrer une autre corrélation qui est plus précise mais assez longue, c'est la corrélation (2).

II-3 Corrélation du type 2.

La méthode de démonstration est la même, seulement l'incrément est de la forme d'un polynôme qui permet de mieux affirmer les résultats.

$$V(i+1)-V(i) = A+B*M + C*M^2. \quad (18)$$

La corrélation (15) s'écrit alors:

$$V_N = V_6 + (N-6) \left[X + (N-5) \frac{Y}{2} + (N-5)(2N-9) \frac{Z}{6} \right] \quad (19)$$

Où X,Y,Z sont des constantes.

II-4 Corrélation du type 3.

Pour le volume critique, on constate que l'incrément $V(i+1)-V(i)$ est constant. Donc, l'équation qui lie le volume critique et le nombre d'atomes de carbone est linéaire et s'écrit:

$$V_N - V_6 + (N-6)W \quad (20)$$

Où: $W = V(i+1) - V(i)$ est l'incrément en volume critique.

L'équation (20) est appelée corrélation (3)

II-4 Corrélation du type 4

Pour toutes les propriétés précédentes, une corrélation du type polynôme de degré (4) était élaborée à titre de comparaison et qui

lie la propriété physique et le nombre d'atomes de carbone. Cette corrélation est appelée:corrélation (4).

III Les resultats

III-1 Applications des équations aux corps purs.

Dans les tableaux qui suivent, nous représentons les résultats obtenus en appliquant les corrélations (1), (2), (3) et (4) pour les quatres familles (paraffine, naphtene, olefine et aromatique) et pour 25 corps purs de C_6 à C_{30} .

Nous avons dressé d'autres tableaux afin de comparer les resultats obtenus par nos corrélations et ceux obtenus par la corrélation (5) de Mohammad.R Riazi et Thomas Daubert déjà citée dans la partie théorique et portant le nom "equation 3". Cette dernière est appliquée pour les propriétés suivantes:la température critique (T_c), l'indice de corrélation (I) et l'enthalpie de vaporisation (ΔH_v) tableaux (I41, I42, I43) ; Fig (I41, I42, I43).

Les notations suivantes designent :

- Nbre de(c) : Le corps pur ayant 6,7,.. ou 30 atomes de carbone.
- Val cal(1) : La valeur de la propriété calculée à l'aide de la corrélation (1)
- Val cal(2) : La valeur de la propriété calculée à l'aide de la corrélation (2)
- Val cal(3) : La valeur de la propriété calculée à l'aide de la corrélation (3).
- Val exp : La valeur de la propriété obtenue expérimentalement.
- % écart(1) : Le pourcentage de l'écart entre la valeur obtenue par la corrélation (1) et celle obtenue expérimentalement.
- % écart(2): Le pourcentage de l'écart entre la valeur obtenue par la corrélation (2) et celle obtenue

expérimentalement.

- % écart(3): Le pourcentage de l'écart entre la valeur obtenue par la corrélation (3) et celle obtenue expérimentalement. Dans tous les cas le pourcentage d'écart est calculé comme suit

$$\% \text{ écart} = \left| \frac{\text{val exp} - \text{val cal}}{\text{val exp}} \right| 100$$

III-1-1 Corrélation (1)

la corrélation (1) est appliquée aux propriétés suivantes: d, n, Teb, Cg, Tc, Pc, Ts.

III-1-1-1 Commentaire

● Pour la densité, l'écart entre la valeur calculée par la corrélation (1) et celle obtenue expérimentalement varie entre 0 et 1.49% pour les 4 familles (tableaux I₁, I₂, I₃, I₄); (Fig I₁, I₂, I₃, I₄).

● L'indice de réfraction présente une fourchette qui varie entre 0 et 0.42%, on constate que l'écart touche en moyenne le troisième chiffre après la virgule (tableaux I₅, I₆, I₇, I₈); (Fig I₅, I₆, I₇, I₈).

● Pour la température d'ébullition, l'écart varie entre 0 et 2.91%. L'écart maximum est d'environ 3 degrés (tableaux I₉, I₁₀, I₁₁, I₁₂); (Fig I₉, I₁₀, I₁₁, I₁₂).

● La température de congélation présente un écart qui atteint 57% dans les aromatiques, 17% dans les naphthenes, 9% dans les paraffines et 1.97% dans les oléfines. Ces écarts touchent seulement les corps purs des fractions légères (C₆, C₇, C₈). Cela est dû à une perturbation des températures de congélation expérimentales de ces corps. On voit que pour C₆, elle est de 278.8°K puis elle diminue à 178°K pour C₇, 173°K pour C₈, puis

elle augmente à 185°K pour C₁₀ et continue à augmenter normalement. Pour les corps de C₁₀ à C₃₀ l'écart varie entre 0 et 7% (Tableaux I13, I14, I15, I16) ; (Fig I13 ,I14 ,I15 ,I16).

● L'écart que présente la température critique varie entre 0 et 1.05% (tableaux I17, I18, I19, I20).

● Pour la pression critique, l'écart atteint 17.76% . Cela est du principalement à la courbe d'approximation Ae^{BM} qui ne coïncide pas avec l'incrément $V(i+1)-V(i)$ obtenu expérimentalement. Donc, l'approximation que nous avons adopté a une grande influence sur la corrélation (tableaux I21, I22, I23, I24); (Fig I21, I22, I23, I24).

● L'écart constaté dans le cas de la tension superficielle atteint 2.96% . En général, la variation touche le premier chiffre après la virgule. Pour ce qui est des naphthenes et aromatiques, les données expérimentales sont obtenues par extrapolation (tableau I25 ,I26 ,I27 ,I28);(Fig I25, I26, I27, I28) .

III-1-2 Corrélation (2)

III-1-2-1 Commentaire

● Pour la viscosité, l'écart atteint 25% , cela est du à deux facteurs:

* Les fluctuations que présentent les corps purs des fractions légères. On voit que la viscosité diminue de 0.6010 à 0.5500 puis elle augmente à 0.6354 dans les aromatiques.

* Par manque de données expérimentales on avait recours à des extrapolations qui généralement ne reflètent pas les valeurs réelles (tableaux I29, I30, I31, I32);(Fig I29, I30, I31, I32) .

● Pour la chaleur latente de vaporisation, et de la même manière que la viscosité, les valeurs des corps purs lourds (C₂₀ à C₃₀) sont obtenues par extrapolation. Ces dernières valeurs

provoquent des perturbations dans la courbe d'approximation et par suite sur la corrélation (tableau I33 ,I34 ,I35 ,I36) ; (Fig I33, I34, I35, I36).

III-1-3 Corrélation (3)

III-1-3-1 Commentaire

L'écart constaté dans le cas du volume critique varie entre 0 et 2.92% . Bien que les valeurs des corps purs lourds (C20 à C30) sont obtenus par extrapolation, ces dernières n'ont pas une grande influence sur la corrélation . Cela peut être se traduit par la linéarité de l'équation (tableau I37 ,I38, I39 ,I40) ; (Fig I37, I38, I39, I40) .

III-1-4 Conclusion

* Par comparaison des corrélations (1) et (2) avec la corrélation (4), on constate que l'erreur est dans des cas 10 fois plus dans (1) et (2) . La corrélation polynomiale reste toujours la plus précise.

* L'origine des écarts que présentent les corrélations (1) et (2) est:

- L'extrapolation de certaines valeurs qui à leurs tours influent sur la courbe d'approximation .

- Les fluctuations que présentent les corps (C6 à Ca) dans le cas de certaines propriétés .

* En générale, les résultats obtenus par les corrélations (1), (2) et (3) sont acceptables par comparaisons à des corrélations dans la littérature (equation 3 de Mohammad R.Riazi et Thomas Daubert).

III-2 Application des corrélations (1), (2) et (3) aux mélanges de corps purs

Tableau I1

=====

Propriete:densite

=====

Famille :Paraffines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	0.6548	0.6531	0.6548	0.00	0.26
7	0.6729	0.6766	0.6795	0.97	0.42
8	0.6889	0.6964	0.6985	1.37	0.30
9	0.7032	0.7128	0.7138	1.49	0.14
10	0.7158	0.7264	0.7263	1.45	-0.02
11	0.7269	0.7377	0.7365	1.30	-0.16
12	0.7368	0.7469	0.7452	1.12	-0.22
13	0.7456	0.7544	0.7527	0.94	-0.23
14	0.7534	0.7606	0.7592	0.76	-0.19
15	0.7603	0.7659	0.7649	0.60	-0.12
16	0.7664	0.7703	0.7700	0.47	-0.04
17	0.7718	0.7741	0.7744	0.33	0.03
18	0.7766	0.7776	0.7784	0.23	0.10
19	0.7809	0.7808	0.7820	0.14	0.15
20	0.7846	0.7839	0.7852	0.07	0.16
21	0.7880	0.7869	0.7882	0.03	0.16
22	0.7910	0.7899	0.7909	-0.01	0.12
23	0.7936	0.7929	0.7934	-0.02	0.07
24	0.7959	0.7957	0.7957	-0.03	-0.00
25	0.7980	0.7984	0.7978	-0.02	-0.08
26	0.7998	0.8009	0.7997	-0.01	-0.15
27	0.8014	0.8029	0.8015	0.01	-0.18
28	0.8029	0.8043	0.8032	0.04	-0.14
29	0.8041	0.8049	0.8048	0.08	-0.02
30	0.8053	0.8044	0.8063	0.13	0.23

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .8863439

P= .1592621

Tableau I2

=====

Propriete:densite

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	0.7439	0.7502	0.7439	0.00	-0.84
7	0.7536	0.7615	0.7621	1.11	0.08
8	0.7622	0.7712	0.7722	1.29	0.13
9	0.7698	0.7795	0.7807	1.39	0.16
10	0.7765	0.7865	0.7873	1.37	0.11
11	0.7825	0.7923	0.7927	1.29	0.05
12	0.7878	0.7973	0.7972	1.18	-0.01
13	0.7924	0.8014	0.8011	1.08	-0.04
14	0.7966	0.8049	0.8044	0.97	-0.06
15	0.8002	0.8078	0.8074	0.89	-0.05
16	0.8035	0.8103	0.8100	0.81	-0.04
17	0.8063	0.8124	0.8121	0.71	-0.04
18	0.8089	0.8143	0.8142	0.66	-0.02
19	0.8111	0.8160	0.8161	0.61	0.01
20	0.8131	0.8176	0.8177	0.56	0.02
21	0.8148	0.8190	0.8193	0.54	0.04
22	0.8164	0.8204	0.8208	0.54	0.05
23	0.8178	0.8217	0.8219	0.50	0.03
24	0.8190	0.8230	0.8230	0.49	0.00
25	0.8201	0.8242	0.8241	0.49	-0.01
26	0.8210	0.8253	0.8252	0.51	-0.01
27	0.8219	0.8263	0.8260	0.50	-0.04
28	0.8226	0.8272	0.8270	0.53	-0.03
29	0.8233	0.8279	0.8278	0.55	-0.01
30	0.8239	0.8282	0.8284	0.55	0.02

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .8850361

P= .0844739

Tableau I3

=====

Propriete:densite

=====

Famille :Olefines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	0.6685	0.6666	0.6685	0.00	0.28
7	0.6858	0.6895	0.6927	0.99	0.46
8	0.7011	0.7086	0.7109	1.38	0.33
9	0.7146	0.7243	0.7253	1.47	0.13
10	0.7266	0.7373	0.7369	1.40	-0.05
11	0.7371	0.7479	0.7466	1.27	-0.17
12	0.7464	0.7565	0.7547	1.10	-0.23
13	0.7547	0.7635	0.7617	0.92	-0.23
14	0.7619	0.7692	0.7677	0.75	-0.19
15	0.7684	0.7739	0.7729	0.59	-0.13
16	0.7741	0.7779	0.7776	0.46	-0.04
17	0.7791	0.7813	0.7816	0.32	0.03
18	0.7835	0.7845	0.7853	0.23	0.11
19	0.7874	0.7874	0.7886	0.15	0.16
20	0.7909	0.7902	0.7916	0.09	0.18
21	0.7940	0.7930	0.7943	0.04	0.17
22	0.7967	0.7957	0.7967	0.00	0.12
23	0.7991	0.7985	0.7990	-0.01	0.06
24	0.8012	0.8012	0.8011	-0.01	-0.01
25	0.8030	0.8037	0.8030	-0.00	-0.09
26	0.8047	0.8060	0.8048	0.02	-0.15
27	0.8061	0.8079	0.8064	0.03	-0.18
28	0.8074	0.8091	0.8080	0.07	-0.14
29	0.8086	0.8095	0.8094	0.10	-0.02
30	0.8096	0.8088	0.8107	0.14	0.23

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .8835967

P= .1486912

Tableau I4

=====

Propriete:densite

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	0.8737	0.8712	0.8737	0.00	0.28
7	0.8674	0.8659	0.8623	-0.59	-0.42
8	0.8631	0.8618	0.8626	-0.06	0.10
9	0.8602	0.8586	0.8578	-0.28	-0.09
10	0.8582	0.8562	0.8561	-0.25	-0.01
11	0.8569	0.8544	0.8546	-0.27	0.02
12	0.8560	0.8532	0.8537	-0.27	0.05
13	0.8554	0.8525	0.8530	-0.28	0.06
14	0.8550	0.8520	0.8525	-0.29	0.06
15	0.8547	0.8518	0.8522	-0.29	0.05
16	0.8545	0.8517	0.8519	-0.30	0.02
17	0.8544	0.8517	0.8517	-0.31	-0.00
18	0.8543	0.8517	0.8515	-0.32	-0.03
19	0.8542	0.8518	0.8514	-0.33	-0.04
20	0.8542	0.8517	0.8513	-0.34	-0.05
21	0.8541	0.8517	0.8512	-0.35	-0.05
22	0.8541	0.8515	0.8512	-0.34	-0.04
23	0.8541	0.8513	0.8511	-0.35	-0.03
24	0.8541	0.8511	0.8511	-0.35	0.00
25	0.8541	0.8508	0.8510	-0.36	0.02
26	0.8541	0.8506	0.8510	-0.36	0.04
27	0.8541	0.8505	0.8510	-0.36	0.06
28	0.8541	0.8506	0.8509	-0.37	0.04
29	0.8541	0.8509	0.8509	-0.37	0.00
30	0.8541	0.8515	0.8509	-0.37	-0.07

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)-P(1-k^(N-6))

K= .6781542

P= 1.962051E-02

Tableau 15

=====

Propriete:Indice de refraction

=====

Famille :Paraffines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	1.3723	1.3733	1.3723	0.00	-0.07
7	1.3818	1.3846	1.3851	0.24	0.03
8	1.3902	1.3943	1.3951	0.35	0.06
9	1.3976	1.4025	1.4031	0.39	0.05
10	1.4042	1.4093	1.4097	0.39	0.03
11	1.4101	1.4151	1.4151	0.35	-0.00
12	1.4153	1.4199	1.4195	0.30	-0.03
13	1.4199	1.4240	1.4235	0.26	-0.03
14	1.4239	1.4274	1.4269	0.21	-0.03
15	1.4275	1.4302	1.4298	0.16	-0.03
16	1.4307	1.4327	1.4325	0.12	-0.01
17	1.4336	1.4348	1.4348	0.09	-0.00
18	1.4361	1.4367	1.4369	0.06	0.01
19	1.4383	1.4385	1.4388	0.03	0.02
20	1.4403	1.4401	1.4405	0.02	0.03
21	1.4420	1.4416	1.4420	-0.00	0.03
22	1.4436	1.4431	1.4434	-0.01	0.02
23	1.4449	1.4445	1.4447	-0.02	0.01
24	1.4462	1.4459	1.4459	-0.02	0.00
25	1.4472	1.4472	1.4470	-0.02	-0.01
26	1.4482	1.4484	1.4481	-0.01	-0.02
27	1.4490	1.4495	1.4490	-0.00	-0.03
28	1.4498	1.4503	1.4499	0.01	-0.03
29	1.4505	1.4508	1.4508	0.02	-0.00
30	1.4510	1.4510	1.4515	0.03	0.03

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .8861773

P= 8.333165E-02

Tableau I6

=====

Propriete:Indice de refraction

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	1.4070	1.4083	1.4070	0.00	-0.09
7	1.4131	1.4164	1.4173	0.30	0.07
8	1.4185	1.4231	1.4239	0.38	0.06
9	1.4233	1.4287	1.4293	0.42	0.04
10	1.4276	1.4334	1.4336	0.42	0.01
11	1.4314	1.4372	1.4370	0.39	-0.02
12	1.4348	1.4404	1.4400	0.36	-0.03
13	1.4377	1.4430	1.4425	0.33	-0.03
14	1.4404	1.4451	1.4446	0.29	-0.04
15	1.4427	1.4469	1.4466	0.27	-0.02
16	1.4448	1.4484	1.4482	0.23	-0.01
17	1.4467	1.4497	1.4497	0.21	0.00
18	1.4483	1.4508	1.4510	0.19	0.01
19	1.4498	1.4519	1.4522	0.17	0.02
20	1.4511	1.4529	1.4533	0.15	0.03
21	1.4522	1.4539	1.4543	0.14	0.03
22	1.4532	1.4549	1.4552	0.14	0.02
23	1.4541	1.4559	1.4560	0.13	0.01
24	1.4549	1.4568	1.4568	0.13	0.00
25	1.4556	1.4577	1.4575	0.13	-0.01
26	1.4563	1.4585	1.4582	0.13	-0.02
27	1.4568	1.4592	1.4588	0.14	-0.03
28	1.4573	1.4597	1.4593	0.14	-0.02
29	1.4578	1.4599	1.4598	0.14	-0.01
30	1.4581	1.4598	1.4603	0.15	0.04

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .8872498

P= 5.421422E-02

Tableau I7

=====

Propriete:Indice de refraction

=====

Famille :Oleffines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	1.3850	1.3862	1.3850	0.00	-0.09
7	1.3936	1.3965	1.3971	0.25	0.04
8	1.4012	1.4053	1.4062	0.36	0.06
9	1.4079	1.4127	1.4133	0.38	0.04
10	1.4138	1.4188	1.4191	0.37	0.02
11	1.4190	1.4240	1.4238	0.34	-0.01
12	1.4236	1.4282	1.4278	0.29	-0.03
13	1.4277	1.4317	1.4312	0.24	-0.04
14	1.4313	1.4347	1.4342	0.20	-0.03
15	1.4345	1.4371	1.4367	0.16	-0.03
16	1.4373	1.4392	1.4391	0.13	-0.01
17	1.4397	1.4411	1.4410	0.09	-0.00
18	1.4419	1.4427	1.4428	0.06	0.01
19	1.4439	1.4441	1.4445	0.04	0.03
20	1.4456	1.4455	1.4459	0.02	0.03
21	1.4471	1.4468	1.4473	0.02	0.03
22	1.4484	1.4481	1.4485	0.01	0.03
23	1.4495	1.4494	1.4496	0.00	0.02
24	1.4506	1.4506	1.4506	0.00	0.00
25	1.4515	1.4517	1.4515	0.00	-0.02
26	1.4523	1.4528	1.4524	0.01	-0.03
27	1.4530	1.4537	1.4532	0.01	-0.03
28	1.4536	1.4543	1.4540	0.02	-0.02
29	1.4542	1.4547	1.4547	0.03	-0.00
30	1.4547	1.4547	1.4553	0.04	0.04

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .8828112

P= 7.336468E-02

Tableau I8

=====

Propriete:Indice de refraction

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	1.4979	1.4980	1.4979	0.00	-0.01
7	1.4952	1.4947	1.4941	-0.08	-0.04
8	1.4930	1.4919	1.4932	0.01	0.09
9	1.4911	1.4895	1.4895	-0.10	-0.00
10	1.4894	1.4875	1.4874	-0.14	-0.01
11	1.4880	1.4859	1.4856	-0.16	-0.02
12	1.4868	1.4845	1.4842	-0.18	-0.02
13	1.4858	1.4833	1.4832	-0.18	-0.01
14	1.4849	1.4824	1.4824	-0.17	-0.00
15	1.4842	1.4817	1.4817	-0.17	0.00
16	1.4836	1.4811	1.4811	-0.17	0.00
17	1.4831	1.4806	1.4807	-0.16	0.01
18	1.4826	1.4802	1.4803	-0.16	0.01
19	1.4822	1.4799	1.4800	-0.15	0.01
20	1.4819	1.4796	1.4797	-0.15	0.00
21	1.4816	1.4794	1.4794	-0.15	-0.00
22	1.4814	1.4792	1.4792	-0.15	-0.00
23	1.4812	1.4790	1.4790	-0.15	-0.00
24	1.4810	1.4788	1.4788	-0.15	-0.00
25	1.4808	1.4787	1.4786	-0.15	-0.00
26	1.4807	1.4785	1.4785	-0.15	0.00
27	1.4806	1.4783	1.4783	-0.16	-0.00
28	1.4805	1.4782	1.4782	-0.16	0.00
29	1.4804	1.4781	1.4781	-0.16	0.00
30	1.4804	1.4780	1.4780	-0.16	0.00

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)-P(1-k^(N-6))

K= .8516561

P= .017909

Tableau I9

Propriete:temperature d'ebulition[C]

Famille :Paraffines

nombre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	68.7400	69.1799	68.7400	0.00	-0.64
7	96.0700	98.2635	98.4270	2.39	0.17
8	122.0048	125.3139	125.6650	2.91	0.28
9	146.6157	150.5007	150.7980	2.77	0.20
10	169.9702	173.9842	174.1230	2.38	0.08
11	192.1325	195.9153	195.8900	1.92	-0.01
12	213.1636	216.4353	216.2780	1.44	-0.07
13	233.1210	235.6764	235.4340	0.98	-0.10
14	252.0596	253.7610	253.5150	0.57	-0.10
15	270.0314	270.8025	270.6140	0.22	-0.07
16	287.0858	286.9047	286.7930	-0.10	-0.04
17	303.2697	302.1619	302.1500	-0.37	-0.00
18	318.6273	316.6589	316.7100	-0.61	0.02
19	333.2010	330.4717	330.6000	-0.79	0.04
20	347.0308	343.6660	343.8000	-0.94	0.04
21	360.1545	356.2989	356.5000	-1.03	0.06
22	372.6083	368.4175	368.6000	-1.09	0.05
23	384.4263	380.0597	380.2000	-1.11	0.04
24	395.6411	391.2542	391.3000	-1.11	0.01
25	406.2834	402.0199	401.9000	-1.09	-0.03
26	416.3824	412.3666	412.2000	-1.01	-0.04
27	425.9658	422.2944	422.1000	-0.92	-0.05
28	435.0601	431.7944	431.6000	-0.80	-0.05
29	443.6901	440.8478	440.8000	-0.66	-0.01
30	451.8796	449.4268	449.7000	-0.48	0.06

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .9489519

P= 535.3766

Tableau I10

=====

Propriete:temperature d'ebulition[C]

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	71.8110	72.6017	71.8110	0.00	-1.10
7	100.5155	102.5595	103.4670	2.85	0.88
8	127.6449	130.4558	130.9500	2.52	0.38
9	153.2857	156.4357	156.6000	2.12	0.10
10	177.5194	180.6394	180.5000	1.65	-0.08
11	200.4234	203.2024	202.8900	1.22	-0.15
12	222.0706	224.2553	223.8900	0.81	-0.16
13	242.5300	243.9238	243.5000	0.40	-0.17
14	261.8666	262.3290	262.0000	0.05	-0.13
15	280.1422	279.5870	279.3800	-0.27	-0.07
16	297.4150	295.8092	295.7780	-0.55	-0.01
17	313.7399	311.1020	311.2220	-0.81	0.04
18	329.1691	325.5672	325.8890	-1.01	0.10
19	343.7516	339.3016	340.0000	-1.10	0.21
20	357.5339	352.3972	352.7780	-1.35	0.11
21	370.5600	364.9414	366.1110	-1.22	0.32
22	382.8713	377.0166	377.2220	-1.50	0.05
23	394.5070	388.7002	388.8890	-1.44	0.05
24	405.5042	400.0652	400.0000	-1.38	-0.02
25	415.8980	411.1793	410.0000	-1.44	-0.29
26	425.7214	422.1059	420.0000	-1.36	-0.50
27	435.0059	432.9029	430.0000	-1.16	-0.68
28	443.7808	443.6242	438.8890	-1.11	-1.08
29	452.0742	454.3185	472.2220	4.27	3.79
30	459.9126	465.0292	456.1110	-0.83	-1.96

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .945127

P= 523.1084

Tableau I11

=====

Propriete:temperature d'ebulition[C]

=====

Famille :Oleffines

=====

nombre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	63.4850	63.8636	63.4850	0.00	-0.60
7	91.4587	93.4782	93.6430	2.33	0.18
8	117.9643	120.9983	121.2800	2.73	0.23
9	143.0790	146.6004	146.8680	2.58	0.18
10	166.8756	170.4513	170.5700	2.17	0.07
11	189.4234	192.7075	192.6710	1.69	-0.02
12	210.7880	213.5159	213.3570	1.20	-0.07
13	231.0313	233.0131	232.7800	0.75	-0.10
14	250.2123	251.3259	251.1000	0.35	-0.09
15	268.3867	268.5709	268.3940	0.00	-0.07
16	285.6073	284.8551	284.8730	-0.26	0.01
17	301.9242	300.2752	300.3300	-0.53	0.02
18	317.3848	314.9179	314.8200	-0.81	-0.03
19	332.0341	328.8602	329.1000	-0.89	0.07
20	345.9145	342.1688	342.4000	-1.03	0.07
21	359.0665	354.9006	355.0000	-1.15	0.03
22	371.5284	367.1025	367.0000	-1.23	-0.03
23	383.3362	378.8114	379.0000	-1.14	0.05
24	394.5244	390.0543	390.0000	-1.16	-0.01
25	405.1254	400.8482	401.0000	-1.03	0.04
26	415.1701	411.1997	411.0000	-1.01	-0.05
27	424.6877	421.1062	421.0000	-0.88	-0.03
28	433.7058	430.5543	430.0000	-0.86	-0.13
29	442.2506	439.5214	440.0000	-0.51	0.11
30	450.3469	447.9741	448.0000	-0.52	0.01

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)+P(1-k^(N-6))

K= .9475209

P= 533.0441

Tableau I12

=====

Propriete:temperature d'ebulition[C]

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	80.1000	80.9517	80.1000	0.00	-1.06
7	107.4053	109.0871	110.6250	2.91	1.39
8	133.2439	135.5340	136.1860	2.16	0.48
9	157.6947	160.3938	159.2170	0.96	-0.74
10	180.8322	183.7639	183.2700	1.33	-0.27
11	202.7269	205.7379	205.4600	1.33	-0.14
12	223.4456	226.4057	226.1000	1.17	-0.14
13	243.0515	245.8529	246.1000	1.24	0.10
14	261.6043	264.1617	264.4000	1.06	0.09
15	279.1605	281.4101	282.0000	1.01	0.21
16	295.7738	297.6725	297.8900	0.71	0.07
17	311.4948	313.0193	313.2000	0.54	0.06
18	326.3714	327.5171	327.6000	0.38	0.03
19	340.4489	341.2285	341.3000	0.25	0.02
20	353.7702	354.2124	354.0000	0.06	-0.06
21	366.3761	366.5236	366.0000	-0.10	-0.14
22	378.3049	378.2135	378.0000	-0.08	-0.06
23	389.5929	389.3291	389.0000	-0.15	-0.08
24	400.2746	399.9139	400.0000	-0.07	0.02
25	410.3826	410.0073	410.0000	-0.09	-0.00
26	419.9477	419.6450	420.0000	0.01	0.08
27	428.9990	428.8587	429.0000	0.00	0.03
28	437.5642	437.6765	438.0000	0.10	0.07
29	445.6693	446.1223	446.0000	0.07	-0.03
30	453.3390	454.2165	454.0000	0.15	-0.05

(1)=correlation(1): $V(N)=V(6)+P(1-k^{(N-6)})$

K= .9462879

P= 508.363

Tableau I13

=====

Propriete:Temperature de congelation[K]

=====

Famille :Paraffines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	188.9661	172.9008	177.6520	-6.37	2.67
7	199.8768	192.3967	182.3900	-9.59	-5.49
8	210.0310	209.6228	216.2050	2.86	3.04
9	219.4810	224.8090	219.4810	0.00	-2.43
10	228.2758	238.1718	243.3390	6.19	2.12
11	236.4607	249.9145	247.4060	4.42	-1.01
12	244.0781	260.2272	263.4130	7.34	1.21
13	251.1673	269.2869	267.6080	6.14	-0.63
14	257.7649	277.2569	278.8630	7.57	0.58
15	263.9050	284.2877	282.9260	6.72	-0.48
16	269.6194	290.5166	291.1650	7.40	0.22
17	274.9375	296.0673	294.9800	6.79	-0.37
18	279.8869	301.0504	301.1800	7.07	0.04
19	284.4931	305.5634	304.9000	6.69	-0.22
20	288.7798	309.6904	309.4400	6.68	-0.08
21	292.7693	313.5023	313.5000	6.61	-0.00
22	296.4822	317.0568	317.4000	6.59	0.11
23	299.9377	320.3982	320.6000	6.44	0.06
24	303.1535	323.5580	323.9000	6.41	0.11
25	306.1463	326.5540	326.7000	6.29	0.04
26	308.9316	329.3907	329.4000	6.21	0.00
27	311.5238	332.0595	332.0000	6.17	-0.02
28	313.9362	334.5393	334.4000	6.12	-0.04
29	316.1814	336.7944	336.7000	6.09	-0.03
30	318.2709	338.7765	338.8000	6.06	0.01

(1)=correlation(1):V(N)=V(9)+P(1-k^(N-9))

K= .9306591

P= 126.8337

Tableau I14

=====

Propriete:Temperature de congelation[K]

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	108.6451	124.1326	130.5445	16.78	4.91
7	129.3317	140.3589	134.5556	3.88	-4.31
8	148.0605	156.4014	155.6611	4.88	-0.48
9	165.0167	172.0801	165.0167	0.00	-4.28
10	180.3681	187.2366	190.2222	5.18	1.57
11	194.2665	201.7346	200.2222	2.97	-0.76
12	206.8495	215.4590	220.2222	6.07	2.16
13	218.2417	228.3166	229.1111	4.74	0.35
14	228.5556	240.2359	244.1111	6.37	1.59
15	237.8933	251.1671	250.8722	5.17	-0.12
16	246.3473	261.0819	263.0000	6.33	0.73
17	254.0011	269.9738	268.0000	5.22	-0.74
18	260.9306	277.8580	278.0000	6.14	0.05
19	267.2042	284.7714	281.8889	5.21	-1.02
20	272.8840	290.7723	290.2222	5.97	-0.19
21	278.0263	295.9412	294.1111	5.47	-0.62
22	282.6819	300.3797	300.2222	5.84	-0.05
23	286.8969	304.2116	303.0000	5.31	-0.40
24	290.7129	307.5817	308.0000	5.61	0.14
25	294.1677	310.6574	310.7778	5.34	0.04
26	297.2956	313.6270	315.2222	5.69	0.51
27	300.1275	316.7009	318.0000	5.62	0.41
28	302.6913	320.1107	321.8889	5.96	0.55
29	305.0125	324.1103	324.1111	5.89	0.00
30	307.1140	328.9751	326.8889	6.05	-0.64

(1)=correlation(1):V(N)=V(9)+P(1-k^(N-9))

K= .9053551

P= 162.1996

Tableau I15

=====

Propriete:Temperature de congelation[K]

=====

Famille :Olefines

=====

nombre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	135.1624	131.6872	133.1810	-1.49	1.12
7	155.8843	153.7375	153.9710	-1.24	0.15
8	174.6449	173.7917	171.2640	-1.97	-1.48
9	191.6300	191.9779	191.6300	0.00	-0.18
10	207.0075	208.4212	206.6900	-0.15	-0.84
11	220.9297	223.2433	223.8150	1.29	0.26
12	233.5341	236.5628	237.7700	1.78	0.51
13	244.9456	248.4955	249.9300	1.99	0.57
14	255.2771	259.1539	260.1500	1.87	0.38
15	264.6307	268.6470	269.2700	1.72	0.23
16	273.0991	277.0814	277.1200	1.45	0.01
17	280.7660	284.5601	284.2000	1.21	-0.13
18	287.7073	291.1828	290.6000	1.00	-0.20
19	293.9916	297.0468	296.4000	0.81	-0.22
20	299.6811	302.2456	301.6000	0.64	-0.21
21	304.8321	306.8698	306.3000	0.48	-0.19
22	309.4956	311.0069	310.8000	0.42	-0.07
23	313.7178	314.7413	314.6000	0.28	-0.04
24	317.5403	318.1541	318.3000	0.24	0.05
25	321.0011	321.3237	321.7000	0.22	0.12
26	324.1343	324.3249	324.8000	0.20	0.15
27	326.9709	327.2295	327.7000	0.22	0.14
28	329.5391	330.1066	330.5000	0.29	0.12
29	331.8643	333.0214	333.0000	0.34	-0.01
30	333.9693	336.0365	335.4000	0.43	-0.19

(1)=correlation(1):V(N)=V(9)+P(1-k^(N-9))

K= .9053551

P= 162.4759

Tableau I16

=====

Propriete:Temperature de congelation[K]

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	118.8333	241.5416	278.5330	57.34	13.28
7	138.6329	212.1790	178.0090	22.12	%-19.20
8	156.8109	194.4906	178.0250	11.92	-9.25
9	173.5000	186.3571	173.5000	0.00	-7.41
10	188.8221	185.8354	185.0300	-2.05	-0.44
11	202.8893	191.1583	198.0000	-2.47	3.46
12	215.8043	200.7351	212.0000	-1.79	5.31
13	227.6615	213.1511	225.0000	-1.18	5.27
14	238.5475	227.1675	237.0000	-0.65	4.15
15	248.5418	241.7221	249.0000	0.18	2.92
16	257.7176	255.9282	258.6200	0.35	1.04
17	266.1418	269.0756	268.0000	0.69	-0.40
18	273.8761	280.6310	276.0000	0.77	-1.68
19	280.9768	290.2355	283.0000	0.71	-2.56
20	287.4959	297.7083	289.0000	0.52	-3.01
21	293.4811	303.0418	295.0000	0.51	-2.73
22	298.9761	306.4091	300.0000	0.34	-2.14
23	304.0209	308.1553	305.0000	0.32	-1.03
24	308.6527	308.8027	309.0000	0.11	0.06
25	312.9050	309.0508	313.0000	0.03	1.26
26	316.8090	309.7754	317.0000	0.06	2.28
27	320.3933	312.0256	321.0000	0.19	2.80
28	323.6840	317.0308	324.0000	0.10	2.15
29	326.7052	326.1934	327.0000	0.09	0.25
30	329.4789	341.0938	330.0000	0.16	-3.36

(1)=correlation(1):V(N)=V(9)+P(1-k^(N-9))

K= .9180939

P= 187.0697

Tableau I17

=====

Propriete:Temperature critique [K]

=====

Famille :Paraffines

=====

nombre de (C)	val cal (1)	val cal (2)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (2)
6	507.8432	506.7566	506.9285	-0.18	0.03
7	539.5478	538.9466	539.5478	-0.00	0.11
8	568.5198	567.9712	568.6095	0.02	0.11
9	594.9949	594.1576	594.6078	-0.07	0.08
10	619.1881	617.8106	617.9743	-0.20	0.03
11	641.2960	639.2126	639.0850	-0.35	-0.02
12	661.4986	658.6236	658.2620	-0.49	-0.05
13	679.9600	676.2809	675.7785	-0.62	-0.07
14	696.8301	692.3997	691.8633	-0.72	-0.08
15	712.2463	707.1721	706.7041	-0.78	-0.07
16	726.3338	720.7689	720.4521	-0.82	-0.04
17	739.2071	733.3371	733.2257	-0.82	-0.02
18	750.9709	745.0024	745.1150	-0.79	0.02
19	761.7207	755.8671	756.1850	-0.73	0.04
20	771.5441	766.0120	766.4811	-0.66	0.06
21	780.5208	775.4944	776.0320	-0.58	0.07
22	788.7239	784.3501	784.8537	-0.49	0.06
23	796.2199	792.5918	792.9545	-0.41	0.05
24	803.0698	800.2100	800.3390	-0.34	0.02
25	809.3294	807.1726	807.0106	-0.29	-0.02
26	815.0495	813.4256	812.9771	-0.25	-0.06
27	820.2765	818.8918	818.2551	-0.25	-0.08
28	825.0531	823.4720	822.8727	-0.26	-0.07
29	829.4180	827.0439	826.8737	-0.31	-0.02
30	833.4066	829.4639	830.3244	-0.37	0.10

(1)=correlation(1): $V(N)=V(7)+P(1-k^{(N-7)})$

K= .9138118

P= 336.1488

Tableau I18

=====

Propriete:Temperature critique [K]

=====

Famille :Naphtenes

=====

Nbre: de(C)	val cal: (1)	val cal: (4)	val : exp	%d'ecart: (1)	%d'ecart (4)
6	543.8928	540.4680	540.5735	-0.61	0.02
7	569.9365	569.5676	569.9365	0.00	0.06
8	594.2356	595.9576	596.3493	0.35	0.07
9	616.9066	619.8970	620.1733	0.53	0.04
10	638.0589	641.6300	641.7305	0.57	0.02
11	657.7941	661.3856	661.3073	0.53	-0.01
12	676.2072	679.3776	679.1555	0.43	-0.03
13	693.3868	695.8045	695.4961	0.30	-0.04
14	709.4153	710.8498	710.5204	0.16	-0.05
15	724.3701	724.6815	724.3943	0.00	-0.04
16	738.3230	737.4535	737.2590	-0.14	-0.03
17	751.3411	749.3033	749.2346	-0.28	-0.01
18	763.4871	760.3536	760.4225	-0.40	0.01
19	774.8194	770.7124	770.9070	-0.51	0.03
20	785.3925	780.4721	780.7595	-0.59	0.04
21	795.2573	789.7098	790.0392	-0.66	0.04
22	804.4612	798.4881	798.7966	-0.71	0.04
23	813.0485	806.8538	807.0760	-0.74	0.03
24	821.0605	814.8388	814.9175	-0.75	0.01
25	828.5356	822.4600	822.3598	-0.75	-0.01
26	835.5101	829.7188	829.4429	-0.73	-0.03
27	842.0173	836.6017	836.2098	-0.69	-0.05
28	848.0886	843.0797	842.7109	-0.64	-0.04
29	853.7531	849.1092	849.0038	-0.56	-0.01
30	859.0381	854.6308	855.1577	-0.45	0.06

(1)=correlation(1): $V(N)=V(7)+P[1-k^{(N-7)}]$

K= .9330062

P= 362.7049

Tableau I19

=====

Propriet:Temperature de critique [K]

=====

Famille :Olefines

=====

nombre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	507.1833	502.8104	503.6117	-0.71	0.16
7	536.9975	536.0000	536.9975	0.00	0.19
8	564.3570	565.8008	566.3123	0.35	0.09
9	589.4638	592.5195	592.3941	0.49	-0.02
10	612.5035	616.4466	615.8373	0.54	-0.10
11	633.6461	637.8583	637.0505	0.53	-0.13
12	653.0481	657.0146	656.3036	0.50	-0.11
13	670.8526	674.1609	673.7746	0.43	-0.06
14	687.1911	689.5265	689.5830	0.35	0.01
15	702.1843	703.3258	703.8230	0.23	0.07
16	715.9433	715.7580	716.5861	0.09	0.12
17	728.5692	727.0065	727.9798	-0.08	0.13
18	740.1556	737.2394	738.1387	-0.27	0.12
19	750.7881	746.6100	747.2281	-0.48	0.08
20	760.5453	755.2558	755.4447	-0.68	0.03
21	769.4989	763.2990	763.0081	-0.85	-0.04
22	777.7155	770.8463	770.1471	-0.98	-0.09
23	785.2555	777.9895	777.0738	-1.05	-0.12
24	792.1747	784.8047	783.9673	-1.05	-0.11
25	798.5242	791.3529	790.9308	-0.96	-0.05
26	804.3510	797.6795	797.9521	-0.80	0.03
27	809.6979	803.8146	804.8696	-0.60	0.13
28	814.6047	809.7729	811.2950	-0.41	0.19
29	819.1075	815.5543	816.5860	-0.31	0.13
30	823.2395	821.1423	819.7540	-0.43	-0.17

(1)=correlation(1):V(N)=V(7)+P(1-k^(N-7))

K= .9176653

P= 332.2955

Tableau I20

=====

Propriete:Temperature critique [K]

=====

Famille :Aromatiques

=====

Nbre: de(C)	val cal: (1)	val cal: (4)	val : exp	%d'ecart: (1)	%d'ecart: (4)
6	564.3152	562.6691	562.8403	-0.26	0.03
7	590.7048	590.7517	590.7048	0.00	-0.01
8	615.0265	616.3163	616.1858	0.19	-0.02
9	637.4424	639.5713	639.4426	0.31	-0.02
10	658.1019	660.7151	660.6350	0.38	-0.01
11	677.1425	679.9357	679.9212	0.41	-0.00
12	694.6911	697.4100	697.4580	0.40	0.01
13	710.8646	713.3046	713.3981	0.36	0.01
14	725.7708	727.7756	727.8910	0.29	0.02
15	739.5090	740.9688	741.0802	0.21	0.02
16	752.1706	753.0185	753.1033	0.12	0.01
17	763.8401	764.0495	764.0906	0.03	0.01
18	774.5953	774.1754	774.1641	-0.06	-0.00
19	784.5076	783.4992	783.4363	-0.14	-0.01
20	793.6433	792.1140	792.0095	-0.21	-0.01
21	802.0631	800.1015	799.9745	-0.26	-0.02
22	809.8231	807.5333	807.4093	-0.30	-0.02
23	816.9751	814.4704	814.3792	-0.32	-0.01
24	823.5666	820.9631	820.9341	-0.32	-0.00
25	829.6417	827.0515	827.1091	-0.31	0.01
26	835.2408	832.7645	832.9220	-0.28	0.02
27	840.4010	838.1208	838.3736	-0.24	0.03
28	845.1569	843.1286	843.4453	-0.20	0.04
29	849.5402	847.7852	848.0996	-0.17	0.04
30	853.5800	852.0781	852.2777	-0.15	0.02

(1)=correlation(1): $V(N)=V(7)+P[1-k^{(N-7)}]$

K= .9216416

P= 310.391

Tableau I21

=====

Propriete:Pression critique[atm]

=====

Famille :Paraffines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	29.7300	29.5443	29.7300	0.00	0.62
7	27.3787	26.9739	27.0000	-1.40	0.10
8	25.2205	24.7132	24.5400	-2.77	-0.71
9	23.2398	22.7244	22.5800	-2.92	-0.64
10	21.4217	20.9728	20.7600	-3.19	-1.02
11	19.7531	19.4259	19.4000	-1.82	-0.13
12	18.2216	18.0542	18.0000	-1.23	-0.30
13	16.8159	16.8311	17.0000	1.08	0.99
14	15.5258	15.7324	16.0000	2.96	1.67
15	14.3416	14.7368	15.0000	4.39	1.75
16	13.2548	13.8255	14.0000	5.32	1.25
17	12.2572	12.9828	13.0000	5.71	0.13
18	11.3417	12.1953	12.0000	5.49	-1.63
19	10.5013	11.4527	11.0000	4.53	-4.12
20	9.7300	10.7471	11.0000	11.55	2.30
21	9.0221	10.0735	9.9900	9.69	-0.84
22	8.3724	9.4296	9.3800	10.74	-0.53
23	7.7761	8.8159	8.8000	11.64	-0.18
24	7.2287	8.2353	8.2800	12.70	0.54
25	6.7264	7.6938	7.7800	13.54	1.11
26	6.2653	7.1999	7.3300	14.53	1.78
27	5.8421	6.7649	6.9000	15.33	1.96
28	5.4536	6.4027	6.5100	16.23	1.65
29	5.0971	6.1302	6.1400	16.98	0.16
30	4.7699	5.9667	5.8000	17.76	-2.87

