

1/03
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département de Génie Chimique

Projet de fin d'études

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DERIGEE PAR : Professeur C.D.CHITOUR
PRESENTEE PAR : Kahina AIT ABDESLAM

Thème

ETABLISSEMENT DE NOUVELLES REGLES DE MELANGES POUR
LE CALCUL DES PROPRIETES PHYSIQUES DES MELANGES
D'HYDROCARBURES .

Promotion juin 2003

ENP 10, Avenue Hacène Badi El-Harrach- ALGER

REMERCIEMENTS



La présente étude a été conduite au laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles du Département de Génie Chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger , sous la direction de Monsieur le Professeur C.E.CHITOUR.

Je tien à exprimer ma gratitude à Monsieur le Professeur C.D.CHITOUR , pour m'avoir permis d'entreprendre cette recherche au sein de son équipe . Sa compétence scientifique et précieux conseils ont permis de conduire cette étude avec succès qu'il soit ici remercié pour tout ce qu'il m'a apporté .

J'adresse mes remerciements particuliers et sincères à Mademoiselle Nachida SKANDER pour avoir dirigé ce travail en y accordant le plus grand soins , et de m'avoir prodigué ses connaissance , m'avoir consacré de son temps , son aide et ses précieux conseils et encouragements .

J'exprime toute ma gratitude aux membre de jury pour avoir accepté de juger ce modeste travail et pour l'honneur qu'ils m'ont fait en présidant cette soutenance .

J'exprime ma sincère reconnaissance à ma famille qui m'a soutenue tout au long de mon travail , ainsi qu'à ma sœurs Amina qui a été pour moi d'un grand appui et un vrai support moral durant mes années d'études .

Que tout les enseignants du département du département du Génie Chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique trouvent ici l'expression de mes sincères gratitudes pour les efforts qu'ils n'ont cessé de prodiguer pour ma bonne formation .

Enfin , ma profonde sympathie va à toutes les personne qui ont contribué , de près ou de loin , à la réalisation de ce travail .

Mots clés :

Hydrocarbures .
Corps purs .
Propriétés physiques des mélanges de corps purs .
Corrélations .
Densité .
Indice de réfraction .
Tension superficielle .
Viscosité .
Points d'aniline .
Règles de mélanges .
Règles classiques .
Moyenne arithmétique .
Moyenne géométrique .
Moyenne cubique .
Moyenne logarithmique .
Moyenne harmonique .
Ecart moyenne .
Régressions mathématiques .
Estimations .
Logiciel SIGMAPLOT .

Etablissement de nouvelles règles de mélanges pour le calcul des propriétés physiques des mélanges d'hydrocarbures

RESUME

Notre travail consiste à élaborer des nouvelles règles de mélanges pour la prédiction des propriétés physiques des mélanges d'hydrocarbures . Pour cela nous avons mesuré expérimentalement la densité , l'indice de réfraction , la viscosité et la tension superficielle pour cents v de mélanges binaires , ternaires et multi-composants , puis nous avons essayé de retrouver les mêmes propriétés en appliquant des règles de mélanges classiques tel que la moyenne arithmétique , géométrique , cubique , logarithmique et harmonique et aussi des corrélations de la littérature .

Les nouvelles règles de mélanges établies sont basées sur l'amélioration des règles classique en introduisant des termes correctifs tenant compte de la nature chimique des hydrocarbures .

Setting up the new rules of mixtures for the calculation of the physical properties of hydrocarbon mixtures .

SUMMARY

Our work consists in working out the new rules of mixtures for the prediction of physical properties of hydrocarbon mixtures . For it we measured the density , the indication of refraction , the viscosity and the superficial tension experimentally for mixtures , then we tried to recover the same properties while applying rules of mixtures classics as the arithmetic , geometric , cubic , logarithmic and harmonic mean .

The new rules of mixtures established are based on the improvement of the rules classic while introducing the corrective terms holding amount of the chemical nature of hydrocarbons .

انشاء قوانين جديدة لحساب الخلائط الهيدروكربونية

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

ملخص

يتمثل عملنا في اعداد قوانين جديدة لحساب الخلائط الهيدروكربونية، و لتحقيق ذلك قمنا بقياس الكثافة، مؤشر الإنكسار، اللزوجة و التوتر السطحي لحوالي سنة و عشرون خليطا ثانيا و ثلاثي و متعددة، ثم حاولنا بعد ذلك إيجاد هذه الخصائص الفيزيائية بتطبيق علاقات أساسية، كالمعدل الحسابي، الهندسي، التكميبي، اللوغارثمي و المتجانس و علاقات تجريبية.

تعتمد قوانين الخلائط الجديدة الموضوعه على تحسين القوانين القديمة بادراج عوامل تأخذ بالحسبان العائلة الفيزيائية للعناصر المكونة للخليط

Sommaire

CHAPITRE I : Pétrole brut et fractions pétrolières

I . INTRODUCTION	1
II . ORIGINE DU PETROLE.....	2
III . COMPOSITION DU PETROLE BRUT ET DES FRACTIONS PETROLIERE.....	3
III.1 . Les Hydrocarbures paraffiniques C_nH_{2n+n}	4
III.2 . Les Hydrocarbures naphténiqes	4
III.3 . Les Hydrocarbures Oléfiniques	5
III. 4 . Les Hydrocarbures Aromatiques	5
III.5 . Les Composés HETERO-ATOMIQUES	5
III.5.1 . Les Composés Oxygénés	6
III. 5. 2 . Les Composés Sulfurés.....	6
III.5. 3 . Les Composés Azotés	6
IV . CLASSIFICATION DES PETROLES BRUTS	6
IV.1. Classification scientifique	6
IV. 2 . Classification technologique	8
IV.3 . Classification de SACCHANEN	9
V . LES PRINCIPAUX TYPES DE PETROLE BRUT	10

Chapitre II : ANALYSE DES PETROLES BRUTS ET DES FRACTIONS PETROLIERES

I . INTRODUCTION	13
II . LA DISTILLATION FRACTIONNEE	13
II .1 . La distillation T.B.P	13
II . 2 . Distillation A.S.T.M	14
II . 3 . Distillation simulé	14
III . LES METHODES PHYSICO-CHIMIQUES DE SEPARATION	
III .1 . LES METHODES CHIMIQUES.....	14
III . 2 . LES METHODES PHYSIQUES.....	14
III. 2 .1 . LES METHODES SPECTROGRAPHIQUES	
III.2 .1 .1 .LA SPECTROGRAPHIE INFRAROUGE	15
III.2.1. 2 . LA SPECTROMETRIE ULTRAVIOLETTE	15
III.2 .1.3 . LA SPECTROMETRIE DE MASSE	15
III. 2. 2. LES METHODES CHROMATOGRAPHIQUES	
III .2 .2 .1. La chromatographie en phase gazeuse (CPG).....	16
III.2 .2. 2.La chromatographie en phase liquide	16

IV . ANALYSE DES PRODUITS PETROLIERS ISSUS DE LA DISTILLATION

IV .1 .Les essences	16
IV . 2. Les essences spéciales	16
IV . 3 . Le pétrole lampant	16
IV . 4 . Le gas-oil	16
IV . 5 . Les fuel-oils	16
IV . 6 . Les bitumes	16
IV . 7 . Le coke	16

CHAPITRE III : PROPRIETES PHYSIQUES ET THERMODYNAMIQUES DES HYDROCARBURES ET DE LEURS MELANGES

I . Introduction

II . PROPRIETES PHYSICO – CHIMIQUES ET THERMODYNAMIQUES

II . 1 . Densité	19
II . 2 . Tension de vapeur « Reid » (TVR)	20
II . 3 . Point de congélation	20
II . 4 . Viscosité	20
II . 5 . Le point d'aniline	21
II . 6 . point d'éclair (Flash Point)	22
II . 7 . Le point de trouble	22
II . 8 . Le point d'écoulement	22
II . 9 . Indice de cétane	22
II .10 . L'indice d'octane	23
II . 11 . Teneur en cendres et résidu de carbone Conradson.....	23
II . 12 . La teneur en Soufre	24
II . 13 . Teneur en sels et chlorures	24
II . 14 . Teneur en eau	24
II . 15 . La température d'ébullition	25
II . 16 . L'indice de réfraction n	25
II . 17 . L'indice de corrélation I	26
II . 18 . La réfraction molaire RM	26
II .19 . La tension superficielle	27
II . 20 . La masse moléculaire	28

III . METHODES DE CALCUL DES PROPRIETES PHYSIQUES DES CORPS PURS , DES MELANGES ET DES FRACTIONS PETROLIERES

III . 1 .La Densité .	28
III .1 .1 .La densité des corps purs	29
a) Corrélation de Skander-Chitour	29
b) Corrélation de Dermoume- Chitour	29
c) Equation de Rackett	30
d) Equation de Yen – Woods	30

III . 1 . 2 . La densité des mélanges de corps purs	30
a) Loi d'additivité classique	30
III . 1 . 3 . La densité des fractions Pétrolières	31
a)Corrélation de Riazi – Daubert	
III . 2 . Indice de réfraction	31
III . 2 . 1 . Indice de réfraction des corps purs	31
a) Equation de Smittenberg	32
b) Corrélation de Lorentz-Lorenz	32
c) Equation de Lipkin – Martin	32
d) Corrélation de Riazi- Daubert	32
e) Corrélation de Skander– Chitour	33
III . 2 . 2 . Indice de réfraction des mélanges de corps purs	33
III . 2 . 3 . L'indice de réfraction des fractions pétrolières	33
III . 3 . La VISCOSITE	33
III . 3 . 1 . Viscosité des corps purs	33
a) Equation de Souders	33
b) Equation de Mehotra	34
III . 3 . 2 . Viscosité des mélanges de corps purs	34
a)Corrélation de Kendall – Monroe	34
b) L'équation d'Arrhenius	34
III . 3 . 3 . Corrélations donnant la viscosité des fractions pétrolières	35
a) Corrélation de Skander – Chitour	35
b) Corrélation de Zidelkher – Chitour	36
c)Corrélation de l'API	36
III . 4 . La tension superficielle	37
III . 4 . 1 . Les corrélations empiriques pour les corps purs	37
a) Corrélation de Mac Leod - Sudgen	37
b) Corrélation de Zidelkher – Chitour	38
c) Corrélation de Skander- Chitour	38
d) corrélation de Riazi- EL Sahhaf	39

III . 4 . 2 . Les corrélations donnant la tension superficielle pour les mélanges de corps purs

- a) Corrélation de MacLeod – Sudgen modifiée 39
- b) variation de la tension superficielle pour des pressions élevées Equation de Weinaug et Katz 40

III . 4 . 3 . corrélation pour les fractions pétrolières 40

- a) Equation de Sanborn et Evans 40
- b) Corrélation de Weinaug – Katz 40
- c) utilisation des méthodes d'additivité 41

Chapitre IV : Calcul des propriétés physiques des mélanges d'hydrocarbures par les règles de mélange .

I. Introduction 42

II. Parti expérimentale 42

II.1.Préparation des mélanges et collecte de données 42

II.2. Mesure expérimentale des propriétés physiques des différents mélanges 47

II.2.1 La densité 47

II.2.2 . L'indice de réfraction 47

II.2.3 . La viscosité cinématique 47

II.2.4. La tension superficielle 48

III. Calcul des propriétés physiques des mélanges préparés 52

III.1. La densité 52

III. 2. L'indice de réfraction 62

III.3. La viscosité 71

III.4. La tension superficielle 78

IV. AMELIORATION DE LA NOUVELLE REGLE DE MELANGE POUR LA PREDICTION DE LA VISCOSITE A 20°C DES MELANGES D'HYDROCARBURES 86

IV.1. Introduction 86

IV.2. Démarche suivie 86

Conclusion générale 96

NOTATION ET ABBREVIATIONS

N°mel : Numéro du mélange .
C1 : Constituant 1.
C2 : Constituant 2.
C3 : Constituant 3.
m1 : Composition massique du constituant 1.
m2 : Composition massique du constituant 2.
m3 : Composition massique du constituant 3.
n1 : Composition molaire du constituant 1.
n2 : Composition molaire du constituant 2 .
n3 : Composition molaire du constituant 3 .
V1 : Volume massique du massique du constituant 1 .
V2 : Volume massique du massique du constituant 2 .
V3 : Volume massique du massique du constituant 3 .
nC6 : Hexane .
nC7 : Heptane .
nC9 : Nonane .
nC10 : Décane .
nC11 : Undécane .
nC12 : Dodécane .
nC13 : Tridécane .
nC14 : Tétradécane .
nC15 : Pentadécane .
nC16 : Hexadécane .
nC18 : Octadécane .
Cy C6 : Cyclohexane .
mCyC6 : Methylcyclohexane .
Bz : Benzène .
Tol : Toluène .
Et Bz : Ethyl Benzène .
ter but Bz : Tertu butyl Benzène .
pen Bz : Pentyl Benzène .

d^{20} : Densité à 20°C .
 n^{20} : Indice de réfraction à 20°C
 v^{20} : viscosité à 20°C .
 TS^{20} : Tension superficielle à 20°C .
PA : Point d'aniline .
exp : Expérimentale .
ar : Arithmétique .
géo : Géométrie .
cub : Cubique .
log : Logarithmique .
har : Harmonique .
mas : En pourcentages massique .
mol : En pourcentage molaire .
vol : En pourcentage volumique .
e : Ecart moyen .
moy : moyenne .

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERAL E

INTRODUCTION :

La connaissance des propriétés physiques des mélanges d'hydrocarbures et d'une très grande importance pour l'ingénieur pétrolier , car elles constituent des données de base pour leur traitement et le dimensionnement des équipements et la simulation des procédés chimiques et physiques des mélanges d'hydrocarbures .

L'accès à ces propriétés est obtenue soit par des mesures expérimentales qui sont souvent régies par des normes, soit par des méthodes de calcul . Pour les mélanges dont la composition est connue , des règles de mélanges classiques sont souvent utilisées en effectuant des pondérations à partir des propriétés des corps purs qui les composent . Ces règles de mélanges constituent cependant qu'une approximation , car elle ne tiennent pas compte des grandeurs d'excès dues aux interactions entre les différents constituants d'un mélange .

La présente étude constitue une contribution à une meilleure connaissance de ces règles de mélanges par l'étude des règles existantes dans la littérature et, le développement de nouvelles règles de mélanges pour la prédiction de la viscosité .

Les propriétés étudiées dans le cadre de notre étude sont : la densité , l'indice de réfraction , la viscosité et la tension superficielle à 20°C . Les valeurs des propriétés obtenues par calcul sont comparées à celles obtenues par l'expérience et par des corrélations recommandées dans la littérature .

المدسة الوطنفة المتمددة التففففات
BIBLIOTHEQUE — المككككبة
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE I PETROLE BRUT ET FRACTIONS PETROLIERES

I . INTRODUCTION :

Principale source d'énergie , le pétrole est avant tout une matière organique, une des plus abondantes dont l'homme fait usage . Constituant de l'écorce terrestre, le pétrole, étymologiquement « huile de pierre » , est une roche comme le charbon .

Au cours de l'histoire , le pétrole fut connu et utilisé bien plus souvent comme substance que comme source d'énergie . L'histoire des civilisations passées nous fait dire que le pétrole était présent partout . Toutes l'ont connu et employé , du bitume de l'Ancien Testament qui servit à calfater l'Arche de Noé , jusque à « l'Or noir » du XIX^E siècle , en passant par les « pêcheries de bitume » de la mer morte données à Cleopâtre par Marc Antoine , la mummy des Arabes chère aux alchimistes du moyen âge .

Pour la découverte du pétrole , l'histoire a retenu un nom , un lieu et une date : le Colonel Drake , Titusville en Pennsylvanie , 1859 . Pourtant , l'histoire humaine du pétrole et des hydrocarbures en général n'a pas de commencement bien défini .

Sa composition reflète la complexité de la matière vivante avec à peine quelques simplifications : le pétrole en effet ne possède que peu des deux éléments essentiels de la matière vivante : oxygène et azote . On sait qu'il est fondamentalement un mélange d'hydrocarbures : avec le pétrole, la nature joue, sur deux notes seulement , carbone et hydrogène, une extraordinaire symphonie chimique ; une symphonie, il est vrai, où quelques atomes de soufre apportent des fausses notes à l'oreille du raffineur , car cet élément est source de nuisances diverses . [1]

II . ORIGINE DU PETROLE :

Pour les anciennes civilisations , le pétrole avait une origine quasi- divine. Les alchimistes du moyen âge voyaient en lui le résultat de la condensation du mercure et du soufre dans les profondeurs des montagnes .

Au XVIII^E siècle , des chimistes avançaient qu'il provenait de la distillation du charbon . Depuis longtemps , certains savants avaient émis une théorie cosmique pour expliquer l'origine du pétrole : la Terre aurait flotté dans l'espace , entourée de vapeurs asphaltiques et agrégeant des matières incandescentes . Cette théorie retrouva des partisans vers 1930 quand , on découvrit par des études spectroscopiques , l'existence de méthane en quantités importantes dans les atmosphères de Jupiter , Saturne , Uranus et Neptune , et même , plus récemment , dans les gaz industrielles de notre galaxie .

La théorie de l'origine minérale du pétrole eut autrefois , parmi ses partisans , les scientifiques les plus prestigieux . Berthelot et Mendeleiev vers 1850 imaginèrent que l'action de l'eau sur des carbures métalliques naturels avaient pu donner des hydrocarbures acétyléniques qui , par polymérisation et saturation , auraient formé les chaînes et cycles du pétrole .

La théorie de l'origine organique du pétrole fut assez anciennement proposée. Mouquer admettait en 1758 que le pétrole était issu de restes animaux ou de la décomposition de végétaux terrestres, voire d'une distillation de bois, et en 1865 Warren et Storer essayèrent d'apporter la preuve de l'origine organique en distillant des huiles extraites de poissons.

Aujourd'hui la théorie de l'origine organique des hydrocarbures fossiles est universellement admise.

Plusieurs preuves sont données en faveur de cette théorie : on y trouve des corps « optiquement actifs » (c'est-à-dire dévient à gauche la lumière polarisée (elles sont levogyres), alors que les substances organiques faites en laboratoire sont racémiques, c'est-à-dire sont des mélanges de molécules dextrogyres et levogyres), qui ne peuvent pratiquement être synthétisés que par les êtres vivants.

D'autre part, le pétrole contient des fossiles dont la structure dérive directement de celle de la chlorophylle des plantes ou du sang des animaux. On peut également ajouter la proximité des puits de pétrole des côtes [2]

III . COMPOSITION DU PETROLE BRUT ET DES FRACTIONS PETROLIERES :

Le pétrole brut est un liquide brun rougeâtre, quelquefois à reflets verdâtres, et généralement plus léger que l'eau. Il est plus ou moins fluide suivant son origine. Son odeur est habituellement forte et caractéristique surtout s'il a une forte teneur en soufre.

Le pétrole brut et les fractions pétrolières qui en sont issues sont essentiellement composés de divers hydrocarbures. Un hydrocarbure est une molécule résultant de la combinaison d'atomes de carbone tétravalents et d'atomes d'hydrogène monovalents. On y trouve surtout les trois familles à savoir les paraffines, les naphthènes et les aromatiques.

Cependant le pétrole brut contient également du soufre, de l'oxygène et de l'azote, essentiellement sous forme de composés tels que l'hydrogène sulfuré, les mercaptans R-SH, disulfures, et polysulfures $(R-S-R-S)_n$, de l'oxygène et de l'azote.

Les fraction lourdes du pétrole brut renferment à l'état de traces des composées organométalliques à base de Fer, Nickel, et de Vanadium. Malgré une décantation prolongée, le pétrole brut contient toujours un peu de sédiments et d'eau salée provenant du gisement [3].

III.1 . Les Hydrocarbures paraffiniques C_nH_{2n+2} :

Les hydrocarbures paraffiniques ou les alcanes sont des hydrocarbures saturés de formule générale C_nH_{2n+2} .

Les hydrocarbures paraffiniques sont des corps gazeux , liquides ou solides. Les composés gazeux comportent dans leur chaîne 1 à 4 atomes de carbone , et entrent dans la composition des gaz associés et naturels . Les composés renfermant entre 5 et 15 atomes de carbone sont des liquides. A partir de l'hexadécane $C_{16}H_{34}$, les alcanes normaux sont des solides qui , à la température ordinaire , peuvent se trouver dans le pétrole brut et dans les fractions pétrolières à haut point d'ébullition , à l'état dissous de cristallin .

Parmi les alcanes du pétrole, on trouve les isomères normaux ou molécules à chaînes dentées et les isomères ramifiés (iso-paraffines) , contenant au moins un carbone tertiaire. Ces derniers sont un peu plus réactifs que les normales paraffines lorsqu'ils réagissent avec de l'acide sulfurique ou nitrique et cela , à cause de l'existence du carbone tertiaire.