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)-P(1-k^(N-6))

K= .9178284

P= 28.61492

Tableau I22

=====

Propriete:Pression critique[atm]

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	37.4000	37.3245	37.4000	0.00	0.20
7	33.7244	33.2224	33.5000	-0.67	0.83
8	30.4415	29.6214	29.6000	-2.84	-0.07
9	27.5091	26.4733	26.0700	-5.52	-1.55
10	24.8900	23.7324	23.4300	-6.23	-1.29
11	22.5507	21.3555	21.2200	-6.27	-0.64
12	20.4612	19.3018	19.2000	-6.57	-0.53
13	18.5949	17.5332	17.7000	-5.06	0.94
14	16.9279	16.0137	16.3000	-3.85	1.76
15	15.4390	14.7100	15.0000	-2.93	1.93
16	14.1091	13.5912	13.8400	-1.94	1.80
17	12.9213	12.6290	12.8000	-0.95	1.34
18	11.8603	11.7974	11.9000	0.33	0.86
19	10.9127	11.0729	11.1000	1.69	0.24
20	10.0663	10.4345	10.1000	0.33	-3.31
21	9.3103	9.8637	9.6000	3.02	-2.75
22	8.6350	9.3444	9.0500	4.59	-3.25
23	8.0319	8.8631	8.6200	6.82	-2.82
24	7.4932	8.4085	8.2800	9.50	-1.55
25	7.0120	7.9722	8.0000	12.35	0.35
26	6.5822	7.5478	7.7500	15.07	2.61
27	6.1983	7.1315	7.4600	16.91	4.40
28	5.8555	6.7223	7.0600	17.06	4.78
29	5.5492	6.3213	6.4500	13.97	2.00
30	5.2757	5.9322	5.4900	3.90	-8.05

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)-P(1-k^(N-6))

K= .8931886

P= 34.41173

Tableau I23

=====

Propriete:Pression critique[atm]

=====

Famille :Olefines

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (4)
6	31.0000	30.8341	31.0000	0.00	0.54
7	28.1089	28.1971	28.0000	-0.39	-0.70
8	25.5014	25.7932	26.0000	1.92	0.80
9	23.1495	23.6059	23.0000	-0.65	-2.63
10	21.0284	21.6190	22.0000	4.42	1.73
11	19.1152	19.8173	19.7000	2.97	-0.60
12	17.3897	18.1860	18.3000	4.97	0.62
13	15.8334	16.7109	16.8000	5.75	0.53
14	14.4297	15.3786	15.4000	6.30	0.14
15	13.1637	14.1764	14.4000	8.59	1.55
16	12.0219	13.0920	13.2000	8.92	0.82
17	10.9920	12.1140	11.9600	8.09	-1.29
18	10.0632	11.2315	10.9500	8.10	-2.57
19	9.2254	10.4342	10.1200	8.84	-3.10
20	8.4698	9.7125	9.8000	13.57	0.89
21	7.7883	9.0576	9.1000	14.41	0.47
22	7.1737	8.4612	8.8000	18.48	3.85
23	6.6193	7.9155	7.9000	16.21	-0.20
24	6.1193	7.4136	7.4000	17.31	-0.18
25	5.6683	6.9492	6.9000	17.85	-0.71
26	5.2616	6.5166	6.5000	19.05	-0.25
27	4.8947	6.1106	6.1000	19.76	-0.17
28	4.5638	5.7268	5.7000	19.93	-0.47
29	4.2654	5.3615	5.4000	21.01	0.71
30	3.9962	5.0116	5.0000	20.08	-0.23

(1)=correlation(1):V(N)=V(6)-P(1-k^(N-6))

K= .9019275

P= 29.47909

Tableau I24

=====

Propriete:Pression critique[atm]

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (2)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (2)
6	44.8974	47.3917	48.3400	7.12	1.96
7	40.5500	41.2930	40.5500	0.00	-1.83
8	36.6988	36.1874	35.6200	-3.03	-1.59
9	33.2873	31.9449	31.5800	-5.41	-1.16
10	30.2651	28.4445	28.4900	-6.23	0.16
11	27.5880	25.5746	25.7000	-7.35	0.49
12	25.2164	23.2325	23.5000	-7.30	1.14
13	23.1156	21.3249	21.5000	-7.51	0.81
14	21.2546	19.7676	20.1000	-5.74	1.65
15	19.6060	18.4857	18.7000	-4.84	1.15
16	18.1456	17.4133	17.6000	-3.10	1.06
17	16.8519	16.4938	16.5000	-2.13	0.04
18	15.7059	15.6799	15.6000	-0.68	-0.51
19	14.6907	14.9332	14.8000	0.74	-0.90
20	13.7914	14.2248	14.0000	1.49	-1.61
21	12.9948	13.5348	13.3000	2.29	-1.77
22	12.2891	12.8525	12.7000	3.24	-1.20
23	11.6639	12.1765	11.9100	2.07	-2.24
24	11.1101	11.5144	11.3700	2.29	-1.27
25	10.6195	10.8831	10.9200	2.75	0.34
26	10.1850	10.3088	10.5300	3.28	2.10
27	9.8000	9.8268	10.1900	3.83	3.56
28	9.4590	9.4813	9.8500	3.97	3.74
29	9.1569	9.3262	9.4600	3.20	1.41
30	8.8893	9.4244	8.9300	0.46	-5.54

(1)=correlation(1):V(N)=V(7)-P(1-k^(N-7))

K= .8858486

P= 33.73745

Tableau I25

=====

Propriete:Tension supeficielle[dyne/cm]

=====

Famille :Paraffines

=====

Nbre: de(C)	val cal: (1)	val cal: (2)	val : exp	%d'ecart: (1)	%d'ecart: (2)
6	18.3174	17.7643	17.7900	-2.96	0.14
7	19.6300	19.5238	19.6300	0.00	0.54
8	20.8112	21.0217	21.1300	1.51	0.51
9	21.8741	22.2912	22.3700	2.22	0.35
10	22.8307	23.3634	23.3900	2.39	0.11
11	23.6914	24.2669	24.2500	2.30	-0.07
12	24.4661	25.0279	24.9700	2.02	-0.23
13	25.1631	25.6705	25.5800	1.63	-0.35
14	25.7904	26.2161	26.1200	1.26	-0.37
15	26.3549	26.6841	26.6000	0.92	-0.32
16	26.8629	27.0913	27.0400	0.65	-0.19
17	27.3201	27.4522	27.4300	0.40	-0.08
18	27.7315	27.7791	27.8000	0.25	0.08
19	28.1017	28.0817	28.1400	0.14	0.21
20	28.4348	28.3676	28.4500	0.05	0.29
21	28.7346	28.6419	28.7300	-0.02	0.31
22	29.0044	28.9073	28.9900	-0.05	0.29
23	29.2472	29.1644	29.2300	-0.06	0.22
24	29.4657	29.4112	29.4300	-0.12	0.06
25	29.6623	29.6434	29.6200	-0.14	-0.08
26	29.8392	29.8544	29.7800	-0.20	-0.25
27	29.9984	30.0353	29.9300	-0.23	-0.35
28	30.1417	30.1748	30.0700	-0.24	-0.35
29	30.2706	30.2592	30.2300	-0.13	-0.10
30	30.3867	30.2724	30.4200	0.11	0.49

(1)=correlation(1): $V(N)=V(7)+P[1-k^{(N-7)}]$

K= .8998981

P= 11.79974

Tableau 126

=====

Propriete:Tension superficielle[dyne/cm]

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (2)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (2)
6	33.5875	33.6996	33.6996	0.33	0.00
7	34.4779	34.4779	34.4779	0.00	0.00
8	35.2223	35.1687	35.1687	-0.15	-0.00
9	35.8445	35.7785	35.7785	-0.18	-0.00
10	36.3647	36.3136	36.3136	-0.14	-0.00
11	36.7996	36.7800	36.7800	-0.05	0.00
12	37.1631	37.1834	37.1834	0.05	-0.00
13	37.4670	37.5297	37.5297	0.17	0.00
14	37.7211	37.8241	37.8241	0.27	0.00
15	37.9335	38.0718	38.0718	0.36	-0.00
16	38.1110	38.2780	38.2780	0.44	-0.00
17	38.2595	38.4474	38.4474	0.49	0.00
18	38.3835	38.5845	38.5845	0.52	0.00
19	38.4873	38.6938	38.6938	0.53	0.00
20	38.5740	38.7794	38.7794	0.53	-0.00
21	38.6465	38.8453	38.8453	0.51	-0.00
22	38.7071	38.8953	38.8953	0.48	0.00
23	38.7577	38.9329	38.9329	0.45	0.00
24	38.8001	38.9614	38.9614	0.41	0.00
25	38.8355	38.9839	38.9839	0.38	-0.00
26	38.8651	39.0035	39.0035	0.35	0.00
27	38.8898	39.0227	39.0227	0.34	-0.00
28	38.9105	39.0442	39.0442	0.34	-0.00
29	38.9278	39.0702	39.0702	0.36	-0.00
30	38.9423	39.1028	39.1028	0.41	-0.00

(1)=correlation(1):V(N)=V(7)+P(1-k^(N-7))

K= .8359755

P= 4.538046

Tableau I27

=====

Propriete:Tension supeficielle[dyne/cm]

=====

Famille :Oleffines

=====

Nbre: de(C)	val cal: (1)	val cal: (2)	val : exp	%d'ecart: (1)	%d'ecart: (2)
6	18.3288	17.8019	17.8900	-2.45	0.49
7	19.7900	19.6249	19.7900	0.00	0.83
8	21.0881	21.1710	21.3100	1.04	0.65
9	22.2412	22.4758	22.5400	1.33	0.28
10	23.2656	23.5725	23.5500	1.21	-0.10
11	24.1756	24.4915	24.4100	0.96	-0.33
12	24.9840	25.2610	25.1400	0.62	-0.48
13	25.7021	25.9066	25.7900	0.34	-0.45
14	26.3401	26.4513	26.3600	0.08	-0.35
15	26.9068	26.9157	26.8700	-0.14	-0.17
16	27.4102	27.3178	27.3200	-0.33	0.01
17	27.8574	27.6732	27.7200	-0.50	0.17
18	28.2547	27.9949	28.0700	-0.66	0.27
19	28.6076	28.2935	28.3800	-0.80	0.30
20	28.9211	28.5769	28.6600	-0.91	0.29
21	29.1997	28.8508	28.9000	-1.04	0.17
22	29.4471	29.1180	29.1300	-1.09	0.04
23	29.6668	29.3792	29.3500	-1.08	-0.10
24	29.8621	29.6322	29.5700	-0.99	-0.21
25	30.0355	29.8726	29.7900	-0.82	-0.28
26	30.1896	30.0934	30.0100	-0.60	-0.28
27	30.3265	30.2850	30.2400	-0.29	-0.15
28	30.4481	30.4355	30.4300	-0.06	-0.02
29	30.5561	30.5302	30.5700	0.05	0.13
30	30.6520	30.5521	30.6000	-0.17	0.16

(1)=correlation(1):V(N)=V(7)+P[1-k^(N-7)]

K= .8883405

P= 11.6254

Tableau I28

=====

Propriete:Tension superficielle[dyne/cm]

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (1)	val cal (2)	val exp	%d'ecart (1)	%d'ecart (2)
6	21.4075	21.6314	21.6314	1.03	0.00
7	23.4990	23.4990	23.4990	0.00	-0.00
8	25.4131	25.1964	25.1964	-0.86	0.00
9	27.1649	26.7868	26.7868	-1.41	-0.00
10	28.7680	28.3045	28.3045	-1.64	0.00
11	30.2352	29.7620	29.7620	-1.59	-0.00
12	31.5780	31.1575	31.1575	-1.35	0.00
13	32.8069	32.4803	32.4803	-1.01	0.00
14	33.9316	33.7163	33.7163	-0.64	-0.00
15	34.9608	34.8520	34.8520	-0.31	-0.00
16	35.9028	35.8774	35.8774	-0.07	0.00
17	36.7649	36.7882	36.7882	0.06	0.00
18	37.5539	37.5874	37.5874	0.09	-0.00
19	38.2759	38.2853	38.2853	0.02	0.00
20	38.9368	38.8989	38.8989	-0.10	-0.00
21	39.5415	39.4505	39.4505	-0.23	0.00
22	40.0950	39.9649	39.9649	-0.33	-0.00
23	40.6015	40.4663	40.4663	-0.33	0.00
24	41.0651	40.9732	40.9732	-0.22	-0.00
25	41.4894	41.4945	41.4945	0.01	-0.00
26	41.8776	42.0210	42.0210	0.34	0.00
27	42.2330	42.5206	42.5206	0.68	0.00
28	42.5582	42.9279	42.9279	0.86	0.00
29	42.8558	43.1372	43.1372	0.65	-0.00
30	43.1282	42.9902	42.9902	-0.32	-0.00

(1)=correlation(1):V(N)=V(7)+P(1-k^(N-7))

K= .9151868

P= 22.56836

Tableau I29

=====

Propriete:Viscosite absolue [Cpoise]

=====

Famille :Paraffines

=====

nbre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	0.2980	0.2981	0.2976	-0.13	-0.17
7	0.3951	0.3938	0.3955	0.11	0.44
8	0.5199	0.5153	0.5136	-1.23	-0.34
9	0.6781	0.6684	0.6676	-1.57	-0.12
10	0.8752	0.8585	0.8588	-1.91	0.04
11	1.1169	1.0913	1.0920	-2.28	0.07
12	1.4086	1.3723	1.3740	-2.52	0.12
13	1.7560	1.7072	1.7060	-2.93	-0.07
14	2.1647	2.1016	2.1040	-2.88	0.12
15	2.6401	2.5609	2.5600	-3.13	-0.04
16	3.1881	3.0909	3.0860	-3.31	-0.16
17	3.8140	3.6970	3.7000	-3.08	0.08
18	4.5234	4.3850	4.3850	-3.16	-0.00
19	5.3221	5.1604	5.1603	-3.13	-0.00
20	6.2154	6.0287	6.0287	-3.10	0.00
21	7.2091	6.9956	6.9956	-3.05	0.00
22	8.3087	8.0666	8.0666	-3.00	-0.00
23	9.5198	9.2474	9.2474	-2.95	0.00
24	10.8479	10.5435	10.5436	-2.89	0.00
25	12.2986	11.9605	11.9606	-2.83	0.00
26	13.8776	13.5041	13.5041	-2.77	0.00
27	15.5903	15.1797	15.1798	-2.70	0.00
28	17.4424	16.9930	16.9931	-2.64	0.00
29	19.4395	18.9497	18.9496	-2.59	-0.00
30	21.5871	21.0551	21.0550	-2.53	-0.00

Correlation(2): $V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6]$

X= .0748695

Y= 1.754358E-02

Z= 2.790038E-03

Tableau I30

=====

Propriete:Viscosite absolue [Cpoise]

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	0.4770	0.4492	0.4770	0.00	5.82
7	0.5533	0.5359	0.5340	-3.62	-0.35
8	0.6732	0.6659	0.6390	-5.35	-4.22
9	0.8413	0.8440	0.8280	-1.60	-1.93
10	1.0621	1.0747	1.0620	-0.01	-1.19
11	1.3404	1.3626	1.3630	1.66	0.03
12	1.6807	1.7123	1.7220	2.40	0.56
13	2.0876	2.1285	2.1400	2.45	0.54
14	2.5658	2.6157	2.6200	2.07	0.16
15	3.1198	3.1786	3.1900	2.20	0.36
16	3.7543	3.8217	3.8300	1.98	0.22
17	4.4738	4.5497	4.5500	1.67	0.01
18	5.2831	5.3671	5.3600	1.43	-0.13
19	6.1867	6.2786	6.2700	1.33	-0.14
20	7.1892	7.2888	7.2900	1.38	0.02
21	8.2953	8.4023	8.4100	1.36	0.09
22	9.5095	9.6237	9.6221	1.17	-0.02
23	10.8365	10.9576	10.9552	1.08	-0.02
24	12.2809	12.4086	12.4056	1.01	-0.02
25	13.8472	13.9813	13.9782	0.94	-0.02
26	15.5402	15.6803	15.6775	0.88	-0.02
27	17.3644	17.5103	17.5082	0.82	-0.01
28	19.3245	19.4758	19.4752	0.77	-0.00
29	21.4250	21.5814	21.5830	0.73	0.01
30	23.6705	23.8318	23.8364	0.70	0.02

Correlation(2):V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6]

X= 3.737512E-02

Y= 3.510523E-02

Z= 2.306853E-03

Tableau I31

=====

Propriete:Viscosite absolue [Cpoise]

=====

Famille :Olefines

=====

nombre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	0.2500	0.2634	0.2500	0.00	-5.35
7	0.3077	0.3444	0.3400	9.49	-1.29
8	0.4020	0.4457	0.4460	9.86	0.07
9	0.5359	0.5742	0.5840	8.24	1.68
10	0.7124	0.7363	0.7540	5.51	2.34
11	0.9347	0.9382	0.9580	2.43	2.06
12	1.2058	1.1856	1.2030	-0.23	1.44
13	1.5287	1.4838	1.5000	-1.91	1.08
14	1.9065	1.8376	1.8200	-4.76	-0.97
15	2.3424	2.2518	2.2300	-5.04	-0.98
16	2.8393	2.7304	2.6900	-5.55	-1.50
17	3.4003	3.2771	3.2400	-4.95	-1.15
18	4.0285	3.8955	3.8500	-4.64	-1.18
19	4.7269	4.5884	4.5600	-3.66	-0.62
20	5.4986	5.3586	5.4319	-1.23	1.35
21	6.3467	6.2082	6.2670	-1.27	0.94
22	7.2743	7.1391	7.1800	-1.31	0.57
23	8.2843	8.1526	8.1739	-1.35	0.26
24	9.3799	9.2500	9.2516	-1.39	0.02
25	10.5641	10.4319	10.4161	-1.42	-0.15
26	11.8401	11.6985	11.6702	-1.46	-0.24
27	13.2107	13.0498	13.0170	-1.49	-0.25
28	14.6792	14.4853	14.4594	-1.52	-0.18
29	16.2486	16.0042	16.0003	-1.55	-0.02
30	17.9219	17.6051	17.6425	-1.58	0.21

Correlation(2):V(N)=V(6)+(N-6){x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6}

X= 2.425611E-02

Y= 3.092229E-02

Z= 1.53198E-03

Tableau I32

=====

Propriete:Viscosite absolue [Cpoise]

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	0.6010	0.5432	0.6010	0.00	9.62
7	0.6672	0.5906	0.5500	-21.31	-7.38
8	0.7638	0.6765	0.6354	-20.21	-6.47
9	0.8978	0.8055	0.7962	-12.77	-1.17
10	1.0766	0.9824	0.9570	-12.49	-2.65
11	1.3071	1.2123	1.2210	-7.06	0.72
12	1.5967	1.5005	1.5230	-4.84	1.48
13	1.9525	1.8527	1.8810	-3.80	1.51
14	2.3816	2.2747	2.3000	-3.55	1.10
15	2.8912	2.7727	2.3600	-22.51	-17.49
16	3.4886	3.3531	2.7900	-25.04	-20.18
17	4.1808	4.0226	4.0200	-4.00	-0.06
18	4.9750	4.7881	4.7800	-4.08	-0.17
19	5.8785	5.6567	5.6300	-4.41	-0.47
20	6.8983	6.6361	6.6100	-4.36	-0.39
21	8.0417	7.7338	7.7200	-4.17	-0.18
22	9.3158	8.9579	8.9600	-3.97	0.02
23	10.7277	10.3166	10.3125	-4.03	-0.04
24	12.2848	11.8184	11.8204	-3.93	0.02
25	13.9941	13.4722	13.4800	-3.81	0.06
26	15.8627	15.2870	15.2992	-3.68	0.08
27	17.8980	17.2720	17.2858	-3.54	0.08
28	20.1070	19.4368	19.4475	-3.39	0.05
29	22.4969	21.7914	21.7921	-3.23	0.00
30	25.0749	24.3457	24.3274	-3.07	-0.08

Correlation(2):V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(n-5)(2N-9)z/6]

X= 4.307028E-02

Y= 1.718279E-02

Z= 3.58536E-03

Tableau I33

=====

Propriete:Chaleur latente de vaporisation [Kcal/mol]

=====

Famille :Paraffines

=====

Nombre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	6.8960	6.8982	6.8960	0.00	-0.03
7	7.5801	7.5761	7.5760	-0.05	-0.00
8	8.2258	8.2157	8.2250	-0.01	0.11
9	8.8354	8.8193	8.8230	-0.14	0.04
10	9.4114	9.3893	9.3870	-0.26	-0.02
11	9.9561	9.9280	9.9200	-0.36	-0.08
12	10.4719	10.4376	10.4300	-0.40	-0.07
13	10.9613	10.9205	10.9100	-0.47	-0.10
14	11.4266	11.3791	11.3800	-0.41	0.01
15	11.8701	11.8155	11.8200	-0.42	0.04
16	12.2943	12.2322	12.2400	-0.44	0.06
17	12.7016	12.6315	12.6400	-0.49	0.07
18	13.0943	13.0156	13.0200	-0.57	0.03
19	13.4748	13.3869	13.3900	-0.63	0.02
20	13.8456	13.7477	13.7400	-0.77	-0.06
21	14.2090	14.1004	14.1000	-0.77	-0.00
22	14.5673	14.4471	14.4460	-0.84	-0.01
23	14.9230	14.7903	14.7890	-0.91	-0.01
24	15.2785	15.1322	15.1310	-0.98	-0.01
25	15.6362	15.4753	15.4740	-1.05	-0.01
26	15.9984	15.8217	15.8210	-1.12	-0.00
27	16.3675	16.1738	16.1730	-1.20	-0.00
28	16.7459	16.5339	16.5340	-1.28	0.00
29	17.1360	16.9043	16.9050	-1.37	0.00
30	17.5402	17.2874	17.2890	-1.45	0.01

Correlation(2): $V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6]$

X= .7248955

Y=-.0427963

Z= 1.193246E-03

Tableau I34

=====

Propriete:Chaleur de vaporisation [Kcal/mol]

=====

Famille :Naphtenes

=====

nbre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	6.9500	7.0143	6.9500	0.00	-0.93
7	7.8418	7.5937	7.7150	-1.64	1.57
8	8.6401	8.1726	8.1520	-5.99	-0.25
9	9.3549	8.7431	8.6890	-7.66	-0.62
10	9.9962	9.2989	9.3100	-7.37	0.12
11	10.5740	9.8352	9.8400	-7.46	0.05
12	11.0981	10.3487	10.3600	-7.12	0.11
13	11.5786	10.8378	10.8500	-6.72	0.11
14	12.0255	11.3023	11.2900	-6.51	-0.11
15	12.4486	11.7438	11.7120	-6.29	-0.27
16	12.8580	12.1652	12.1600	-5.74	-0.04
17	13.2635	12.5713	12.5700	-5.52	-0.01
18	13.6753	12.9680	12.9800	-5.36	0.09
19	14.1031	13.3633	13.3800	-5.40	0.13
20	14.5571	13.7663	13.7800	-5.64	0.10
21	15.0470	14.1880	14.1800	-6.11	-0.06
22	15.5830	14.6407	14.6430	-6.42	0.02
23	16.1750	15.1385	15.1390	-6.84	0.00
24	16.8329	15.6970	15.6959	-7.24	-0.01
25	17.5666	16.3333	16.3300	-7.57	-0.02
26	18.3862	17.0660	17.0619	-7.76	-0.02
27	19.3017	17.9155	17.9110	-7.76	-0.03
28	20.3228	18.9036	18.9000	-7.53	-0.02
29	21.4598	20.0537	20.0537	-7.01	0.00
30	22.7224	21.3907	21.3967	-6.20	0.03

Correlation(2): $V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6]$

X= .9951528

Y=-.1117007

Z= 4.980173E-03

Tableau I35

=====

Propriete:Chaleur de vaporisation [Kcal/mol]

=====

Famille :Olefines

=====

nbre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	6.7600	6.8056	6.7600	0.00	-0.67
7	7.4788	7.4250	7.4300	-0.66	0.07
8	8.1421	8.0369	8.0700	-0.89	0.41
9	8.7538	8.6345	8.6800	-0.85	0.52
10	9.3183	9.2119	9.2400	-0.85	0.30
11	9.8395	9.7643	9.7700	-0.71	0.06
12	10.3216	10.2880	10.2700	-0.50	-0.18
13	10.7687	10.7801	10.7500	-0.17	-0.28
14	11.1850	11.2390	11.2100	0.22	-0.26
15	11.5745	11.6640	11.6300	0.48	-0.29
16	11.9413	12.0552	12.0500	0.90	-0.04
17	12.2897	12.4141	12.3900	0.81	-0.19
18	12.6236	12.7429	12.7400	0.91	-0.02
19	12.9472	13.0451	13.0600	0.86	0.11
20	13.2647	13.3249	13.3500	0.64	0.19
21	13.5801	13.5879	13.6180	0.28	0.22
22	13.8976	13.8403	13.8710	-0.19	0.22
23	14.2212	14.0896	14.1140	-0.76	0.17
24	14.5551	14.3443	14.3560	-1.39	0.08
25	14.9035	14.6139	14.6080	-2.02	-0.04
26	15.2704	14.9087	14.8850	-2.59	-0.16
27	15.6599	15.2404	15.2040	-3.00	-0.24
28	16.0762	15.6215	15.5850	-3.15	-0.23
29	16.5233	16.0654	16.0530	-2.93	-0.08
30	17.0055	16.5868	16.6360	-2.22	0.30

Correlation(2):V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6]

X= .7785085

Y=-.0631218

Z= .0020584

Tableau I36

=====

Propriete:Chaleur de vaporisation [Kcal/mol]

=====

Famille :Aromatiques

=====

nbre de (C)	val cal (2)	val cal (4)	val exp	%d'ecart (2)	%d'ecart (4)
6	7.3520	7.5929	7.3520	0.00	-3.28
7	8.2143	7.9145	7.9310	-3.57	0.21
8	8.9528	8.3298	8.5000	-5.33	2.00
9	9.5831	8.8084	9.1400	-4.85	3.63
10	10.1206	9.3241	9.3800	-7.90	0.60
11	10.5811	9.8546	9.8500	-7.42	-0.05
12	10.9800	10.3818	10.3000	-6.60	-0.79
13	11.3330	10.8918	10.8000	-4.93	-0.85
14	11.6555	11.3748	11.2000	-4.07	-1.56
15	11.9633	11.8250	11.7000	-2.25	-1.07
16	12.2717	12.2407	12.1200	-1.25	-1.00
17	12.5965	12.6245	12.5000	-0.77	-1.00
18	12.9532	12.9830	13.0000	0.36	0.13
19	13.3574	13.3268	13.4000	0.32	0.55
20	13.8245	13.6708	13.8000	-0.18	0.94
21	14.3703	14.0340	14.2000	-1.20	1.17
22	15.0103	14.4392	14.6000	-2.81	1.10
23	15.7599	14.9138	15.0400	-4.79	0.84
24	16.6349	15.4890	15.5490	-6.98	0.39
25	17.6508	16.2001	16.1690	-9.16	-0.19
26	18.8231	17.0866	16.9610	-10.98	-0.74
27	20.1675	18.1922	17.9980	-12.05	-1.08
28	21.6994	19.5645	19.3720	-12.01	-0.99
29	23.4346	21.2553	21.1900	-10.59	-0.31
30	25.3884	23.3207	23.5800	-7.67	1.10

Correlation(2): $V(N)=V(6)+(N-6)[x+(N-5)y/2+(N-5)(2N-9)z/6]$

X= 1.001709

Y=-.1523669

Z= 7.785385E-03

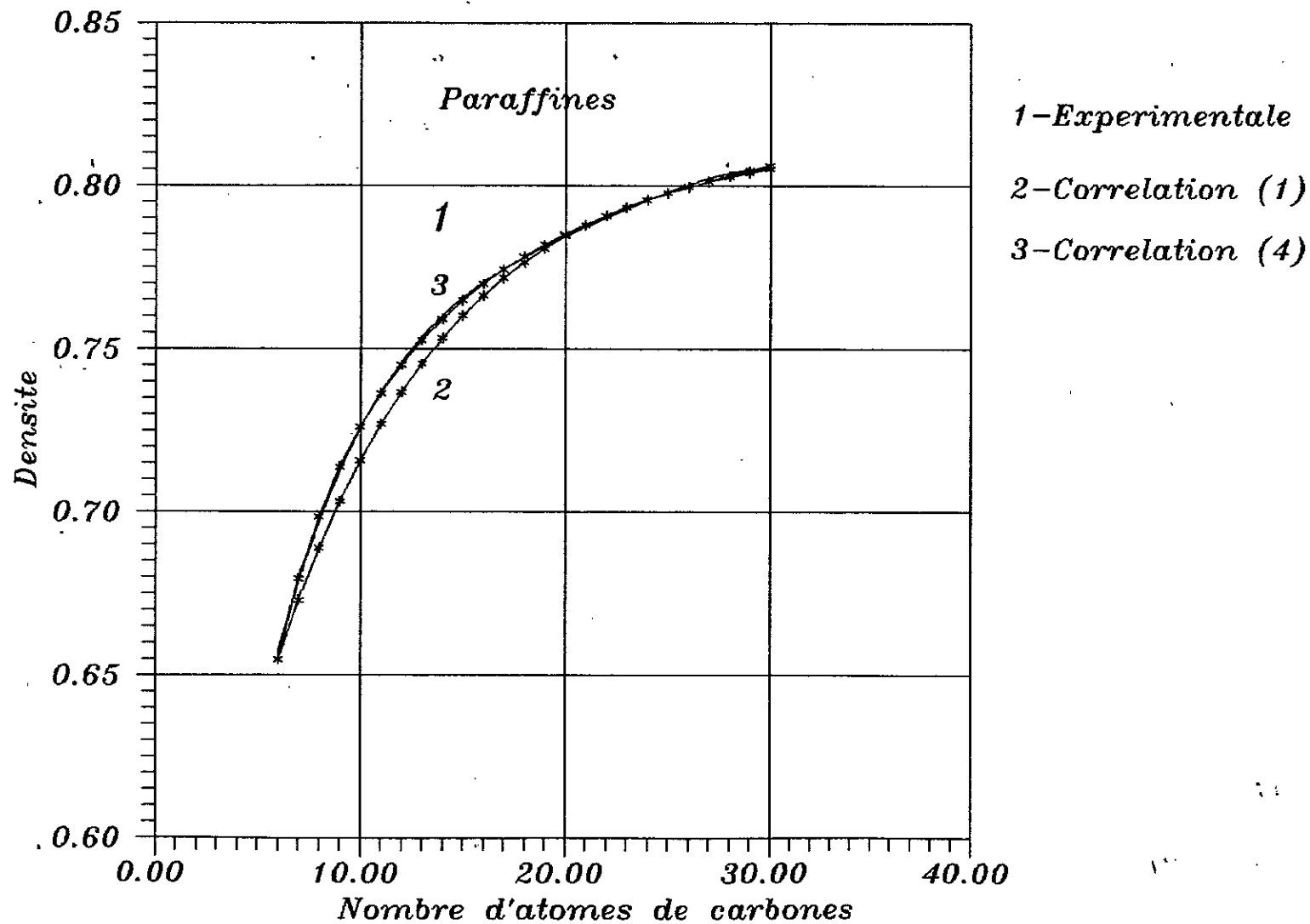


Fig 11: Comparaison pour la densite des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales .

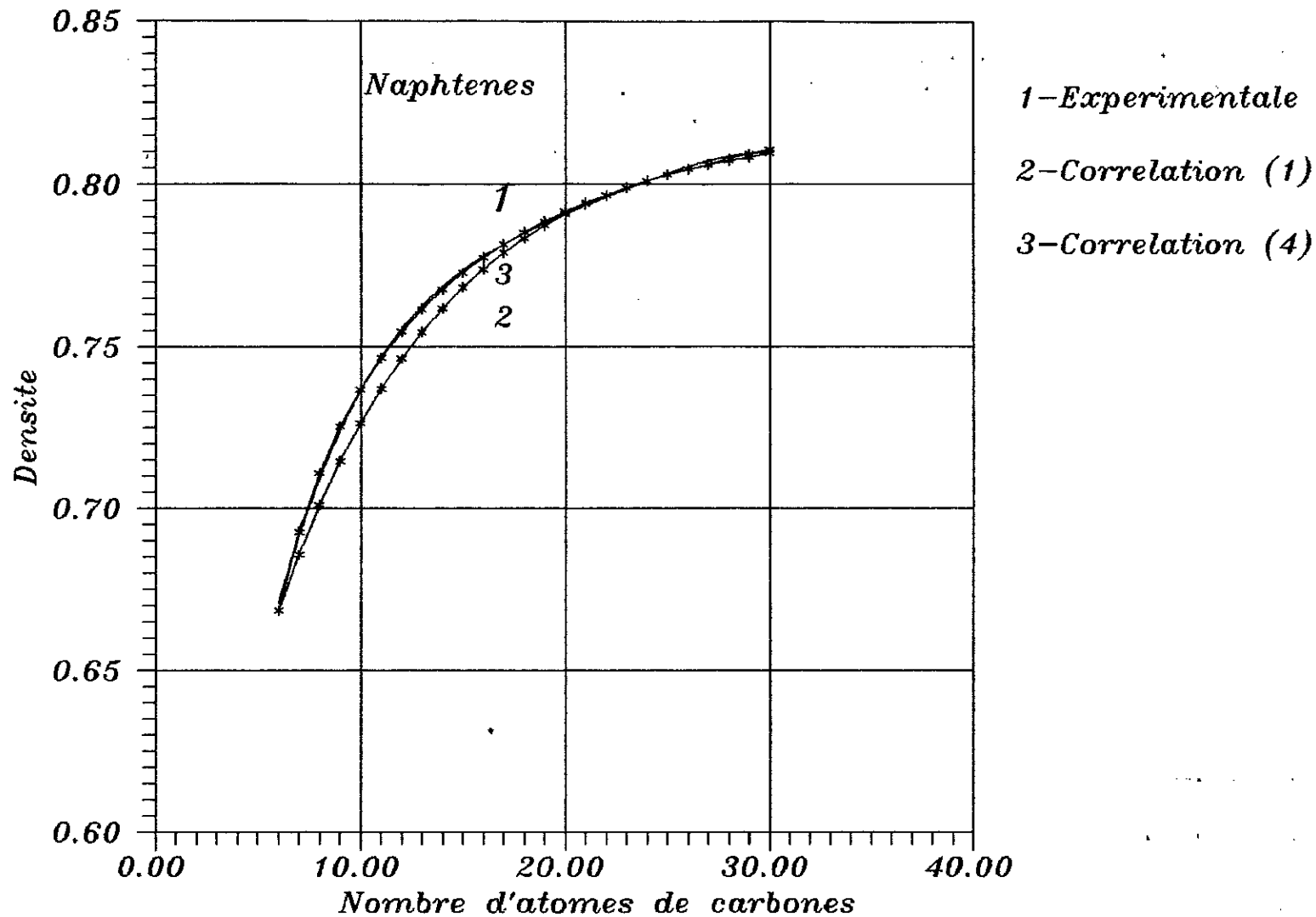


Fig 12: comparaison pour la densite des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

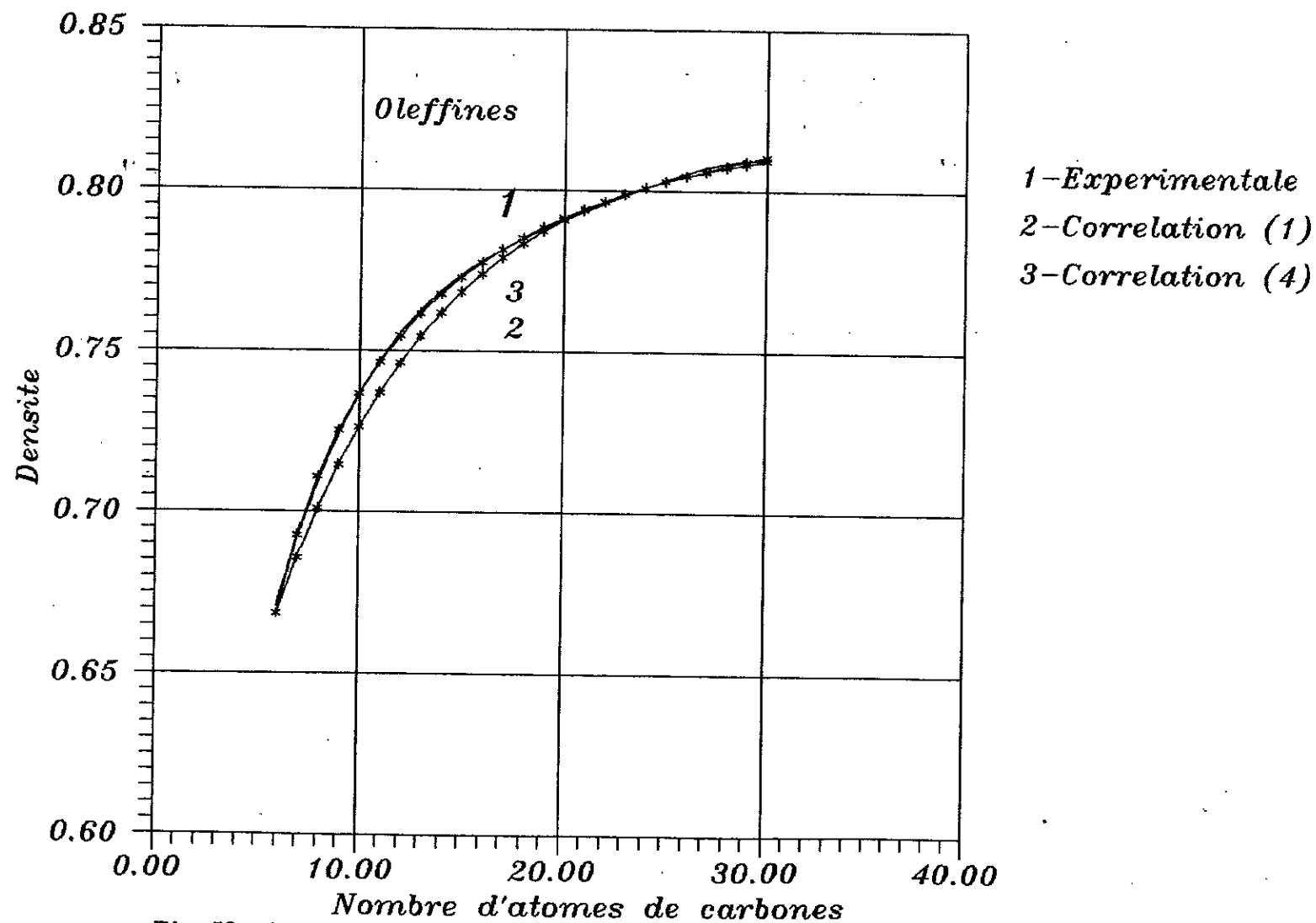


Fig 13: Comparaison pour la densite des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

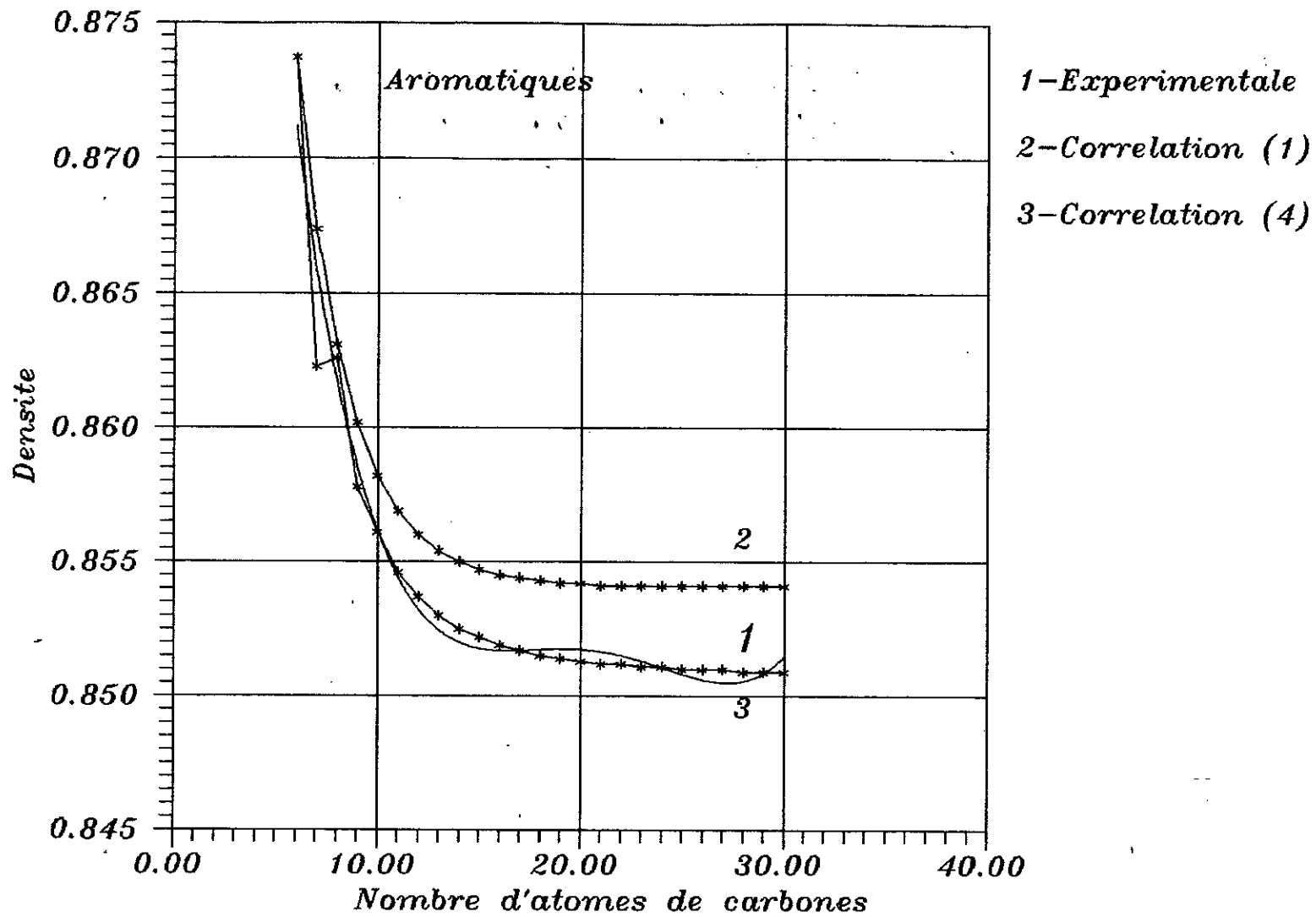


Fig 14: Comparaison pour la densite des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales .

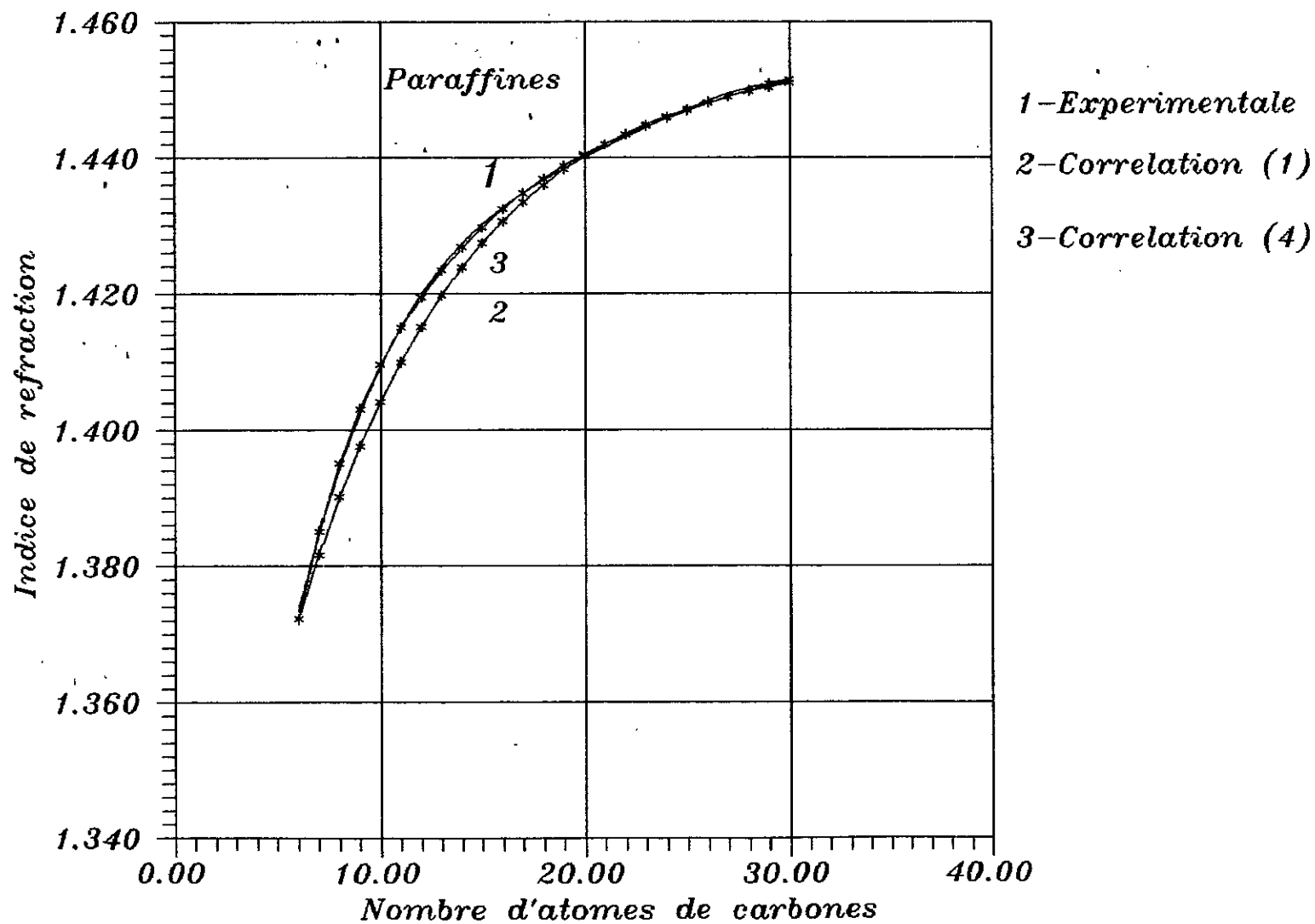


Fig 15: Comparaison pour l'indice de refraction des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

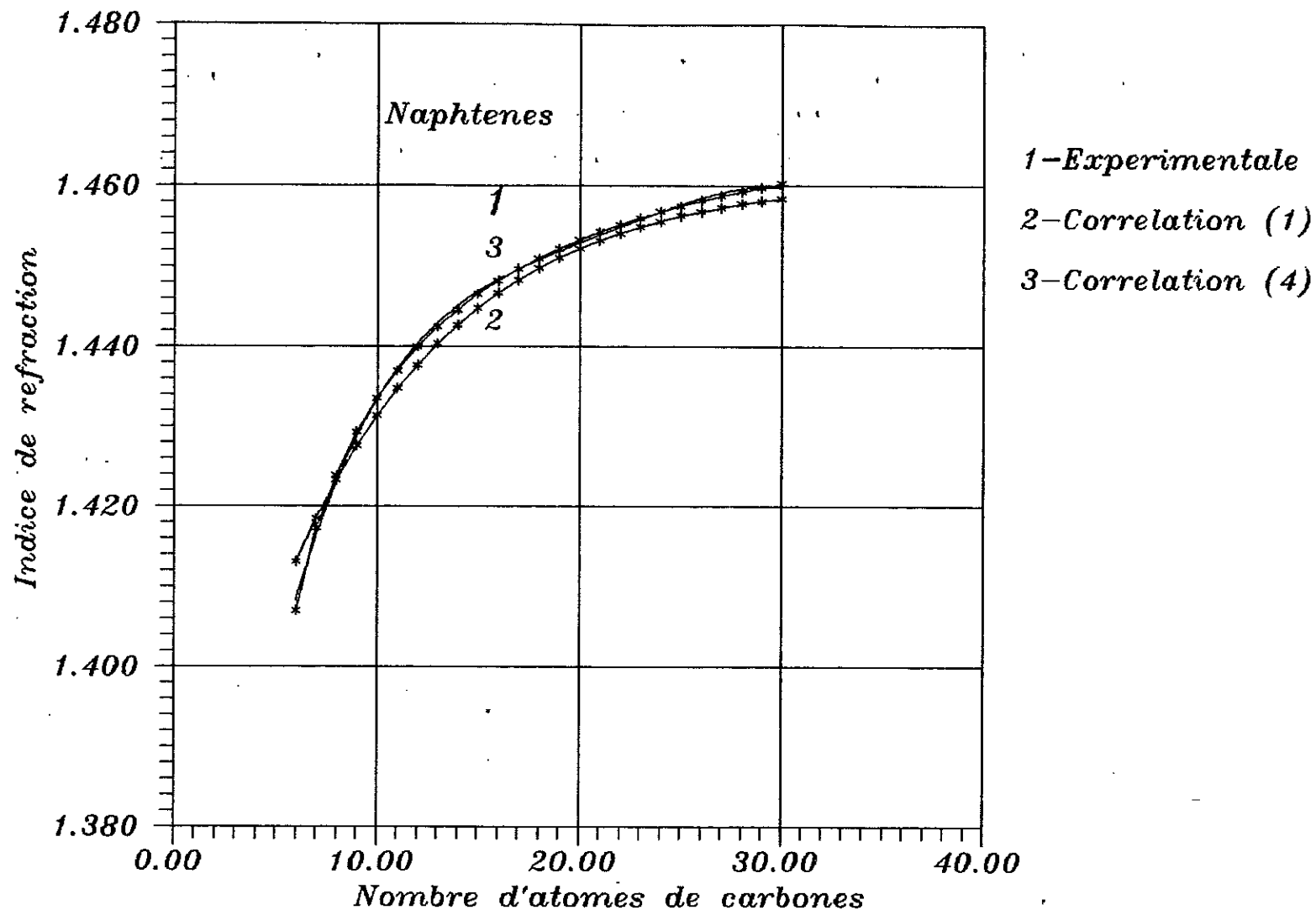


Fig 16: Comparaison pour l'indice de refraction des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

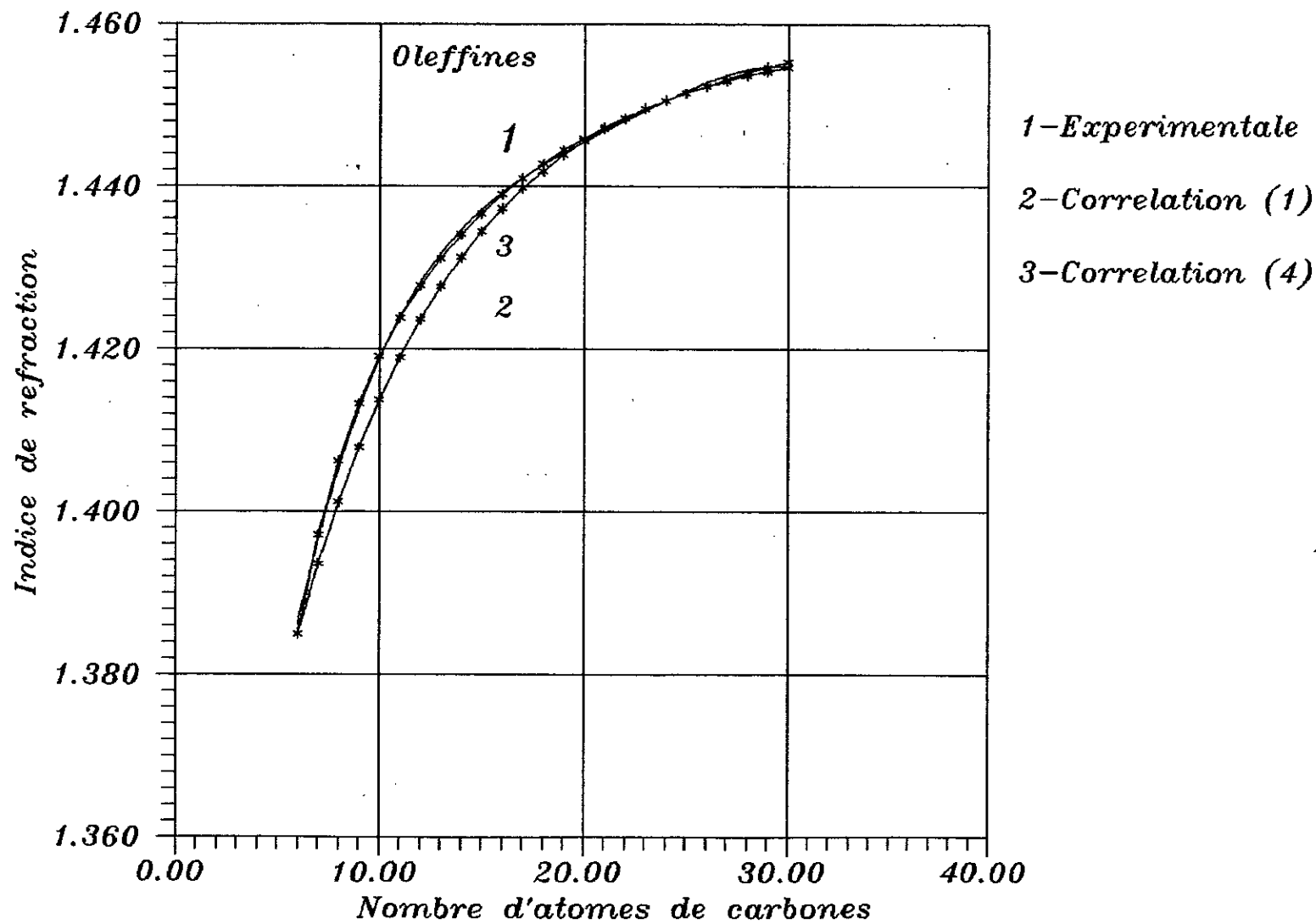


Fig 17: comparaison pour l'indice de refraction des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

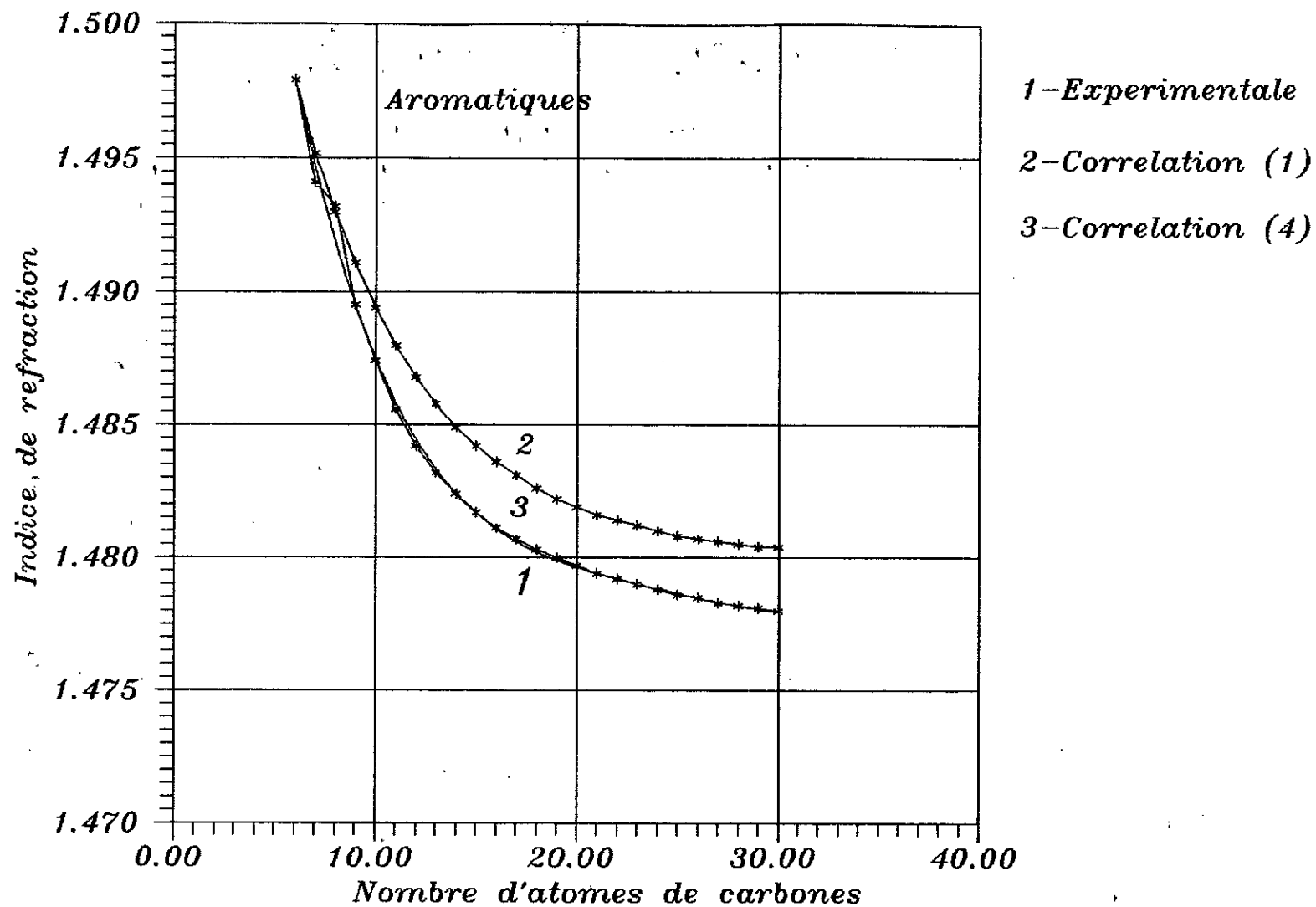


Fig 18: Comparaison pour l'indice de refraction des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

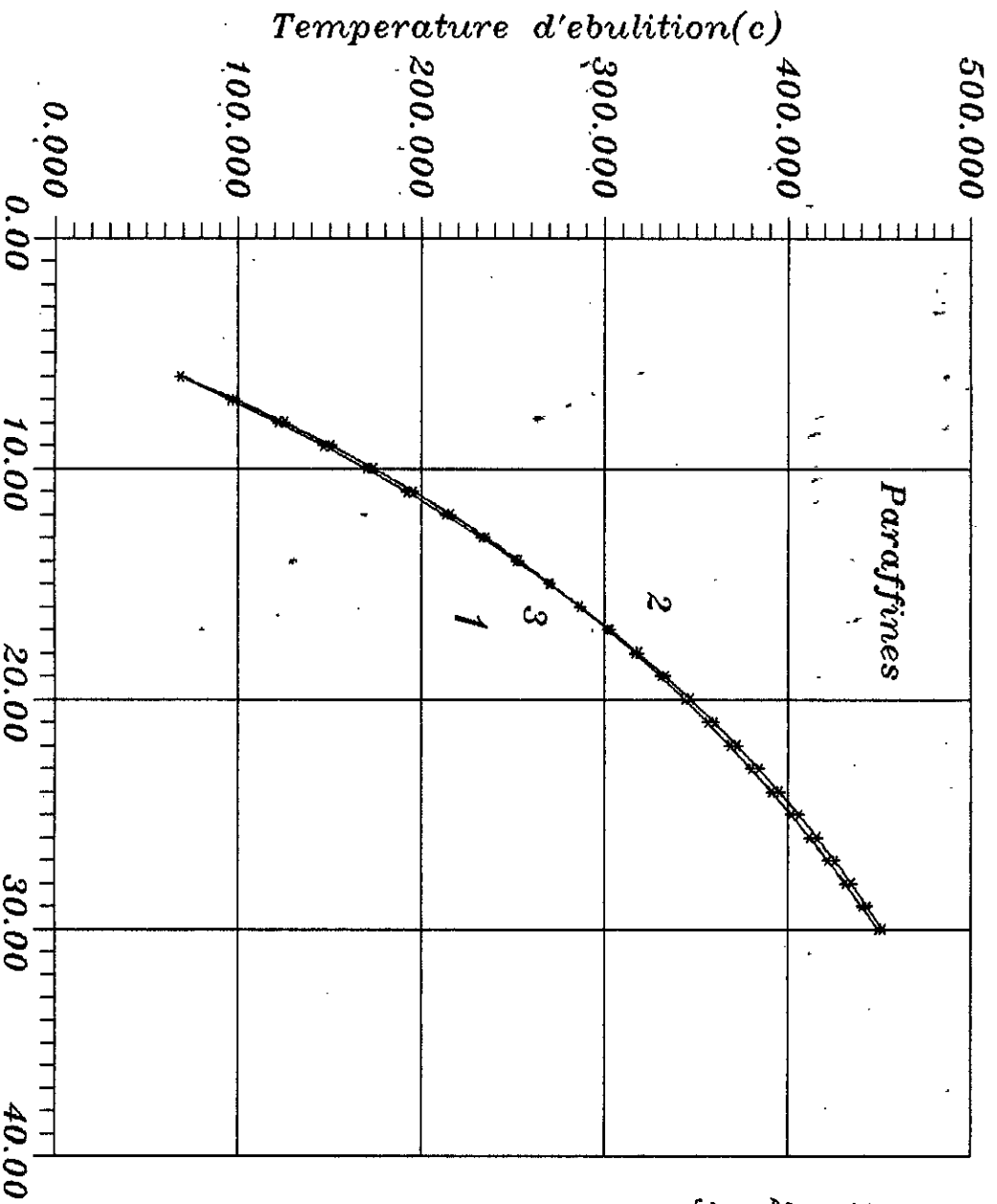


Fig 19: Comparaison pour la temperature d'ebulition des courbes obtenues par l'utilisation des correlation (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

- 1-Experimentale
- 2-Correlation (1)
- 3-Correlation (4)

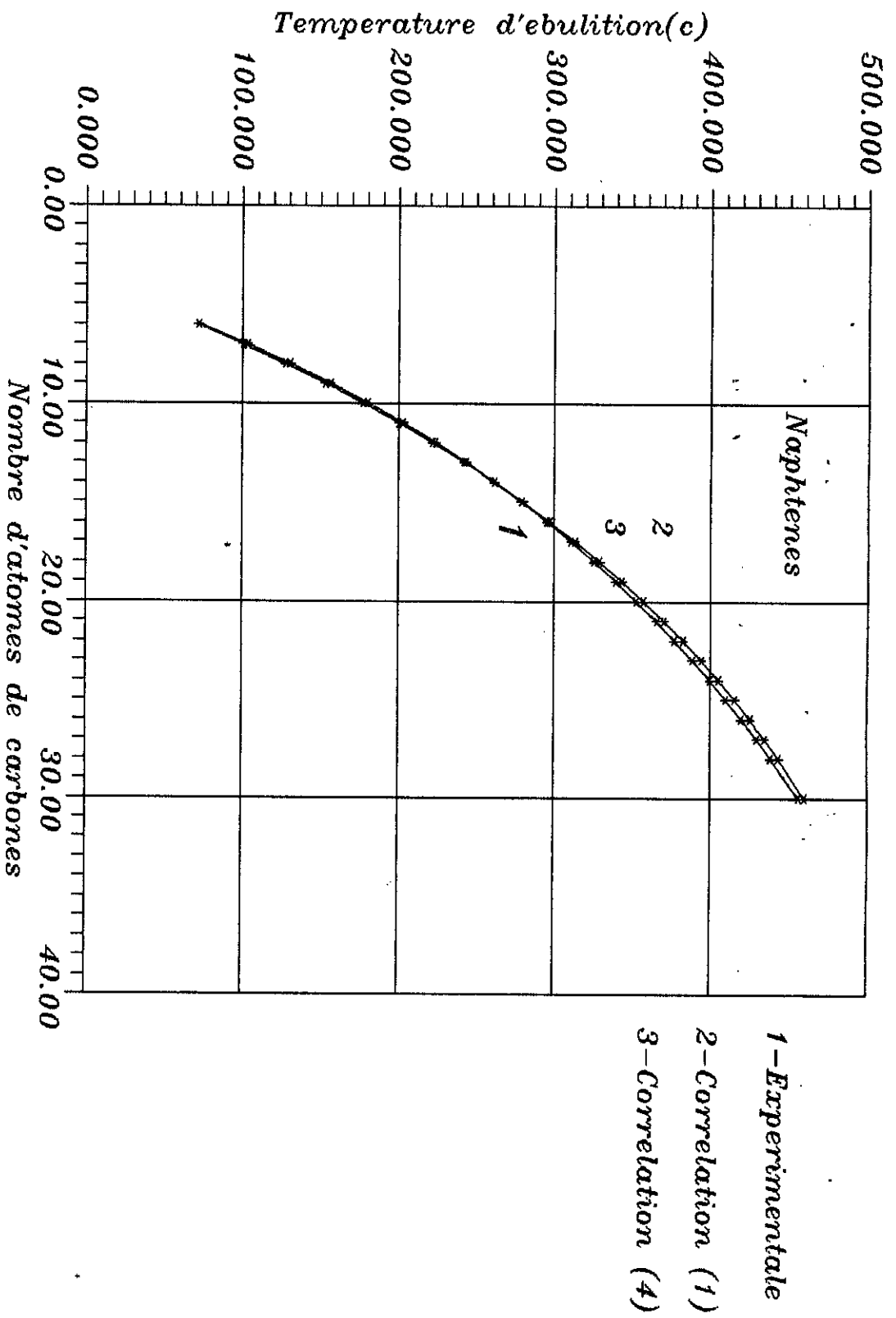


Fig 110: Comparaison pour la temperature d'ebullition des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales .

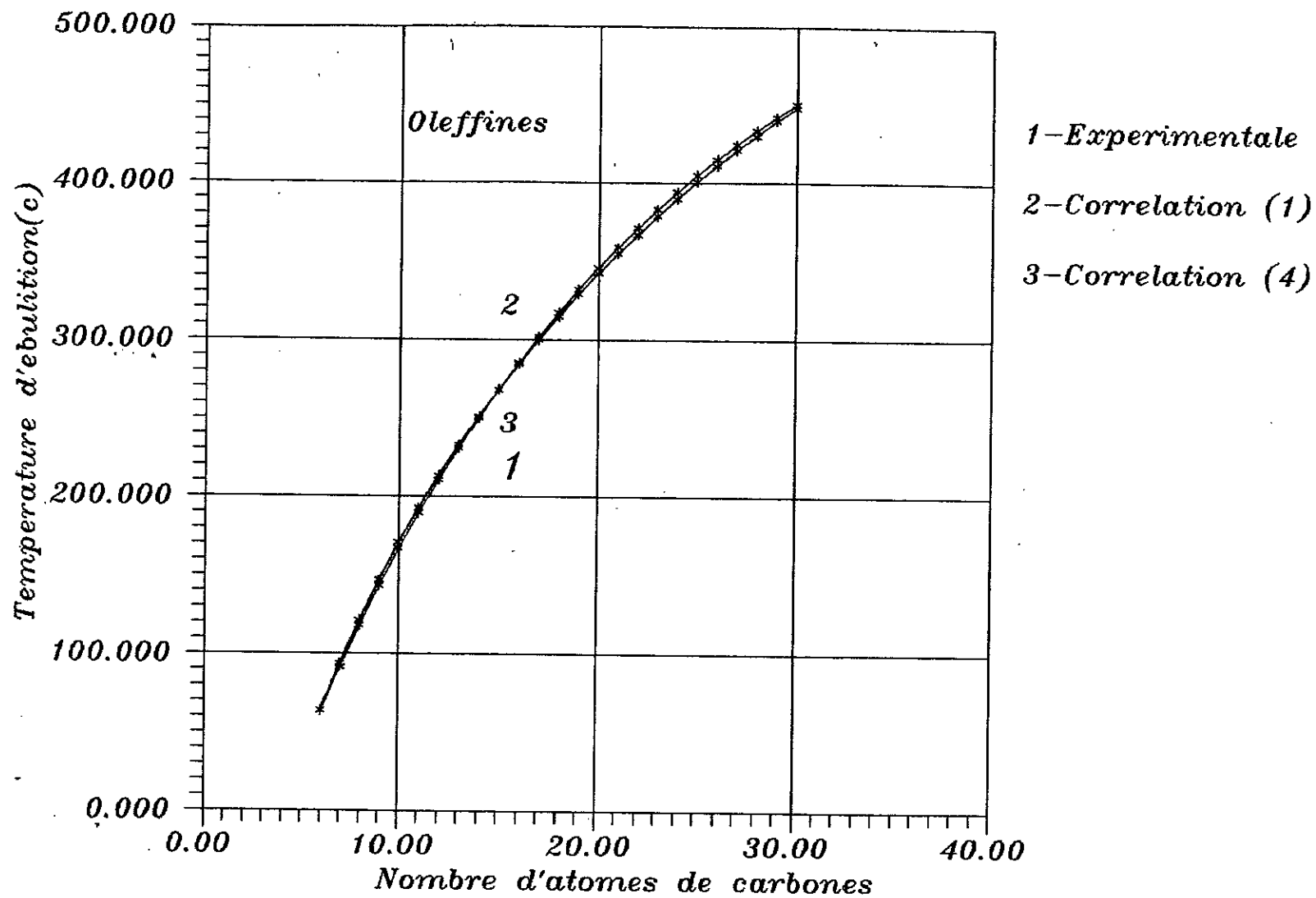


Fig 111: Coparaison pour la temperature d'ebullition des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

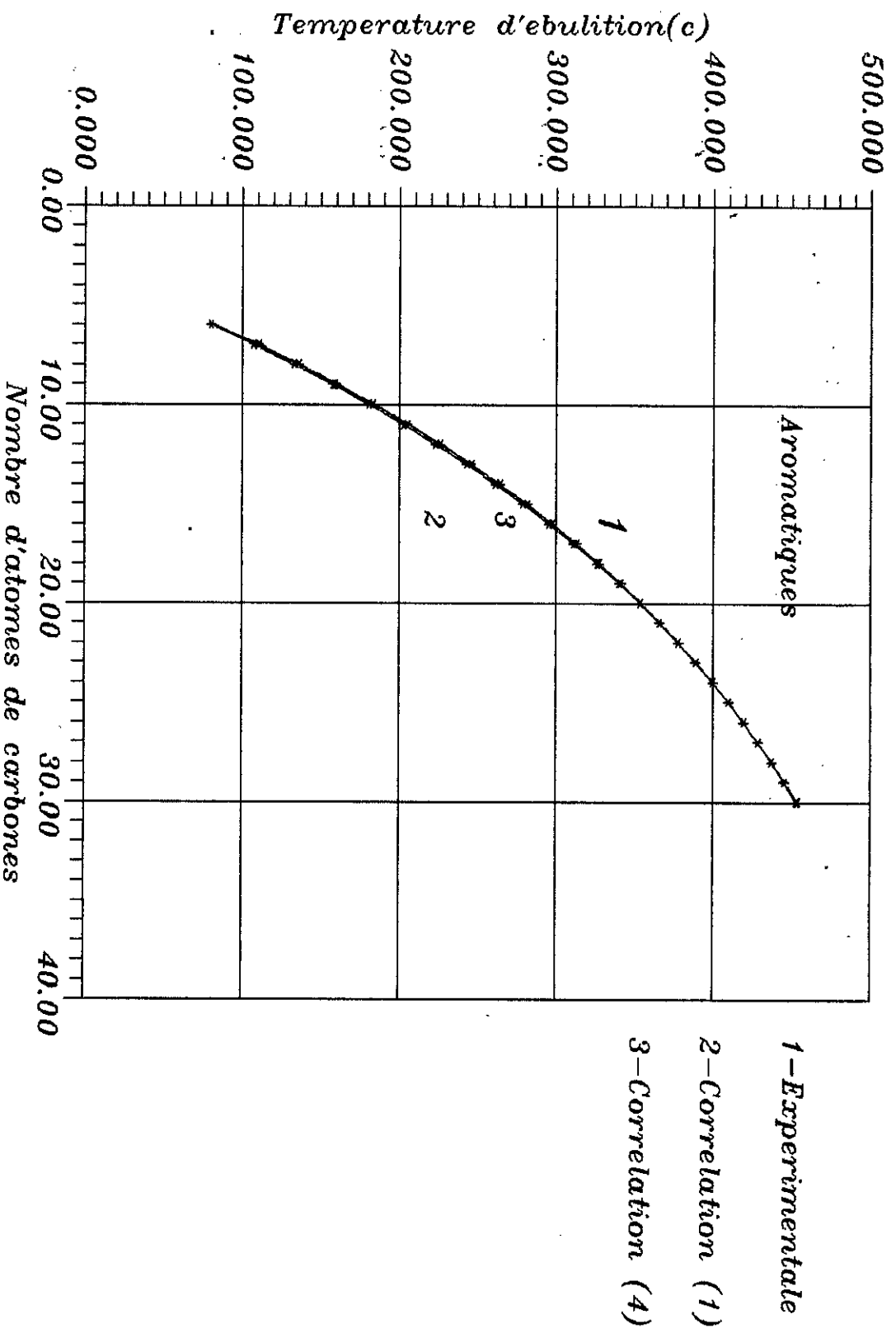


Fig 112: Comparaison pour la temperature d'ebullition des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

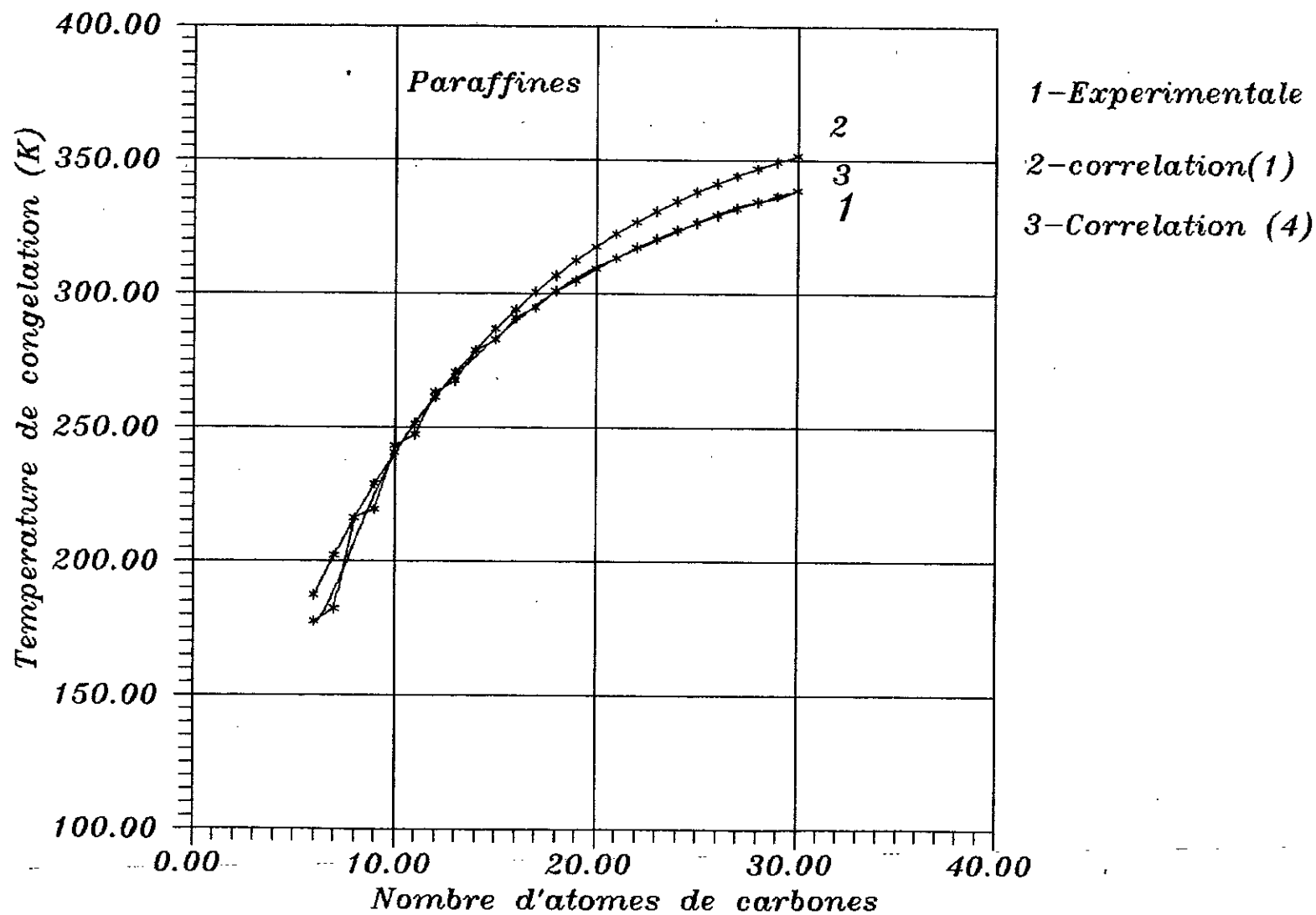
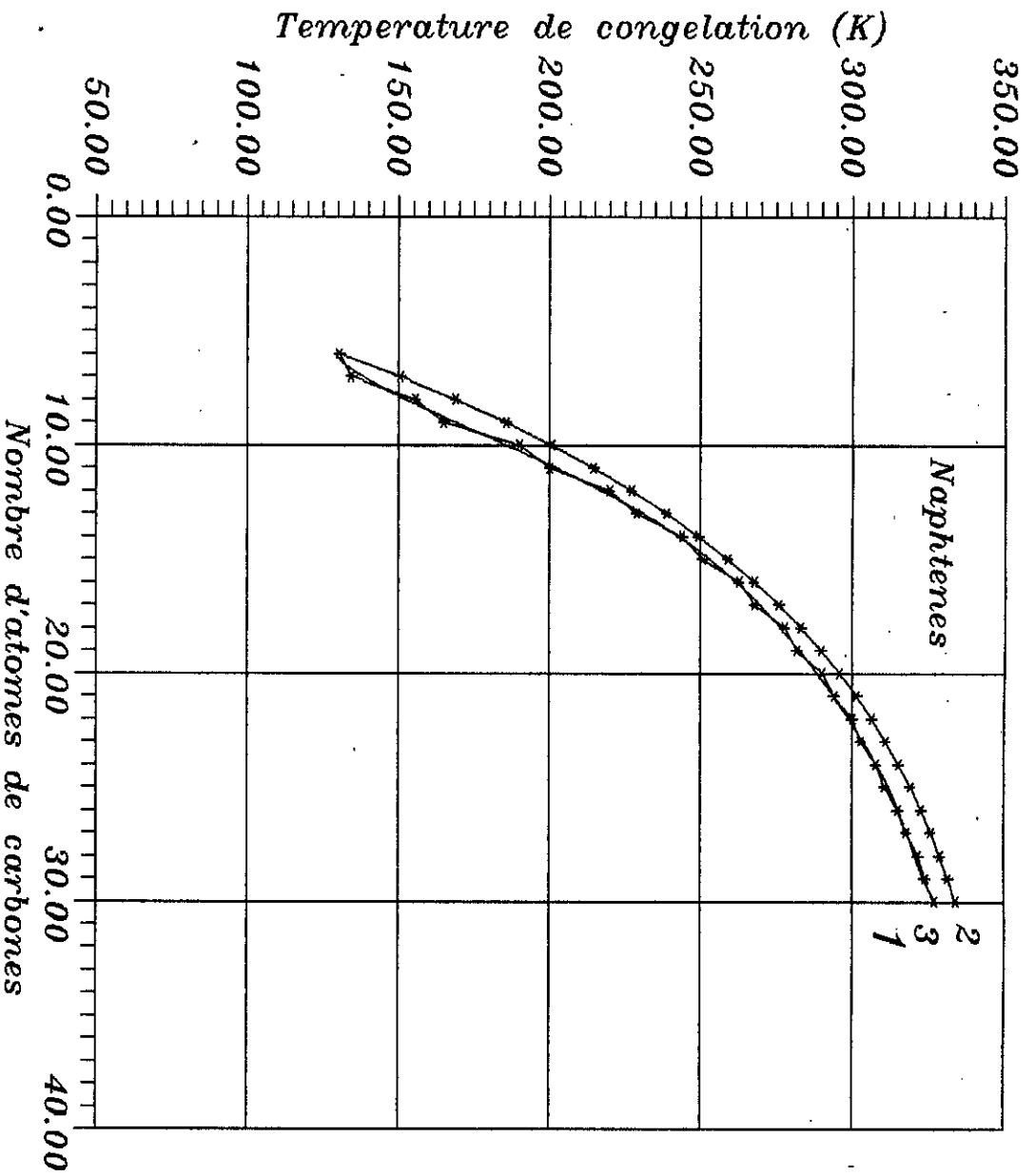
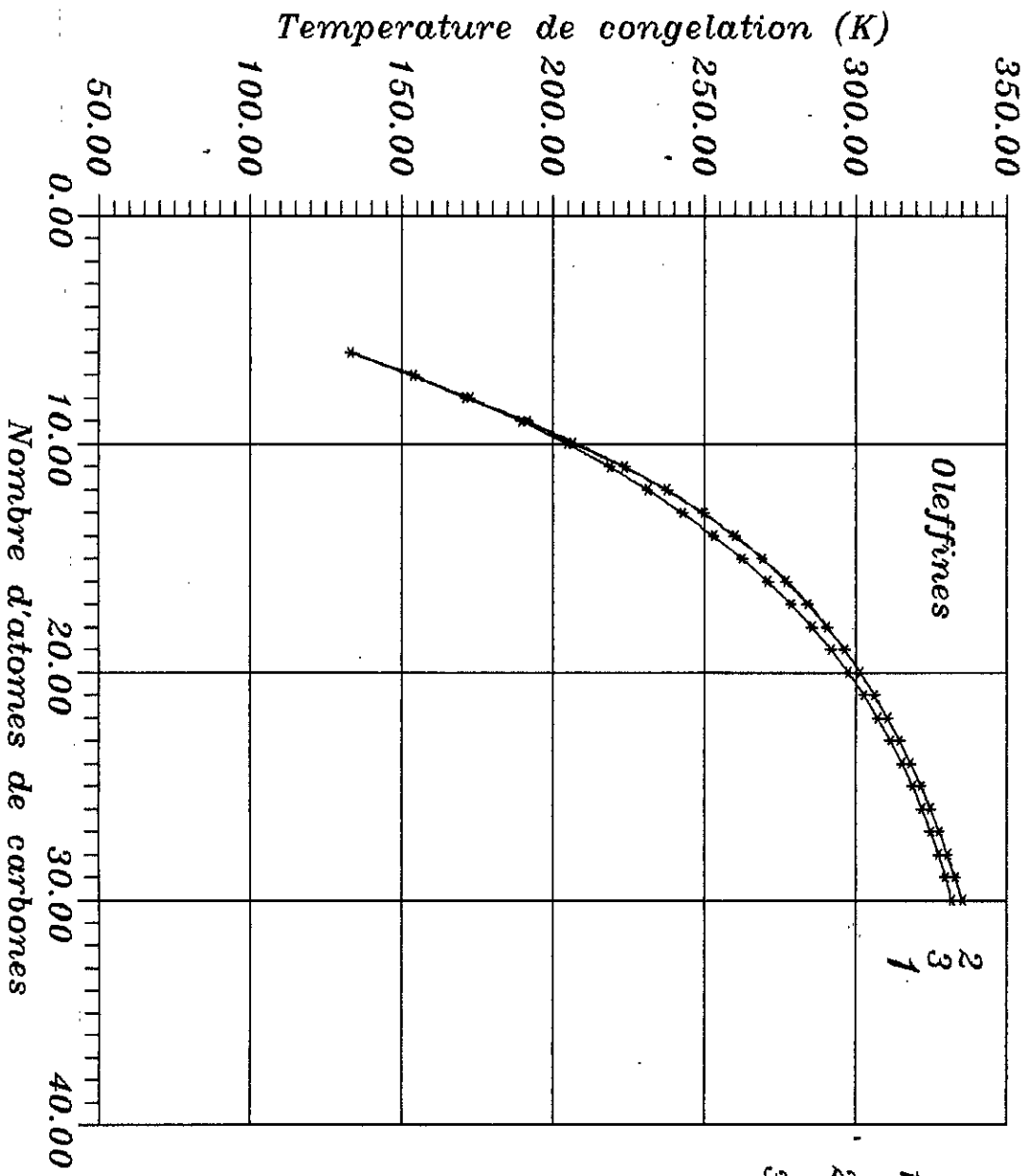


Fig 113: Comparaison pour la temperature de congélation des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.



- 1-Expérimentale
- 2-corrélation(1)
- 3-Corrélation (4)

Fig 114: Comparaison pour la température de congélation des courbes obtenues par l'utilisation des corrélations (1) et (4) par rapport aux valeurs expérimentales.



1-Expérimentale
 2-correlation(1)
 3-Correlation (4)

Fig 115: Comparaison pour la température de congélation des courbes obtenues par l'utilisation des corrélations (1) et (4) par rapport aux valeurs expérimentales.