Les hydrocarbures paraffiniques donnent lieu à des réactions de substitution. Le nombre d'isomères varie de façon exponentielle .

III.2 . Les Hydrocarbures naphténiques :

les hydrocarbures naphténiques ou les cyclo-alcanes sont des hydrocarbures cycliques saturés de formule générale C_nH_{2n} , simples ou substitués par des chaînes d'alcane dont plusieurs portent des groupements méthyle

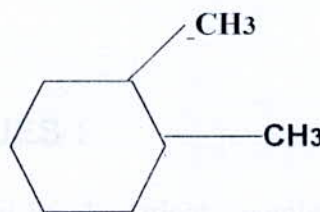
Le nombre de cycles dans la molécule permet de classer ces hydrocarbures en trois classes : les monocycles , les bicycles et les tricycles .Ils sont plus réactifs que les paraffines , ils donnent lieu à des réactions de substitution et d'addition sur le cycle dans certaines conditions . Les pétroles en contiennent entre 25 et 75% (massique) et sont présents dans toutes les fractions à partir de C_5 .

Exemple :

1. C_5H_{10} Cyclopentane



2. C_8H_{16} Diméthyl-1.2 cyclohexane



III.5.1 . Les Composés Oxygénés :

les composés oxygénés constituent rarement plus de 10% de la masse totale des pétroles bruts .Ce sont des acides , phénols , cétones et esters , et rarement anhydres et dérivés furaniques.[4]

III. 5. 2 . Les Composés Sulfurés :

Le pétrole de la plus part des réserves mondiales actuelles est sulfureux , ou très sulfureux . On peut rencontrer des mercaptans , des sulfures .

III.5. 3 . Les Composés Azotés :

Les composés azotes sont contenus dans les pétroles en quantités bien faibles , comparés aux composés oxygénés ou sulfurés .

Nous considérons deux groupes de produits azotés : basiques et non basiques . Les composées basiques isolés sont la pyridine, la quinoléine et l'isoquinoline et certains de leurs homologes supérieurs. Les produits non basiques sont encore assez mal connus ; cependant , on a pu établir la présence de produits du type pyrole, indole ou carbazole [6] .

IV . CLASSIFICATION DES PETROLES BRUTS :

La composition chimique du pétrole brut est très variable , aussi bien dans la nature que dans la diversité des composants . Chaque pétrole est composé au moins d'une centaine de molécules d'hydrocarbures . Cette énorme variation rend très difficile une classification unique et simple .

IV.1. Classification scientifique :

Il existe un très grand nombre de classifications : chimique , génétique, industrielle et commerciale.

A l'époque où l'industrie pétrolière n'était qu'à ses début , les pétroles étaient divisés selon leur densité en :

◆ Pétrole léger : $d_{15}^{15} < 0.828$.

◆ Pétrole moyen : $0.828 < d_{15}^{15} < 0.884$.

◆ Pétrole lourd : $d_{15}^{15} > 0.884$. [4]

Une caractérisation plus précise des pétroles est fournie par la Classification Chimique de l'US Bureau of Mines . Elle est basée sur la corrélation entre les différentes natures des hydrocarbures qui compose le pétrole . Dans ce cas , nous examinons la fraction distillée sous la pression atmosphérique et à une température entre 250 et 275°C (fraction caractéristique de la partie légère du pétrole) et la fraction distillée sous pression résiduelle de 5.3 KPa et une température entre 275 et 300°C (fraction caractéristique de la partie lourde du pétrole) .

Une fois la densité des deux fractions est déterminée, on place les fractions légères et lourdes d'après la valeur de la densité dans une des trois colonnes du Tableau (1.1); ainsi nous avons la base de la partie légère et lourde de notre pétrole.

Puis en partant des données sur les fractions caractéristiques, nous choisissons la classe du pétrole dans le Tableau (1.2).

Fractions	Densité des fractions pétrolières		
	Base paraffinique	Base mixte	Base naphénique
P = 1 atm Temp = 250 à 275°C	< 0.8251	0.8251 - 0.8597	> 0.8597
P = 3,5 atm Temp = 275 à 300°C	< 0.8762	0.8762 - 0.9334	> 0.9334

Tableau 1.1 : Norme pour la classification des pétroles de l'U.S. Bureau of Mines .

N° de la Classe	Base(classe) du pétrole	Base de la partie légère	Base de la partie lourde
01	paraffinique	paraffinique	paraffinique
02	Paraffinique - mixte	paraffinique	mixte
03	paraffinique	mixte	paraffinique
04	mixte	mixte	mixte
05	mixte - naphénique	mixte	naphénique
06	Mixte - naphénique	naphénique	mixte
07	naphénique	naphénique	naphénique

Tableau 1.2 : Classification chimique des pétroles proposée par l'U.S. Bureau of Mines .

L'inconvénient de cette classification est de donner des limites plutôt conventionnelles des fractions caractéristiques, c.à.d, les désignations des classes reflètent mal la composition réelle des pétroles.

Une classification originale qui tient compte de la composition chimique des pétroles est proposée par l'Institut de Recherches Pétrolières de Grozny « Groz N II » (RUSSIE) . [4]

Toutes les fractions des bruts paraffiniques sont caractérisées par une forte teneur en alcanes, plus de 50% dans les fractions essence et plus de 20% dans les fractions huiles.

Dans les pétroles paraffino – naphthéniques, nous trouvons à côté des alcanes, des quantités considérables de cycloalcanes, alors que les arènes sont rares. Les pétroles de ce type contiennent peu de résines et d'asphaltènes.

Dans les pétroles naphthéniques, un pourcentage élevé de cycloalcanes est caractéristique de toutes les fractions, les alcanes y sont peu nombreux. La quantité de résines et d'asphaltènes est également réduite.

Les pétroles paraffino- naphthéno- aromatiques renferment les hydrocarbures de ces trois catégories en proportions à peu près égales, et jusqu'à 10% de résines et asphaltènes.

Les pétroles naphthéno-aromatiques se caractérisent par une forte teneur en cycloalcanes et arènes, surtout dans les fractions lourdes. Les alcanes ne sont présents, en faibles quantités, que dans les coupes légères. La teneur en paraffines solides ne dépasse pas 0.3%, celle en résines et asphaltènes atteignant 15 à 20%. En fin, les pétroles aromatiques sont très denses.

IV. 2 . Classification technologique :

Les pétroles sont subdivisés en trois classes : I, II, III selon la teneur en soufre du brut, de l'essence, du carburéacteur et de l'huile diesel ; en types : T1, T2, T3 selon le rendement en fractions distillant au-dessous de 350°C (Tableau 1.3) ; en groupes : M1, M2, M3, M4 selon l'indice de viscosité des huiles de base, en sous-groupes : N1, N2 selon l'indice de viscosité des huiles de base, et en espèces : P1, P2, P3 d'après la teneur en paraffines (tableau 1.4).

Classes	Teneur en Soufre, en % (massiques)				Type	Taux des coupes distillant au-dessous de 350°C en % massiques.
	Brut	Essence Jusqu'à 200 °C	Carburé-acteur 120-240°C	Huile diesel 240-350°C		
I	< 0.50	< 0.15	< 0.1	< 0.2	T1	>45
II	0.51-2.0	< 0.15	< 0.25	< 1.0	T2	30- 44.9
III	> 2.0	> 0.15	> 0.25	> 1.0	T3	< 30

Tableau 1.3 : Classification technologique des pétroles.

Groupe	Teneur Potentielle en Huiles , en % (massiques)		Sous-groupe	Indice de viscosité des Huiles de base	Espèce	Teneur en alcanes du pétrole, en % (massiques) .
	Pétrole	Mazout > 350°C				
M1	> 25	> 45	N1	> 85	P1	< 1.50
M2	15- 25	> 45				
M3	15- 25	30- 45	N2	40- 85	P2	1.51- 6.0
M4	< 15	< 30			P3	> 60

Tableau 1.4 : Classification technologique des pétroles .

IV.3 . Classification de SACCHANEN :

SACCHANEN [15] donne les compositions suivantes pour des pétroles bruts typiques des trois séries principales (Tableau 1.5) :

Nature des hydrocarbures	Brut paraffinique	Brut naphénique	Brut asphaltique
Paraffines	40	12	5
Naphtènes	48	75	15
Aromatiques	10	10	20
Asphaltènes (polycycliques)	2	3	60

Tableau 1.5 : Classification des pétrole selon SACCHANEN .

Cette répartition n'est en fait pas très efficace et , l'imprécision augmente au fur et à mesure que le poids moléculaire augmente . Il est par exemple très difficile de décider si un naphénique très substitué avec une chaîne paraffinique se comporte comme une paraffine ou un naphène , c'est le cas très souvent d'hydrocarbures à point d'ébullition élevés .

V . LES PRINCIPAUX TYPES DE PETROLE BRUT :

On observe généralement une certaine parenté , dans un même bassin , entre les pétroles qui dérivent de la même roche mère . Par contre , à l'intérieur d'une même famille d'huiles , ainsi définie , on note des variations au travers du bassin, en particulier du fait de l'histoire géologique locale . Dans les bassins du Moyen- Orient (Arabie Saoudite , Koweït , Irak , Iran) , les pétroles contiennent 1 à 5 % de soufre . Il en est de même pour certains pétroles du Venezuela et du sud-ouest de la France . On observe des variations liées à l'âge et à la profondeur des gisements . Les teneurs en hydrocarbures saturés , et surtout en composés légers , augmentent avec la profondeur des gisements , c'est – à – dire avec leur température (TISSOT (1992)).

A très grande profondeur, on trouve essentiellement du méthane . On observe également que dans un même bassin , les gisements plus anciens sont souvent plus riches en hydrocarbures légers . En effet , le temps , et surtout la température , sont deux paramètres essentiels de la cinétique de transformation de la matière organique dans le sous-sol , et en particulier des réactions de craquage qui sont à l'origine des hydrocarbures légers . Il est d'usage de regrouper les qualités de brut en trois grandes catégories : les bruts lourds , moyens et légers .

Ces catégories se fondent sur la densité des bruts telle qu'elle est établie par l'American Petroleum Institute (API) . Le principe de cette échelle est que plus un pétrole est léger , plus son degré A.P.I est élevé (Tableau 1.6) . On distingue ainsi :

- ◆ **Les bruts lourds** (dont le degré A.P.I est inférieur ou égal à 25°) constituent environ 10% des réserves et se situent essentiellement en Amérique Latine .
- ◆ **Les bruts moyens** (dont la densité se situe entre 25 et 35°) , constituent 65% des réserves et se situent essentiellement au Moyen- Orient .
- ◆ **Les bruts légers** (d'une densité supérieure à 35°) constituent 25% des réserves et sont répartis entre le Moyen- Orient , l'Afrique , l'Amérique du Nord et l'Europe .[9]

Types de bruts	Localisation	Degré A.P .I	Soufre %
Bruts lourds	Boscan (Venezuela)	10	5.4
	Laguna (Venezuela)	11	3.0
	Maya (Mexique)	22	2.8
	Tia Juna (Venezuela)	24	1.7
Bruts moyens	Alaskan North Slope (Etats-Unis)	27	--
	Kuwait (Koweït)	31	2.5
	Fateh Dubai (E.A.U)	32	1.7
	West Texas Sour (Etats- Unis)	33	2.0
	Officina (Venezuela)	34	0.7
	Arabian Light (Arabie Saoudite)	34	1.7
Bruts légers	Forties (Royaume-Uni)	36	0.3
	Ekofisk (Norvège)	36	0.2
	Oman (Sultanat Oman)	36	0.7
	Kirkuk (Irak)	37	1.9
	Bonny Light (Nigeria)	37	0.3
	Brent (Royaume- Uni)	38	0.2
	Statfjord (Norvège)	38	0.3
	Murban (E.A.U)	39	0.8
	West Texas Intermediate (Etats – Unis)	40	0.4
	West Ekofisk (Norvège)	43	0.2
	Saharan Blend (Algérie)	44	0.1

Tableau 1.6 : Principaux bruts caractéristiques selon le degré A.P.I .

Ces distinctions sont importantes dans l'exploitation du brut car elles donnent une idées sur le type d'opérations unitaires à appliquer .

CHAPITRE II
ANALYSE DES PETROLES BRUTS ET
DES FRACTIONS PETROLIERES

I . INTRODUCTION :

Lors de la découverte d'un nouveau gisement de pétrole brut, on procède à une série d'analyses en vue d'évaluer la composition du produit et de fixer les rendements en certaines fractions .Ces renseignements permettront au raffineur de prévoir les unités à utiliser pour le traitement de ce nouveau brut, ainsi que leurs capacités .[10]

Le pétrole brut se trouve toujours en présence de gaz et d'une certaine quantité d'eau salée, il faut procéder à une séparation . Les techniques classiques utilisées sur le chantier font intervenir la séparation spontanée par gravité , l'injection de tensioactifs et le chauffage . Le gaz , s'il est produit en quantités suffisantes , peut être débarrassé des hydrocarbures légers liquides , il peut être utilisé soit pour la ré injection , soit pour brûleurs aux torches . [8]

L'analyse des coupes pétrolières est réalisée dans des conditions strictement définies . Les normes qui peuvent paraître trop détaillées sont très importantes .

L'analyse commence en général par la mesure de la densité, puis la distillation . Elle consiste à séparer le pétrole en des coupes aussi étroites que possible . Au -delà du gazole , on opère sous pression réduite pour éviter le craquage ; mais souvent le raffineur préfère à la distillation classique ce que l'on appelle « la distillation chromatographique » , plus rapide , et beaucoup plus sélective , et ne demande que de très petits échantillons .

II . LA DISTILLATION FRACTIONNEE :

La distillation fractionnée est un procédé de séparation qui utilise la différence des points d'ébullition entre des produits qui se trouvent mélangés , et même dissous les uns dans les autres dans la matière première .

A tout moment , les vapeurs qui s'échappent sont des mélanges de produits , les premières fractions ont une concentration plus importante en produits volatils que le mélange de départ , les dernières fractions auront une concentration en produits lourds plus grande que la matière première [3].

II .1 . La distillation T.B.P :

La T.B.P(True Boiling Point) est une opération fondamentale de séparation dans le domaine du raffinage .

C'est une distillation discontinue permettant la séparation d'un pétrole brut ou d'une fraction d'hydrocarbures en fonction de la température d'ébullition .

La T.B.P est une distillation qui est menée dans une colonne à nombre de plateaux élevé , au sommet de laquelle passe tout d'abord la totalité des constituants les plus volatils et par la suite tous les constituants purs par ordre de volatilité .

Les vapeurs issues de la distillation sont conduites dans la colonne où elles rencontrent le liquide servant de reflux, elles s'enrichissent à son contact en produits légers, et abandonnent les produits les plus lourds qui se condensent et redescendent dans la colonne .

Les vapeurs ainsi enrichies en produits légers, passent en tête de colonne et constituent le reflux . Les fraction sont recueillies tous les 5°C . En notant le pourcentage volumique ou massique de chacune d'elles , on peut alors tracer la courbe T.B.P du pétrole brut .[3]

II . 2 . Distillation A.S.T.M :

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 recueillies dans une éprouvette graduée .

On note la température dans un ballon dès l'apparition de la première goutte du condensat à la sortie du tube , c'est le point initial de la distillation . Ensuite, la température est augmentée régulièrement. En fin de distillation , la température décroît par la suite de l'altération thermique des dernières traces liquides dans le ballon .Le maximum de température est le point final de distillation. Ensuite , on présente la température d'ébullition en fonction du pourcentage distillé. Cette méthode est plus rapide mais elle ne se fait qu'à pression atmosphérique et en aucun cas , nous devons dépasser les 300°C .[3]

II . 3 . Distillation simulée :

La distillation simulée du pétrole brut est une distillation réalisée par chromatographie en phase gazeuse . Elle nécessite une colonne capillaire courte et conduit à une distribution de points d'ébullition qui sont souvent en bon accord avec des points d'ébullition obtenus par la distillation fractionnée .

La distillation simulée d'un pétrole brut par chromatographie en phase gazeuse s'avère intéressante dans la mesure où grâce à cette méthode , nous pouvons établir une courbe de distillation % poids en fonction de la température pour tous les produits pétroliers , pétrole brut ou distillats , et ceci par l'injection de quelques micro-litres seulement .Elles présente plusieurs avantages en terme de gain de temps et d'énergie . Cependant , l'inconvénient de cette distillation est qu'elle ne permet pas de recueillir les fractions issues de cette distillation .[11]

III . LES METHODES PHYSICO-CHIMIQUES DE SEPARATION :

III . 1 . LES METHODES CHIMIQUES :

Les méthodes chimiques prévoient une action chimique du réactif sur les hydrocarbures d'une classe déterminée (arènes ou alcènes) , dont la qualité des produits issus de la réaction est révélée par la variation du volume ou par la quantité des produits . Ces méthodes sont en plus nette régression. Ceci est vraisemblablement dû au fait que les différences des réactivités des différentes familles d'hydrocarbures disparaissent de plus en plus lorsque la masse moléculaire augmente ; en particulier, les chaînes latérales suffisamment longues et nombreuses peuvent masquer les propriétés du cycle .

Les hydrocarbures aromatiques présentent cependant une réactivité chimique plus marquée que les autres hydrocarbures. Ainsi les méthodes chimiques : sulfonation , nitration permettent de les séparer et même de les doser .De toutes ces méthodes, la sulfonation est la plus employée .

III . 2 . LES METHODES PHYSIQUES :

Elles sont les plus pertinentes et les plus répandues .Ces méthodes concernent les propriétés optiques ; elle sont destinées non seulement à déterminer les quantités d'arènes , de cyclo-alcanes dans un produit donné , mais aussi à examiner les compositions hybrides du point de vue de leur teneur en différentes unités structurales (noyaux aromatiques et alicycliques, substituants alcoyles) . Cela se fait au moyen de différentes techniques :

III. 2 . 1 . LES METHODES SPECTROGRAPHIQUES :

Les méthodes spectrographiques reposent sur les propriétés optiques . Ces méthodes occupent depuis quelques années une place prépondérante dans le domaine de l'analyse . Elles peuvent être classées selon le type de spectre utilisé.

III.2 . 1 . 1 . LA SPECTROGRAPHIE INFRAROUGE :

Dans le cas des essences , la spectrographie infrarouge permet de déterminer en principe les hydrocarbures individuels saturés jusqu'à 120°C et tous les hydrocarbures aromatiques depuis le benzène jusqu'aux composés en C₁₀ . Cependant , cette méthode devient de moins en moins applicable dans le domaine 200-300 °C par suite du très grand nombre de constituants présents dans une fraction et du manque de spectres de référence de produits purs . De plus, lorsque le poids moléculaire des hydrocarbures augmente , les spectres d'adsorption infrarouge des corps d'une même famille deviennent identiques et tendent vers un spectre limite .

Certains auteurs ont proposé de doser, à la place des hydrocarbures individuels , les différents groupes fonctionnels , c'est-à-dire les groupements : CH₃ , CH et C . Les différentes méthodes qui ont été proposées utilisent soit l'adsorption dans le proche infrarouge (800-900 cm⁻¹) , soit des longueurs d'onde caractéristiques des groupements fonctionnels .

III.2.1. 2 . LA SPECTROMETRIE ULTRAVIOLETTE :

La spectrométrie ultraviolette permet d'identifier et de doser les hydrocarbures aromatiques qui sont les seuls hydrocarbures à donner des spectres d'absorption caractéristiques dans le domaine 200-400 millimicrons . Alors que le nombre d'isomères et les spectres trop voisins des hydrocarbures aromatiques mononucléaires ne permettent pas de les distinguer , le diphenyl et les tétrahydronaphtalènes ont des spectres analogues à ceux des benzènes substitués mais déplacés légèrement vers de plus grandes longueurs d'onde .

III.2 . 1.3 . LA SPECTROMETRIE DE MASSE :

La spectrométrie de masse est réservée exclusivement à l'analyse des gaz ou des fractions légères de l'essence . Cependant O'NEAL et WIER ont réussi , en modifiant le système d'introduction , à obtenir les spectres de masse des hydrocarbures lourds . Des relations ont pu être établies entre le spectre de masse et la structure moléculaire , cette technique est susceptible de fournir des résultats analytiques de plus grand intérêt notamment par le couplage avec la chromatographie en phase gazeuse .