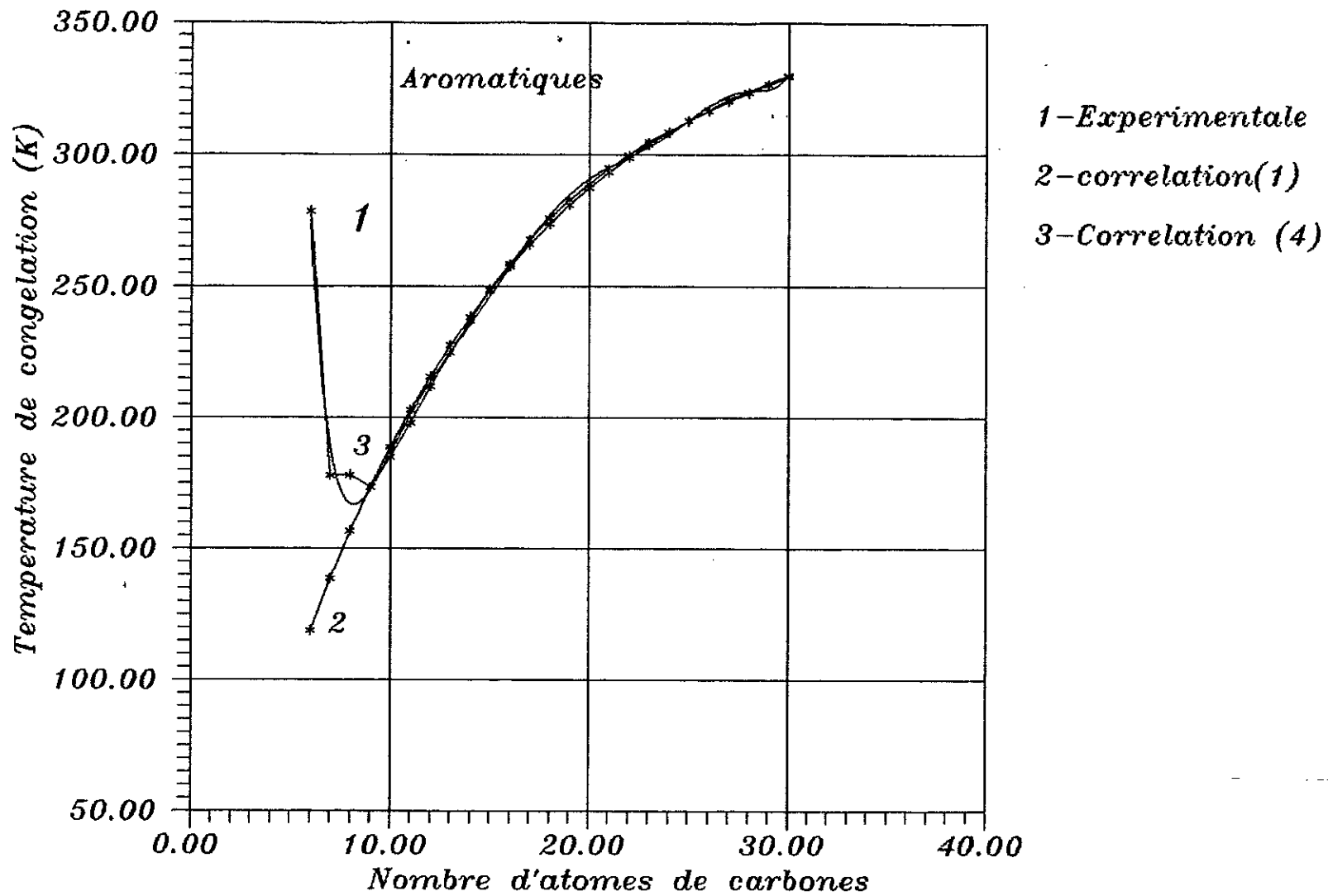


Fig 116

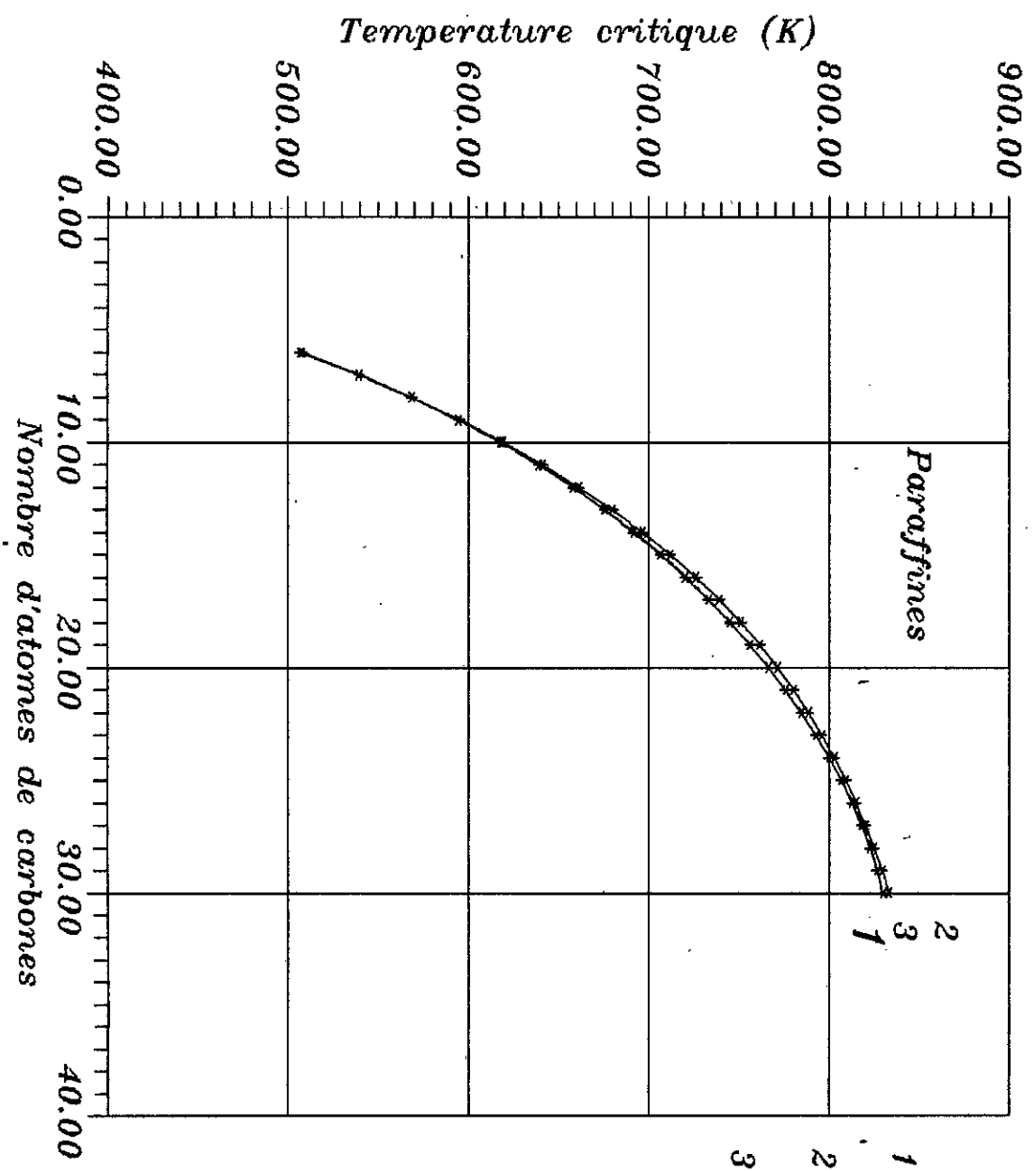


Fig 117

- 1-Expérimentale
- 2-correlation (1)
- 3-Correlation (4)

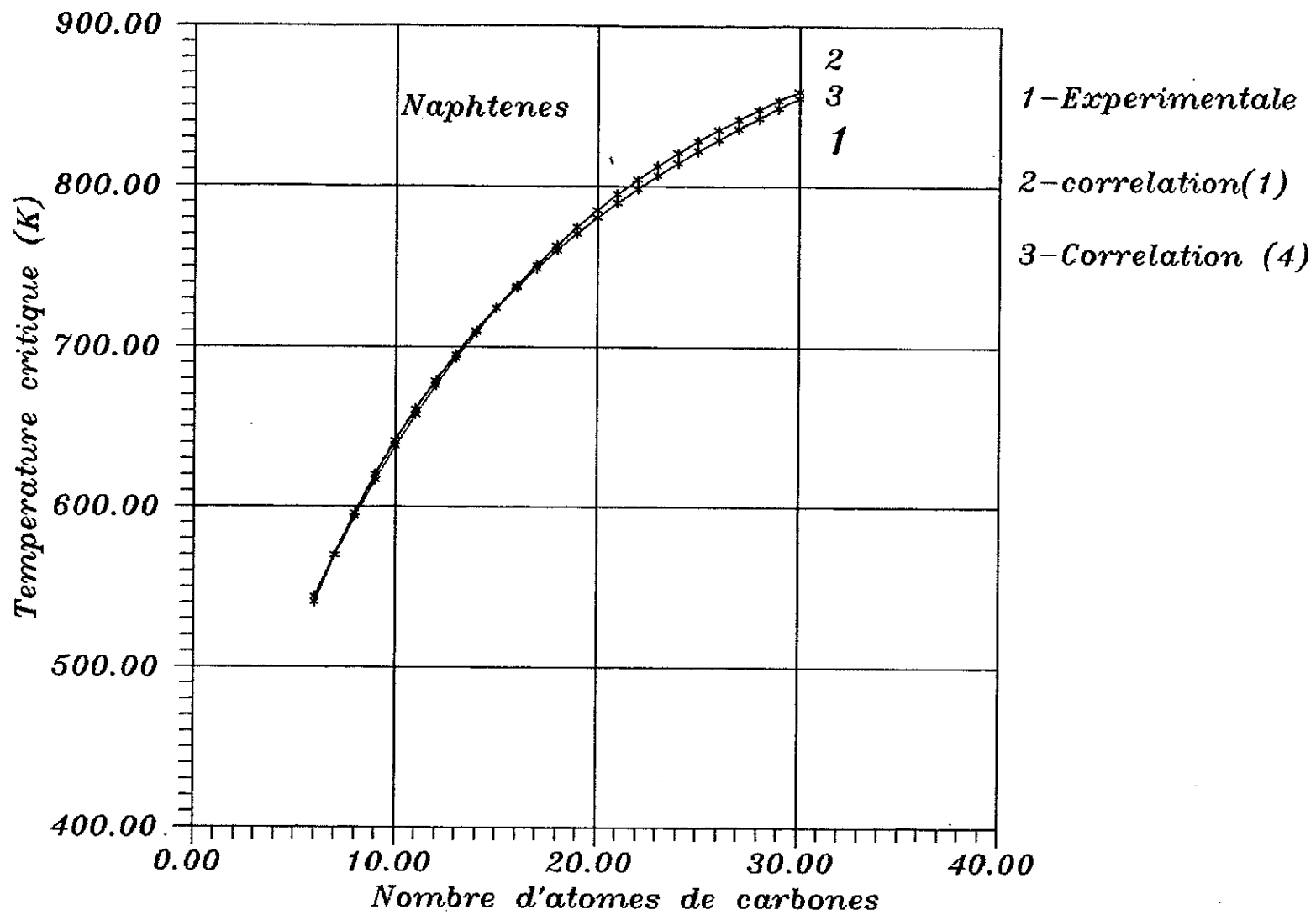


Fig 118

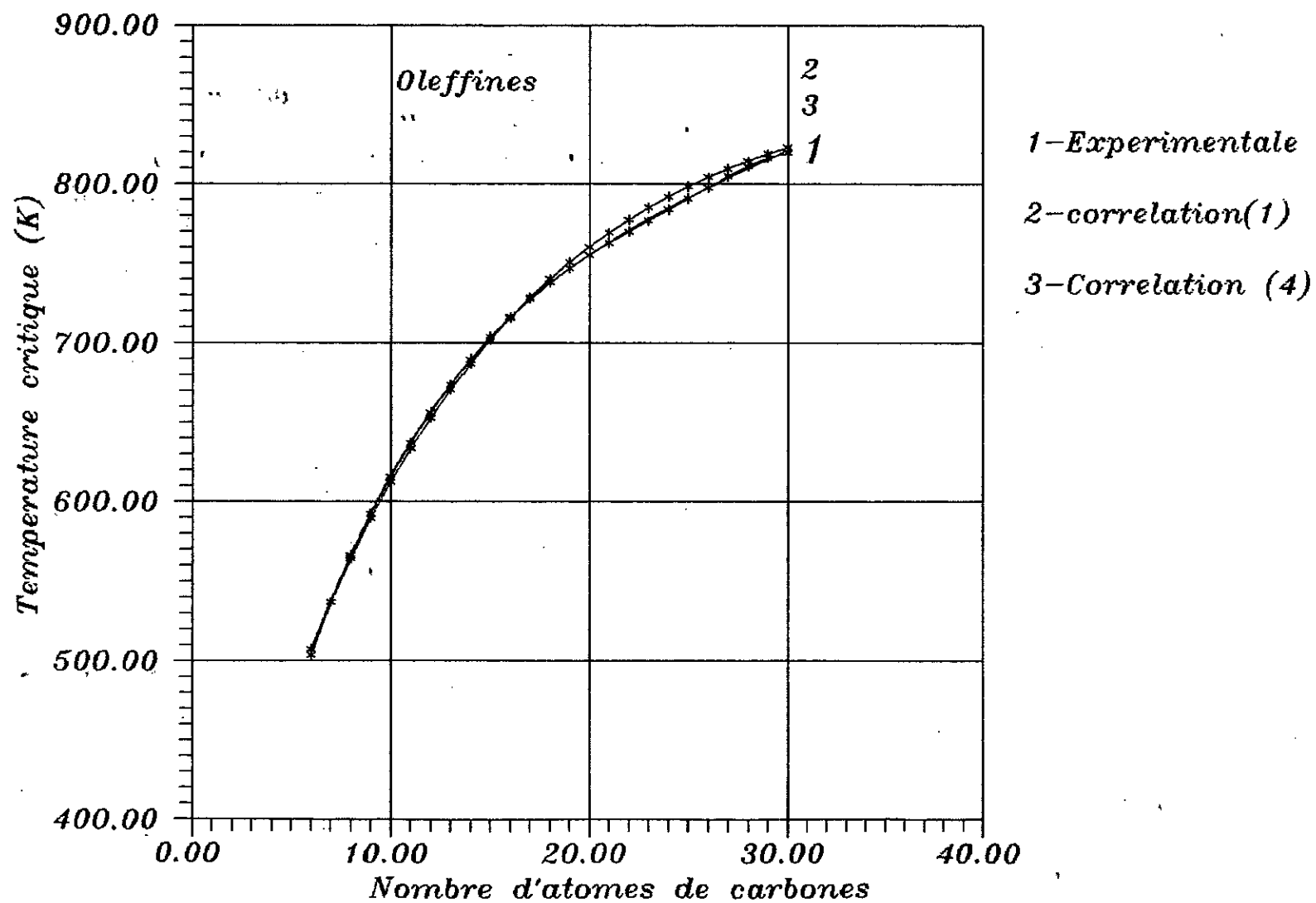


Fig 119

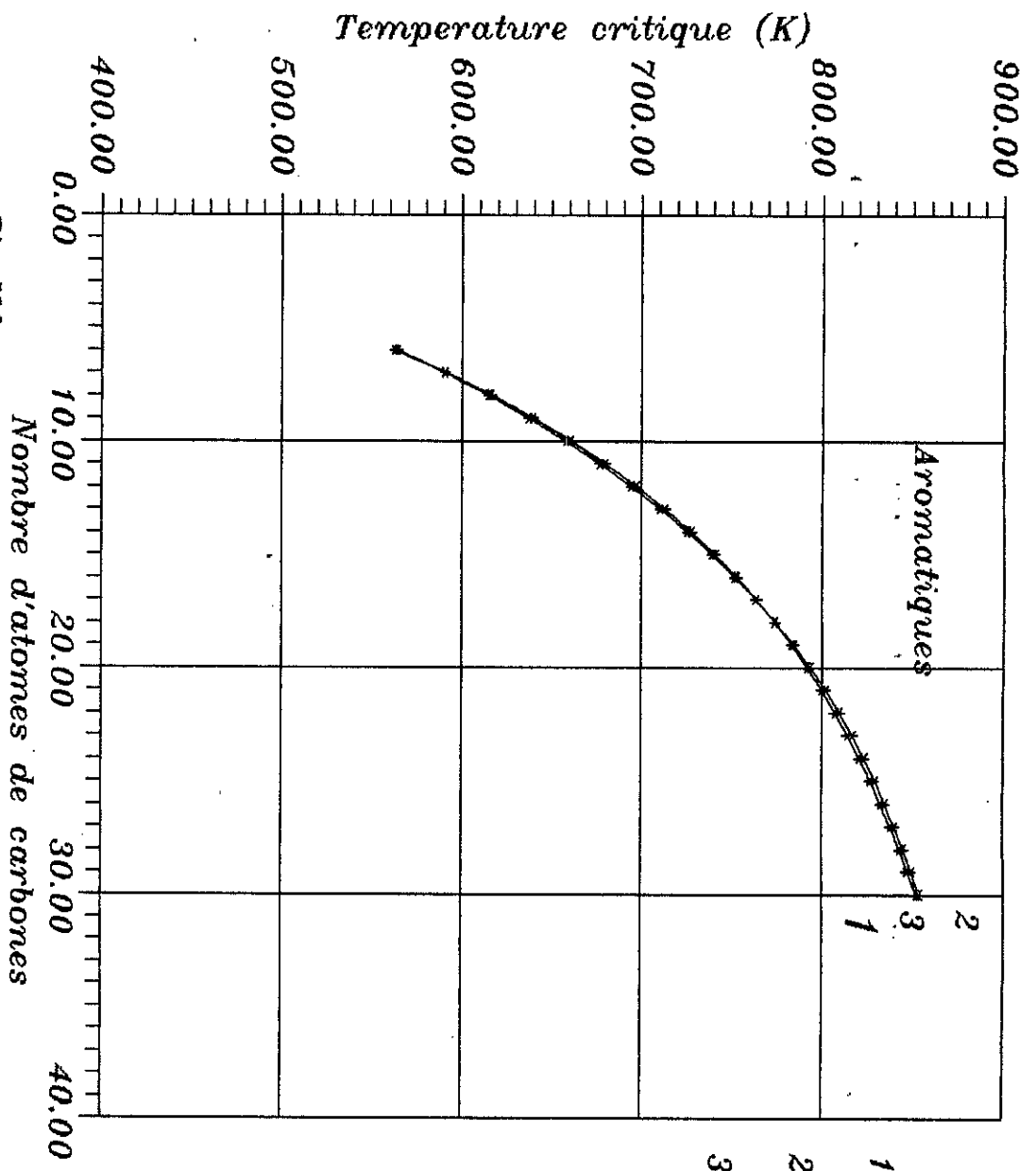


Fig 120

- 1-Experimentale
- 2-correlation(1)
- 3-Correlation (4)

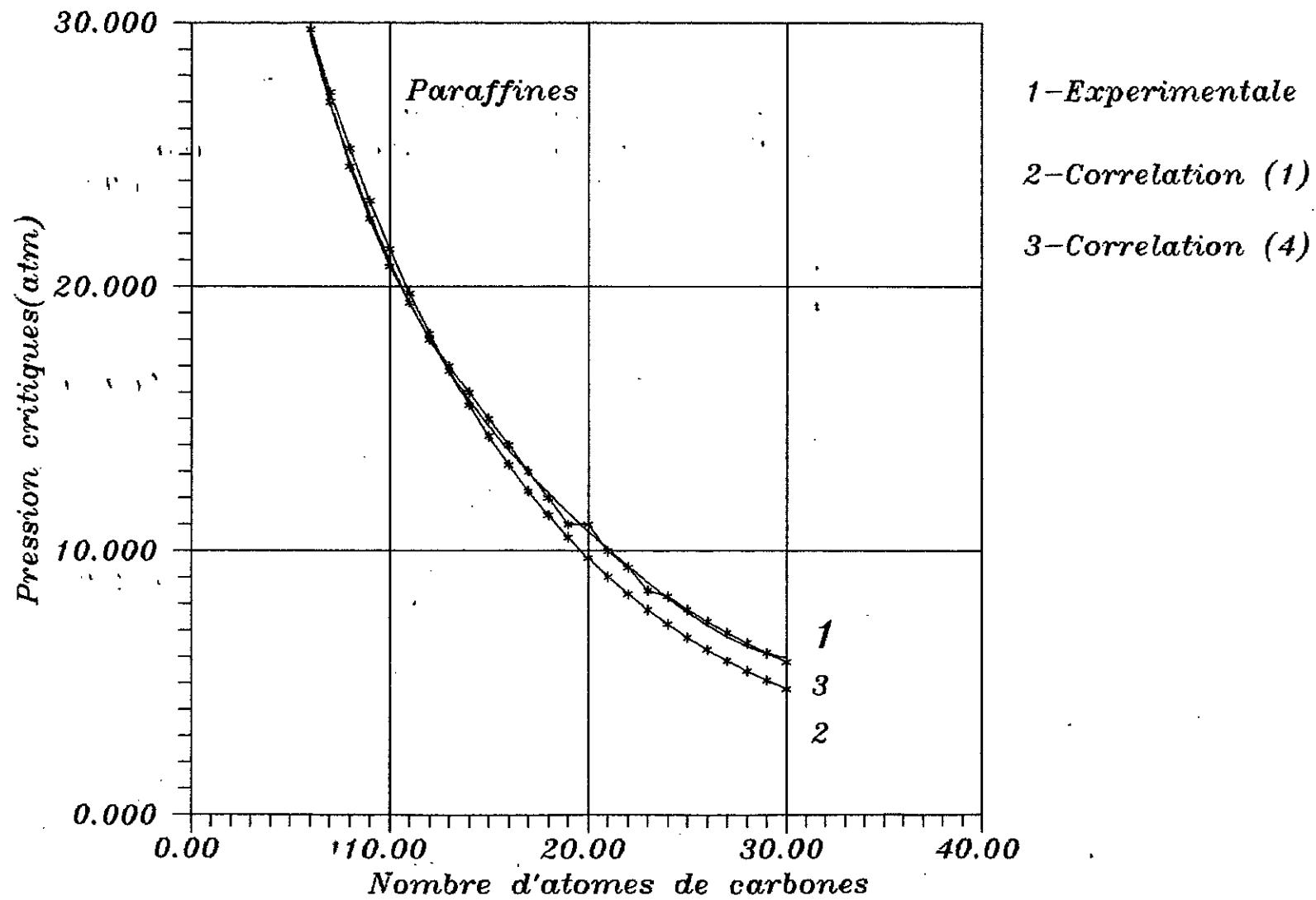


Fig 121

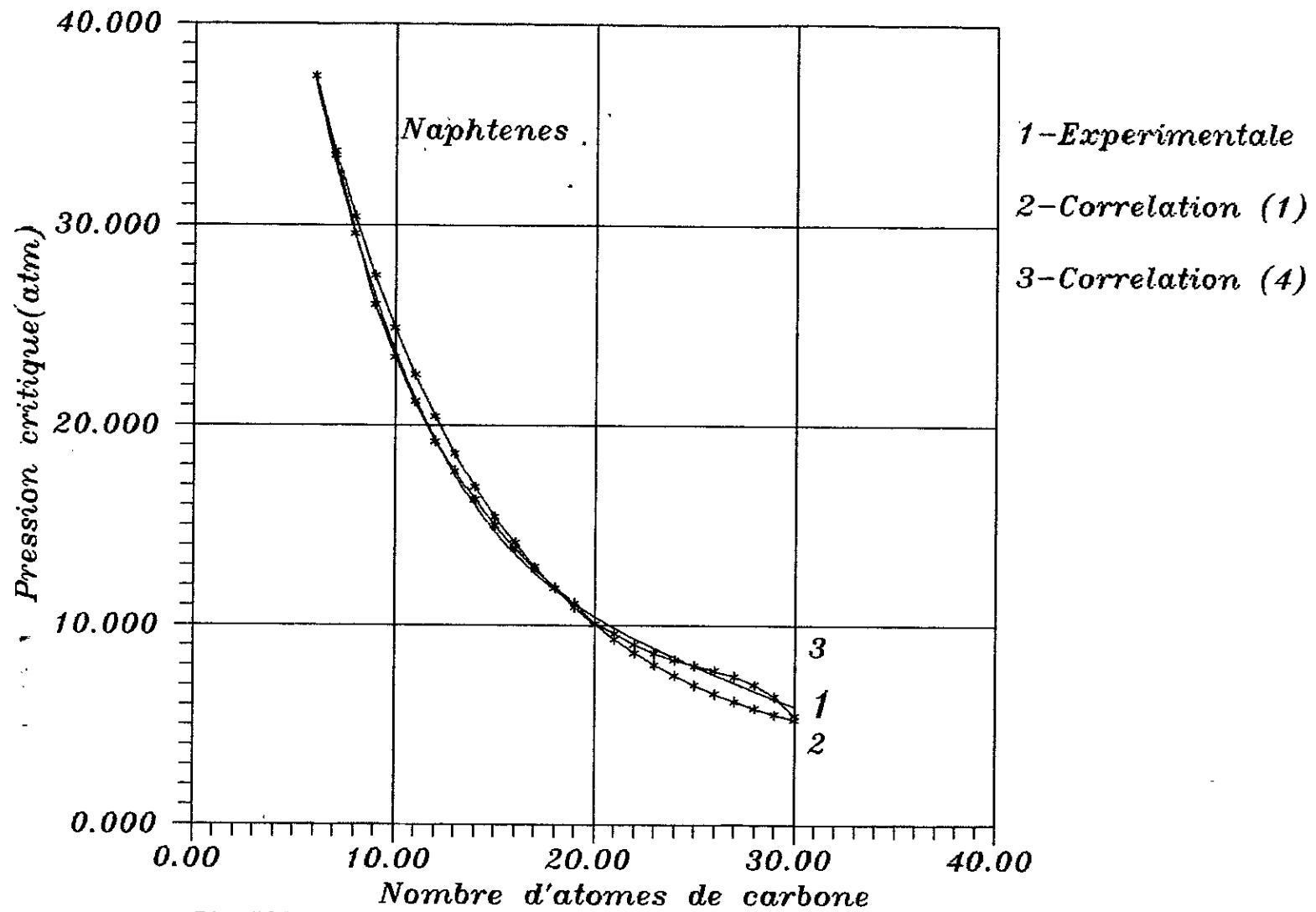


Fig 122

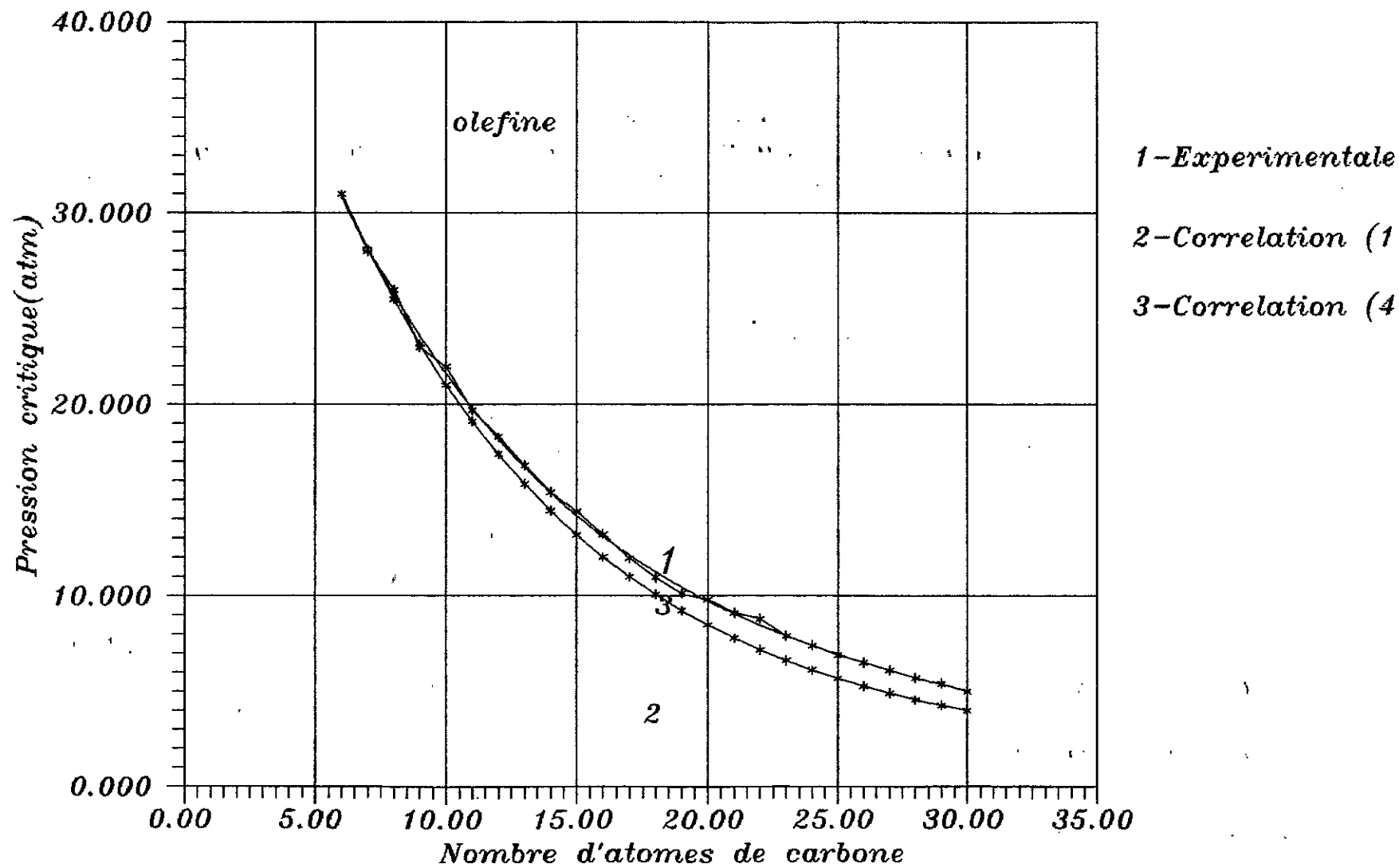


Fig 123

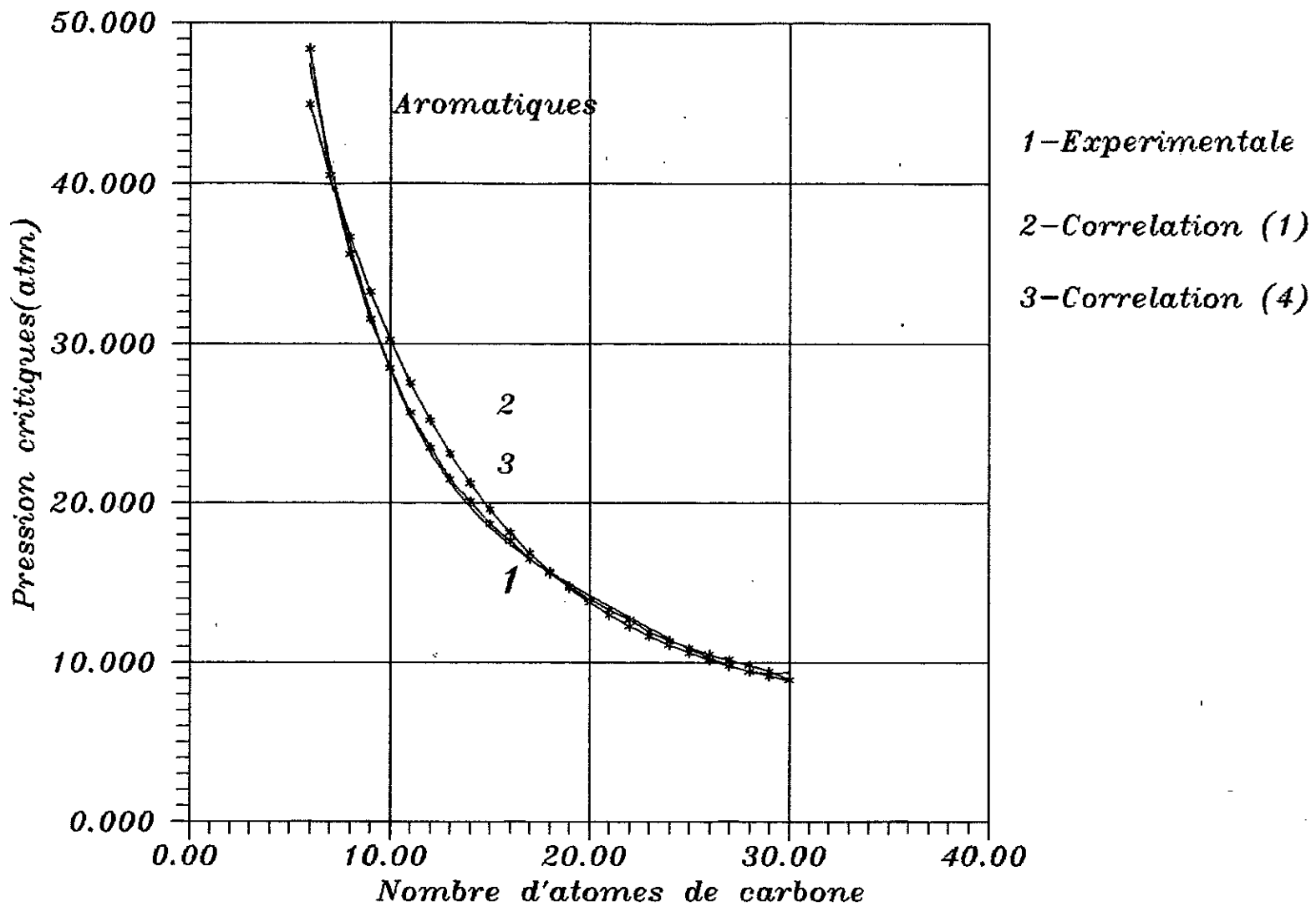


Fig 124

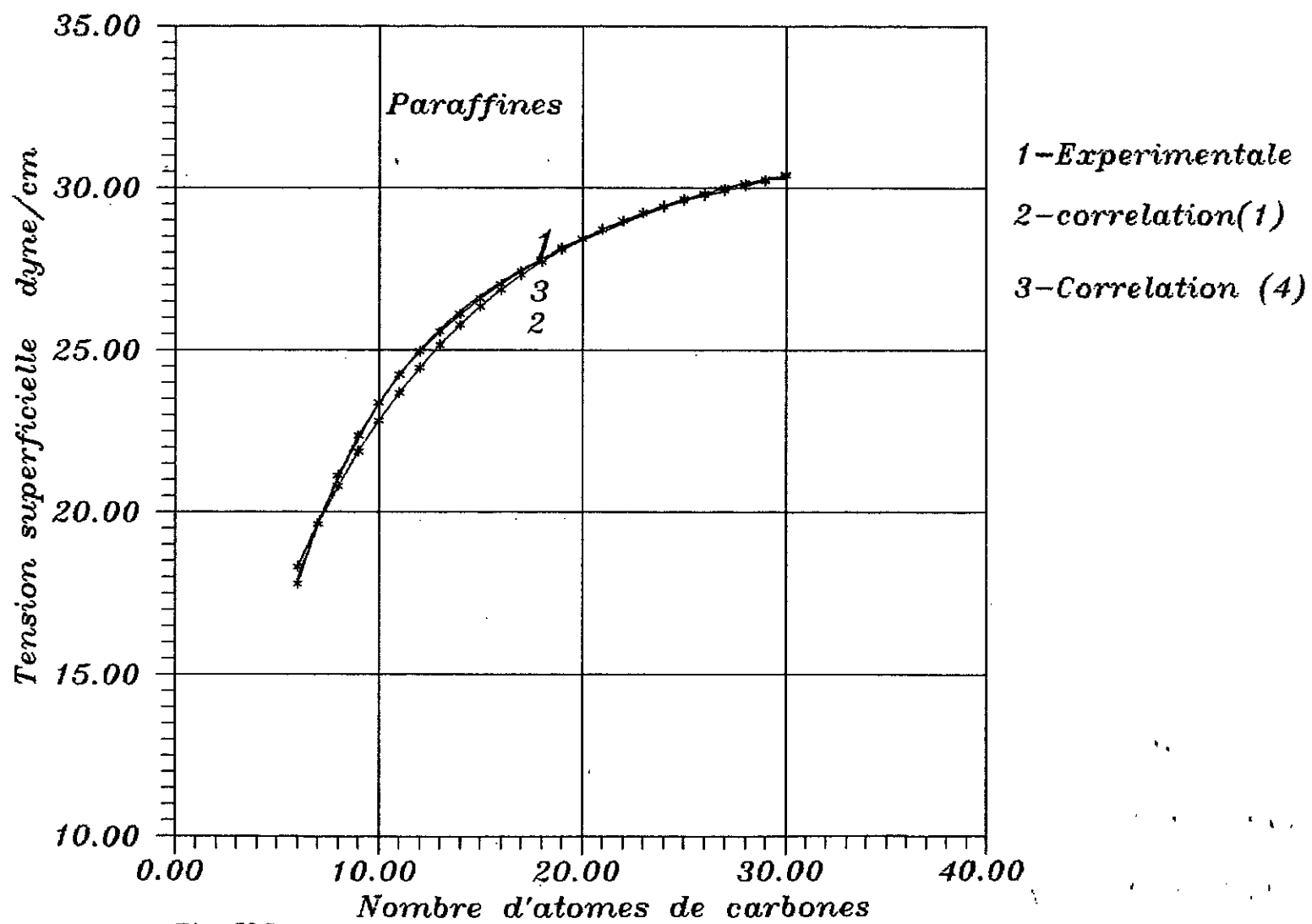


Fig 125

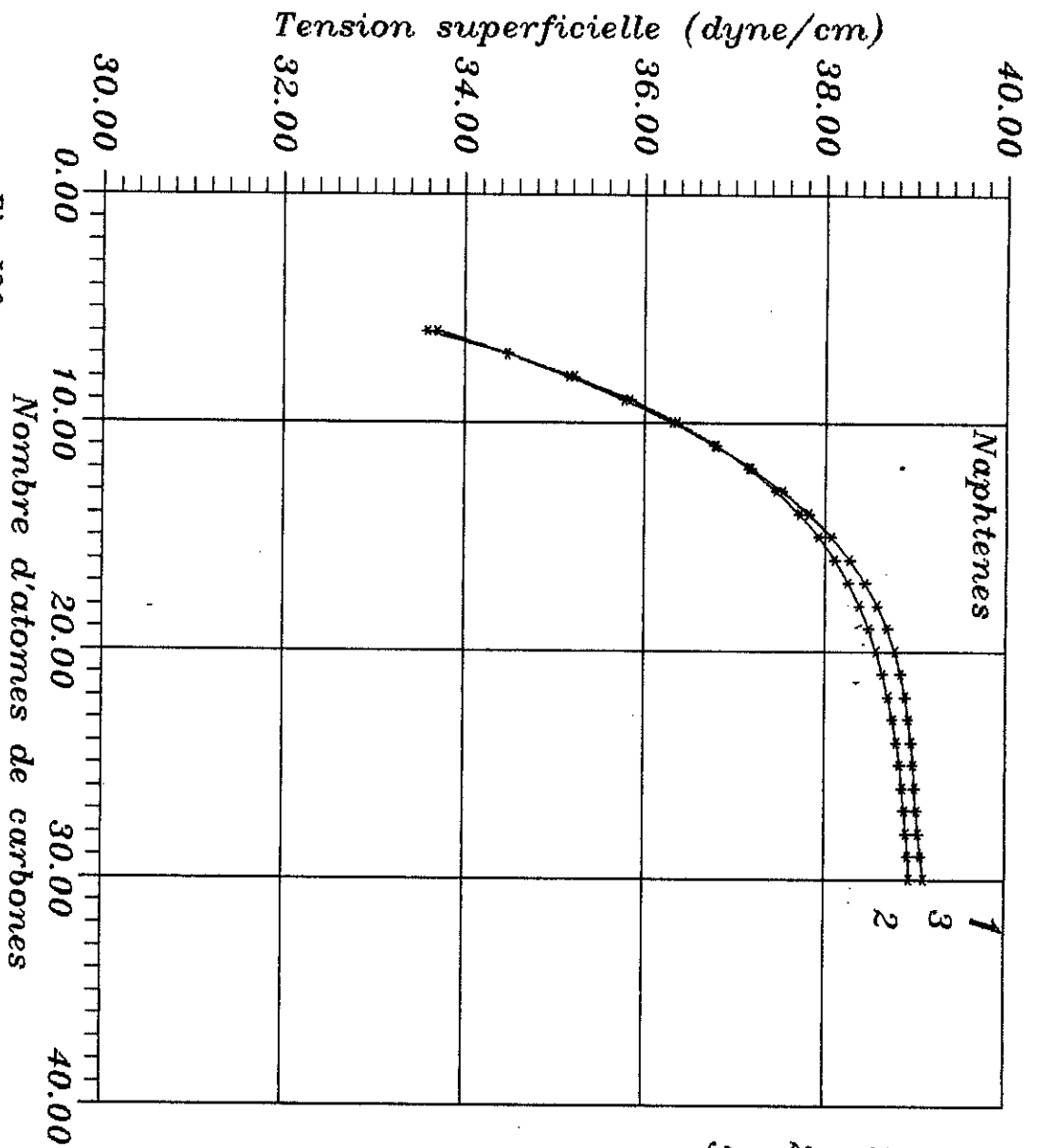


Fig 126

- 1-Experimentale
- 2-correlation (1)
- 3-Correlation (4)

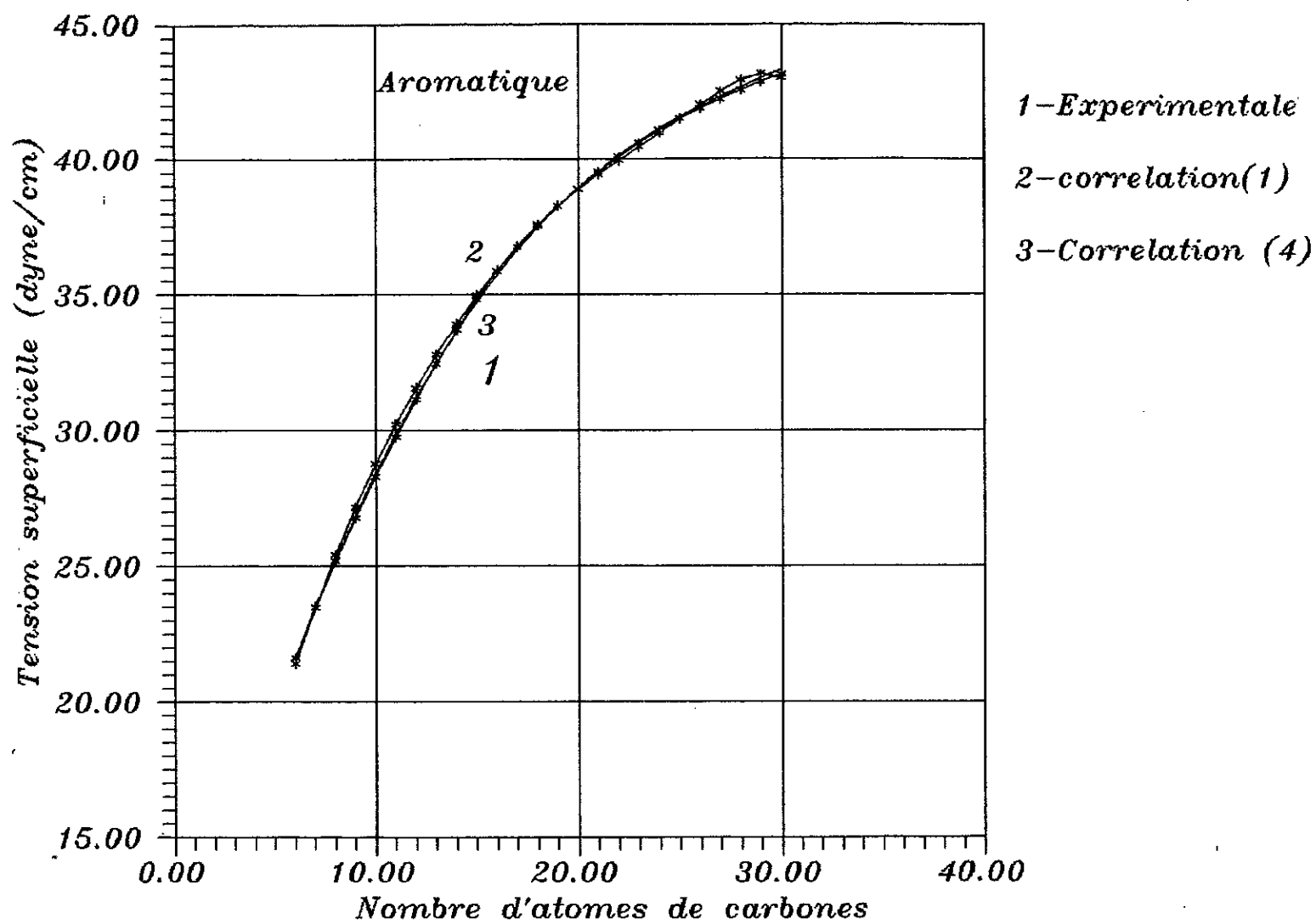
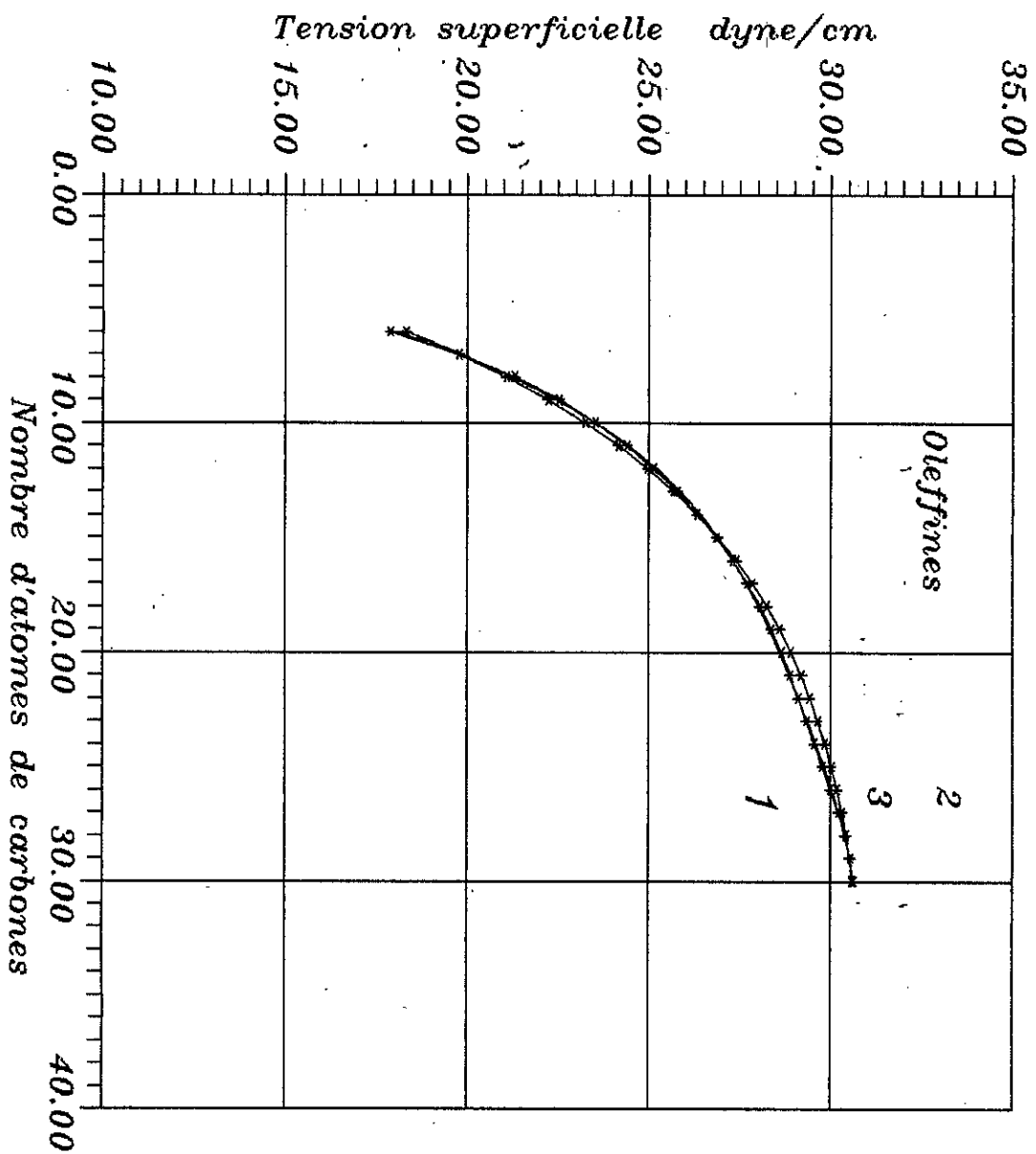