III. 2. 2. LES METHODES CHROMATOGRAPHIQUES :

III .2 .2 .1. La chromatographie en phase gazeuse (CPG) :

La chromatographie est une méthode physique d'analyse qui permet de séparer les constituants d'un mélange en utilisant les différences entre les constantes d'équilibre 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. Les succès remarquables réalisés par la chromatographie en phase gazeuse dans la séparation des mélanges sont bien connus . Pourtant , on estime que 20% seulement des connues sont justiciables de la chromatographie en phase gazeuse sans modification chimique préalable de l'échantillon.[12]

III.2 .2. 2.La chromatographie en phase liquide :

La chromatographie en phase liquide n'est limitée ni par la volatilité de l'échantillon ni par la stabilité thermique .De plus , la chromatographie en phase liquide est souvent plus efficace que la chromatographie en phase gazeuse dans le cas de séparation difficile .[13]

IV . ANALYSE DES PRODUITS PETROLIERS ISSUS DE LA DISTILLATION [15] :

Les différentes coupes pétrolières issues de la distillation sont analysées et mélangées de telle façon que les coupes larges obtenues répondent aux spécifications internationales pour leur commercialisation . Ces coupes , classées par ordre de volatilité , sont :

IV .1 .Les essences :

Le distillat de pétrole raffiné dont l'intervalle de distillation se situe entre 40-220°C est appelé essence et représente la fraction la plus légère . Cette coupe contient globalement des hydrocarbures ayant entre 5 et 12 atomes de carbone .

IV . 2. Les essences spéciales :

Les essences spéciales sont obtenues par redistillation ou rectification d'une coupe d'essence directe, suivie d'une désulfuration .Dans la gamme d'hydrocarbures C_4 à C_{10} , le raffineur produit toute une série d'essences spéciales caractéristiques qui sont adaptées à un usage industriel ou domestique particulier par des limites de distillation très serrées et par la nature des hydrocarbures qui les composent .

IV . 3 . Le pétrole lampant :

Cette coupe distille immédiatement après l'essence , elle comprend essentiellement les hydrocarbures allant du C_{10} au C_{14} .Son utilisation pour l'éclairage et le chauffage est en voie de disparition .En revanche, il sert toujours dans les chemins de fer pour la signalisation locale ou de secours . Il est alors soumis a des spécifications quant à la limitation de sa teneur en paraffines cristallisables à $-15^{\circ}C$ afin de garantir la montée de l'huile dans la mèche en hiver, ainsi que celle des aromatiques susceptibles d'encrasser la mèche .

IV . 4 . Le gas-oil :

Le gas-oil est un produit jaune clair , légèrement visqueux et distillant habituellement entre 190°C et 300°C . Plus lourd que les autres coupes , la coupe qui comporte entre 15 et 21 atomes de carbones constitue un carburant pour moteurs diesels .

IV . 5 . Les fuel-oils :

Un fuel-oil est un gas-oil dont le point final de distillation est plus élevé que celui d'un gas-oil normal .C'est un liquide brun foncé ou noir , plus ou moins visqueux , servant de combustible pour le chauffage .

IV . 6 . Les bitumes :

Les bitumes sont les fractions les plus lourdes du pétrole brut, obtenues soit par distillation sous-vide très poussée , soit encore par désasphaltage au propane d'un résidu sous-vide .Les bitumes sont surtout utilisés pour les travaux publics . [14]

IV . 7 . Le coke :

Quand les résidus lourds du pétrole issus de la distillation sous vide sont craqués sévèrement pour obtenir un maximum de distillat, il reste le coke industriel contenant 4 à 5 % de matière volatile et 1 à 3% de cendres . Il est employé comme combustible pour la métallurgie pour la production des aciers , il est également utilisé pour la fabrication des électrodes des charbons des dynamos , et aussi comme pigments de peinture .

CHAPITRE III
PROPRIETES PHYSIQUES ET
THERMODYNAMIQUES DES
HYDROCARBURES ET DE LEURS
MELANGES .

I . Introduction :

Il est impératif pour un raffineur de s'assurer que les produits pétroliers ont des caractéristiques qui conviennent à leurs utilisations. On les soumet donc à une série d'essais normalisés qui sont des méthodes adoptées à l'échelle internationale . Il existe différentes normes , les plus utilisées sont :

En Allemagne : DIN .

En Angleterre : IB .

En France : AFNOR .

Aux USA : ASTM .

Ainsi que la norme Algérienne et la norme européenne dernièrement uniformisé avec l'unions européenne .

Actuellement , la majorité des méthodes sont devenues internationales et ne diffèrent souvent que par le choix de l'appareil d'analyse .

Chaque raffinerie possède un laboratoire de contrôle où sont effectuées , sur les différents produits intermédiaires ou finis , un certain nombre de tests classiques qui ont un double but :

- vérifier rapidement que le réglage des unités de production est correct .
- s'assurer que la qualité des produits finis correspond bien aux normes .

Les différentes coupes doivent être analysées selon les normes citées ci-dessous pour pouvoir répondre aux spécifications requises en vue de leur commercialisation [16] .

II . PROPRIETES PHYSICO – CHIMIQUES ET THERMODYNAMIQUES

II . 1 . DENSITE [15] ,[17]:

La densité d'un corps pur ou d'un mélange de corps purs ou d'une fraction pétrolière est une grandeur facilement accessible expérimentalement .La mesure de la densité qui est une propriété additive , fait l'objet de normes pour les produits courants et pour les produits bitumineux .C'est le cas des normes AFNOR et des normes ASTM .

La densité est le rapport du poids d'un certain volume d'échantillon à une température T au poids du volume d'eau à une température standard .

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

Nous pouvons ramener la valeur de la densité à 20°C en partant d'une densité mesurée à une température T de l'échantillon moyennant cette formule de correction :

$$d_4^{20} = d_{4T} + -K(T-20) .$$

K : est un coefficient qui dépend de la densité du produit .

Les Américains utilisent également pour mesurer la densité ,le degré API défini par l'Américain petroleum institute ,comme une fonction hyperbolique de la specific-gravity SpGr :

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{SpGr}_{60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{f}}} - 131.5 .$$

Cet indice de densité peut être sujet de confusion . Un pétrole brut de densité API élevé possède un poids spécifique faible . Des produits lourds ont un poids spécifique élevé et un degré API faible .

II . 2 . Tension de vapeur « Reid » (TVR) :

Cet essai fait l'objet de la norme NF M07-007 et concerne uniquement les produits légers . L'essai de la TVR est très important , car il indique d'une manière indirecte , la teneur en produits très légers qui conditionnent la sécurité au cours du transport , les pertes de stockage et la volatilité des essences .

II . 3 . Point de congélation :

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

Cet essai a pour but de caractériser soit la teneur en paraffines des huiles , soit la teneur en hydrocarbures à haut point de congélation des autres produits .

Les normes utilisées pour la mesure de ce point sont :

- Carburateurs NF 1088 et ASTM D 1477 .
- Les gas-oils et les fuels NF T60-116 .
- Les huiles lubrifiantes NF T60-105 . [3],[7]

II . 4 . Viscosité [16] , [20] , [3] :

La viscosité joue un rôle important dans de nombreux procédés industriels qui mettent en jeu des écoulements de fluides ou de transfert de quantité de mouvement . Sa mesure fait l'objet des normes française NF T60- 100 et américaine ASTM D 445-65 .

C'est un critère particulièrement important pour apprécier les qualités de pompabilité des produits et définir le type d'écoulement dans les canalisations .

La viscosité est une grandeur physique qui mesure la résistance interne à l'écoulement d'un fluide, résistance due au frottement des molécules qui glissent les unes contre les autres. Autre définition, la viscosité est la force nécessaire par unité de surface pour maintenir, entre deux plans parallèles séparés par l'unité de distance, un gradient de vitesse égal à un.

$$\eta = \frac{dF}{dS} \cdot \frac{dZ}{dV}$$

Dans le système CGS, l'unité est la poise (Po) ou centipoises (cP).

Dans le système SI, l'unité est le poiseuille (PI).

Nous avons également défini la viscosité cinématique noté μ .

$$\mu = \eta / \sigma \quad \sigma \text{ représentant la masse volumique du fluide à la température } T.$$

la détermination de la viscosité cinématique est effectuée par mesure du temps t d'écoulement du produit entre les deux traits repères d'un tube capillaire calibré à une température T . La valeur en centistokes de la viscosité est $\mu = c t$, où c représente la constante de calibrage du tube.

II . 5 . Le point d'aniline :

Le point d'aniline est la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et du produit à analyser sont complètement miscibles, la rupture de miscibilité se manifestant par l'apparition d'un trouble net. Sa détermination fait l'objet de la norme américaine ASTM D611-64 et la norme française AFNOR : NF M 07. 021.

L'essai de sa détermination consiste à introduire deux volumes de 10 cm^3 d'aniline et de produit dans un tube, que l'on agite mécaniquement. Le mélange est ensuite chauffé jusqu'à ce que nous obtenons une seule phase, puis refroidi à une vitesse définie jusqu'à l'apparition d'un trouble net. A ce moment, on notera la température à l'aide d'un thermomètre qui est centré dans le tube en traversant un bouchon en liège qui se trouve à l'entrée du tube.

Le point d'aniline est en relation avec l'aromaticité du produit et entre dans les formules de caractérisation des différentes propriétés.

Les valeurs des points d'aniline obtenus avant et après l'élimination des aromatiques peut servir à l'étude de la composition d'une fraction pétrolière.

II . 6 . point d'éclair (Flash Point) [15][7][3]:

Dans les conditions normales de température et de pression , certains produits pétroliers peuvent dégager à leur surface de petites quantités d'hydrocarbures légers susceptibles de s'enflammer en présence de flamme . La température minimale à laquelle il faut porter l'échantillon liquide pour produire ce phénomène est appelée :point éclair .

Le point d'éclair caractérise la teneur en produits volatils ; il permet de connaître jusqu'à qu'elle température un produit pourra être chauffé sans danger ou risque d'explosion de la phase gazeuse des réservoirs de stockage .

La méthode expérimentale qui permet sa détermination consiste à chauffer dans un creuset ouvert ou fermé , à vitesse déterminée , un échantillon du produit jusqu'à ce qu'une petite quantité des vapeurs qu'il émet vienne exploser au contact d'une flamme de veilleuse .

- Pour les solvants et les kérosènes , les normes adoptées sont : NF M07-011, ASTM D56 et IP170.
- Pour les gas-oils , huiles et fuels, on utilise les normes : NF T60-103, NF T60-118, NF M07-019, ASTM D92 , ASTM D93 et IP 34 .
- Pour les bitumes fluxés , on utilise les normes : NF T66-009 et ASTM D93 .