Fig 12B



- 1-Experimentale
- 2-correlation(1)
- 3-Correlation (4)

Fig 127

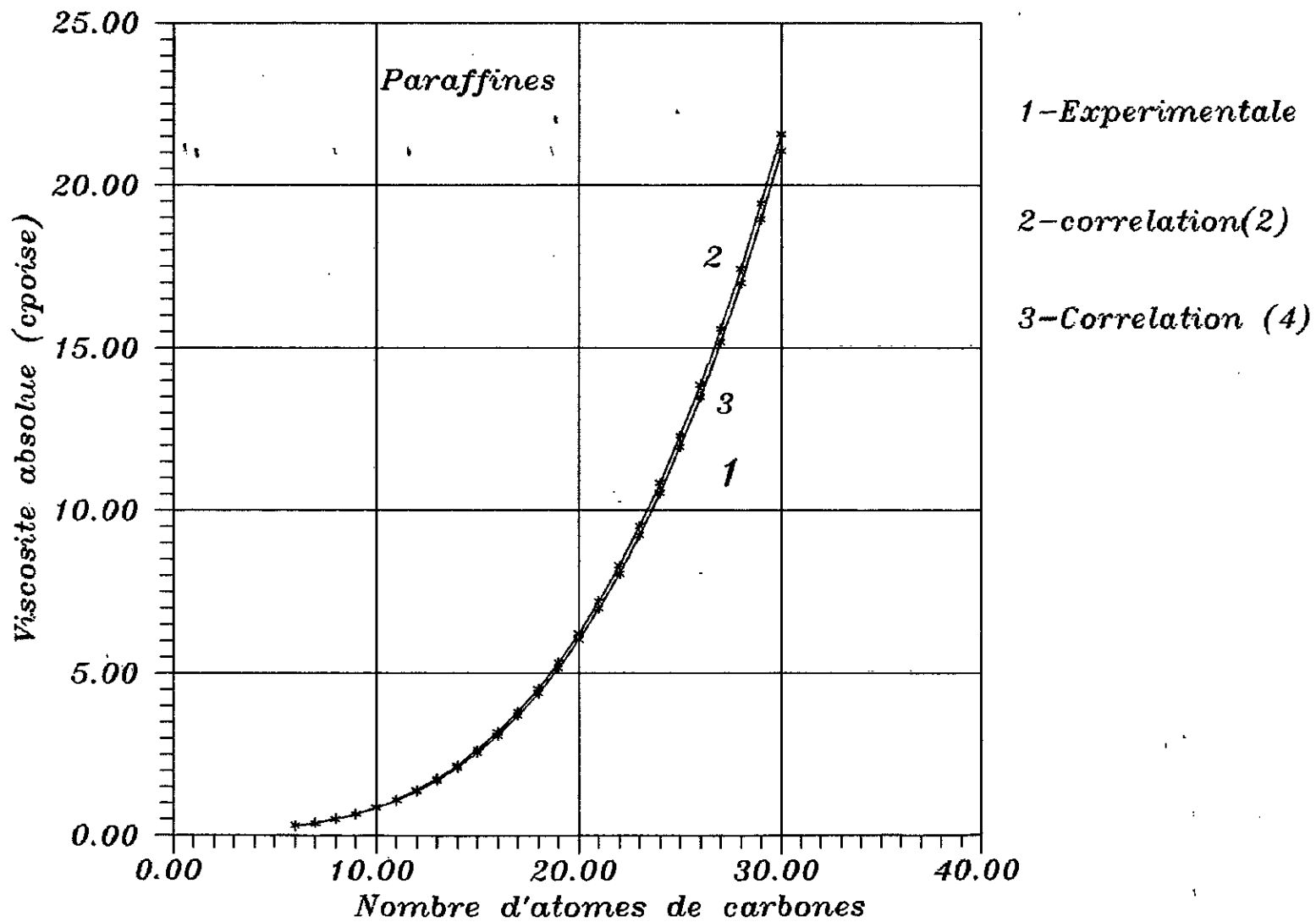


Fig 129

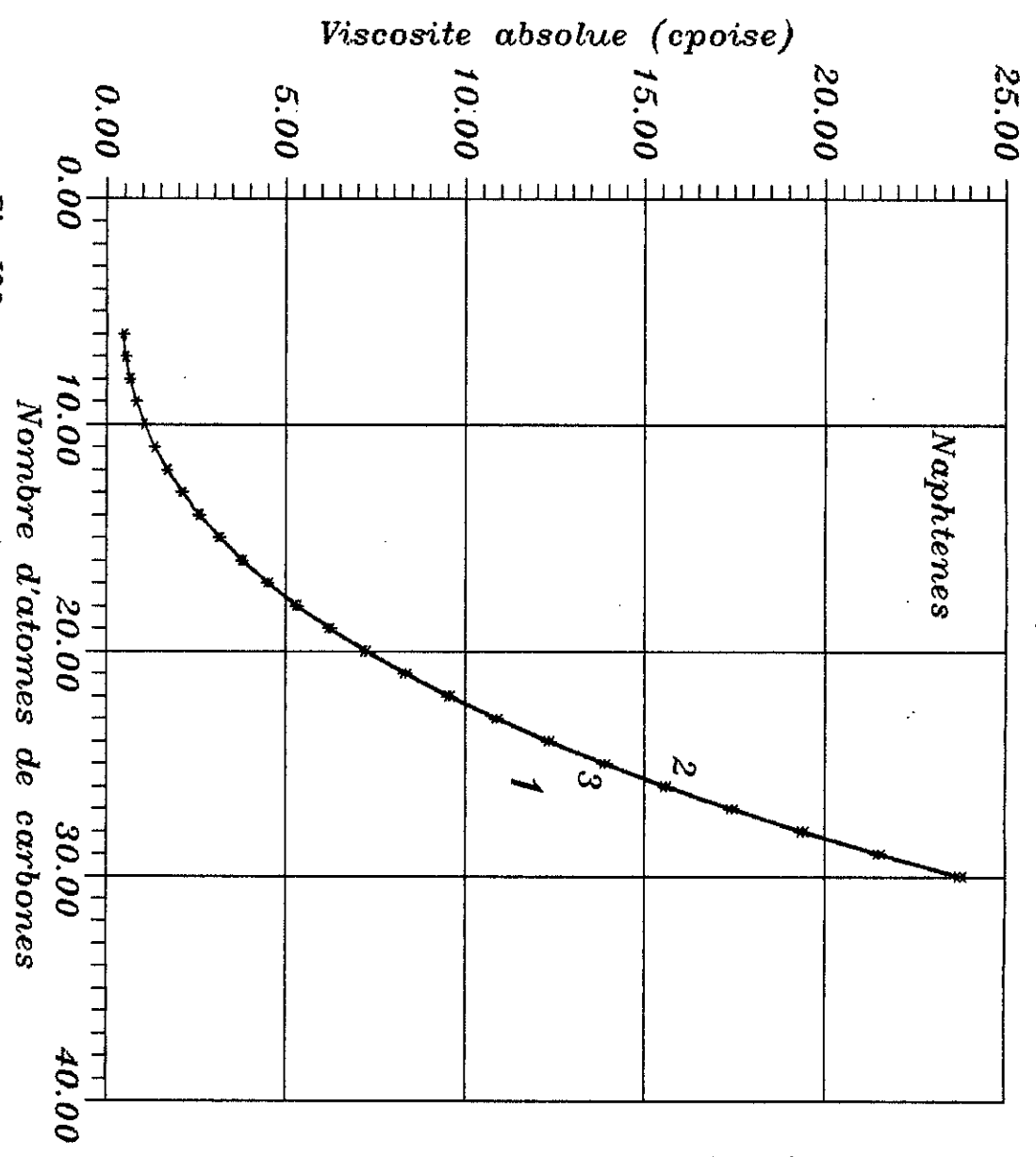


Fig 130

- 1-Experimentale
- 2-correlation(2)
- 3-Correlation (4)

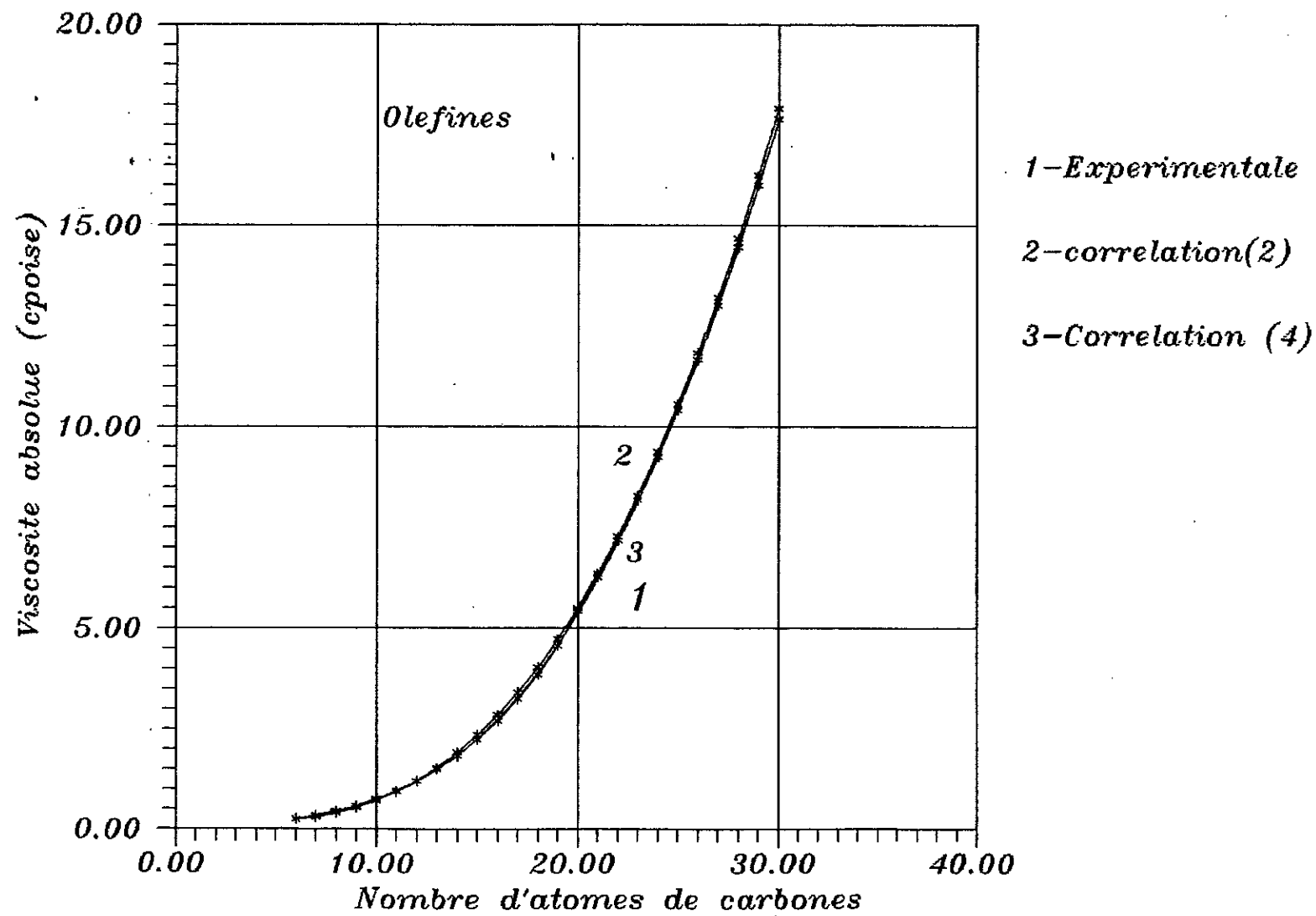
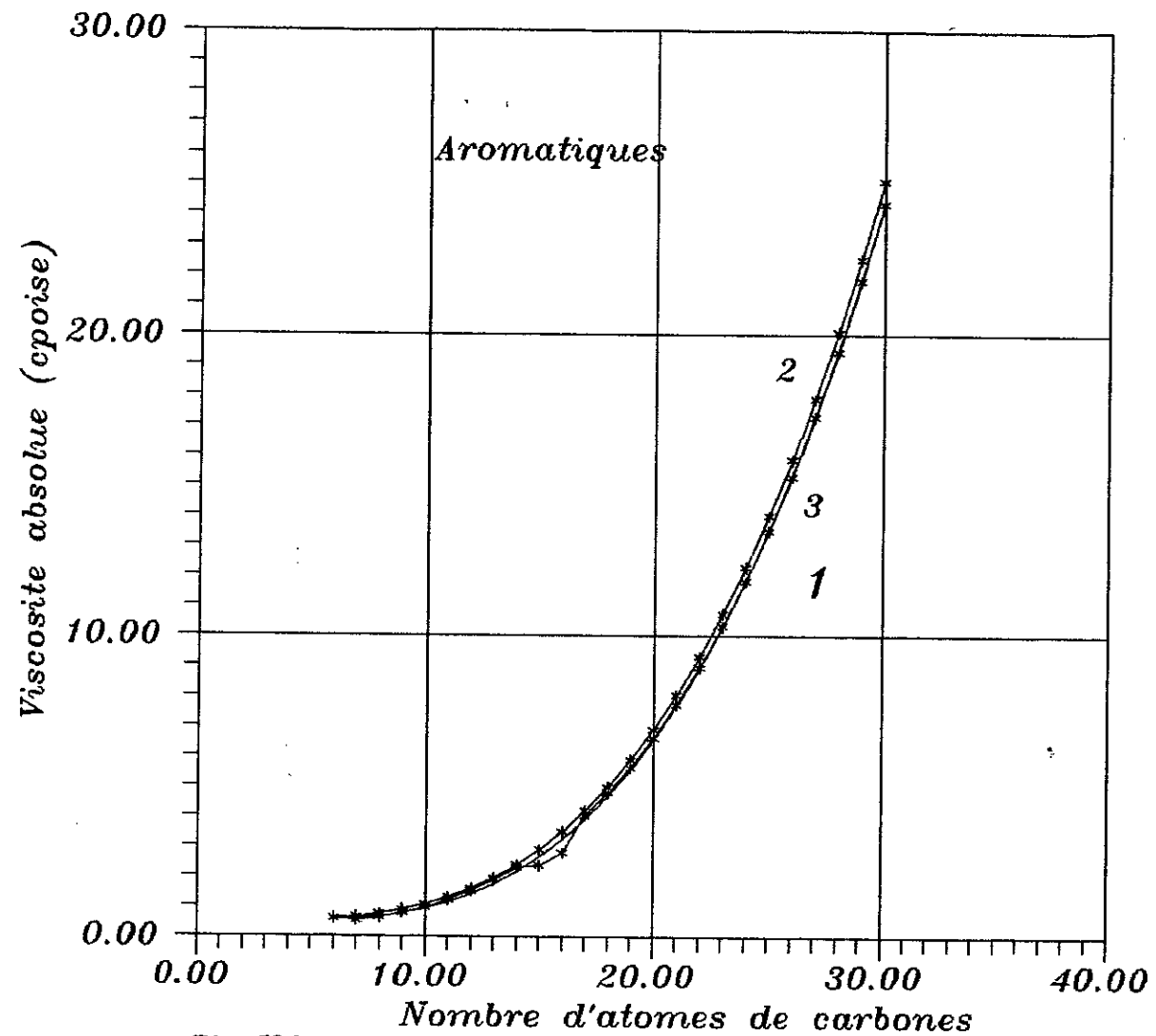


Fig I31



1-Experimentale

2-correlation(2)

3-Correlation (4)

Fig 132

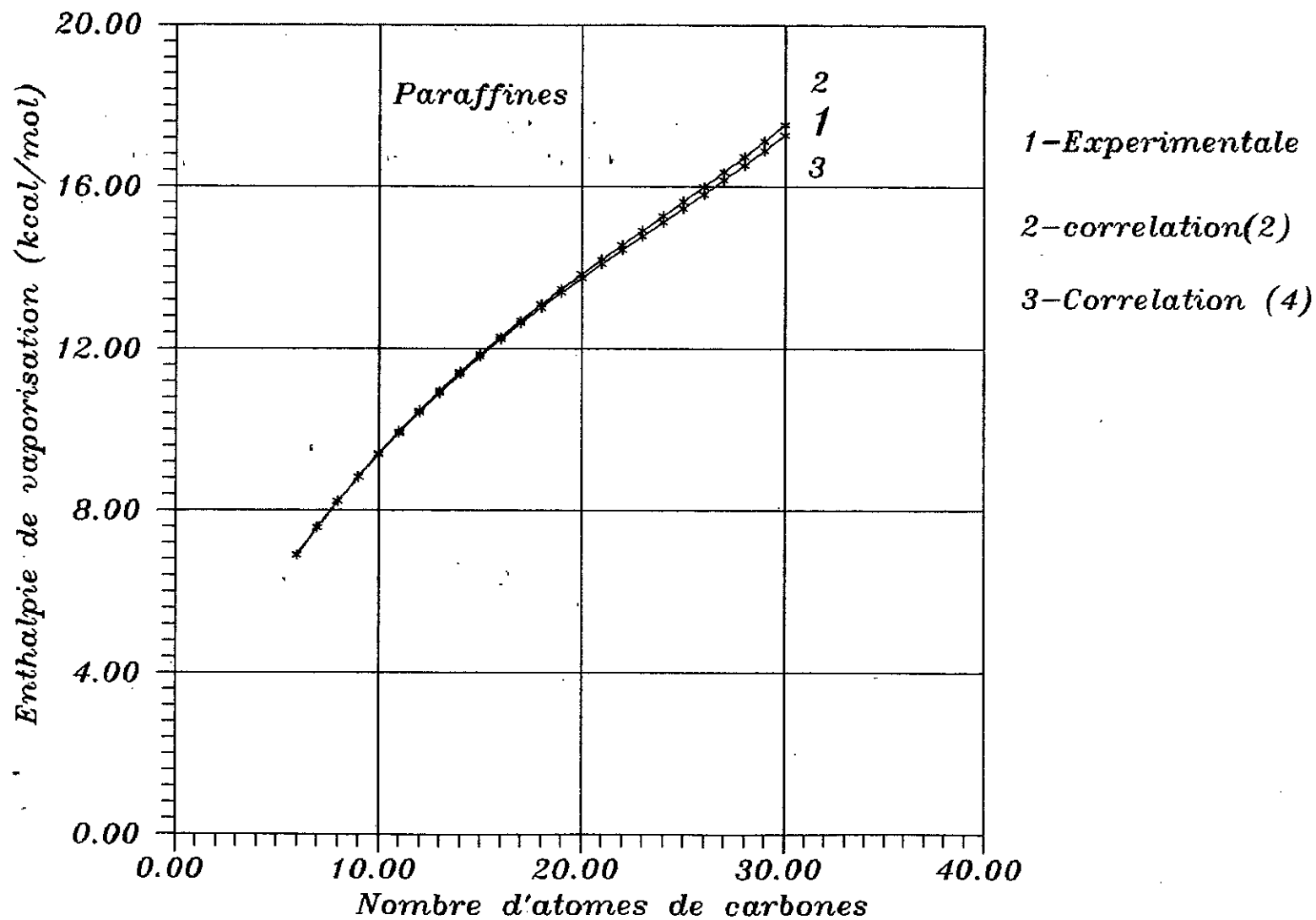


Fig 133: Comparaison pour l'enthalpie de vaporisation des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (2) et (4) par rapport aux valeurs experimentales.

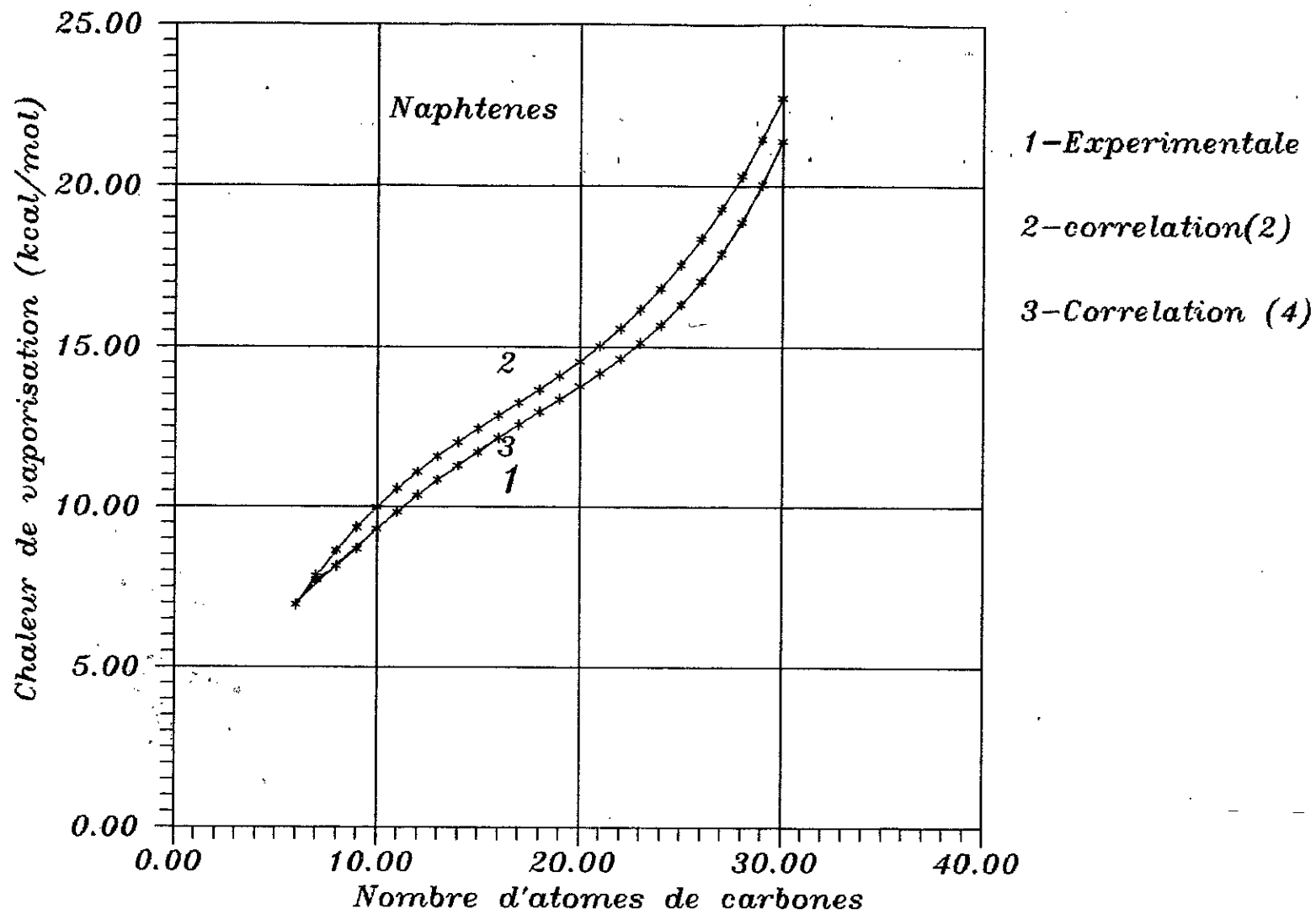


Fig 134

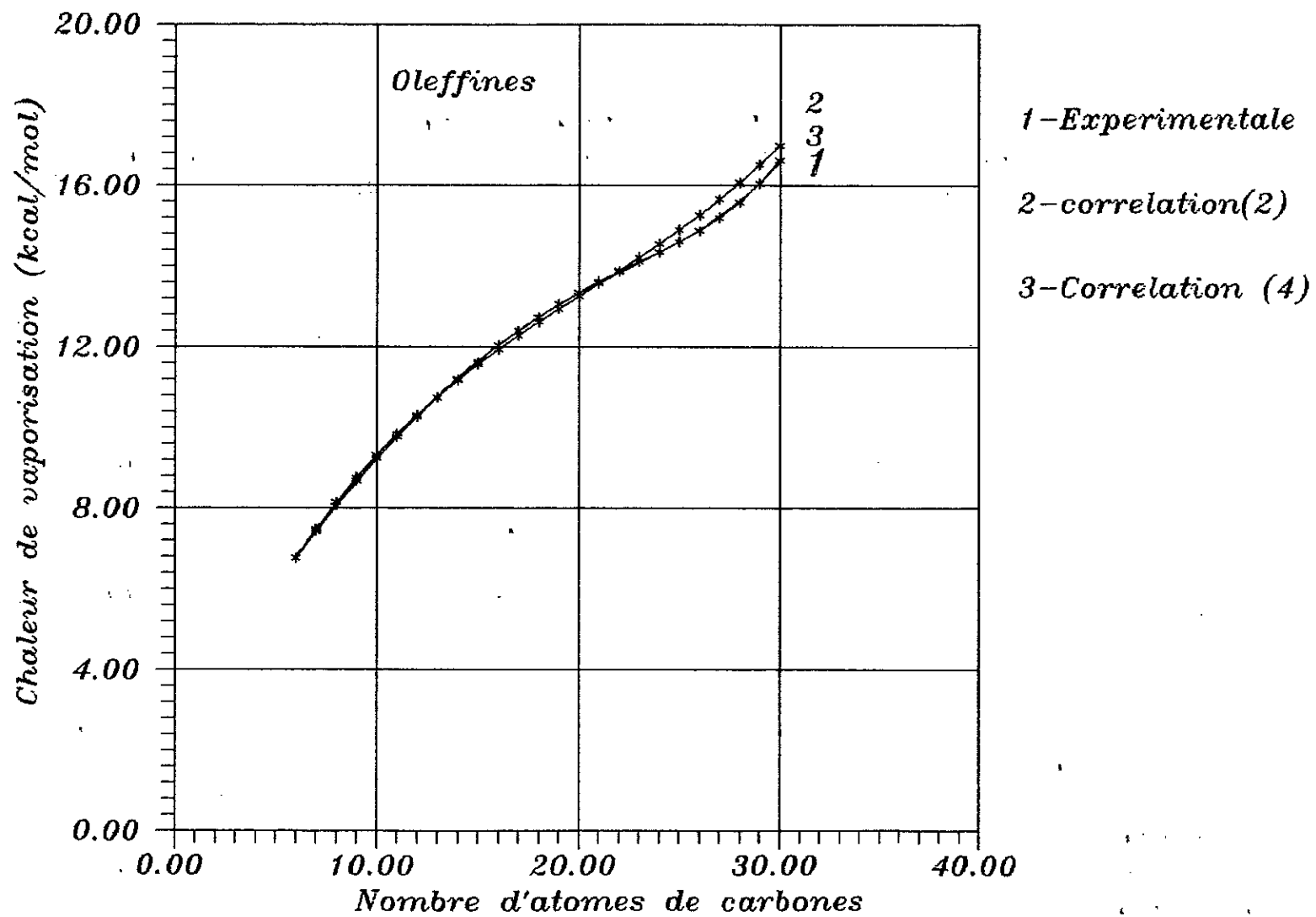


Fig 135

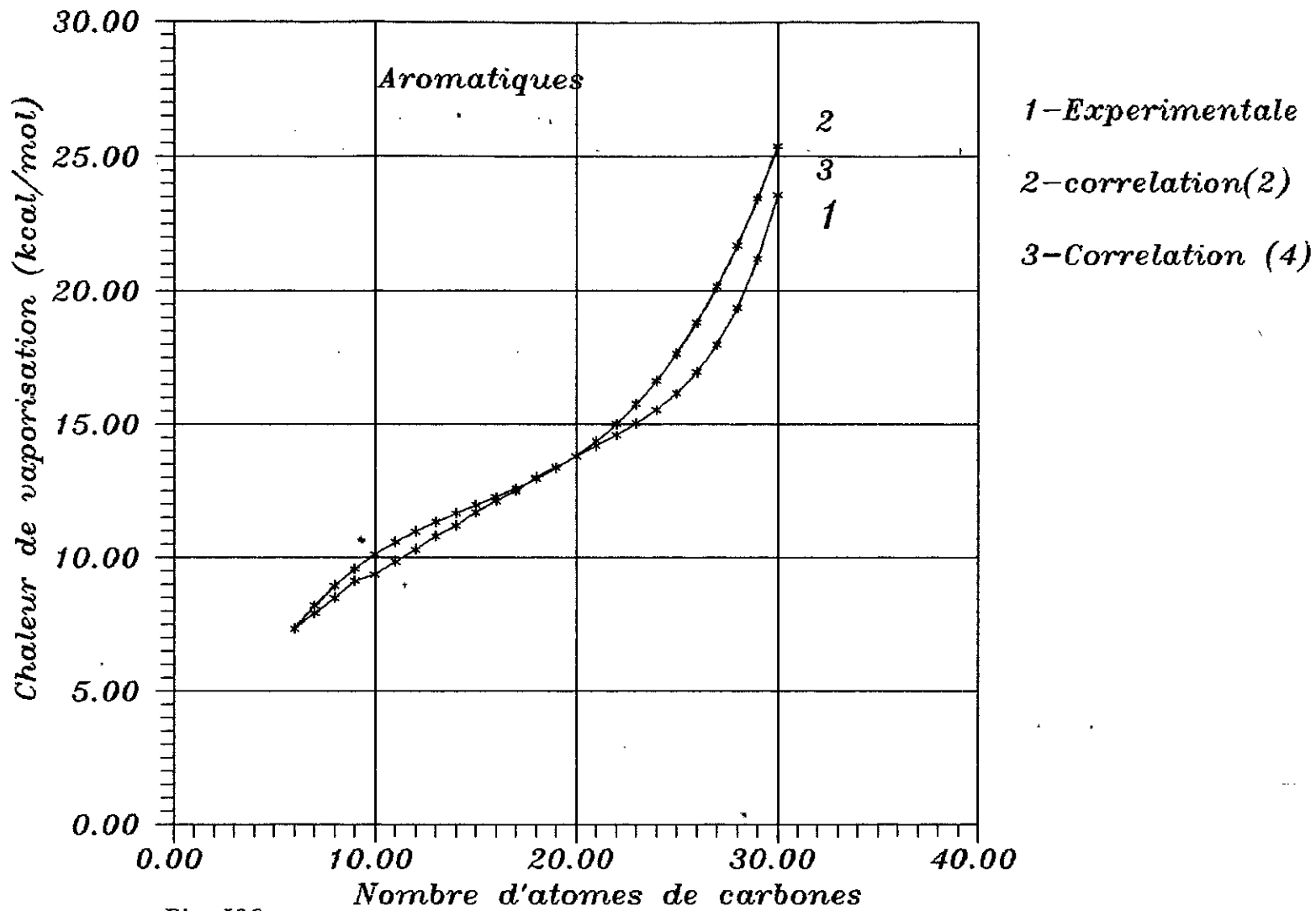


Fig 136

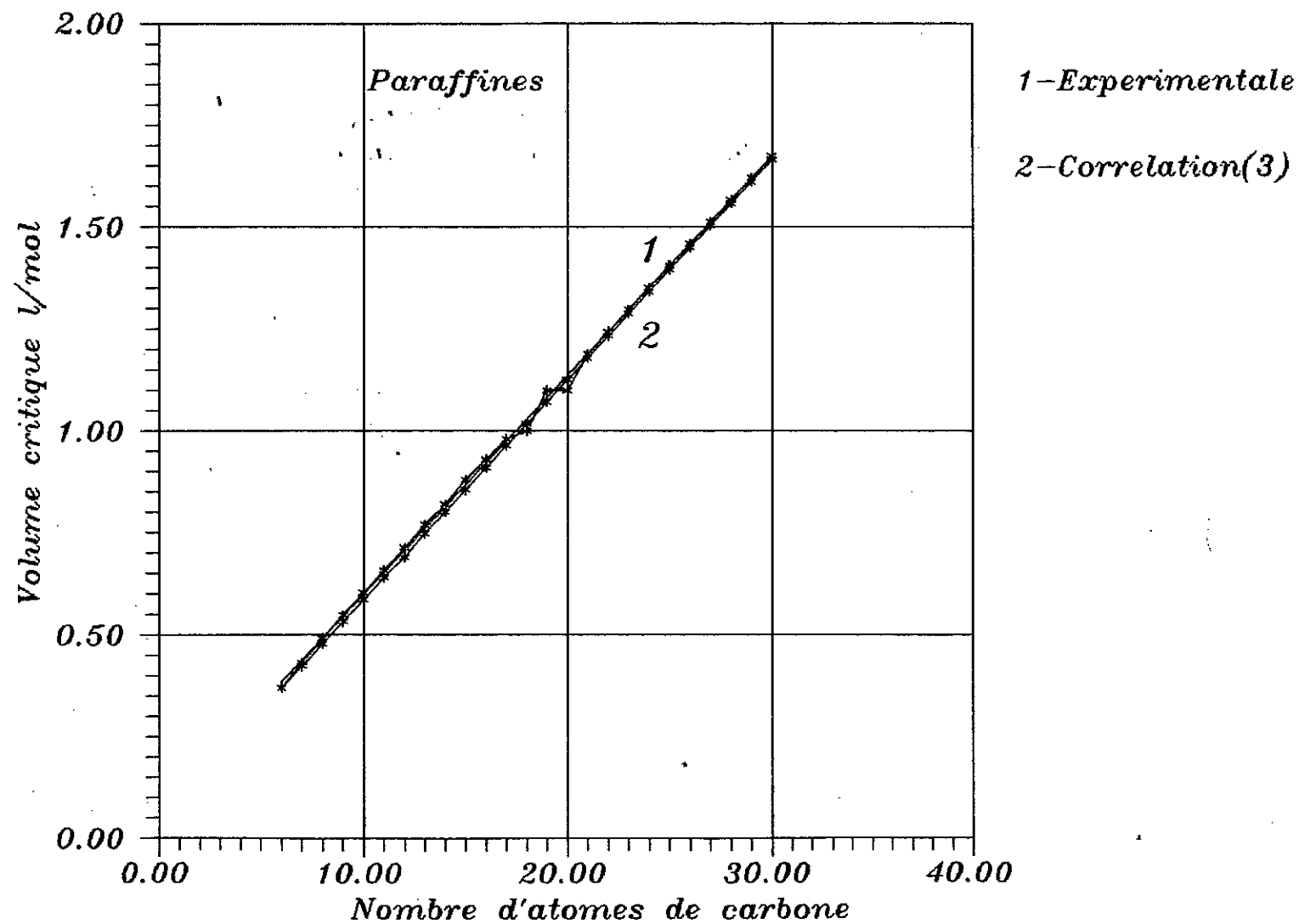


Fig137: Comparraison pour le volume critique des courbes obtenues par l'utilisation de la correlation (3) par rapport aux valeurs experimentales.