II . 7 . Le point de trouble :

Le point de trouble d'un produit pétrolier est la température à laquelle les paraffines ,cires ou autres matières , commencent à se solidifier ou à se séparer de la solution lorsque ce produit est refroidi dans des conditions normalisées . Le refroidissement se faisant lentement et sans agitation, on note la température à laquelle apparaît un louchissement ou voile laiteux dû à la formation de microcristaux : c'est le point de trouble .

II . 8 . Le point d'écoulement :

Le point d'écoulement est la plus basse température à laquelle coule encore le produit analysé lorsqu'il est refroidi , sans agitation , dans des conditions normalisées . Il permet d'apprécier les limites de température à respecter dans la mise en œuvre des produits , en particulier pour le pompage en hiver . La mesure de cette caractéristique se fait selon les normes AFNOR : NF T60-105 et ASTM D97- 47 .

II . 9 . Indice de cétane :

La valeur de l'indice de cétane montre l'aptitude du gasoil à s'enflammer. Celui- ci se mesure sur l'enregistrement du diagramme de combustion. On l'exprime en « cétane » par comparaison avec les résultats obtenus à l'aide de deux combustibles étalons dans un moteur Diesel que sont le cétane et l'alphaméthylnaphtalène .

Si on a pas à notre disposition de moteur d'essai , on peut se faire une idée généralement suffisante de la qualité d'un gasoil en établissant son « Diesel Index » qui est donné par la formule empirique suivante :

$$DI = \frac{^{\circ}\text{API} * \text{Point d'aniline } (^{\circ}\text{F})}{100}$$

II .10 . L'indice d'octane [3]:

Cette caractéristique s'applique essentiellement aux essences et carburants qui alimentent les moteurs à allumage commandé. Il a pour but de classer les carburants en fonction de leur résistance à la détonation et détermine les qualités de combustion du carburant .L'indice d'octane des fractions pétrolières légères ne peut se déduire, même par corrélation empirique, des autres caractéristiques physiques , il faut le mesurer .

Un carburant a un indice d'octane égal à x si , dans le moteur CFR , il provoque un cliquetis équivalent à celui observé pour un mélange de x parties en volume d'iso octane et(100- x) d'heptane .

D'une manière générale , toutes les caractéristiques antidétonantes des carburants ne donnent lieu à aucune loi simple par suite de la complexité des paramètres qui les influencent . La pondération des indices d'octane en volume conduit à une valeur qui est très souvent inférieure à celle observée réellement pour le mélange . En première approximation , cette loi d'additivité en fonction des pourcentages volumétriques est acceptable .

II . 11 . Teneur en cendres et résidu de carbone Conradson [3][15]:

La teneur en cendres s'effectue sur les produits lourds . Les cendres sont des sels et oxydes minéraux qui demeurent à l'état solide après combustion complète . Elles sont constituées principalement de silice ,fer , calcium , sodium et vanadium , ce dernier représentant dans certains cas 50 % des cendres totales .

L'essai de la détermination de la teneur en cendres s'effectue sur les produits lourds que l'on calcine dans un creuset en évitant l'inflammation des vapeurs. Le résidu charbonneux est ensuite incinéré avec une flamme très chaude pour brûler le carbone. Après refroidissement et dessiccation, il ne reste plus que des cendres .

Les normes utilisées pour cet essai sont : NF T60- 111 et ASTM D 482 .

La détermination du résidu de carbone Conradson s'effectue sur les produits non volatils qui sont évaporés et pyrolysés dans un creuset , puis les vapeurs sont enflammées . Lorsque la combustion cesse , on calcine au rouge le résidu dans le creuset .

Après refroidissement et dessiccation , on obtient un résidu charbonneux de coke duquel on doit déduire la teneur en cendres pour connaître le résidu de carbone Conradson .

II . 12 . La teneur en Soufre [15]:

Les essais de la teneur en soufre intéressent non seulement l'utilisateur , mais également les raffineurs . Les composés sulfurés acides contenus dans les produits pétroliers provoquent la corrosion des réservoirs ou récipients qui les renferment et sont malodorants . Le soufre , se transforme par combustion en anhydride sulfureux qui , en présence d'eau , donne de l'acide sulfurique très dilué qui corrode efficacement les tuyaux d'échappement et les cheminées .

La teneur en soufre s'exprime en % poids , les normes utilisées pour cet essai sont :

- NF M07-005 , ASTM D1266 : méthode à la lampe .
- NF T60-108 , ASTM D 1551 : méthode du tube de quartz .
- NF T 60-109 , ASTM D 129 : méthode à la bombe .
- NF M 07-015 , ASTM D 130 : corrosion à la lame de cuivre .

Les trois premiers essais permettent de doser le soufre total dans le produit et consiste , à brûler ce dernier dans une lampe , bombe ou nacelle placée dans un tube de quartz , afin d'analyser les gaz de combustion par des solutions absorbantes sélectives .

L'essai à la lame de cuivre consiste quant à lui , à plonger une lame de cuivre rouge parfaitement polie dans l'échantillon pendant trois heures et à une température dépendant de sa nature .

L'examen de cette lame conduit à attribuer une valeur de corrosivité ,le caractère corrosif des essences et du kérosène dû à la présence des mercaptans .

Le Doctor test permet un dosage sélectif des composés sulfurés corrosifs et malodorants (H₂S...) . Cet essai qualitatif est peu précis , aussi l'abandonne t-on peu à peu . Il ne figure plus aux spécifications des essences , mais a été conservé pour les produits à faible teneur en soufre , tels que les gaz liquéfiés et les solvants spéciaux (white spirit) .

II . 13 . Teneur en sels et chlorures [7]:

La teneur en sels et chlorures alcalins ou alcalino-terreux des pétroles bruts est liée en majeure partie à la teneur en eau .On y trouve généralement du NaCl , MgCl₂ et Ca Cl₂ .

Leur présence en plus grande quantité provient du contact des bruts soit avec l'eau salée du gisement , soit avec l'eau de mer lors des transports .

Sa détermination est prévue par les normes suivantes : AFNOR NF M07-023 et IP 71/66 .

II . 14 . Teneur en eau :

La présence d'eau n'est pas gênante en elle même , mais elle contient généralement , soit dissout soit en suspension , des matières organiques pouvant donner des cendres , en particulier des chlorures de sodium et magnésium .

La teneur en eau est fixée à des traces non dosables .

II . 15 . La température d'ébullition [3][17]:

L'ébullition ou la vaporisation est le passage de l'état liquide à l'état vapeur à une température et une pression données constantes . Elle se produit au sein même du liquide à une température bien déterminée appelée température d'ébullition sous une pression constante .

La température d'ébullition d'un corps pur reste constante pendant toute la durée de l'ébullition . Les valeurs des températures d'ébullition des hydrocarbures purs sont tabulées dans les « Handbook » (API projet- 44 et DIPPR) . Il est possible de déduire les propriétés d'un hydrocarbure appartenant à une famille donnée sur la base de la connaissance d'une propriété (la température d'ébullition) .

Contrairement aux corps purs , la température d'ébullition d'un mélange n'a pas de signification physique , nous parlons plutôt de température moyenne d'ébullition correspondant à la température du point 50 % de la distillation . Celle-ci est déterminée à partir des courbes de distillation TBP et ASTM en rajoutant des incréments à la température moyenne pondérée T_{mav}

Un mélange d'hydrocarbures commence à bouillir quand le corps le plus léger passe à l'état vapeur , c'est la température initiale . La vaporisation s'arrête quand le corps le plus lourd passe à l'état vapeur , c'est la température finale .

II . 16 . L'indice de réfraction n [18]:

Les rayons lumineux changent leur vitesse et direction en passant d'un milieu à un autre . Ce phénomène est appelé Réfraction .

Le rapport entre le sinus de l'angle d'indice « i » et le sinus de l'angle de réfraction « r » est une constante indépendante de la valeur de l'angle d'incidence pour un milieu donné .

$$n = \sin (r) / \sin (i) = \text{constante} .$$

n : indice de réfraction .

L'indice de réfraction « n » caractérise le changement de direction d'une onde passant d'un milieu à un autre .

Cet indice , mesuré à une température T , est constant pour une radiation donnée et deux milieux bien définis . Sa détermination est faite généralement par rapport à la raie D jaune du sodium à 20°C (589.3 nm) . On le note ainsi : n_D^{20} .

L'indice de réfraction varie avec la température . En effet , lorsque la température augmente , la densité diminue , par suite , le faisceau lumineux rencontre moins de molécules sur son trajet et l'indice est plus faible . L'effet de la température est donné par la relation suivante :

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

Où : $a = 0.0004$.

L'indice de réfraction est d'autant plus petit que la teneur relative en hydrogène de l'hydrocarbure est plus élevée . Les arènes possèdent l'indice de réfraction maximal. les alcanes ont l'indice minimal. A l'intérieur des séries homologues , l'indice de réfraction augmente avec la taille de la chaîne .

Expérimentalement , l'indice de réfraction se mesure à l'aide d'une norme d'analyse AFNOR ou ASTM D1218 (réfractomètre d'ABBE) .

L'indice de réfraction des fractions pétrolières peut être estimé à partir de corrélations . En admettant l'additivité des contributions , on peut déduire l'indice de réfraction d'un mélange ou d'une fraction pétrolière connaissant la composition du mélange .

II . 17 . L'indice de corrélation I [19] :

L'indice de corrélation I , encore appelé facteur de caractérisation de HUANG , est défini par :

$$I = (n^2 - 1) / (n^2 + 2) .$$

L'indice de corrélation I est estimé à partir de différentes corrélations . Il peut être estimé à partir de la connaissance de la réfraction molaire en écrivant :

$$I = RM * d / M .$$

La réfraction spécifique est une propriété qui dépend de l'indice de réfraction , elle est donnée par la relation :

$$R = I / d . \quad d \text{ est la densité du produit mesurée à la même température que l'indice de réfraction .}$$

Valeurs du facteur de caractérisation I des familles d'hydrocarbures :

Famille d'Hydrocarbure	Paraffines	Naphténes	Aromatiques
Intervalle de I	0.267 - 0.273	0.278 - 0.308	0.298 - 0.362

II . 18 . La réfraction molaire RM :

La réfraction molaire est le produit de la réfraction spécifique par la masse moléculaire .
 $RM = I (M / d)$.

La réfraction molaire est considérée comme une propriété additive pour les corps purs individuels . Elle peut être estimée par des corrélations .