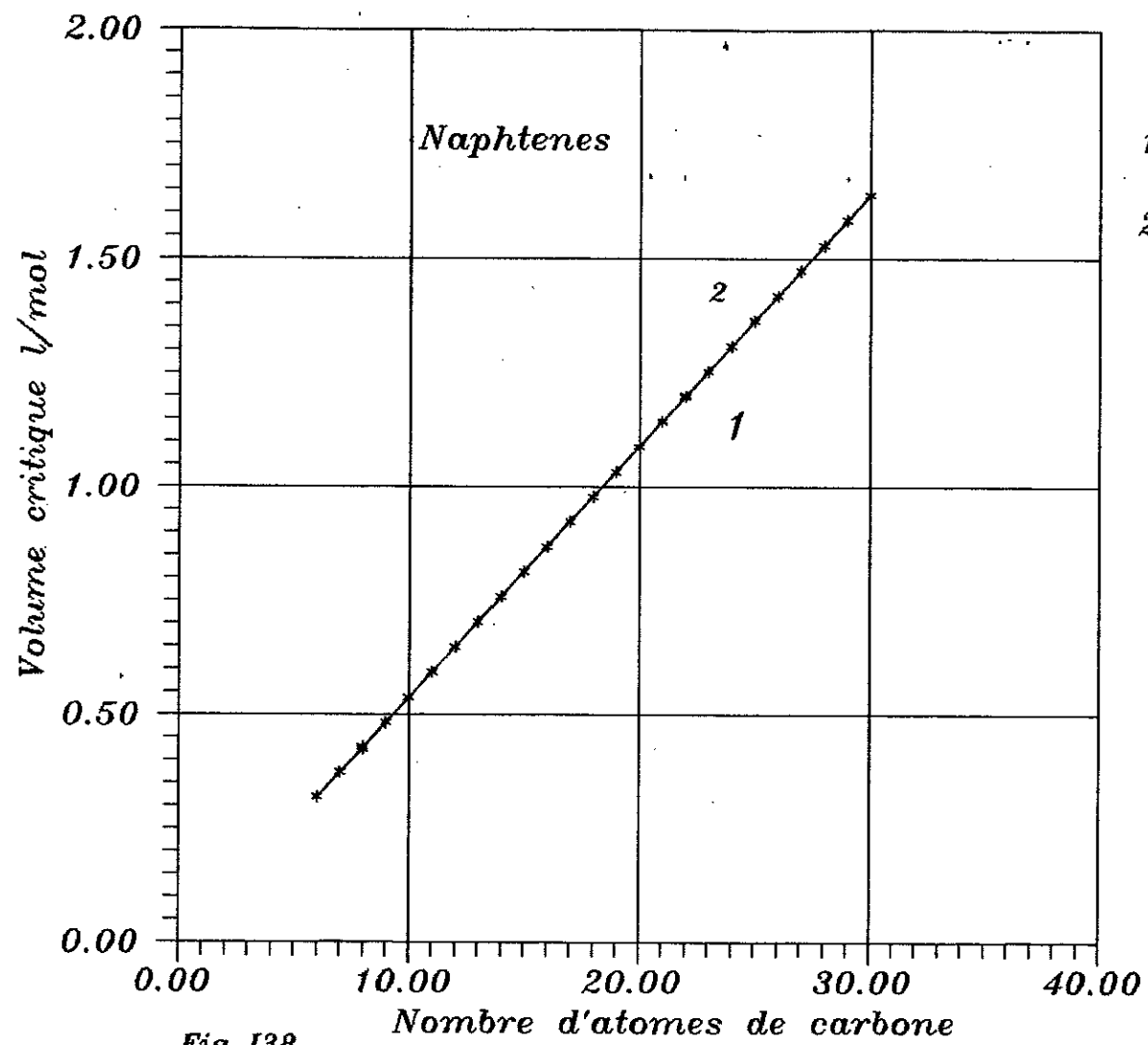


Fig 138

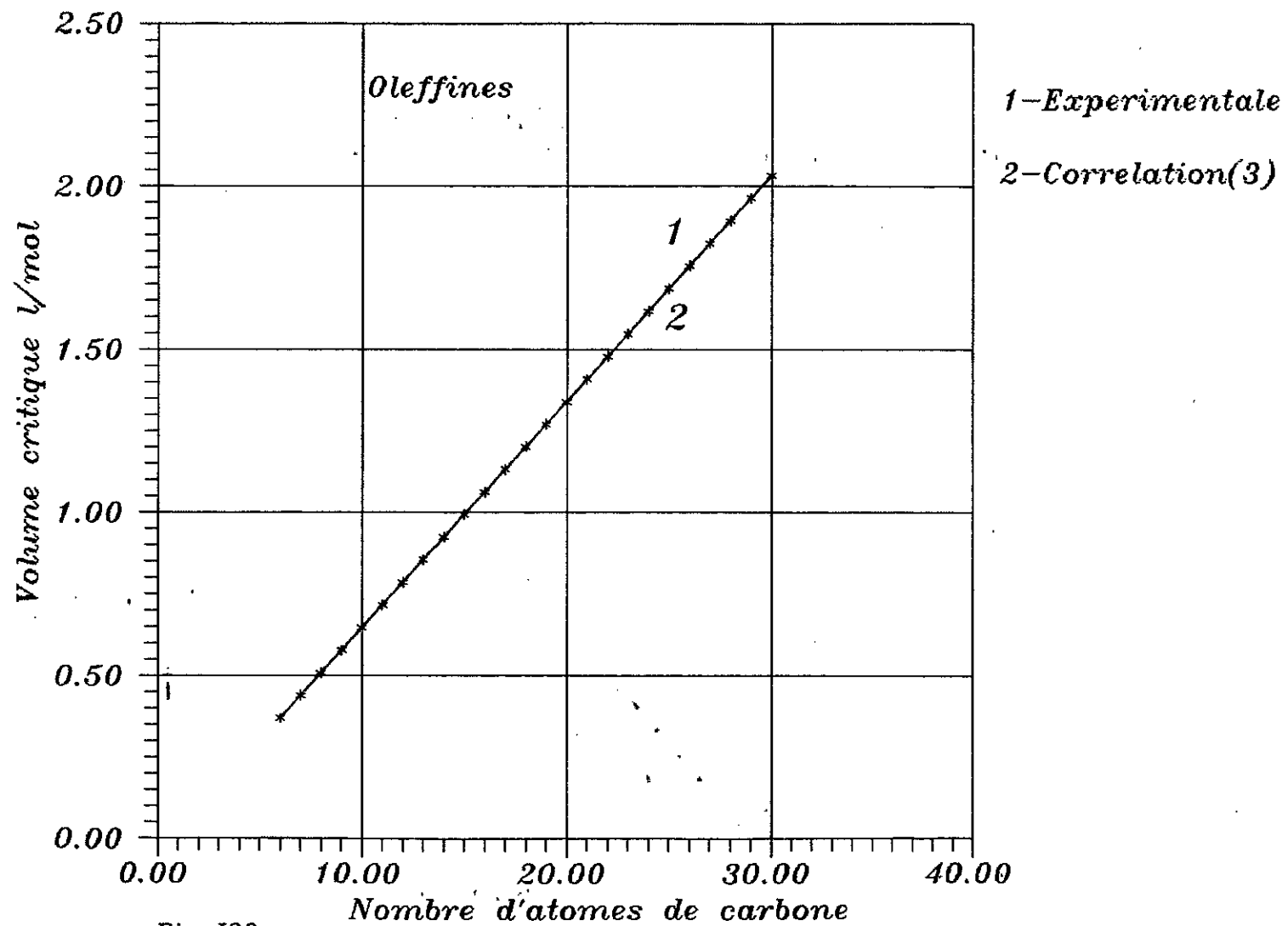


Fig 139

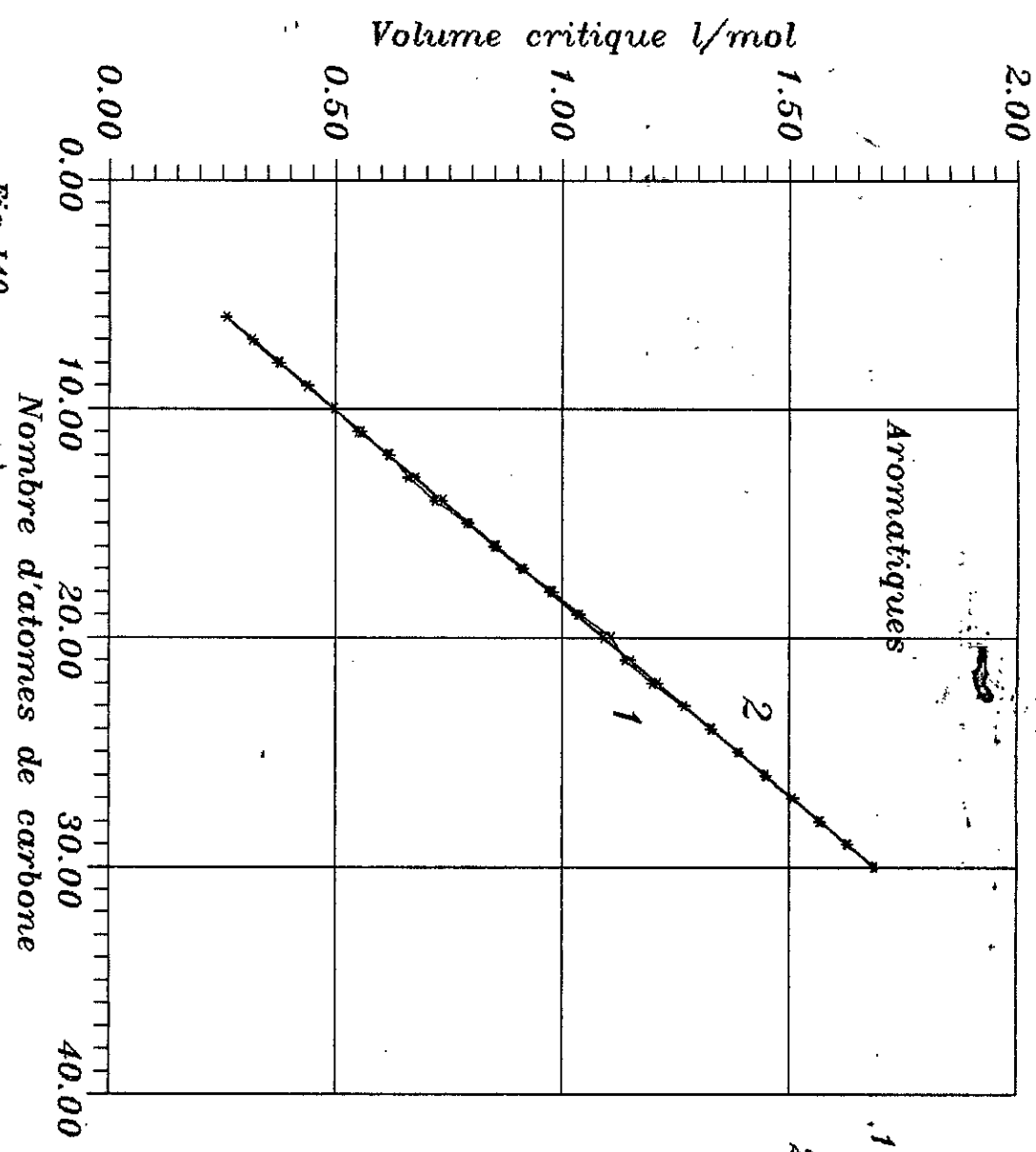


Fig 140

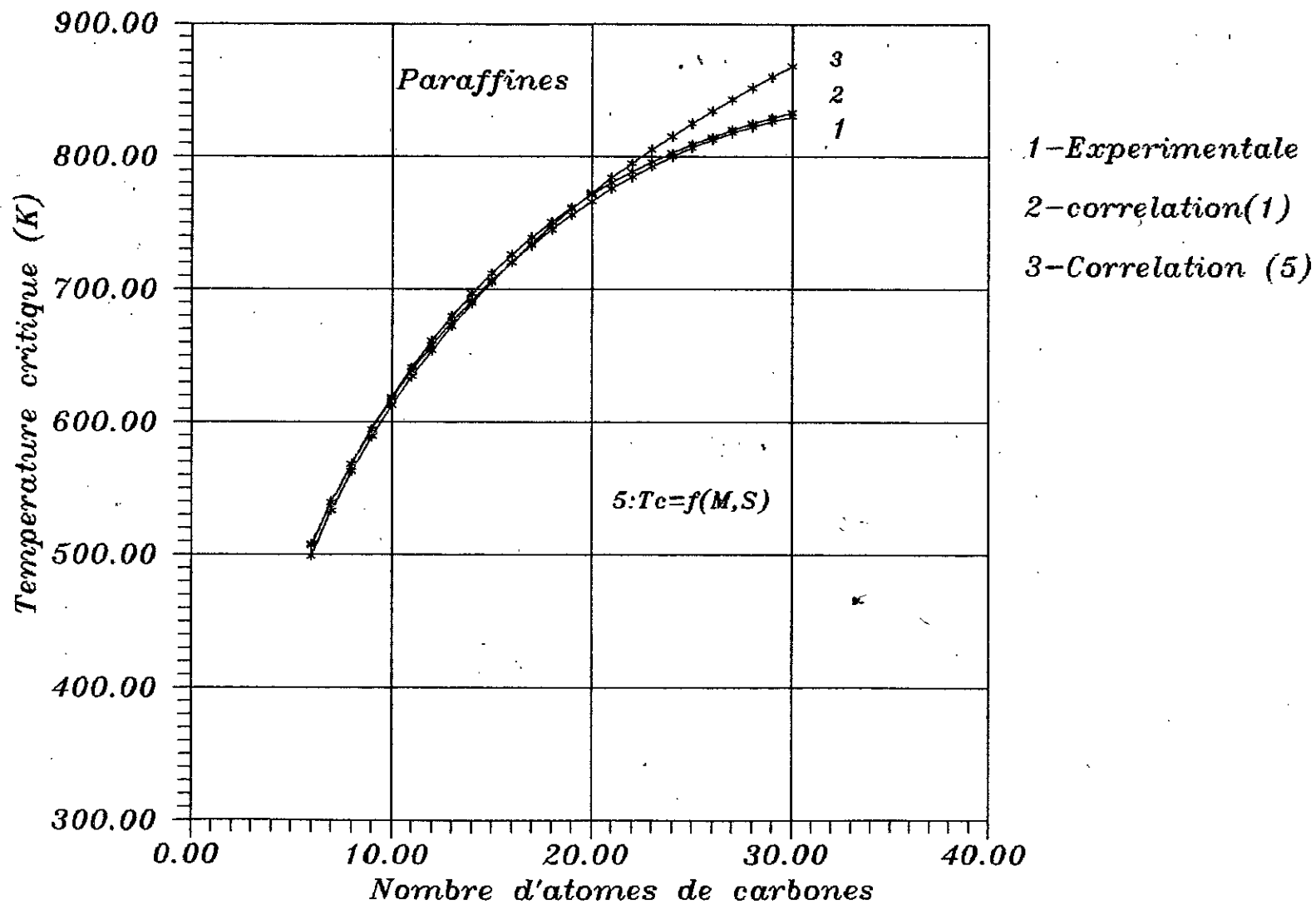


Fig141: Comparaison pour la temperature critique des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (1) et (5) par rapport aux valeurs experimentales .

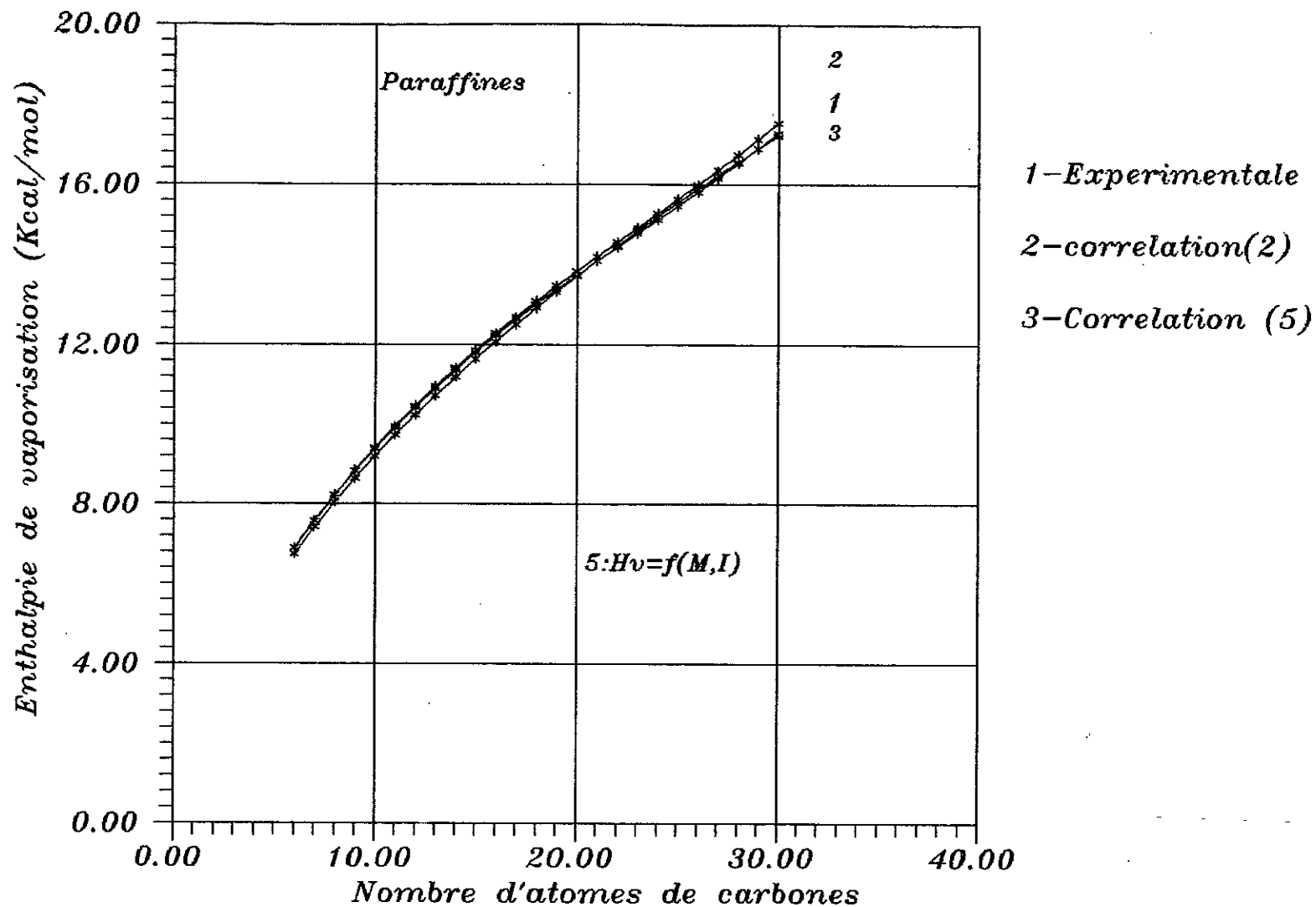


Fig 142: Comparaison pour l'enthalpie de vaporisation des courbes obtenues par l'utilisation des correlations (2) et (5) par rapport aux valeurs experimentales.

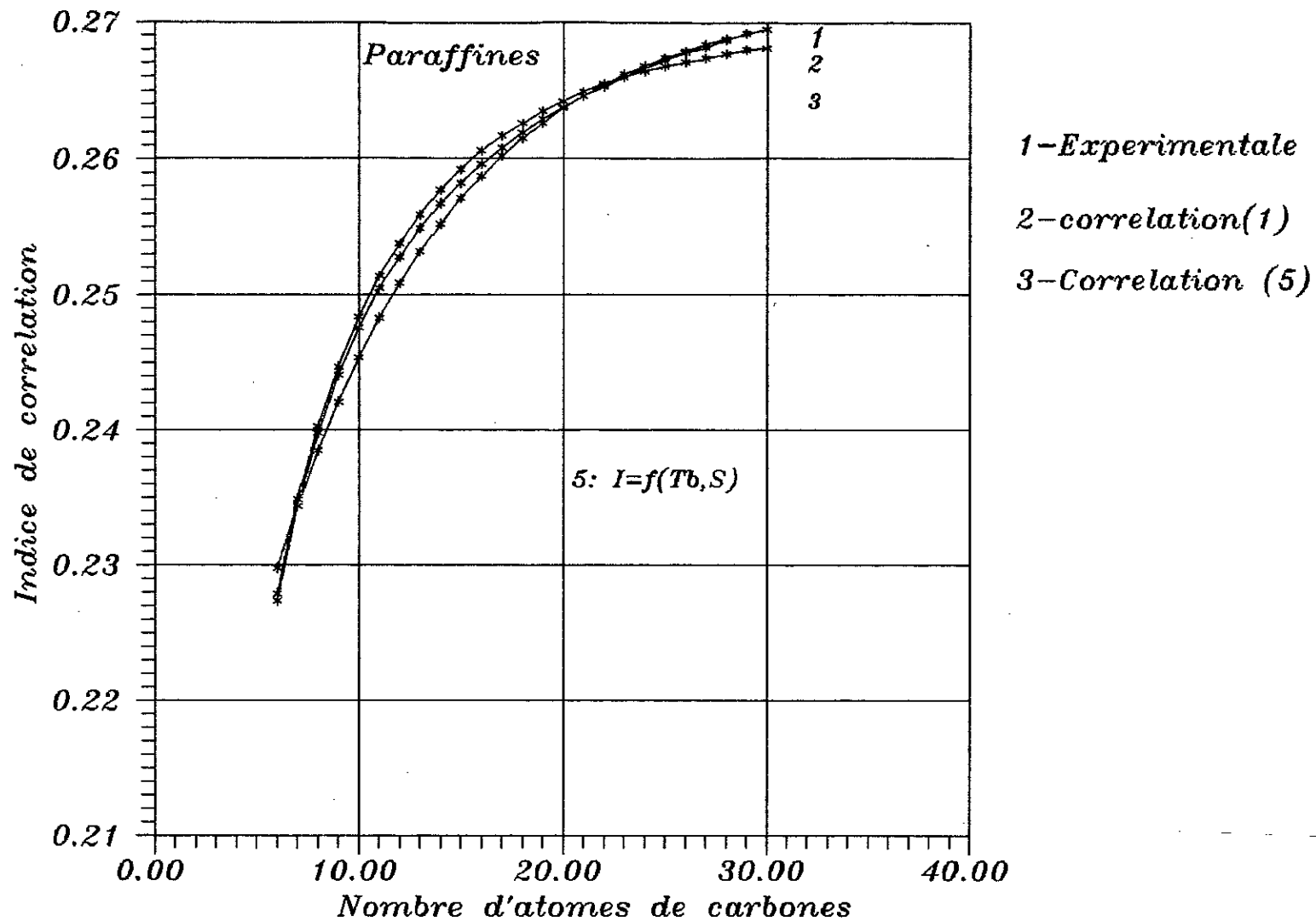


Fig 143: Comparaison pour l'indice de corrélation des courbes obtenues par l'utilisation des corrélations (1) et (5) par rapport aux valeurs expérimentales.

Les corps purs considérés sont les hydrocarbures lourds et légers ayant respectivement 14, 16, 18 et 6, 7, 8, 10 atomes de carbone des (04) familles étudiées précédemment. Vu le manque de ces corps, nous n'avons pas pu faire les expériences, donc nous avons considéré que les propriétés suivantes (d, n, Teb, Tc, Cg, Pc, Vc, Va, Hv et Ts) obéissent à la loi d'additivité qui a été vérifiée dans la littérature [1] et [2].

Dans les tableaux qui suivent, les notations suivantes désignent:

1: valeur calculée par la corrélation (1), (2) ou (3).

2: valeur expérimentale

3: % d'écart entre 1 et 2.

III-2-1 Mélange équimolaire de corps purs de même famille

III-2-1-1 Mélange paraffinique

Les corps sont: $C_{14}H_{30}$ (n-tétradécane)
 $C_{18}H_{38}$ (n-Octadécane)

Nous constatons que l'écart moyen en mole est légèrement inférieur à l'écart moyen massique. Ce dernier est égal l'écart moyen volumique (tableau II₁).

III-2-1-2 Mélange naphténique

Les corps sont: $C_{14}H_{28}$ (n-nonylcyclopentane)
 $C_{18}H_{36}$ (n-tridecylcyclopentane)

Nous constatons que l'écart moyen est pratiquement le même que ce soit un mélange molaire, massique ou volumique (tableau II₂).

III-2-1-3 Mélange oléfinique

Les corps sont: $C_{14}H_{28}$ (1-tétradécène)
 $C_{18}H_{36}$ (1-Octadécène)

Nous remarquons que l'écart moyen en mole est légèrement inférieur à l'écart moyen massique . Ce dernier est égal à l'écart moyen volumique (tableau II₃).

III-2-1-4 Mélange aromatique

Les corps sont: $C_{14}H_{22}$ (n-octylbenzène)
 $C_{18}H_{30}$ (n-dodécylbenzène)

Cette fois, l'écart moyen en mole est légèrement supérieur à l'écart moyen massique. Ce dernier est égal à l'écart moyen volumique (tableau II₄).

III 2-2 Mélange binaire de corps purs de familles différentes et même nombre d'atomes de carbone

III-2-2-1 mélange: paraffine+naphtene

Les corps sont: $C_{14}H_{30}$ et $C_{14}H_{28}$

On constate que les écarts molaire, massique et volumique moyens sont identiques (1.42 %) (tableau II₅).

III-2-2-2 mélange: paraffine+olefine

Les corps sont : $C_{14}H_{30}$ et $C_{14}H_{28}$

Les écarts molaire, massique et volumique moyens sont les même (tableau II₆).

III-2-2-3 Mélange:paraffine+aromatique

Les corps sont: $C_{14}H_{30}$ et $C_{14}H_{22}$

L'écart volumique moyen est légèrement inférieur à l'écart massique moyen . Ce dernier est égal à l'écart molaire moyen (tableau II₇).

III-2-2-4 mélange :naphtene+aromatique

Les corps sont: $C_{14}H_{28}$ et $C_{14}H_{22}$

Les trois écarts sont pratiquement les mêmes (tableau II₈) .

III-2-3 Mélange de corps purs de familles différentes et nombre d'atomes de carbones différent .

III-2-3-1 Mélange:paraffine+naphtene

Les corps sont: $C_{14}H_{30}$ et $C_{18}H_{36}$.

L'écart molaire moyen est légèrement inférieur à l'écart massique moyen de 0.01 .Ce dernier est aussi légèrement inférieur à l'écart volumique de 0.01 (tableau II₉) .

III-2-3-2 Mélange:paraffine+aromatique

Les corps sont: $C_{14}H_{30}$ et $C_{18}H_{30}$.

On remarque que l'écart molaire moyen n'est pas nettement supérieur à l'écart massique moyen . Ce dernier est légèrement inférieur à l'écart volumique moyen (tableau II₁₀) .

III-2-3-4 Mélange :Naphtene+aromatique

Les corps sont: $C_{14}H_{28}$ et $C_{18}H_{30}$.

On remarque que la différence des écarts n'est pas nettement significative (tableau II₁₁) .

III-2-4 Mélange ternaire de corps purs de même famille

On constate que pour les quatre familles , les écarts moyens molaire, massique et volumique sont pratiquement identiques (tableau II₁₂, II₁₃, II₁₄, II₁₅) .

III-2-5 Mélange ternaire de corps purs de familles différentes et même nombre d'atomes de carbone .

L'écart molaire moyen est légèrement inférieur à l'écart massique moyen . Ce dernier est aussi légèrement inférieur à l'écart volumique moyen (tableau II₁₅) .

III-2-6 Mélange ternaire de corps purs de familles différentes et nombre d'atomes de carbone différent.

Les trois écarts sont légèrement différents, mais cette différence n'est pas significative (tableau II₁₇).

III-2-7 Conclusion

1- Pour tous les mélanges étudiés précédemment, l'écart moyen n'excède pas 1.9 %. Nous pouvons cependant avancer que globalement, les trois corrélations donnent des résultats admissibles en comparaison avec d'autres corrélations dans la littérature.

2- Les propriétés suivantes (Va, Hv, Pc) sont les propriétés qui donnent les écarts les plus élevés.

3- Tous les mélanges d'hydrocarbures étudiés (légers ou lourds) ne marquent pas une différence significative entre les valeurs obtenues en composition molaire, massique ou volumique.

TABLEAU III1

MELANGE BINAIRE

FAMILLE: PARAFFINE



Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
d	0.7650	0.7688	0.49	0.7664	0.7700	0.46	0.7663	0.7699	0.46
n	1.4300	1.4319	0.13	1.4308	1.4325	0.12	1.4307	1.4325	0.12
Teb(°c)	285.3	285.1	0.08	289.5	289.0	0.15	289.0	288.6	0.15
Tc(°k)	723.9	718.5	0.75	727.3	721.8	0.76	726.9	721.5	0.76
Cg(°K)	268.8	290.0	7.3	270.2	291.4	7.3	270.0	291.2	7.3
Va(Cpoise)	3.34	3.24	3.07	3.49	3.38	3.08	3.47	3.37	3.08
Hv(Kcal/mol)	12.26	12.20	0.49	12.36	12.30	0.50	12.35	12.29	0.50
Pc(atm)	3.43	14.00	4.04	13.17	13.75	4.20	13.20	13.77	4.18
Vc(l/mol)	0.9100	0.9100	0.00	0.9234	0.9212	0.24	0.9221	0.9201	0.22
Ts(dyne/cm)	26.76	26.96	0.73	26.88	27.06	0.67	26.87	27.05	0.68
moyenne			1.71			1.75			1.74

Tableau II2

MELANGE: BINAIRE

FAMILLE: NAPHTENE

 $C_{14}H_{28}$ (n-nonylcyclopentane) $C_{18}H_{30}$ (n-tridecylcyclopentane)

composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriets									
d	0.8028	0.8093	0.81	0.8035	0.8099	0.79	0.8035	0.8099	0.79
IR	1.4444	1.4478	0.24	1.4448	1.4482	0.23	1.4448	1.4482	0.23
Teb(xc)	295.5	293.9	0.54	299.7	297.9	0.60	299.5	297.7	0.60
Tc(xK)	736.4	735.4	0.13	739.8	738.6	0.16	739.6	738.4	0.16
Cg(xK)	244.7	261.0	6.24	246.7	263.1	6.23	246.6	263.0	6.23
Va(Cpoise)	3.92	3.99	1.64	4.09	4.16	1.61	4.08	4.15	1.61
Hv(Kcal/mol)	12.85	12.13	5.89	12.95	12.24	5.82	12.95	12.23	5.82
pc(atm)	14.39	14.10	2.08	14.07	13.82	1.82	14.09	13.83	1.84
Vc(l/mol)	0.870	0.868	0.21	0.883	0.882	0.20	0.883	0.881	0.20
Ts(dyne/cm)	38.05	38.20	0.39	38.09	38.25	0.41	38.09	38.25	0.41
moyenne			1.80			1.79			1.79

Tableau II3

MELANGE: BINAIRE

FAMILLE: OLEFINE

$C_{14}H_{28}$ (1-tétradécène)

$C_{18}H_{36}$ (1-octadécène)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
d	0.7727	0.7765	0.49	0.7741	0.7776	0.45	0.7739	0.7775	0.46
IR	1.4366	1.4385	0.13	1.4373	1.4390	0.12	1.4372	1.4390	0.12
Teb(°c)	283.8	282.9	0.29	287.9	286.9	0.37	287.6	286.6	0.36
Tc(°K)	713.7	713.8	0.02	716.9	716.8	0.01	716.6	716.6	0.00
Cg(°K)	271.5	275.4	1.41	273.5	277.3	1.35	273.3	277.1	1.36
Va(Cpoise)	2.86	2.83	1.11	2.99	2.96	1.12	2.98	2.95	1.12
Hv(kcal/mol)	11.90	11.97	0.59	11.99	12.07	0.63	11.98	12.06	0.63
Pc(atm)	12.24	13.17	7.04	11.93	12.89	7.16	11.99	12.92	7.15
Vc(l/mol)	1.0630	1.0647	0.16	1.0803	1.0821	0.16	1.0788	1.0805	0.16
Ts(dyne/cm)	27.29	27.21	0.30	27.41	27.32	0.35	27.40	27.31	0.34
moyenne			1.15			1.17			1.17

Tableau II4

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : AROMATIQUE

$C_{14}H_{22}$ (n-octylbenzene)

$C_{18}H_{30}$ (n-dodecylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Proprietés									
d	0.8547	0.8520	0.31	0.8546	0.8519	0.31	0.8546	0.8519	0.31
IR	1.4838	1.4814	0.16	1.4836	1.4812	0.16	1.4836	1.4812	0.16
Teb(°c)	293.9	296.0	0.68	298.3	300.2	0.64	298.3	300.2	0.64
Tc(°K)	750.18	751.02	0.11	753.45	754.1	0.08	753.4	754.1	0.09
Cg(°k)	256.2	256.5	0.11	258.55	259.1	0.20	258.5	259.1	0.20
Va(Cpoise)	3.68	3.54	3.90	3.85	3.70	3.93	3.85	3.70	3.93
Hv(Kcal/mol)	12.30	12.10	1.69	12.39	12.22	1.40	12.39	12.22	1.40
Pc(atm)	18.48	17.85	3.53	18.11	17.55	3.19	18.11	17.55	3.19
Vc(l/mol)	0.8550	0.8500	0.59	0.8708	0.8672	0.41	0.8709	0.8673	0.41
Ts(dyne/cm)	35.74	35.65	0.25	35.98	35.91	0.21	35.98	35.91	0.21
moyenne			1.09			1.05			1.05

Tableau II5

MELANGE: BINAIRE

FAMILLE: PARAFFINE+NAPHTENE

$C_{14}H_{30}$ (n-tétradécane)

$C_{14}H_{28}$ (n-nonylcyclopentane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.7750	0.7818	0.87	0.7749	0.7817	0.87	0.7743	0.7810	0.86
IR	1.4322	1.4358	0.25	1.4321	1.4357	0.25	1.4319	1.4355	0.25
Teb(xc)	256.9	257.7	0.31	256.9	257.7	0.31	256.8	257.6	0.32
Tc(xk)	702.1	701.2	0.13	702.1	701.1	0.13	701.9	700.8	0.15
Cg(xK)	243.1	261.5	7.00	243.23	261.5	7.01	243.6	262.0	7.03
Va(Cpoise)	2.36	2.36	0.00	2.36	2.36	0.00	2.36	2.35	0.22
Hv(Kcal/mol)	11.72	11.33	3.45	11.72	11.33	3.45	11.71	11.33	3.34
Pc(atm)	16.22	16.15	0.47	16.22	16.15	0.46	16.20	16.14	0.36
Vc(l/mol)	0.7809	0.7890	1.02	0.7810	0.7892	1.03	0.7816	0.7901	1.06
Ts(dyne/cm)	31.75	31.97	0.67	31.72	31.94	0.68	31.55	31.77	0.69
moyenne			1.42			1.42			1.43

Tableau II6

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : PARAFFINE+OLEFINE

 $C_{14}H_{30}$ (n-tétradécane) $C_{14}H_{28}$ (1-tétradécène)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.7577	0.7635	0.76	0.7576	0.7634	0.76	0.7576	0.7634	0.76
IR	1.4276	1.4306	0.20	1.4276	1.4305	0.20	1.4276	1.4305	0.20
Teb(°c)	251.1	252.3	0.46	251.1	252.3	0.46	252.1	252.3	0.46
Tc(°K)	692.0	690.7	0.18	692.3	690.7	0.19	692.0	690.7	0.19
Cg(°K)	256.5	269.5	4.82	256.5	269.5	4.83	256.5	269.6	4.85
Va(Gpoise)	2.03	1.96	3.76	2.03	1.96	3.76	2.03	1.96	3.76
Hv(Kcal/mol)	11.30	11.29	0.09	11.30	11.29	0.09	11.30	11.29	0.09
Pc(atm)	14.97	15.70	4.60	14.98	15.70	4.59	14.98	15.70	4.59
Vc(l/mol)	0.8632	0.8731	1.13	0.8629	0.8728	1.14	0.8626	0.8725	1.14
Ts(dyne/cm)	26.06	26.24	0.66	26.06	26.24	0.66	26.06	26.24	0.66
moyenne			1.67			1.66			1.67

Tableau II7

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : PARAFFINE + AROMATIQUE

 $C_{14}H_{30}$ (n-tétradécane) $C_{14}H_{22}$ (n-octylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.8042	0.8059	0.20	0.8032	0.8049	0.21	0.8002	0.8022	0.24
μ	1.4544	1.4546	0.02	1.4538	1.4541	0.02	1.4520	1.4525	0.03
Teb(°C)	256.8	258.9	0.82	256.7	258.8	0.82	256.4	258.5	0.08
Tc(°K)	711.3	709.8	0.20	711.0	709.5	0.21	710.1	708.4	0.24
Cg(°K)	248.1	257.9	3.80	248.3	258.3	3.87	248.9	259.6	4.11
Va(Cpoise)	2.27	2.20	3.23	2.27	2.20	3.23	2.26	2.19	3.20
Hv(Kcal/mol)	11.54	11.29	2.22	11.53	11.29	2.18	11.53	11.29	2.08
Pc(atm)	18.39	18.05	1.88	18.33	18.00	1.79	18.16	17.89	1.54
Vc(l/mol)	0.7689	0.7700	0.14	0.7691	0.7702	0.15	0.7710	0.7731	0.28
Ts(dyne/cm)	29.86	29.92	0.19	29.77	29.84	0.21	29.54	29.62	0.26
moyenne			1.27			1.27			1.20

Tableau II8

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : NAPHTENE+AROMATIQUE

 $C_{14}H_{28}$ (n-nonylcyclopentane) $C_{14}H_{22}$ (n-octylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
propriétés									
d	0.8258	0.8285	0.32	0.8253	0.8281	0.33	0.8245	0.8274	0.35
n	1.4627	1.4635	0.06	1.4623	1.4632	0.06	1.4617	1.4627	0.07
Teb(°C)	261.7	263.2	0.56	261.7	263.2	0.55	261.7	263.1	0.53
Tc(°K)	717.6	719.2	0.22	717.4	719.0	0.22	717.2	718.8	0.22
Cg(°K)	233.5	240.5	2.91	233.4	240.6	2.96	233.3	240.7	3.07
Va(Cpoise)	2.47	2.46	0.56	2.47	2.46	0.52	2.47	2.46	0.43
Hv(Kcal/mol)	11.84	11.24	5.30	11.84	11.24	5.30	11.84	11.24	5.30
Pc(atm)	19.09	18.20	4.89	19.05	18.17	4.88	18.99	18.11	4.85
Vc(l/mol)	0.7478	0.7390	1.19	0.7480	0.7393	1.17	0.7483	0.7398	1.14
Ts(dyne/cm)	35.82	35.77	0.15	35.85	35.80	0.15	35.91	35.86	0.13
moyenne			1.62			1.61			1.61

Tableau II9

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : PARAFFINE+NAPHTENE

$C_{14}H_{30}$ (n-tetradecane)

$C_{18}H_{36}$ (n-tridecylcyclopentane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
propriétés									
d	0.7750	0.7818	0.87	0.7749	0.7817	0.87	0.7743	0.7810	0.86
n	1.4361	1.4390	0.20	1.4376	1.4404	0.20	1.4371	1.4400	0.20
Teb(°C)	290.6	289.7	0.31	295.2	294.0	0.40	293.9	292.8	0.38
Tc(°K)	730.1	726.1	0.55	734.1	730.2	0.53	733.0	729.0	0.54
Cg(°K)	259.3	278.4	6.85	259.5	278.4	6.76	259.5	278.4	6.79
Va(Cpoise)	3.72	3.73	0.22	3.91	3.92	0.42	3.85	3.87	0.36
Hv(Kcal/mol)	12.55	12.18	3.04	12.68	12.27	3.34	12.65	12.25	3.35
Pc(atm)	13.69	13.95	1.84	13.47	13.70	1.68	13.53	13.77	1.73
Vc(l/mol)	0.8911	0.8992	0.90	0.9018	0.9087	0.76	0.8987	0.9060	0.80
Ts(dune/cm)	32.08	32.35	0.82	32.84	33.10	0.78	32.62	32.88	0.79
moyenne			1.56			1.57			1.58

Tableau II10

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : PARAFFINE+AROMATIQUE

$C_{14}H_{30}$ (n-tétradecane)

$C_{18}H_{30}$ (n-dodécylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.8039	0.8053	0.18	0.8095	0.8105	0.12	0.8066	0.8079	0.15
n	1.4532	1.4536	0.02	1.4565	1.4566	0.00	1.4549	1.4551	0.01
Teb(°C)	289.2	290.5	0.46	293.4	294.7	0.45	291.2	292.6	0.45
Tc(°K)	735.7	733.0	0.36	740.0	737.6	0.33	737.8	735.3	0.35
Cg(°K)	265.8	277.4	4.18	266.72	277.3	3.80	266.2	277.3	3.99
Va(cpoise)	3.57	3.44	3.71	3.73	3.59	3.77	3.65	3.51	3.74
Hv(Kcal/mol)	12.19	12.19	0.00	12.27	12.28	0.04	12.23	12.23	0.00
Pc(atm)	15.61	15.80	1.16	15.62	15.77	0.96	15.62	15.79	1.06
Vc(l/mol)	0.8881	0.9000	1.32	0.8978	0.9090	1.24	0.8929	0.9044	1.28
Ts(dyne/cm)	31.67	31.85	0.57	32.33	32.49	0.50	32.26	32.42	0.51
moyenne			1.20			1.12			1.15

Tableau II11

MELANGE : BINAIRE

FAMILLE : NAPHTENE+AROMATIQUE

 $C_{14}H_{28}$ (n-nonylcyclopentane) $C_{18}H_{30}$ (n-dodécylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
propriétés									
d	0.8255	0.8280	0.30	0.8288	0.8307	0.22	0.8280	0.8300	0.24
n	1.4615	1.4625	0.06	1.4640	1.4645	0.04	1.4634	1.4640	0.04
Teb(°C)	294.11	294.80	0.23	297.9	298.6	0.25	296.9	297.7	0.24
Tc(°K)	742.0	742.3	0.04	745.8	746.0	0.03	744.9	745.1	0.03
Cg(°K)	251.2	260.0	3.40	253.8	261.9	3.07	253.2	261.4	3.15
Va(Cpoise)	3.77	3.70	1.90	3.91	3.82	2.22	3.87	3.79	2.14
Hv(Kcal/mol)	12.49	12.14	2.83	12.54	12.24	2.44	12.53	12.22	2.53
Pc(atm)	16.31	15.95	2.30	16.24	15.91	2.11	16.26	15.92	2.16
Vc(l/mol)	0.8670	0.8690	0.23	0.8795	0.8820	0.27	0.8791	0.8815	0.27
Ts(dyne/cm)	37.63	37.70	0.18	37.62	37.69	0.17	37.63	37.69	0.17
moyenne			1.15			1.08			1.10

Tableau II12

MELANGE : TERNAIRE

FAMILLE : PARAFFINE

$C_{14}H_{30}$ (n-tétradécane)

$C_{16}H_{34}$ (n-hexadécane)

$C_{18}H_{38}$ (n-octadécane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.7619	0.7663	0.56	0.7629	0.7670	0.54	0.7628	0.7670	0.54
n	1.4284	1.4306	0.15	1.4289	1.4310	0.15	1.4288	1.4309	0.15
Teb(°C)	275.8	276.1	0.09	278.5	278.6	0.04	278.2	278.4	0.05
Tc(°K)	716.5	711.1	0.76	718.6	713.2	0.76	718.4	712.9	0.76
Cg(°K)	265.7	287.0	7.41	266.6	287.9	7.39	266.5	287.8	7.39
Va(Cpoise)	2.94	2.85	3.10	3.03	2.94	3.11	3.02	2.93	3.11
Hv(Kcal/mol)	12.02	11.96	0.45	12.08	12.03	0.46	12.08	12.02	0.46
Pc(atm)	14.00	14.60	4.05	13.84	14.44	4.16	13.85	14.46	4.15
Vc(l/mol)	0.8776	0.8890	1.28	0.8861	0.8963	1.14	0.8852	0.8956	1.15
Ts(dyne/cm)	26.50	26.73	0.86	26.57	26.79	0.82	26.57	26.79	0.82
moyenne			1.87			1.86			1.86

Tableau II14

MELANGE : TERNAIRE

FAMILLE : OLEFINE

$C_{14}H_{28}$ (1-tétradecène)

$C_{16}H_{32}$ (1-héxadecène)

$C_{18}H_{36}$ (1-octadecène)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.7699	0.7742	0.55	0.7708	0.7749	0.53	0.7707	0.7748	0.53
n	1.4352	1.4374	0.15	1.4356	1.4377	0.14	1.4356	1.4377	0.14
Teb(°C)	274.2	273.9	0.11	276.9	276.5	0.15	276.7	276.3	0.15
Tc(°K)	706.4	707.4	0.14	708.5	709.3	0.11	708.3	709.1	0.11
Cg(°K)	267.1	271.3	1.55	268.4	272.5	1.52	268.3	272.4	1.52
Va(Cpoise)	2.61	2.48	4.97	2.69	2.56	4.97	2.68	2.55	4.97
Hv(Kcal/mol)	11.70	11.76	0.58	11.75	11.83	0.61	11.75	11.82	0.61
Pc(atm)	12.83	13.85	7.33	12.65	13.67	7.42	12.67	13.69	7.42
Vc(l/mol)	1.0214	1.0233	0.18	1.0324	1.0342	0.18	1.0314	1.0332	0.18
Ts(dyne/cm)	27.04	26.99	0.20	27.12	27.06	0.23	27.11	27.05	0.22
moyenne			1.58			1.59			1.59

Tableau II13

MELANGE : TERNAIRE

FAMILLE : NAPHTENE

$C_{14}H_{28}$ (n-nonylcyclopentane)

$C_{16}H_{32}$ (n-undécylcyclopentane)

$C_{18}H_{36}$ (n-tridécylcyclopentane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
d	0.8011	0.8080	0.85	0.8016	0.8084	0.84	0.8016	0.8084	0.84
n	1.4433	1.4470	0.25	1.4436	1.4472	0.25	1.4436	1.4472	0.25
Teb(°C)	285.9	284.9	0.38	288.6	287.4	0.42	288.5	287.3	0.42
Tc(°K)	728.9	728.5	0.05	731.0	730.5	0.07	730.9	730.4	0.07
Gg(°K)	240.3	256.5	6.31	241.6	257.9	6.3	241.6	257.8	6.3
Va(Cpoise)	3.46	3.51	1.84	3.57	3.63	1.82	3.56	3.63	1.82
Hv(Kcal/mol)	12.60	11.89	6.02	12.67	11.95	5.97	12.66	11.95	5.97
Pc(atm)	15.07	14.68	2.63	14.86	14.50	2.48	14.87	14.51	2.49
Vc(l/mol)	0.8369	0.8351	0.21	0.8457	0.8439	0.21	0.8452	0.8434	0.21
Ts(dyne/cm)	37.97	38.11	0.37	37.99	38.14	0.38	37.99	38.14	0.38
moyenne			1.89			1.87			1.87

Tableau II15

MELANGE : TERNAIRE

FAMILLE : AROMATIQUE

$C_{14}H_{22}$ (n-octylbenzene)

$C_{16}H_{26}$ (n-décylbenzene)

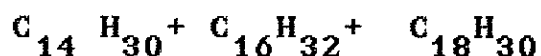
$C_{18}H_{30}$ (n-dodécylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
propriétés									
d	0.8547	0.8521	0.30	0.8547	0.8521	0.30	0.8547	0.8521	0.30
n	1.4841	1.4816	0.16	1.4840	1.4815	0.16	1.4840	1.4815	0.16
Teb(°C)	284.8	287.0	0.79	287.5	289.7	0.76	287.5	289.7	0.76
Tc(°K)	743.4	744.7	0.16	745.5	746.6	0.15	745.5	746.6	0.15
Cg(°K)	251.3	251.2	0.03	252.8	252.9	0.03	252.8	252.9	0.03
Va(Cpoise)	3.23	2.94	9.83	3.33	3.03	9.89	3.33	3.03	9.89
Hv(Kcal/mol)	12.09	11.83	2.23	12.15	11.91	2.03	12.15	11.91	2.03
Pc(atm)	19.21	18.45	4.13	18.97	18.25	3.93	18.97	18.25	3.93
Vc(l/mol)	0.8192	0.8110	1.01	0.8292	0.8219	0.89	0.8293	0.8220	0.89
Ts(dyne/cm)	35.24	35.13	0.31	35.40	35.30	0.27	35.40	35.30	0.27
moyenne			1.90			1.84			1.84

Tableau I17

MELANGE: TERNAIRE

FAILLE: PARAFFINE+NAPHTENE+AROMATIQUE



Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriétés									
d	0.7886	0.7929	0.54	0.7922	0.7962	0.50	0.7903	0.7945	0.52
n	1.4419	1.4440	0.14	1.4439	1.4458	0.13	1.4429	1.4449	0.13
Teb(°C)	280.5	281.0	0.17	283.2	283.7	0.16	281.8	282.3	0.16
Tc(°K)	724.8	721.9	0.40	727.6	724.9	0.37	726.2	723.4	0.38
Cg(°K)	257.5	273.5	5.83	257.8	273.2	5.6	257.7	273.4	5.73
Va(Cpoise)	3.20	3.15	1.47	3.30	3.25	1.50	3.25	3.20	1.49
Hv(Kcal/mol)	12.16	11.93	1.87	12.22	11.99	1.90	12.19	11.96	1.88
Pc(atm)	15.13	15.27	0.88	15.12	15.23	0.72	15.13	15.25	0.80
Vc(l/mol)	0.8568	0.8665	1.11	0.8628	0.8718	1.03	0.8597	0.8690	1.07
Ts(dyne/cm)	31.84	32.06	0.69	32.09	32.31	0.65	31.83	32.05	0.68
moyenne			1.31			1.26			1.28

Tableau II18

Propriété: densité

Mélange: binaire

Famille: Paraffine

C_6H_{14} (Hexane)

C_8H_{18} (Octane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriété									
d	0.6718	0.6766	0.71	0.6742	0.6797	0.80	0.6737	0.6790	0.78
n	1.3813	1.3837	0.17	1.3825	1.3853	0.20	1.3822	1.3849	0.19
Ts (dyne/cm)	19.56	19.46	0.53	19.73	19.69	0.22	19.69	19.64	0.29

Tableau II19

Mélange: binaire

Famille: naphtene

C_6H_{12} (Methylcyclopentane)

C_8H_{16} (n-propylcyclopentane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriété									
d	0.7530	0.7580	0.60	0.7546	0.7604	0.76	0.7544	0.7602	0.75
n	1.4128	1.4154	0.19	1.4137	1.4169	0.22	1.4136	1.4167	0.21
Ts (dyne/cm)	34.40	34.43	0.08	34.54	34.55	0.04	34.52	34.54	0.05

Tableau II20

Mélange : binaire

Famille : aromatique

C_6H_6 (Benzene)

C_7H_8 (Methylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriété									
d	0.8706	0.8680	0.29	0.8703	0.8675	0.31	0.8703	0.8675	0.32
n	1.4966	1.4960	0.03	1.4964	1.4958	0.04	1.4964	1.4958	0.04
Ts (dyne/cm)	22.45	22.56	0.49	22.54	22.64	0.45	22.54	22.64	0.45

Tableau II21

Mélange : binaire

Famille : Paraffine + Naphtene

C_6H_{14} (Hexane)

C_8H_{16} (n-propylcyclopentane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriété									
d	0.7085	0.7135	0.70	0.7156	0.7212	0.78	0.7112	0.7164	0.73
n	1.3954	1.3981	0.19	1.3984	1.4015	0.21	1.3966	1.3994	0.20
Ts (dyne/cm)	26.76	26.48	1.09	27.88	27.62	0.94	27.63	27.37	0.97

Tableau II22

Mélange : binaire

Famille : Paraffine+Aromatique

C_6H_{14} (Hexane)

C_7H_{16} (ethylbenzene)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
d	0.7611	0.7585	0.33	0.7647	0.7621	0.34	0.7501	0.7478	0.30
n	1.4338	1.4332	0.04	1.4358	1.4353	0.04	1.4274	1.4269	0.03
Ts (dyne/cm)	20.90	20.64	1.27	20.99	20.74	1.23	20.64	20.35	1.43

Tableau II23

Mélange : ternaire

Famille : Paraffine

C_6H_{14} (Hexane)

C_8H_{18} (Octane)

$C_{10}H_{22}$ (decane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
d	0.6772	0.6822	0.73	0.6823	0.6882	0.86	0.6812	0.6869	0.83
n	1.3841	1.3866	0.18	1.3867	1.3897	0.22	1.3861	1.3891	0.21
Ts (dyne/cm)	19.96	19.91	0.28	20.34	20.37	0.19	20.26	20.28	0.09

Tableau II24

Mélange : ternaire

Famille : Paraffine + Aromatique + Naphtene

C_6H_{14} (Hexane)

C_7H_8 (methylbenzene)

C_8H_{16} (n-propylcyclopentane)

Composition	molaire			massique			volumique		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Propriété									
d	0.7401	0.7405	0.06	0.7438	0.7447	0.12	0.7331	0.7341	0.13
n	1.4184	1.4192	0.05	1.4199	1.4209	0.06	1.4139	1.4149	0.06
Ts (dyne/cm)	23.25	22.97	1.19	23.92	23.67	1.08	23.49	23.21	1.23

III-3 Application des corrélations (1),(2) et (3) aux fractions pétrolières

III-3-1 Fondement théorique

L'application des corrélations sus citées aux différentes fractions pétrolières a été faite d'une manière indirecte . Toutes les propriétés ont été écrite en fonction de la densité expérimentale .

Exemple:

Corrélation (1)

La densité s'écrit:
$$d = d_0 + P_2 \left[1 - K_2 \right]^{N-6} \quad (1)$$

Tirons N :
$$N = \frac{1}{\ln K_2} \ln \left[\frac{P_2 + d_0 - d}{P_2} \right] + 6 \quad (2)$$

L'indice de réfraction s'écrit:
$$n = n_0 + P_1 \left[1 - K_1 \right]^{N-6} \quad (3)$$

Tirons N :
$$N = \frac{1}{\ln K_1} \ln \left[\frac{P_1 + n_0 - n}{P_1} \right] + 6 \quad (4)$$

Egalons les équations (2) et (4) et posons :

$$C = \frac{\ln K_1}{\ln K_2}$$

d est la densité de la fraction pétrolière.

n est l'indice de réfraction de la fraction pétrolière.

On aura alors:
$$\ln \left[\frac{P_1 + n_0 - n}{P_1} \right] = \ln \left[\frac{P_2 + d_0 - d}{P_2} \right]^C = Z \quad (5)$$

L'équation finale s'écrit alors:
$$n = n_0 + P_1 \left[1 - e^{-Z} \right] \quad (6)$$

III-3-2 Application des corrélations à une charge de normales paraffines obtenue par chlartation à partir d'un gaz oil.

Les résultats sont regroupés dans le tableau N°5.1 .

Valeurs →	Valeurs experimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.776	-	-
n	1.4390	1.4358	0.22
Teb(C)	323.6	316.6	2.17
Cg(K)	302.1	279.2	7.57
Tc(K)	748.8	749.4	0.12
Pc(atm)	11.9	11.5	3.68
Vc(l/mol)	1.10	1.12	2.30
Va(Cp)	5.855	6.274	7.16
Hv(cal/mol)	13.256	13.840	4.41
% Ecart moy			3.45

TABLEAU N°5.1

Commentaire:

L'écart moyen observé est inférieur à 3.5% .Nous notons que l'écart maximum atteint 7.16% pour la viscosité . Cette écart est admissible si comparé à ceux donnés dans la litterature. Cette dernière cite des écarts allant jusqu'à 15% .Ce ci dit que la viscosité se laisse mal corrélér .

III-3-3 Application des corrélations à un distillat lourd issus de la distillation "TBP" d'un pétrole brut de hassi Messaoud [2]

La fraction pétrolière étudiée est distillée d'un pétrole brut Algerin de Hassi Messaoud qui distille entre [360-400°C] . La

composition de cette fraction déterminée par la méthode ndPA est :
 $X_p=63.3\%$; $X_n=19.9\%$; $X_a=16.8\%$.

Les résultats sont regroupés dans le tableau N°5.2

Valeurs →	Valeurs experimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.8837	-	-
n	1.4927	1.4330	4
Teb(C)	-	-	-
Cg(K)	290	219	24.48
Tc(K)	827.5	598.2	27.71
Pc(atm)	-	-	-
Vc(l/mol)	-	-	-
Va(Cp)	-	-	-
Hv(cal/mol)	-	-	-
% Ecart moy			18.73

Tableau N°5.2

Commentaire:

L'écart moyen observé est très élevé . Ce ci peut être expliqué par le faite que cette fraction est très lourde ($d=0.8837$) . D'autre part nos corrélations sont valables pour les densités allant de :

0.6548 à 0.8053 pour les paraffines

0.7439 à 0.8239 pour les naphtenes

0.8541 à 0.8737 pour les aromatiques

III-3-4 Fraction pétrolière issue de la distillation du pétrole brut de Hassi Messaoud (1)

Cette fraction est issue d'un pétrole brut Algérien de Hassi Messaoud dont la température d'ébullition mean average est de 115°C . La composition de cette fraction déterminée par chromatographie en phase gazeuse est:

$X_p=54.7\%$; $X_n= 42.1\%$; $X_a= 3.3\%$.

Les résultats figurent dans le tableau N°5.3

Valeurs →	Valeurs expérimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.740	-	-
n	1.4110	1.4160	0.35
Teb(C)	115	144	25.21
Cg(K)	-	-	-
Tc(K)	572.4	605.9	5.85
Pc(atm)	28.02	28.46	1.57
Vc(l/mol)	-	-	-
Va(Cp)	20.32	28.83	41.87
Hv(cal/mol)	8.05	8.60	6.83
% Ecart moy			13.60

TABLEAU N°5.3

Commentaire:

L'écart accentuant est représenté par la tension superficielle . Cette différence considérable entre la valeur calculée par la corrélation (1) et la valeur expérimentale est due à la corrélation elle même , car pour les familles naphténique et aromatique , la majorité des données qui sont considérées expérimentales et qui étaient à la base de la construction de cette corrélation sont en réalité des valeurs extrapolées .Donc

pour ces deux familles qui représentent respectivement 42.1 et 3.3% de la fraction ont une influence sur la valeur globale de la propriété .

III-3-5 Fraction pétrolière issue de la distillation du pétrole brut de Geullala III.

La composition de cette fraction pétrolière déterminée par chromatographie en phase gazeuse est :

$X_p=70.6\%$; $X_n=29.4\%$; $X_a=00.0\%$.

Les résultats figurent dans le tableau N°5.4

Valeurs →	Valeurs expérimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.693	0.670	3.31
n	1.3890	1.3825	0.46
Teb(C)	-	-	-
Gg(K)	-	-	-
Tc(K)	522.6	518.5	0.78
Pc(atm)	31.1	31.9	2.57
Vc(l/mol)	-	-	-
Va(Cp)	-	-	-
Hv(cal/mol)	7.0	6.64	5.14
% Ecart moy			2.45

Tableau N°5.4

Commentaire:

Comparés aux écarts observés dans le cas des hydrocarbures purs , les résultats figurant dans le tableau N°5.4 sont satisfaisants.

III-3-6 Fractions pétrolières N°1,2 et 3

Les résultats sont regroupés dans le tableau N°5.5 .

Fraction N°1			
Valeurs →	Valeurs expérimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.6190	0.6293	1.66
n	1.3772	1.3973	1.83
Teb(C)			
% Ecart moy			1.74
Fraction N°2			
Valeurs →	Valeurs expérimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.7165	0.6962	2.83
n	1.4008	1.3696	2.22
Teb(C)			
% Ecart moy			2.52
Fraction N°3			
Valeurs →	Valeurs expérimentales	Valeurs calculées	% Ecart
Propriétés ↓			
d	0.730	0.6371	12.62
n	1.4104	1.3618	3.44
Teb(C)			
% Ecart moy			

Commentaire: La méthode n,d,PA appliquées aux fractions pétrolières 1, 2 et 3 n'a pas donné des résultats admissibles par des

calculs, on a abouti à des compositions négatives , chose qui n'a pas de sens . Cependant, les valeurs des propriétés obtenues par calcul en utilisant nos corrélations avec ces mêmes compositions présentent des écarts allant de 1.6% à 12.62% . Ces écarts que j'estime considérables sont peut être dûs à la méthode n.d.PA , à nos corrélations qui sont en réalité valables que pour les hydrocarbures purs , ou bien aux erreurs de mesure de la densité, l'indice de réfraction et le point d'aniline.

UTILISATION DE LA NOMOGRAPHIE

1. Introduction

La méthode d'utilisation de la nomographie est donnée en annexe. Cette méthode a été appliquée pour porter graphiquement les différentes propriétés pour les familles considérées.

Pour la première série de nomogramme, les propriétés suivantes ont été portées en fonction du nombre d'atomes de carbone, il s'agit de d , $(n=IR)$, T_{eb} , T_s .

Pour la deuxième série de nomogramme, les propriétés suivantes ont été portées en fonction du nombre d'atomes de carbone, il s'agit de T_c , P_c , V_c , G_g .

Pour la troisième série de nomogramme, les propriétés suivantes ont été portées en fonction du nombre d'atomes de carbone, il s'agit de V_a , H_v .

2. Résultats: L'hydrocarbure considéré est le $C_{10}H_{22}$.

Paraffiine	Val exp	Val Nomo	% Ecart
d	0.7263	0.7200	1.00
n	1.4097	1.4055	0.29
T_{eb} (°C)	174	192	-10.00
T_s (dyne/cm)	23.39	23.75	-1.54

TABLEAU1: COMPARAISON ENTRE VAL EXP ET VAL NOMO. DES PROPRIÉTÉ CITÉES

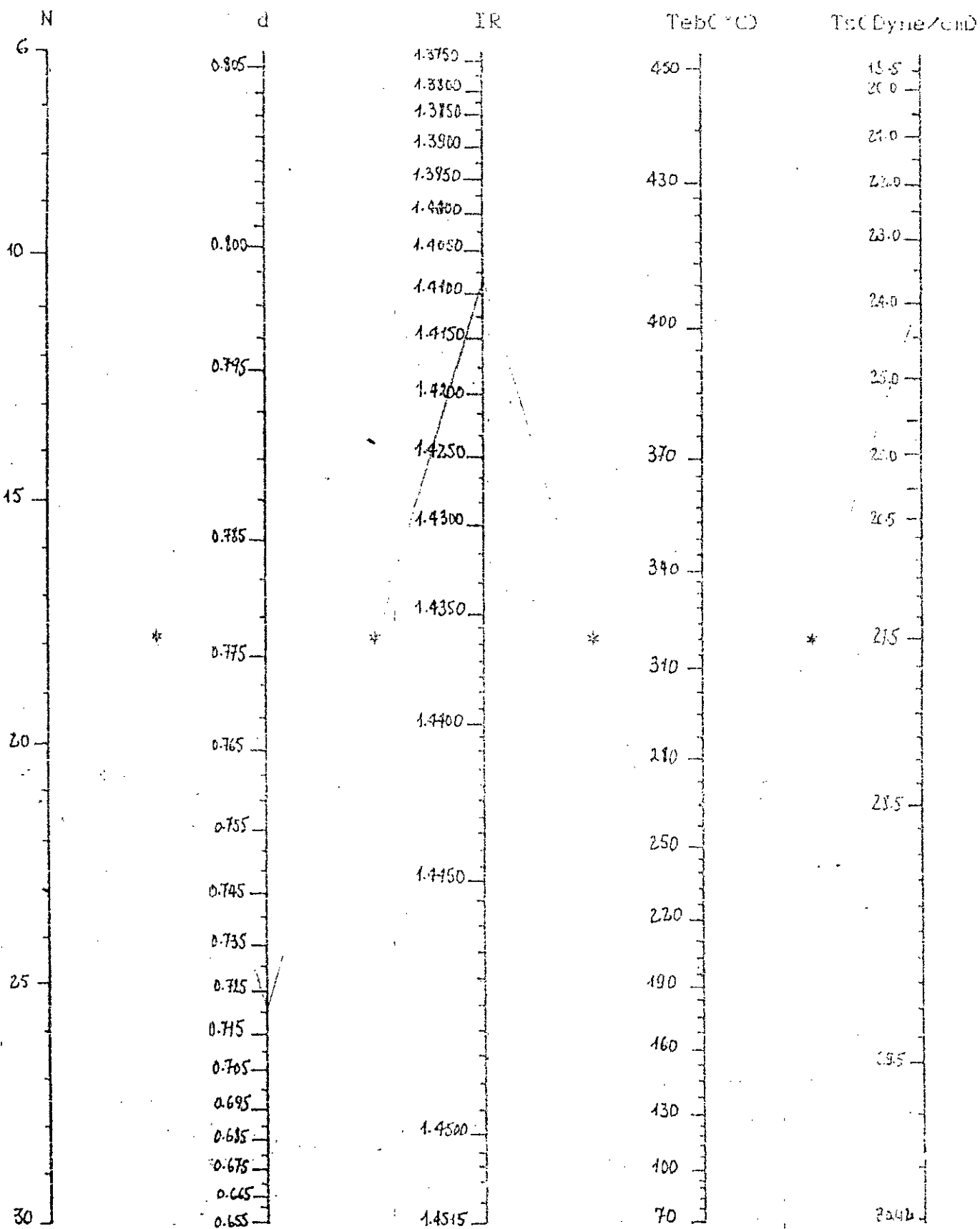
Paraffiine	Val exp	Val Nomo	% Ecart
T_c (°k)	618	620	-0.32
P_c (atm)	20.76	20.5	1.25
V_c (l/mol)	0.60	0.63	-4.50
G_g (°k)	243	235	3.30

TABLEAU2: COMPARAISON ENTRE VAL EXP ET VAL NOMO. DES PROPRIÉTÉS CITÉES

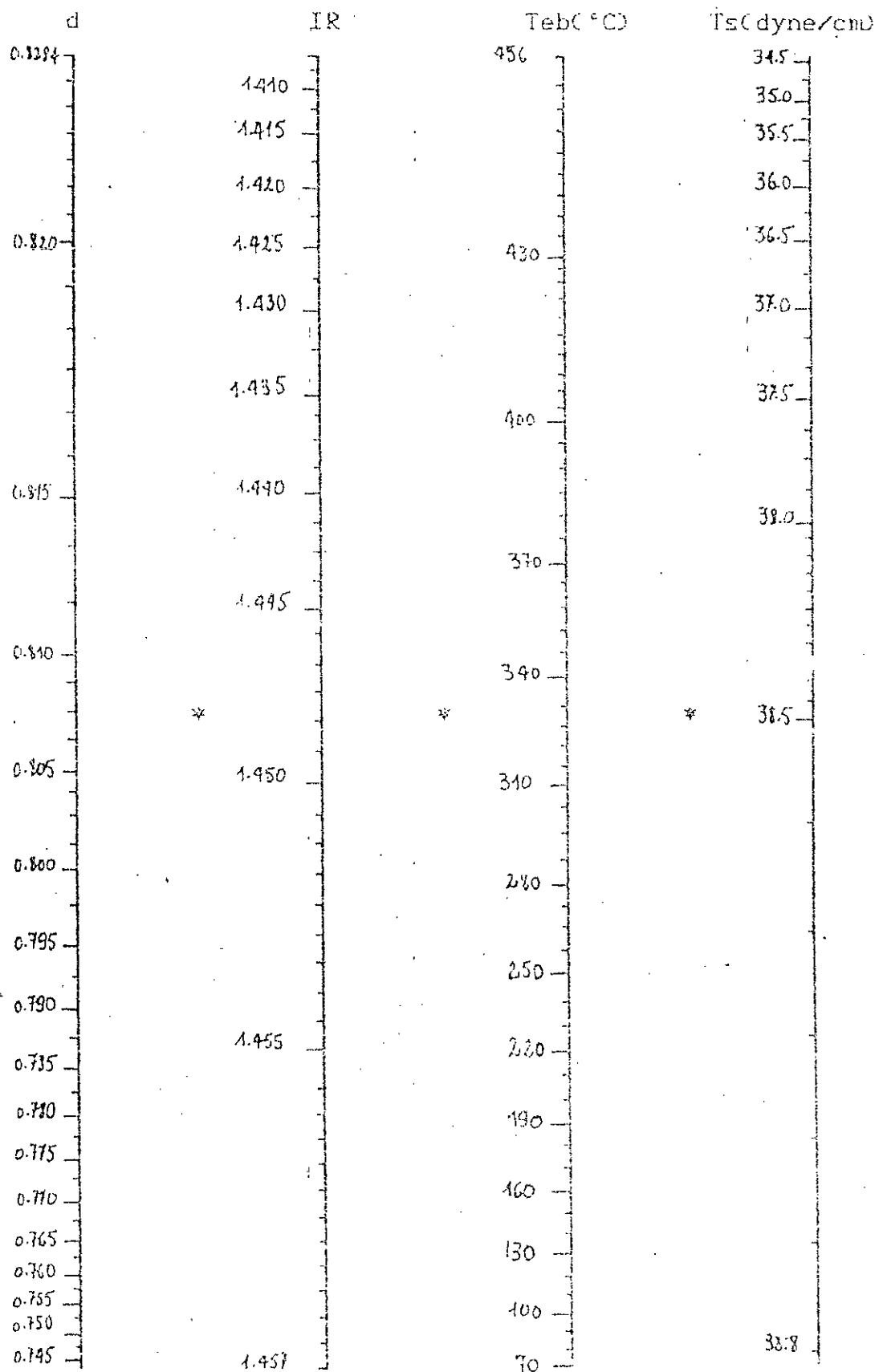
Paraffiine	Val exp	Val Nomo	% Ecart
V_a (Cpoise)	0.859	0.950	-10.00
H_v (kcal/mol)	9.40	9.50	-1.06

Commentaire:

d'une façon générale, les valeurs obtenues par nomographie se



Nomogramme des propriétés N, d, IR, Teb, Ts des paraffines (4)



Nomogramme des propriétés N, d, IR, Teb, Ts des naphthenes (4)

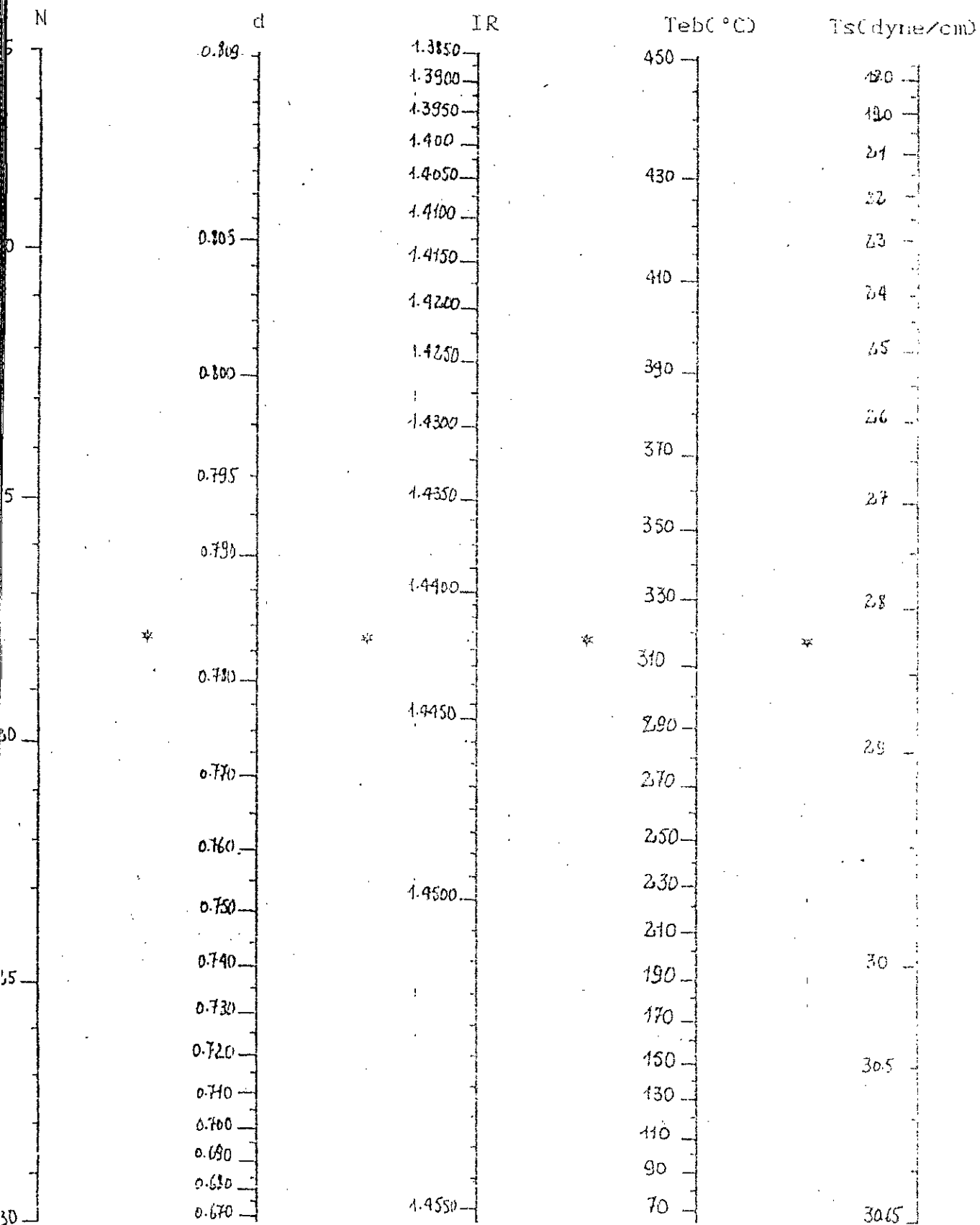
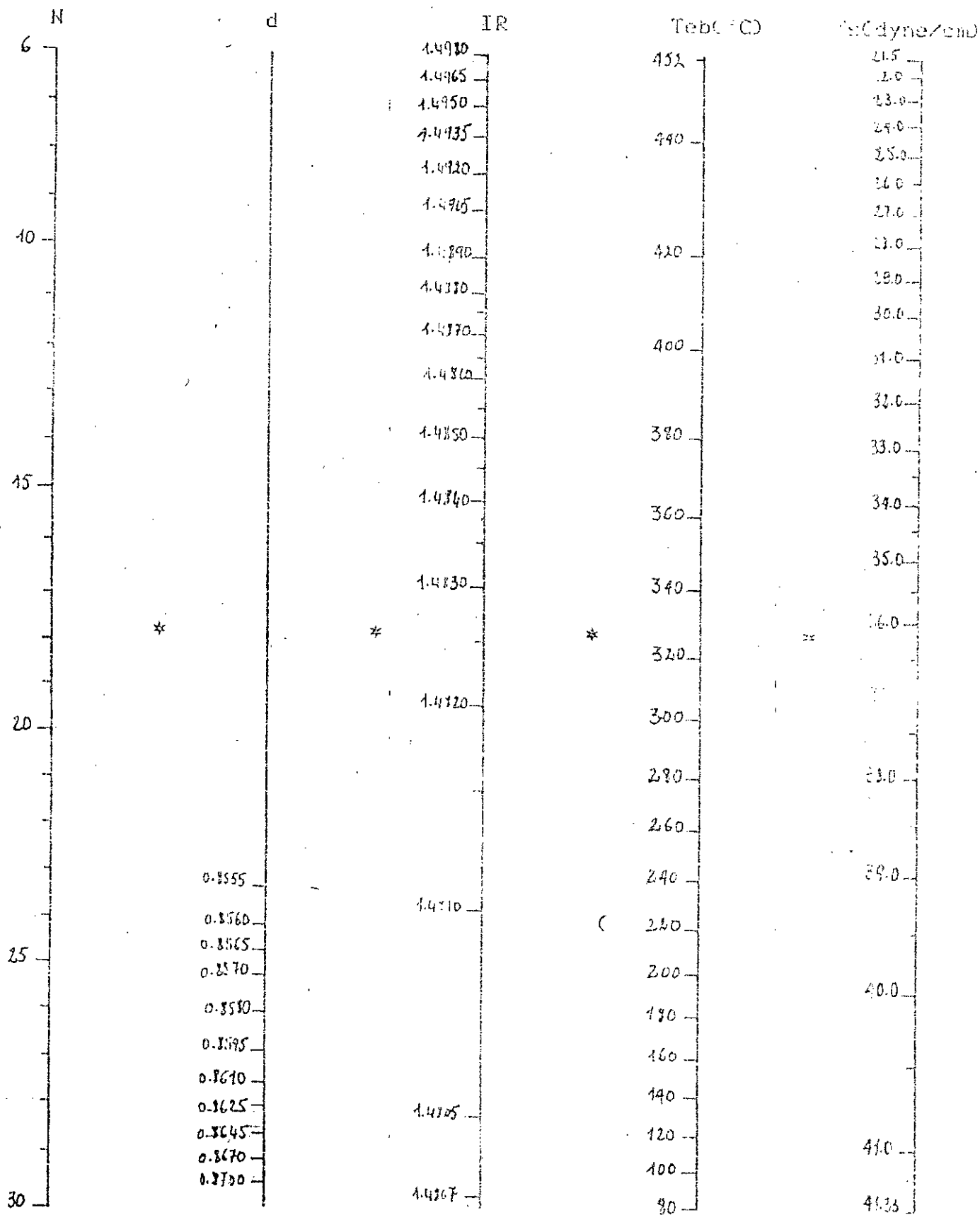
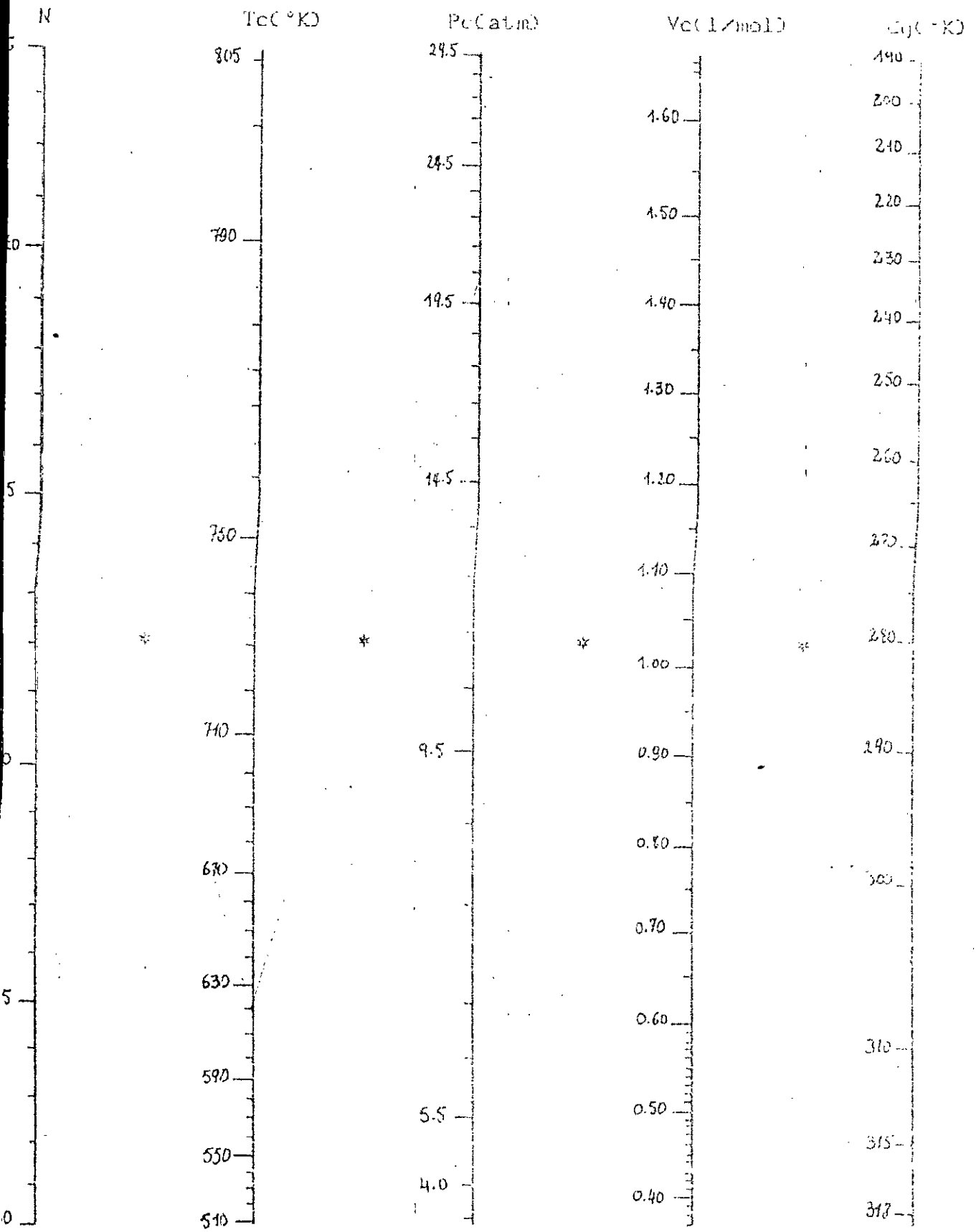


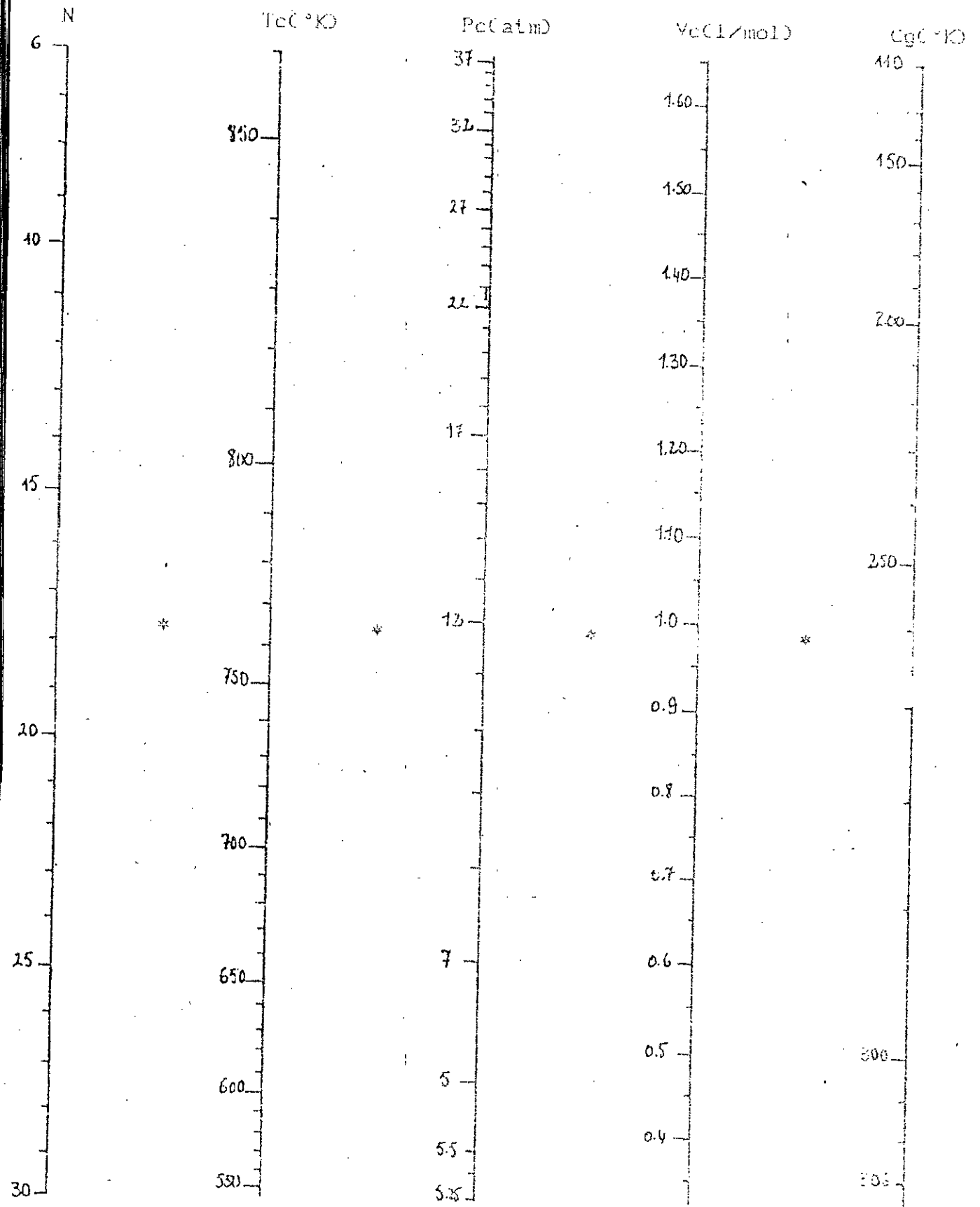
Diagramme des propriétés N, d, IR, Teb, Ts des oleffines



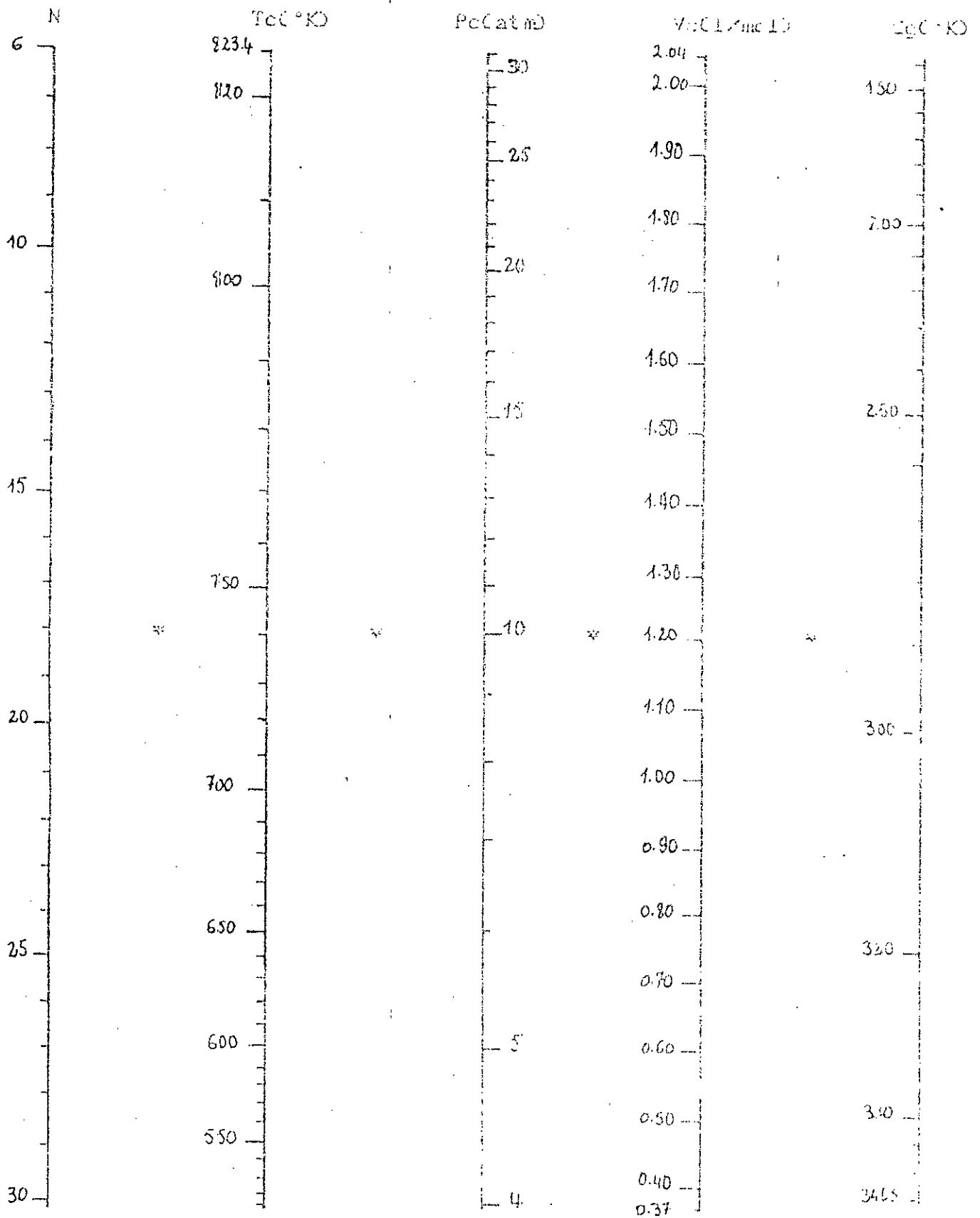
Nomogramme des propriétés N, d, IR, Teb, Ts des aromatiques C.