II . 19 . La tension superficielle [3][4]:

Pour augmenter la surface d'un liquide d'une quantité δS , il est nécessaire pour vaincre les forces de cohésion entre les molécules , de fournir une énergie δGS . La grandeur qui caractérise une surface sera le travail à fournir pour augmenter sa surface libre d'une unité de surface . Cette grandeur est appelée « tension superficielle » que nous avons notée TS et est exprimée en $\text{ergs} / \text{cm}^2$, ou en dyne/cm . Elle s'écrira alors :

$$TS = (\delta GS / \delta S)_{T,P}$$

Où :

δGS : énergie libre de surface .

δS : surface correspondant à 1 cm^2 .

T : température .

P : pression .

A la température réduite comprise entre 0.45 et 0.65 , la tension superficielle , pour beaucoup de liquides organiques a une valeur variant de 20 à 40 dyne / cm . La valeur de la tension superficielle de l'eau est égale à 72.8 dyne / cm à 20°C . Pour les métaux à l'état liquide , la tension superficielle est comprise entre 300 et 600 dyne/cm , elle est de 471.6 dyne / cm pour le mercure à 20°C , et de 1819 dyne/cm pour le platine à l'état fondu (2000°C) .

La tension superficielle est une fonction de la température , c'est pour cela qu'il est nécessaire d'indiquer toujours la température à laquelle la mesure a été effectuée . Lorsque la température s'élève , le corps se dilate , les forces d'attraction mutuelle de ses molécules internes et celles de ces molécules superficielles diminuent . Aussi la tension superficielle décroît avec l'élévation de la température.

La tension superficielle est une grandeur qui peut être déterminée au laboratoire . l'essai fait l'objet de la norme ASTM D 971- 50 .

De nombreuses méthodes expérimentales existent pour sa détermination expérimentale , parmi lesquelles nous citons la méthode de l'arrachement de l'anneau (tensiomètre de Noüy) :

La méthode consiste à mesurer la force nécessaire pour « arracher » un anneau rigide immergé dans le fluide . L'anneau est relié par l'intermédiaire d'un fil de torsion à une balance de mesure . Il suffit de diviser la force mesurée au moment de l'arrachement par deux fois le périmètre de l'anneau pour obtenir la tension superficielle mesurée , car nous formons deux ménisques .

La tension superficielle d'un mélange liquide n'est pas une fonction simple des tensions superficielles des divers constituants, car dans un mélange, la composition à la surface n'est pas identique à celle existant au sein du liquide. Nous pouvons en première approximation admettre l'additivité des propriétés. Pour estimer la tension superficielle d'un mélange, il est fait appel à des règles de calcul.

II . 20 . La masse moléculaire [4][10] :

La masse moléculaire est une caractéristique physico-chimique de la substance. Pour les produits pétroliers, ce paramètre est très important, car il fournit la valeur « moyenne » de la masse moléculaire des corps constituant la fraction pétrolière.

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

$$M = \sum M_i X_i / \sum X_i.$$

Où : X_i la fraction molaire du constituant i .

De nombreuses équations et méthodes graphiques ont été proposées pour l'estimation de la masse molaire des corps purs, des mélanges et des fractions pétrolières, permettant ainsi d'éviter l'expérience qui n'est pas toujours disponible ou alors nécessitant beaucoup de temps. Ces méthodes permettent en général d'approcher cette grandeur rapidement et avec une assez bonne précision. Parmi les méthodes expérimentales dont nous disposons, nous pouvons citer : exemple : Ebulliométrie, Cryoscopie, Tonométrie, Osmométrie.

Pour une fraction pétrolière, nous avons recours à des abaques, par exemple l'abaque du Kuop proposée par WATSON, NELSON et MURPHY.

III . METHODES DE CALCUL DES PROPRIETES PHYSIQUES DES CORPS PURS , DES MELANGES ET DES FRACTIONS PETROLIERES :

Il existe des méthodes empiriques pour la détermination des propriétés physiques des corps purs, des mélanges de corps purs et des fractions pétrolières.

Ce sont des méthodes simples, rapides, peu onéreuses ; elles permettent d'avoir rapidement une idée sur les grandeurs physiques des hydrocarbures. Leur précision sans être parfaite, permet néanmoins d'approcher les propriétés physiques du produit qu'il soit pur ou un mélange.

Dans ce chapitre nous présenterons les principales corrélations proposées dans la littérature pour l'estimation de quatre propriétés physiques : densité, indice de réfraction, viscosité et tension superficielle, ces propriétés font l'objet de notre étude.

III . 1 . LA DENSITE :

III .1 .1 .La densité des corps purs :

Pour la densité des corps purs , différentes corrélations sont utilisées :

a) Corrélation de Skander-Chitour (1996) [21]:

La corrélation proposée est basée sur la méthode de contribution de groupes :

$$d_4^{20} = a + b / [1 + (N/c)]^d$$

Avec a, b , c ,d constantes données pour les différentes familles :

Famille	a	b	c	d
Paraffines	0.069565408	0.77788982	2.1733177	-1.1293012
Naphtène	0.74856893	0.091408515	9.3554691	-2.2602122
Aromatique	0.85429415	1.290834	1.6227784	3.0424987

Tableau 3.1 : les valeurs des constantes a, b, c, d .

Ces corrélations peuvent s'appliquer par pondération aux mélanges et fractions pétrolières si on connaît la composition en différentes familles d'hydrocarbure .

b) Corrélation de Dermoume- Chitour (1990) [22]:

Ces corrélations sont valables pour les fractions pétrolières légères dont les températures d'ébullition sont comprises dans les intervalles suivants :

- ◆ Paraffines : $35 < T_{eb} < 175$ °C .
- ◆ Naphtènes : $50 < T_{eb} < 185$ °C .
- ◆ Aromatiques : $80 < T_{eb} < 185$ °C .

Elles sont basés sur la compilation des valeurs données par L'API projet 44 , pour les différentes familles d'hydrocarbures :

$$\text{Ln} (d_p) = 7.75 \cdot 10^{-4} M + 3.835 \cdot 10^{-4} T_{eb} + 0.5613 .$$

$$\text{Ln} (d_N) = 1.887 \cdot 10^{-4} M + 1.044 \cdot 10^{-4} T_{eb} + 0.7469 .$$

$$\text{Ln} (d_A) = -1.889 \cdot 10^{-4} M - 1.005 \cdot 10^{-4} T_{eb} + 0.8965 .$$

c) Equation de Rackett :

L'équation de Rackett est la plus connue en ce qui concerne l'estimation de la densité du liquide saturé, elle est de la forme :

$$1 / \rho_s = V_c Z_c^{(1-Tr)^{2/7}} = (RT_c / P_c) Z_c^{[1+(1-Tr)^{2/7}]}$$

ρ_s : masse volumique du liquide saturé (g / cm³).

V_c : Volume critique (cm³ / gr).

P_c : Pression critique (atm).

T_r : Température réduite (T / T_c).

d) Equation de Yen – Woods :

Etablie en 1966, cette équation permet d'estimer la densité d'un liquide saturé ρ_s , à partir de la densité critique ρ_c et de la densité réduite ρ_r . ρ_r et ρ_s sont donnés en (g / cm³).

$$\rho_s / \rho_c = 1 + A (1 - Tr)^{1/3} + B (1 - Tr)^{2/3} + (0.93 - B) (1 - Tr)^{2/3} .$$

avec :

$$A = 17.4425 - 214.578 Z_c + 989.625 Z_c^2 - 1522.06 Z_c^3 .$$

$$B = - 3.28257 + 13.6377 Z_c + 107.4844 Z_c^2 - 384.211 Z_c^3 .$$

Pour $Z_c \leq 0.26$.

$$B = 60.2091 - 402.063 Z_c + 501. Z_c^2 + 641.030 Z_c^3 .$$

Pour $Z_c > 0.26$.

ρ_s et ρ_c mole / litre .

$Tr = T / T_c$.

Les auteurs donnent une déviation de 2.1 % pour 62 substances .

III . 1 . 2 . La densité des mélanges de corps purs :

a) Loi d'additivité classique :

La densité est une propriété additive, nous pouvons donc écrire :

$$d = (\sum V_i d_i) / (\sum V_i) .$$

avec :

V_i : volume du constituant i .

d_i : densité du constituant i .

III . 1 . 3 . La densité des fractions Pétrolières :

La densité des fractions pétrolières peut être facilement déterminée expérimentalement .Elle peut aussi être estimée par des corrélations connaissant ou non la composition molaire en paraffines (P) , naphènes (N) et aromatique (A) .La densité moyenne de la fraction pétrolière est calculée en admettant l'additivité des densités des fractions , soit :

$$.d = X_p d_p + X_n d_N + X_a d_A .$$

Les corrélation de type Skander-Chitour , Dermoume – Chitour (fractions pétrolières à $T_{mav} < 200 \text{ }^\circ\text{C}$) et Bouamara –Chitour (fractions pétrolières à $T_{mav} > 200 \text{ }^\circ\text{C}$) peuvent être utilisées en considérant la fraction pétrolière comme une paraffine , puis un naphène et enfin un aromatique .

a)Corrélation de Riazi – Daubert :

Pour $70 \leq M \leq 300$ et $80 \leq T_{eb} \leq 650 \text{ }^\circ\text{F}$.

$$\rho(20) = 0.982554 . (T_{eb})^{0.002016} . (Sg)^{1.0055} .$$

$\rho(20)$: densité à 20°C , g/cm^3

T_{eb} : température d'ébullition en $^\circ\text{R}$.

♦ Pour $300 \leq M \leq 600$ et $650 \leq T_{eb} \leq 1000^\circ\text{F}$.

$$\rho(20) = 2.83086 . (M)^{0.03975} (I)^{1.13543} .$$

M : Poids moléculaire .

I : indice de corrélation .

III . 2 . Indice de réfraction :

III . 2 . 1 . Indice de réfraction des corps purs :

L'indice de réfraction des corps purs , disponible dans les tables , varie avec la nature chimique et la masse moléculaire des hydrocarbures . A même nombre d'atomes de carbone , l'indice croit des paraffines aux aromatiques , les naphènes et les oléfines ayant des valeurs intermédiaires . A l'intérieur d'une même famille , l'indice de réfraction varie régulièrement avec la masse moléculaire , il croit pour les hydrocarbures saturés et diminue pour les hydrocarbures aromatiques .

a) **Equation de Smittenberg [23]:**

$$.n_D^{20} = 1.4752 + K / (M + C) .$$

où :

M : masse molaire du corps considéré .