Nomogramme des propriétés N, Tc, Pc, Vc, Cg des paraffines



Homogramme des propriétés N, Tc, Pc, Vc, Cg des naphtenes



Homogramme des propriétés N, Tc, Pc, Vc, Cg des oléines

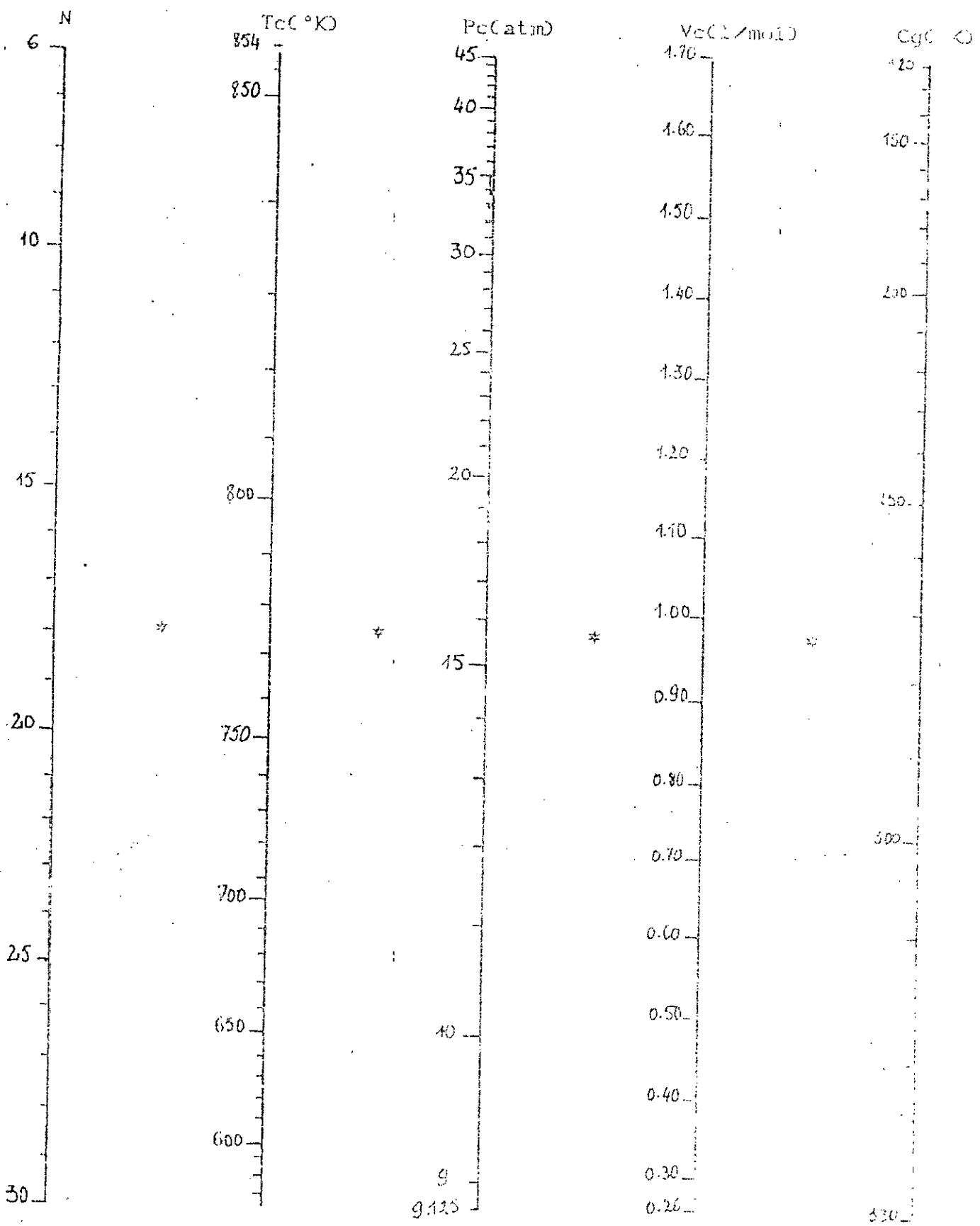
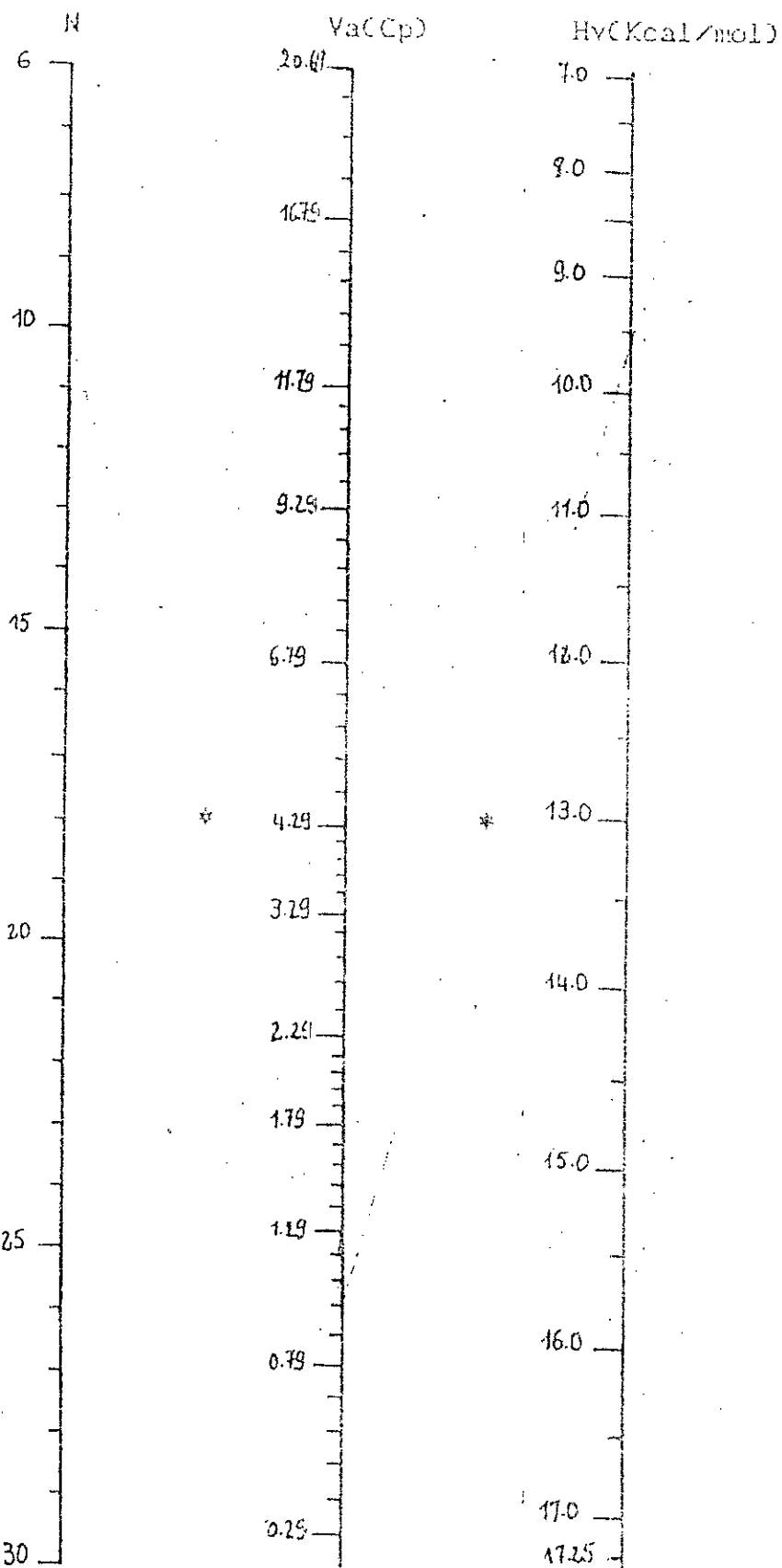
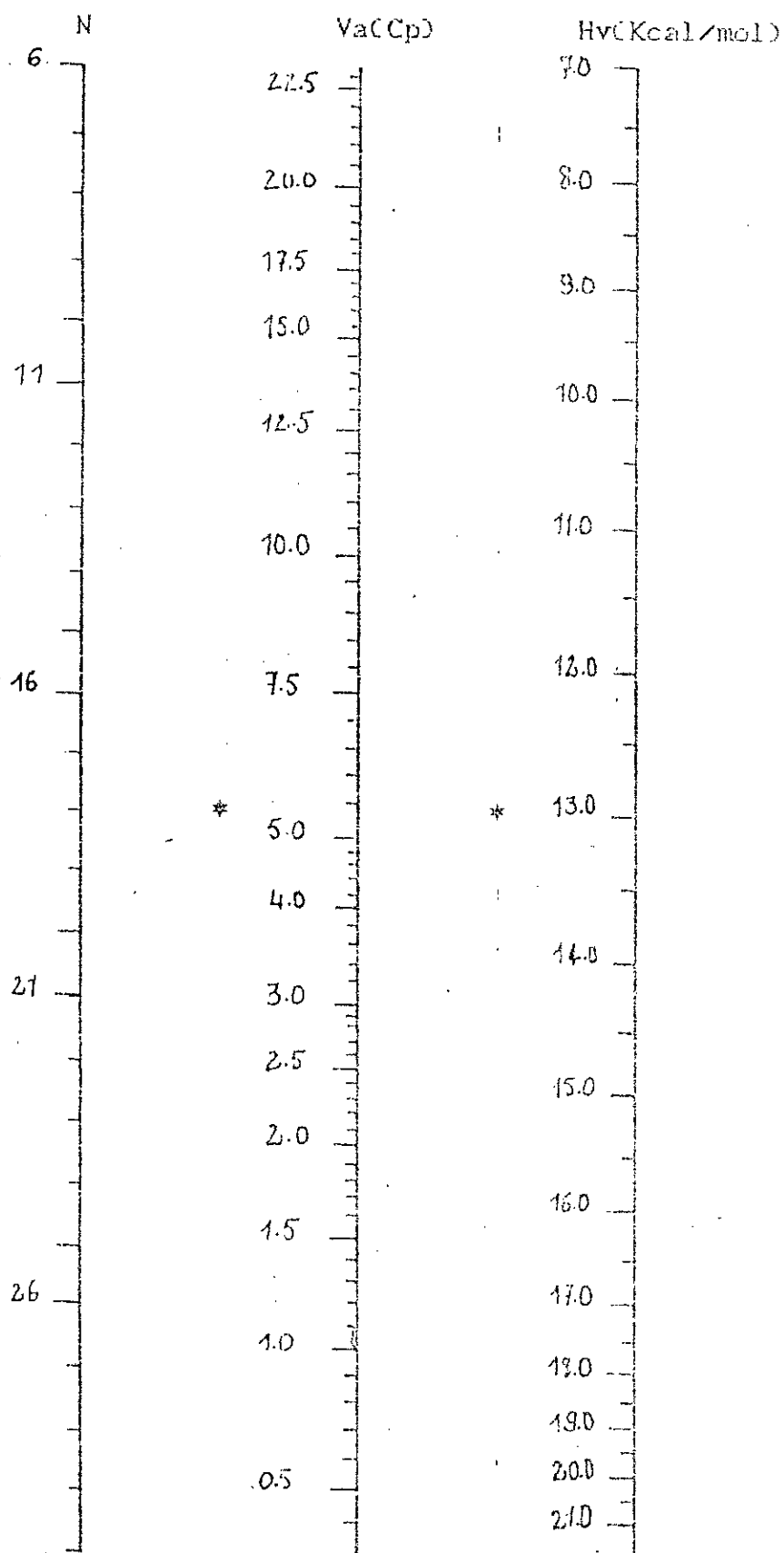


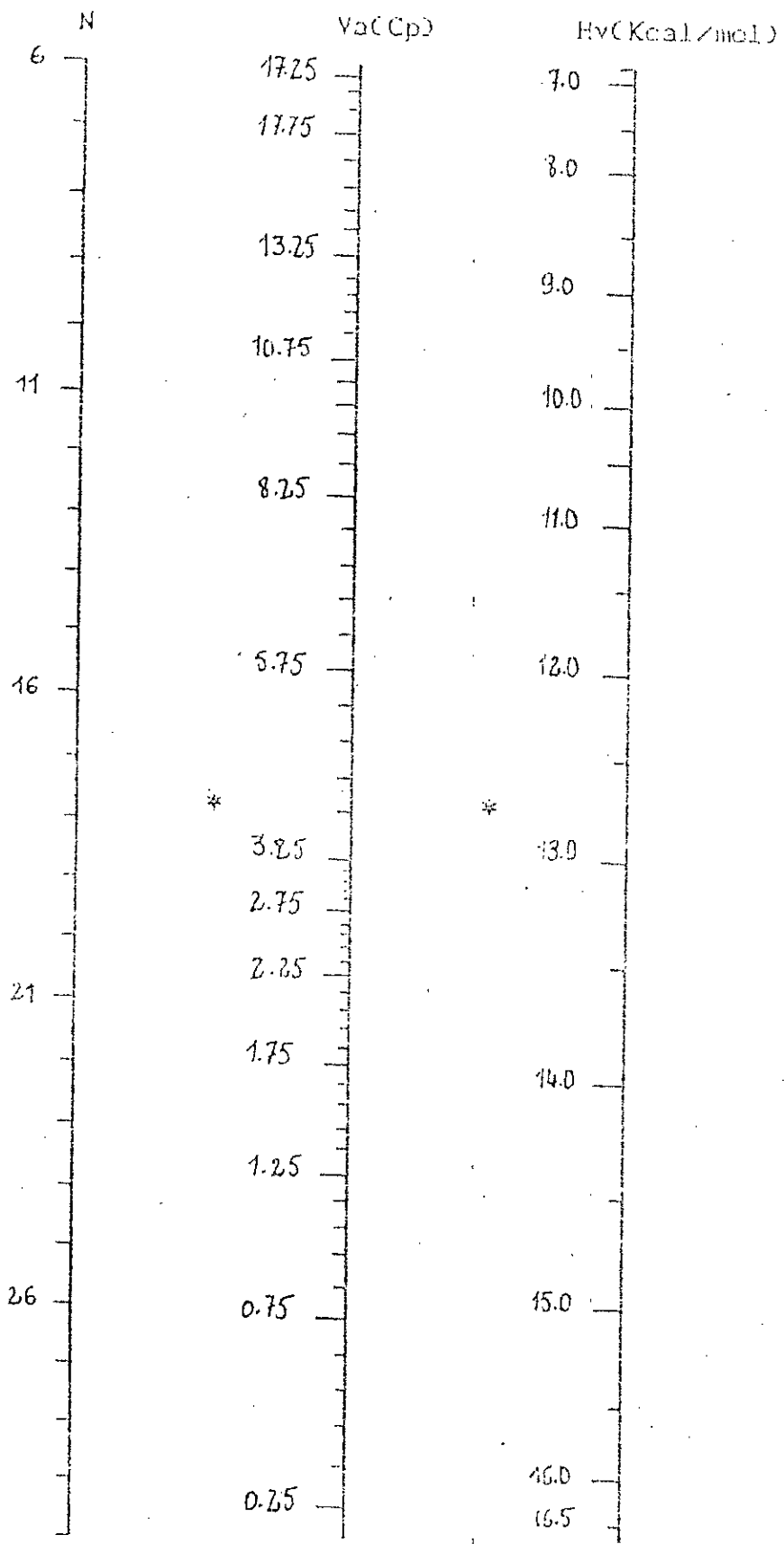
Diagramme des propriétés N, Tc, Pc, Vc, Cg des aromatiques



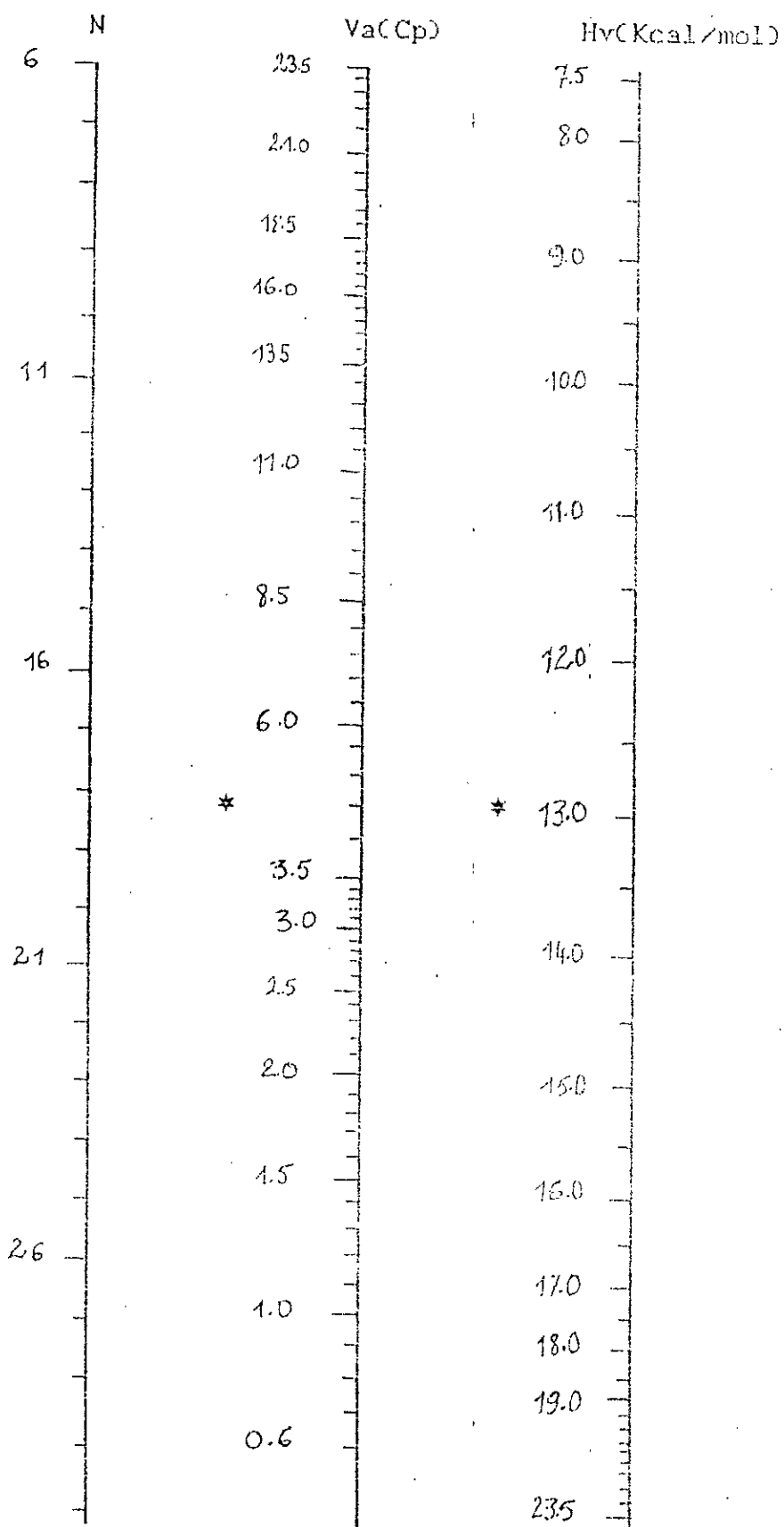
Nomogramme des propriétés N, Va, Hv des paraffines



Nomogramme des propriétés N, Va, Hv des naphthenes



Nomogramme des propriétés N, Va, Hv des olefines



Nomogramme des propriétés N, Va, Hv des aromatiques

Rappels sur la nomographie

1-Introduction

La nomographie est la branche des mathématiques qui a pour objet la théorie et les méthodes de construction de graphiques collés particuliers appelés *nomogrammes* ou *abaques*, que permettent de résoudre des équations ou systèmes d'équations.

2-Méthode analytique de construction d'une échelle à pivot

Soit la relation entre deux variables α et β :

$$\beta=f(\alpha) \quad (1)$$

soient (α_i, β_i) et (α_f, β_f) respectivement les valeurs initiales et finales de α et β .

Le but est de tracer une échelle à pivot qui permette de déduire directement la valeur de α à partir de la variable β ou l'inverse.

2-1 Construction des échelles

La condition nécessaire et suffisante est que la fonction $\beta=f(\alpha)$ soit monotone sur l'intervalle (α_i, α_f) .

Considérons une fonction arbitraire Φ et cherchons l'image des deux membres de l'équation (1) on obtient:

$$\Phi(\beta)=\Phi[f(\alpha)] \quad (2)$$

Introduisons maintenant les paramètres de transformation m et a , l'équation (2) devient :

$$a+m\Phi(\beta)=a+m\Phi[f(\alpha)] \quad (3)$$

m : paramètre définissant les dimensions de l'échelle.

a : disposition de l'échelle par rapport à l'origine.

2-2 Détermination du paramètre m

Soit L la longueur admissible de l'échelle à pivot, la valeur de m correspondant à L est obtenue par:

$$L = y(\beta_f) - y(\beta_i) = [a + m\phi(\beta_f)] - [a + m\phi(\beta_i)] \quad (4)$$

de l'équation (4) on tire m.

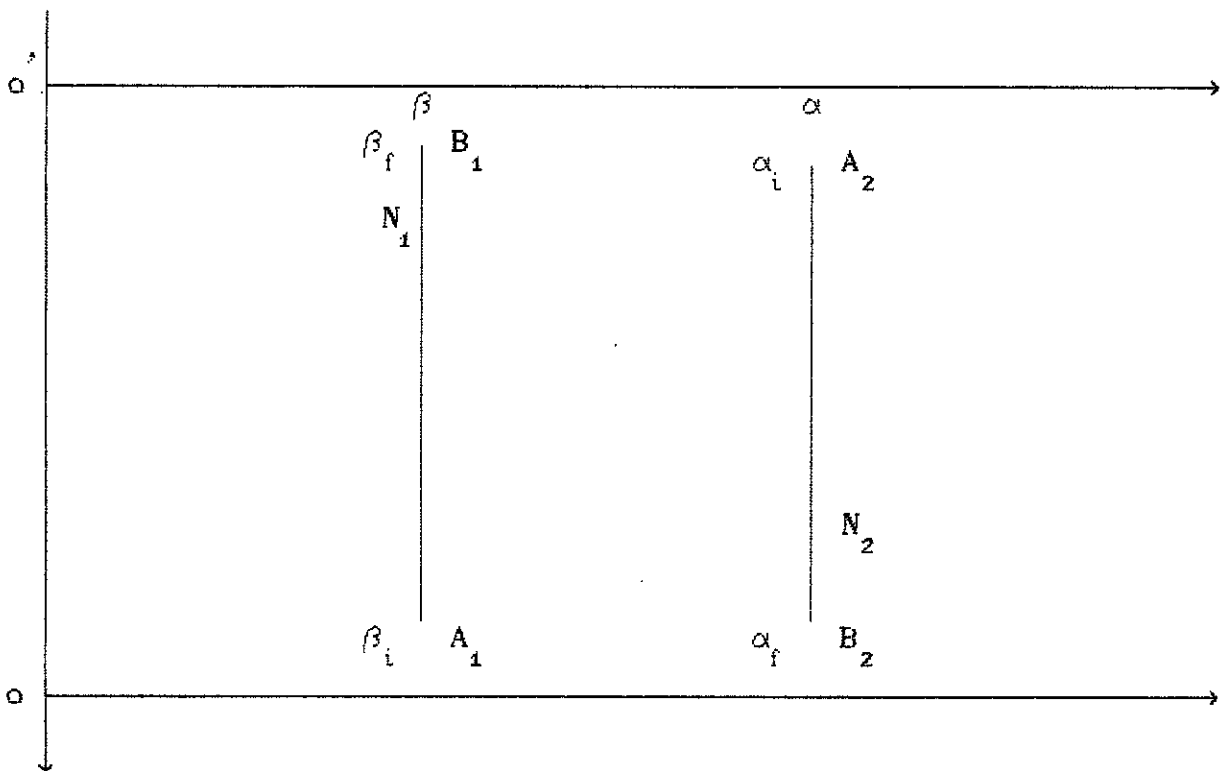
$$m = \frac{L}{\phi(\beta_f) - \phi(\beta_i)} \quad (5)$$

2-3 Le tracé de l'échelle

Soient (A_1, A_2) respectivement les points qui correspondent à (β_i, α_i) .

Soient (B_1, B_2) respectivement les points qui correspondent à (β_f, α_f) .

Le point pivot M est l'intersection du segment $[A_1, A_2]$ avec le segment $[B_1, B_2]$.



2-4 Utilisation

Soient le point N_1 sur l'échelle β , le point N_2 l'échelle α qui correspond à N_1 est l'intersection de la droite (N, M) avec le segment (A_2, B_2) .

2-5 Applications

Ce type d'abaques est appliqué aux fonctions monotones du type $\beta = f(\alpha)$.

3-Abaques à systèmes d'échelles à pivots

Généralement la méthode des échelles à pivots au cas d'un système d'équations de la forme :

$$f_1(\alpha_1) = f_2(\alpha_2) = \dots = f_n(\alpha_n) \quad (6)$$

Soient $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ respectivement les valeurs initiales des variables $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$.

Soient $(\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_n)$ respectivement les valeurs finales des variables $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$.

n = nombre de fonctions $n \geq 2$

Par analogie avec l'échelle à pivot, on peut écrire les équations des éléments de l'abaque d'un système d'échelles à pivots

3-1 Construction des échelles

Soient deux repères xoy et $x'o'z$ et h_1, h_2, \dots, h_n les abscisses des supports des échelles $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$.

Deux cas peuvent se présenter :

1^{er} cas : n pair

Echelle α_1 : $x=h_1$, $y = a + m\Phi[f_1(\alpha_1)]$

Echelle α_2 : $x=h_2, \dots$, $z = a + m\Phi[f_2(\alpha_2)]$

Echelle α_3 : $x=h_3, \dots$, $y = a + m\Phi[f_3(\alpha_3)]$

⋮
⋮
⋮

Echelle α_n : $x=h_n$, $z = a + m\Phi[f_n(\alpha_n)]$

2^{eme} cas : n impair

Echelle α_1 : $x=h_1$, $y = a + m\Phi[f_1(\alpha_1)]$

Echelle α_2 : $x=h_2$, $y = a + m\Phi[f_2(\alpha_2)]$

Echelle α_3 : $x=h_3$, $y = a + m\Phi[f_3(\alpha_3)]$

⋮
⋮
⋮

Echelle α_n : $x=h_n$, $y = a + m\Phi[f_n(\alpha_n)]$

$y(\alpha_1) = z(\alpha_2) = y(\alpha_3) = \dots = y(\alpha_n)$

$y(\alpha'_1) = z(\alpha'_2) = y(\alpha'_3) = \dots = y(\alpha'_n)$

Si L est la longueur admissible de l'échelle alors, on peut trouver m par la relation suivante:

$$m = \frac{L}{\Phi[f_1(\alpha_1)] - \Phi[f_1(\alpha_1)]}$$

3-2 Le tracé des échelles

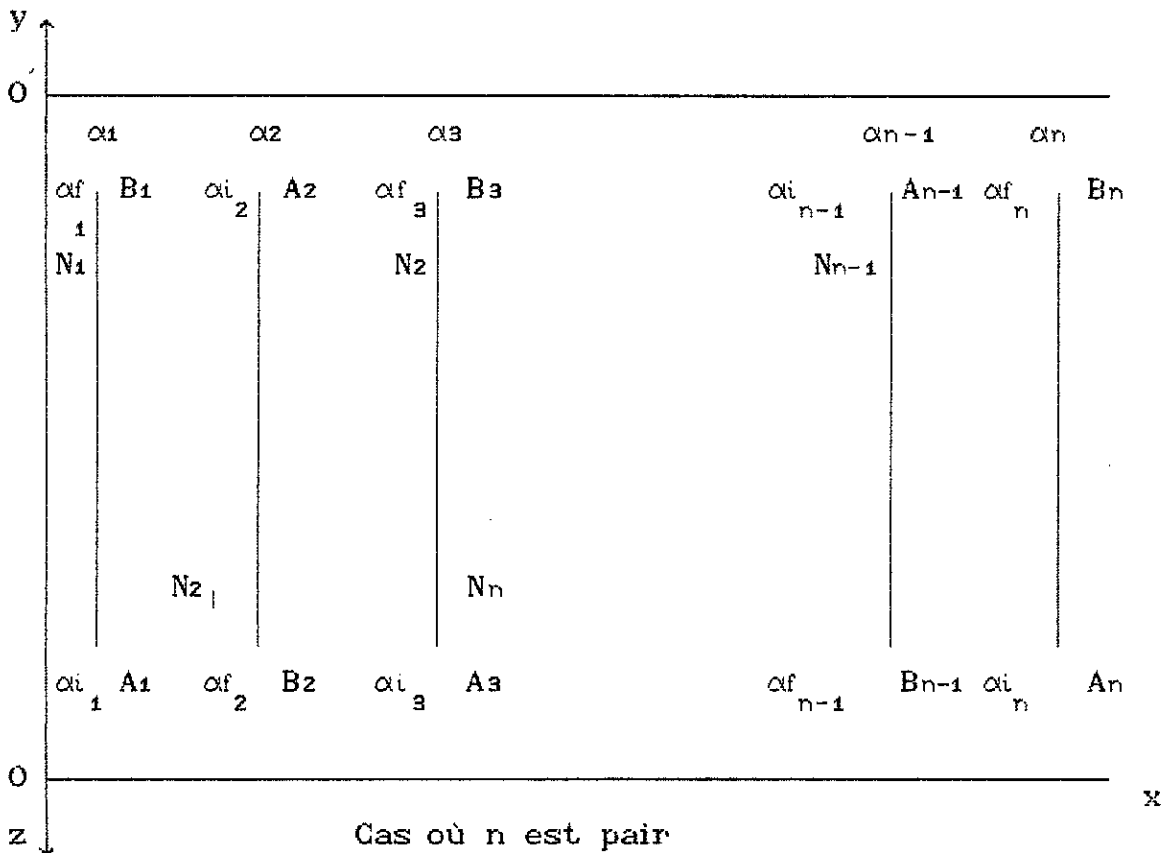
Soient (A_1, A_2, \dots, A_n) respectivement les points qui correspondent à $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ et soient (B_1, B_2, \dots, B_n) respectivement les points qui correspondent à $(\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_n)$. Les points pivots M_1, M_2, \dots, M_{n-1} sont définis par :

M_1 est l'intersection du segment $[A_1, A_2]$ avec le segment $[B_1, B_2]$

M_2 est l'intersection du segment $[A_2, A_3]$ avec le segment $[B_2, B_3]$

⋮
⋮

M_{n-1} est l'intersection du segment $[A_{n-1}, A_n]$ avec le segment $[B_{n-1}, B_n]$.



3-3 Utilisation

Soit le point N_1 sur l'échelle α_1 , le point N_2 sur l'échelle α_2

qui correspond à N_1 est l'intersection du segment $[N_1M_1]$ avec le segment $[A_2B_2]$. Le point N_2 sur l'échelle α_2 qui correspond à N_1 est l'intersection du segment $[N_2M_2]$ avec $[A_3B_3]$ et ainsi de suite jusqu'à l'obtention du point N_n sur l'échelle.

3-4 Application

Ce type de nomogramme est appliqué aux systèmes d'équations du type :

$$f_1(\alpha_1) = f_2(\alpha_2) = \dots = f_n(\alpha_n).$$

f_1, f_2, \dots, f_n sont des fonctions monotones sur l'intervalle $[\alpha_{11}, \alpha_{12}]$.

Corrélation $N^{\circ}Z$

Propriétés

densité

Paraffine

$$d=0.398725+0.0631587*N-0.00418574*N^2+0.00012987*N^3-1.5165E-6*N^4$$

Naphtene

$$d=0.634858+0.0277152*N-0.00168869*N^2+4.86372E-5*N^3-5.327E-7*N^4$$

Olefine

$$d=0.415929+0.0627064*N-0.004226*N^2+0.000132458*N^3-1.55715E-6*N^4$$

Aromatique

$$d=0.93725-0.0174214*N+0.00130755*N^2-4.27302E-5*N^3+5.1085E-7*N^4$$

Tableau 1 : Corrélation $N^{\circ}Z$ de la densité pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Indice de réfraction

Paraffine

$$n=1.25588+0.0285095*N-0.00178747*N^2+5.31053E-5*N^3-5.99097E-7*N^4$$

Naphtene

$$n=1.32165+0.0214684*N-0.00141356*N^2+4.35063E-5*N^3-5.04063E-7*N^4$$

Olefine

$$n=1.27716+0.0267004*N-0.00170995*N^2+5.1555E-5*N^3-5.88226E-7*N^4$$

Aromatique

$$n=1.53141-0.00796244*N+0.00047273*N^2-1.27784E-5*N^3+1.30298E-7*N^4$$

Tableau 2 : Corrélation $N^{\circ}Z$ de l'indice de réfraction pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Température d'ébullition $10^{\circ}C$

Paraffine

$$Teb=-1158.708+47.0756*N-1.74186*N^2+0.0400437*N^3-0.000392147*N^4$$

Naphtene

$$T_{eb} = -159.169 + 47.2194 * N - 1.60583 * N^2 + 0.0302061 * N^3 - 0.000200866 * N^4$$

Olefine

$$T_{eb} = -168.96 + 48.2139 * N - 1.80486 * N^2 + 0.0419172 * N^3 - 0.000415893 * N^4$$

Aromatique

$$T_{eb} = -129.48 + 41.8418 * N - 1.25282 * N^2 + 0.0217178 * N^3 - 0.000160988 * N^4$$

Tableau 3 : Corrélation $N = \frac{0}{2}$ de la température d'ébullition pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Viscosité absolue [Cp]

Paraffine

$$V_a = -0.0450418 + 0.0633411 * N - 0.00661479 * N^2 + 0.000931602 * N^3$$

Naphtene

$$V_a = 0.582914 - 0.0833964 * N + 0.00557998 * N^2 + 0.000767732 * N^3$$

Olefine

$$V_a = -0.229465 + 0.142698 * N - 0.0192815 * N^2 + 0.00162811 * N^3 - 1.61136E-5 * N^4$$

Aromatique

$$V_a = 0.845284 - 0.110025 * N + 0.00696487 * N^2 + 0.000431057 * N^3 + 1.09805E-5 * N^4$$

Tableau 4 : Corrélation $N = \frac{0}{2}$ de la viscosité pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Chaleur latente de vaporisation [Kcal/mol]

Paraffine

$$H_v = 1.89756 + 0.982993 * N - 0.0272393 * N^2 + 0.000385756 * N^3$$

Naphtene

$$H_v = 4.17028 + 0.281567 * N + 0.0494028 * N^2 - 0.00328003 * N^3 + 6.52737E-5 * N^4$$

Olefine

$$H_v = 53.9222 - 5.68698 * N + 0.324659 * N^2 - 0.00967871 * N^3 + 0.000113316 * N^4$$

Aromatique

$$H_v = 9.85228 - 1.31016 * N + 0.210676 * N^2 - 0.0102073 * N^3 + 0.000171311 * N^4$$

Tableau 5 : Corrélation $N = \frac{0}{2}$ de la chaleur latente de vaporisation pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Température critique [K°]

Paraffine

$$T_c = -6.27577 + 40.7513 * N - 2.12401 * N^2 + 0.0548522 * N^3 - 0.000551714 * N^4$$

Naphtene

$$T_c = 35.7228 + 11.5524 * N + 0.840433 * N^2 - 0.0570861 * N^3 + 0.000903225 * N^4$$

Olefine

$$T_c = -50.0978 + 38.356 * N - 1.4899 * N^2 + 0.0252501 * N^3 - 0.000130109 * N^4$$

Aromatique

$$T_c = 804.003 - 169.015 * N + 15.724 * N^2 - 0.573862 * N^3 + 0.00734605 * N^4$$

Tableau 6 : Corrélation $N = \frac{C}{4}$ de la température critique pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Pression critique [atm]

Paraffine

$$P_c = 53.9222 - 5.68698 * N + 0.324659 * N^2 - 0.00967871 * N^3 + 0.000113316 * N^4$$

Naphtene

$$P_c = 75.4672 - 8.70052 * N + 0.453535 * N^2 - 0.0111117 * N^3 + 0.000102858 * N^4$$

Olefine

$$P_c = 52.5691 - 4.60307 * N + 0.183977 * N^2 - 0.00358588 * N^3 + 2.68816E-5 * N^4$$

Aromatique

$$P_c = 113.285 - 16.3522 * N + 1.08024 * N^2 - 0.03311709 * N^3 + 0.000382844 * N^4$$

Tableau 7 : Corrélation $N = \frac{C}{4}$ de la pression critique pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Température de congélation [K°]

Paraffine

$$C_g = -6.27752 + 40.7518 * N - 2.12405 * N^2 + 0.0548536 * N^3 - 0.000551731 * N^4$$

Naphtene

$$C_g = 35.7197 + 11.5532 * N + 0.840366 * N^2 - 0.0570836 * N^3 + 0.000903194 * N^4$$

Olefine

$$C_g = -50.0978 + 38.356 * N - 1.4899 * N^2 + 0.0252501 * N^3 - 0.000130109 * N^4$$

Aromatique

$$C_g = 803.747 - 168.923 * N + 15.7131 * N^2 - 0.573381 * N^3 + 0.00733893 * N^4$$

Tableau 8 : Corrélation $N = \frac{C}{Z}$ de la température de congélation pour les différentes familles d'hydrocarbure.

Tension superficielle (dyne/cm)

Paraffine

$$T_s = -0.450661 + 4.43303 * N - 0.2803 * N^2 + 0.00849284 * N^3 - 9.79068E-5 * N^4$$

Naphtene

$$T_s = 26.8048 + 1.51841 * N - 0.0692555 * N^2 + 0.00133699 * N^3 - 8.67053E-6 * N^4$$

Olefine

$$T_s = -1.26049 + 4.6615 * N - 0.298053 * N^2 + 0.00906794 * N^3 - 0.000104468 * N^4$$

Aromatique

$$T_s = 8.23228 + 2.53518 * N - 0.0508118 * N^2 - 0.000228769 * N^3 + 1.34985E-5 * N^4$$

Tableau 9 : Corrélation $N = \frac{C}{Z}$ de la tension superficielle pour les différentes familles d'hydrocarbure.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude dont sa plus grande partie était réalisée à l'aide d'un micro-ordinateur , nous sommes arrivés à élaborer différents types d'équations mettant en évidence la contribution des groupes CH₂ dans une propriété physique donnée. Ces équations permettent la détermination d'une propriété connaissant le nombre d'atomes de carbone qui constituent le corps pur . Ces équations sont valables pour tous les corps purs organiques dont le nombre d'atomes de carbone varie entre 6 et 30, et ce pour les quatre familles à savoir les paraffines , naphthènes , oléfines et aromatiques . Globalement , la précision de ces équations est acceptable . Cette dernière sera meilleure si on considère que les corps purs de C₁₀ à C₂₀ car on évite , et la perturbation des valeurs de certaines propriétés des corps purs C₆ , C₇ et C₈ , et l'extrapolation des valeurs de certaines propriétés des corps C₂₀ jusqu'à C₃₀ .

Pour les mélanges de corps purs , le calcul a été fait en considérant des compositions molaires , massiques et volumiques . Les résultats observés ne montrent pas de différences appréciables entre les valeurs d'une propriété dans le cas d'un mélange molaire, massique ou volumique . L'erreur maximale entre la valeur calculée et la valeur expérimentale atteint 7% dans le cas de la viscosité . Cette erreur reste admissible si elle est comparée à celle donnée dans la littérature .

Mais dès qu'ils s'agit des fractions pétrolières qui sont en fait des mélanges de corps purs , l'erreur devient plus appréciable . Donc , on ne peut pas affirmer la validité de ces équations .

Pour faciliter davantage la détermination des propriétés

physiques des corps purs de C₆ à C₃₀ , nous avons pu construire des nomogrammes , qui connaissant le nombre d'atomes de carbone d'un corps pur , on peut lire la propriété correspondante .

Enfin , pour mieux corrélér les fractions pétrolières , il faut distiller un nombre important de fractions et mesurer pour chacune les propriétés accessibles expérimentalement . Puis à laide d'un micro-ordinateur , on peut approximer ces propriétés en choisissant le type d'équations donnant le minimum d'erreur .

BIBLIOGRAPHIE DE LA PREMIERE PARTIE

- [11] O.Kitous , contribution à l'étude des propriétés thermodynamiques des fractions pétrolières légères du pétrole brut Algérien par diverses méthodes numériques, thèse de magister [ENP] ,Directeur de thèse C.E.Chitour. Alger 1990.
- [12] F.Bouamra, contribution à la détermination des propriétés physiques des fractions pétrolières lourdes, thèse de magistère [ENP], Directeur de thèse C.E.Chitour. Alger 1990.
- [13] K.Dali, Etude des propriétés physiques par nomographie des fractions lourdes, du pétrole, projet de fin d'étude [ENP],Directeur de thèse C.E.Chitour. Alger 1990.
- [14] S. E. Chitour , Corrélation sur le pétrole brut et les fractions pétrolières Tome 2 , OPU, Algerie, 1983.
- [15] V.PROSKOURIAKOV et A.DRABKINE, la chimie du pétrole et du gaz, Edit.MIR, 1983.
- [16] P. WUITHIER , Raffinage et génie chimique , Tome1 , Edit. Technip 1972.
- [17] American petroleum Institute (API), selected values of properties of hydrocarbons related compounds (project 44).
- [18] R.C.REID, J.M.PRAUSNITZ et T.K.SHERWOOD, The properties of gas and liquids, 3rd Edit.Mac-Graw-Hill, 1977.
- [19] J.C.GUIBET,carburants et combustibles liquides, Techniques de l'ingénieur [A.730], 1988.
- [10] D.D.Mc Coy , V.K.MATHUR, effect of physical properties on chemical chemical engineering design and calculation , Ind chemical engineer , july- september 1973.U.S.A.
- [11] S.B.ALDER, consultant ,Houston,and K.R.HALL,Texas A and M University, college station Texas, use corrélation for oil properties. Hydrocarbon processing, November 1985, 71-75.
- [12] François Davoine ,'Constantes Physico Chimiques', K2 K600. Techniques de L'ingénieur .Edi paris 1986.
- [13] KURT ARBENZ, analyse numerique ,OPU , 1988.
- [14] J.Baranger, HERMANN, Introduction à l'analyse numérique, collection, 1977 .

- [15] M.Boumehrat , Méthodes numériques appliquées, OPU , 1983 .
- [16] Mohammed R.Riazi and Thomas E.Daubert , Characterisation parameters for petroleum fractions , Ind . Eng. Chem. Res . 1987 , 26, 755-759.
- [17] Mohammed R. Riazi, Distribution Model for Properties of Hydrocarbon-Plus Fractions , Ind , Eng , Chem. Res 1989 ,28, 1731-1735 .
- [18] Lydersen,A.L.,Greencorn,R.A, and Hougen O.A.,Generalized Thermodynamic Properties of pure fluids, Coll. Eng. Univ., Wiscosin , Eng .Exp.sta.Rept.4Madison,Wis., oct. (1955)
- [19] Lu,B.C.Y.,Estimate Special Liquid Volumes,Chem.Eng.,66,9, 137(1959)
- [20] Goldhammer,D.A.,Z.Physik.Chem.,71,577 (1910)
- [21] Fishtine,S.H., An Improved Equation to Estimate Liquid Densities ,Chem Eng .,69 [18],154(1962)
- [22] Rackett, H.G., Equation of State for Saturated Liquids,Chrm.Eng.Dat.,Vol 15,No 4 (1970)
- [23] Souders,M.,J.Am.Chem.Soc.,60,154 (1938)
- [24] Lima,F.W.,and Samu,B.,Eng.e.Quim.(Rio de Janeiro),4(2):21 (1952),Chem.Abstr.,46,8444(1952)
- [25] Thomas,L.H.J.Chem.soc.,573(1946)
- [26] Arrhenius,S.,Z.Physik.Chem.,Vol.I,285(1987)
- [27] Kendall,J.,and Monroe,K.P., The Viscosity of Liquids-II. The Viscosity -Composition Curve for Ideal Liquid Mixtures, J.Am.Chem.Soc.,39,1787(1917)
- [28] Andreas J.M.,Hauser,E.A.,and Tucker,W.B., J.Phys.Chem., Vol.42,1001(1938)
- [29] Hough, E.W., Wood ,B.B., and Rzasa, M. J., J.Phys.Chem., Vol.56, 996(1952)
- [30] Sudgen, S., The Parachor and Valency ,George Rutledge and Sons, Ltd., London (1930)
- [31] Weinaug, C.F., and Katz, D.L, Surface Tension of Methane-Propane Mixtures,Ind.and Eng.Chem.,35,239 (1943)

[32] Hakim,D.I.,Steinberg, D., and Stiel, L.I., Generalized Relationship for the Surface Tension of Polar Fluids, Ind.Eng.Chem.Fundam., Vol.10,No.1, (1971)

[33] Meissner,H.P., and Michaels, A.S., Ind. and Eng.Chem., Vol.41, 2782(1949)

[34] Morgan, J.L., and Griggs ,M ,A.,J.Am.Chem.soc.,Vol.39, 2261 (1917)

BIBLIOGRAPHIE DE LA DEUXIEME PARTIE

[1] Lydersen,A.L., Estimation of Critical Properties of Organic Compound by the Method of Group Contribution, Univ. Wis.Eng.Exp.Stn.Rep.No3 (1955)

[2] Derr, E.L., Deals,C.H., Analitical Solutions of Groups Correlation of Activity Coefficients Through Structural Group Parameters, I.Chem.and.Sym.Ser .No32,3,40 (1969)

[3] Abrams.D.S, Prausnitz.J.M., Statistical Thermodynamics of Liquids Mixtures, for the Excess Gibbs Energy, of Partly and Completely Miscible systems,Aich E,J,21,116(1975)

[4] Fredenslunf, A.Jones, R.L, Prausnitz, J.M., Group Contribution Estimation of Activity Coefficients in Non Ideal liquid mixtures.

[5] Nokay.R., Chem.Eng. 66(4):147,(1959).

[6] Ambrose.D, 'Correlation and Estimation of Vapor -Liquid Critical Properties of Organic Compounds', National Physical Laboratory Teddington NPL Report Chem.92, (Sept 1978/ corrected March 1980b).

[7] Klinciewicz, K.M , Reid ,R.G, 'Estimation of Critical Properties with Group contribution Methods',A.I.ch.E Joournal. Vol.30, No1, (1984).

[8] Riedel.L, 'Additives Verfahren Zur Abschätzung der Kritischem Temperatur Crus dem Normalen Siedepunkt' Chem.Eng.Techn. 24,353,(1952).

[9] Gambill,W.R.'Product Critical Temperature'Chem.Eng.66, 12,181(1959).

[10] Fedors,R.F. 'A relationship Betwen Chemical Structure and the Critical Temperatures' Chem.Eng.Comm. 16, 149(1982).

- [111] Riedel, L. 'Ein News Verfahren zur Abschätzung unbekannter.
- [112] Fedors, L, 'A Method to Estimate Critical Volumes' A.I.Ch. J.25,202(1979).
- [113] Vetere, A 'An Empirical Method for Evaluating Critical Molar Volume', A.I.Ch.E.J.22,950 1976, Errata ibid 23 , 406(1977).
- [114] Ambrose, D, 'Vapor Liquid Critical Properties', National Physical Laboratory Teddington NPL, Report Chem 107, (1979), (1980a).
- [115] Lebas G, 'The Molecular Volumes of Liquid Chemical Compounds', Longmans, Green N.T. (1915).
- [116] Reid, R.C, Prausnitz J.M, Poling B.E , 'The properties of Gas and Liquids ', Mc Graw Hill N.T 4th Edn (1987).
- [117] Sladkov I.B Russ.J. Phys.Chem.57, 1585(1983).
- [118] Rogalski M. Neau E., Fluid Phase Equilib 56,59(1990) .
- [119] Schotte W., 'Prediction of the Molar Volume at the Normal Boiling Point.' The Chem.Eng.Journal 48,167(1992).
- [120] Spencer C.F. Danner R.P J.Chem.Eng.Data 17,236(1972).
- [121] Reid, R.C, Prausnitz J.M, Sherwood T.K., 'The properties of Gas and Liquids 'Ed Mc Graw Hil N.Y 3ed p 435(1977).
- [122] Grain, C.F. Liquid Viscosity in Lyman W.J. Reel, W.F, Rosenblatt D.H. Hand Book of Chemical Properties Estimation Methods Ed Mc Graw Hil Sect 22, (1982).
- [123] Van Velzen D. Cardozo R.L, Langenkamp H. Ind.Eng.Chem Fund.11,30(1972)
- [124] Letsou A, Stiel, L.I A.I.Ch.E.J 19,409(1973).
- [125] Sastri S.R.S Rao, K.K., 'A New Group Contribution for Predicting Viscosity of Organic Liquids ' . Chem Eng.J. 50,9-25,(1992).
- [126] Abrams D.S, massadi H.A. Prausnitz J.M. Ind. Eng. Chem. Fundam.13,259(1974) Errata 16(392),(1977).
- [127] Macnick A.B, Prausnitz J.M. 'Vapor Pressure of Hydrocarbons a Group Contribution Methods Ind.Eng.Chem.Fundam ,Vol.18 No4(1979).

- [28] Bondi A., 'Physical Properties of Molecular Crystals Liquids and Glasses', Wiley .N.Y(1968).
- [29] American Institute of Chemical Engineers DIPPR Project 801 'Data Compilation . Tables of Physical and Thermodynamics Properties of pure Compounds (Nov 83).
- [30] Benson S.W, Cruickshank F.R, Golden.D. Haugen G.R, O'Neal H.E, Rodgers A.S, Shaw R., Walsh R., 'Additivity Rules for the Estimation of Thermochemical properties ' , Chem.Rev. 69,279,(1969)