K , C : constantes dépendant de la famille de l'hydrocarbure considéré .

b) **Corrélation de Lorentz-Lorenz [19] :**

$$.n_D^{20} = [(2 * R_D + V) / (V - R_D)]^{1/2} .$$

Où :

R_D : la réfraction molaire évaluée en sommant les contributions de groupe .

V : Volume molaire .

c) **Equation de Lipkin – Martin :**

$$n = (69.878 d - 0.4044 A d - 0.797 A + 136.566) / K .$$

Où :

$$K = (5.543 d - 0.746 A + 126.683) .$$

.n : indice de réfraction à 20°C .

d : densité à 20° C .

A : $-10^5 \alpha$.

α : coefficient de température de la densité , donné par :

$$10^5 \alpha = -55.3 - 3516 / (M + 12) .$$

M : masse molaire .

d) **Corrélation de Riazi- Daubert [24]:**

Riazi et Daubert proposent une corrélation basée sur la connaissance de l'indice de corrélation I (paramètre de Huang) :

$$.n = [(2 * I + 1) / (1 - I)]^{1/2}$$

Où : T_{eb} : température d'ébullition en °R .

M : masse molaire .

.d : densité .

e) Corrélation de Skander– Chitour [21]:

Ces auteurs proposent une équation générale de la forme :

$$.n_D^{20} = a + \frac{b}{1 + (N/c)^d}$$

les constantes de l'équation sont données dans le tableau suivant :

famille	a	b	c	d
Paraffines	1.0383849	0.43547681	1.9777596	-1.1058713
Naphtènes	1.4044036	0.063993849	8.998799	-2.1008282
aromatiques	1.4795363	0.032544169	7.6142466	2.7867861

Tableau 3.2 : Valeurs des constantes a , b ,c et d .

III . 2 . 2 . Indice de réfraction des mélanges de corps purs :

c) L'indice de réfraction est considéré comme une propriété additive dans un intervalle étroit de température . Pour un mélange de corps purs , On peut le calculer comme suit :

$$.n_D^{20} = \sum X_i * n_i .$$

Où : X_i : fraction molaire ou massique .
 n_i : indice de réfraction du constituant i .

III . 2 . 3 .L'indice de réfraction des fractions pétrolières :

L'indice de réfraction de la fraction pétrolière sera déduit à partir des indices de réfraction des constituants de cette fraction en différentes familles (Paraffine , Naphtènes , Aromatique) .

III . 3 . La VISCOSITE :

III . 3 .1 . Viscosité des corps purs :

a) Equation de Souders [25]:

$$\text{Log} (\log (10 * \eta)) = I * \rho_L / M - 2.900 .$$

η : viscosité absolue (c P) .

I : facteur de contribution .

ρ_L : densité du liquide (g / cm³) .

M : masse moléculaire .

b) Equation de Mehotra :

Cet auteur propose une équation assez fiable et qui peut être extrapolée aux hydrocarbures lourds :

$$\text{Log} (\eta + 0.8) = 100 * (0.01 * T)^b .$$

η : Viscosité dynamique (mPa .s) .

T : Température absolue (K) .

b : paramètre déterminé en fonction du nombre d'atomes effectif (ECN) .

$$b = -5.745 + 0.616 * \text{Ln} (\text{ECN}) - 40.468 * (\text{ECN})^{-1.5}$$

L'ECN est l'Equivalent Carbon Number , c'est à dire le nombre d'atomes de carbone moyen qui représente un mélange ou une fraction pétrolière .

Pour 70 hydrocarbures liquides , l'erreur maximale obtenue est de 5 % .

III . 3 . 2 . Viscosité des mélanges de corps purs :

La viscosité est une propriété non additive , cependant certains auteurs préconisent une pondération volumique basée sur l'additivité du Log.Log de la viscosité des différents composés d'un mélange . La base fluide a en effet une action prédominante qui donne au mélange une viscosité inférieure à celle obtenue par une pondération en volume . Différentes méthodes ont été proposées pour estimer la viscosité d'un mélange de composition qualitative et quantitative connue , nous citerons l'une des équations les plus courantes :

a) Corrélation de Kendall – Monroe [26]:

L'équation suivante est valable pour des mélanges de composés purs ; L'erreur commise atteint 8 % :

$$\eta_m = (\sum X_i \mu_i \eta_i^{1/3})^3 .$$

X_i : Fraction molaire .

η : Viscosité absolue, en centipoise .

μ : les valeurs sont tabulé pour les différent groupement .

b) L'équation d'Arrhenius :

$$\text{Log} \eta = \sum X_i \text{Log} \eta_i .$$

Avec : X_i : fraction molaire ou volumique .

η : viscosité du mélange en c P .

η_i : viscosité du constituant i en c P .

III.3.3. Corrélations donnant la viscosité des fractions pétrolières :

a) Corrélation de Skander – Chitour[21] :

La corrélation suivante a l'avantage d'être assez maniable (polynôme de degré 3). Elle est obtenue à partir des données de l'API pour les corps purs ainsi que des données du D.I.P.P.R.

$$\eta_{100^\circ F} = a + b \cdot N + c \cdot N^2 + d \cdot N^3.$$

η : viscosité cinématique en cP.

◆ Pour $7 < N_c < 16$

Familles	a	b	c	d
Paraffines	0.13248446	-0.0023764687	0.0016079468	0.00044763445
Naphtènes	1.7080095	-0.36948669	0.030080171	-4.0188134 .10 ⁻⁵
aromatiques	0.82514028	-0.15148439	9.22385513	0.00021028015

Tableau 3.3 : Valeurs des constantes a, b, c et d.

◆ Pour $16 < N_c < 30$:

Familles	a	b	c	d
Paraffines	-6.9324419	-1.1957789	-0.060902763	0.0014056243
Naphtènes	-44.525051	6.7594952	-0.3343021	0.006151978
aromatiques	-27.85911	4.2979711	-0.21661561	0.0041620594

Tableau 3.4 : Valeurs des constantes a, b, c et d.

$$\eta_{210^\circ F} = a + b \cdot N_c + c \cdot N_c^2 + d \cdot N_c^3.$$

N_c : nombre d'atomes de carbone.

$\eta_{210^\circ F}$: viscosité cinématique en cP.

◆ Pour N compris entre 7 et 16

Familles	a	b	c	d
Paraffines	0.10684525	0.23762788	-0.010375561	0.00027476417
Naphtènes	0.068811784	0.81269963	-0.039615657	7.7581303 .10 ⁻⁴
aromatiques	0.478998389	0.62070449	-0.031125932	0.00064744169

Tableau 3.5 : Valeurs des constantes a, b, c et d.

b) Corrélation de Zidelkher – Chitour [27]:

Les corrélations proposées par Zeidelkhier et Chitour sont basées sur les méthodes de contribution de groupe . Elle consistent à déduire la viscosité absolue pour un hydrocarbure appartenant à une famille donnée en fonction d'un nombre d'atomes de carbone :

Elles sont données par les équations suivantes :

$$\hat{\eta}_P = -0.045 + 0.0633 * N - 0.0066 * N^2 + 0.00093 * N^3 .$$

$$\hat{\eta}_N = 0.5825 - 0.0834 * N + 0.0056 * N^2 + 0.00077 * N^3 .$$

$$\hat{\eta}_O = 0.2295 + 0.1427 * N - 0.0193 * N^2 - 0.00163 * N^3 - 1.61136 \cdot 10^{-5} * N^4 .$$

$$\hat{\eta}_A = 0.8453 - 0.11003 * N + 0.00697 * N^2 + 0.00043 * N^3 + 1.09805 \cdot 10^{-5} * N^4 .$$

N : Nombre d'atomes de carbone moyen de l'hydrocarbure ou de la fraction. Il existe une corrélation qui permet d'estimer ce nombre d'atomes de carbone .

$\hat{\eta}$: Viscosité dynamique (c P) .

En toute rigueur , ces corrélations ne sont valables que pour des hydrocarbures purs .La viscosité de la fraction pétrolière est déduit en appliquant la règle d'additivité .

c) Corrélation de l'API [28]:

L'American Petroleum Institute propose une corrélation basée sur la connaissance de deux grandeurs : Kuop et densité API , elle est de la forme :

$$\text{Log}(\eta_{100^{\circ}\text{F}}) = -1.2926 + 9.461 \cdot 10^{-3} \text{Kuop} + \frac{3.0522 \text{Kuop} + 9.9538 \cdot 10^{-2} \text{Kuop}}{\text{API} + 113.74 - 10.216 \text{Kuop}}$$

$$\text{Log}(\eta_{210^{\circ}\text{F}}) = -0.878 + \frac{3.0952 \text{Kuop} - 5.8946}{\text{API} + 121.12 - 10.725 \text{Kuop}}$$

Les résultats donnés par ces équations sont acceptables et l'API la recommande pour le calcul : son avantage est de nécessiter en définitive que la densité et la T_{max} .

III . 4 . La tension superficielle :

III . 4 . 1 . Les corrélations empiriques pour les corps purs :

a) Corrélation de Mac Leod – Sudgen [30] :

Mac Leod et Sudgen en 1923 ont suggéré une relation entre la tension superficielle et les masses volumiques du liquide et de la vapeur :

$$(TS)^{1/4} = [P]^* (d_l - d_v).$$

avec :

TS : tension superficielle en dyne/cm à une température donnée .

d_l, d_v : masse volumique en g.mole/cm³ du liquide et de la vapeur à une température donnée .

[P] : parachor , indépendant de la température , mais dépendant de la nature de la molécule .

Il a été suggéré une méthode additive pour corrélérer le parachor à la structure de la molécule . Les contributions des groupements de la molécule pour le calcul du parachor sont données dans le (tableau 3.6) , d'après Quale .

Une autre équation a été proposée par Pedersen , Lund , Fredenslund et qui permet de calculer le parachor pour les hydrocarbures et fractions pétrolières supérieurs à C₇ (C₇⁺) , elle est de la forme :

$$\text{Log [P]} = - 8.93275 + 3.688941 \log_{10} (T_c / S^{0.6676}) .$$

Groupements	$\Delta [P]$	groupements	$\Delta [P]$	groupements	$\Delta [P]$
C	9.0	-COO-	63.8	O	20.0
H	15.5	-COOH-	73.8	P	40.5
CH ₃	55.5	-OH	29.8	F	26.1
- CH ₂ -	40.0	-NH ₂	42.5	Cl	55.2
- (CH ₂ -), n>12	40.3	- O -	20.0	Br	68.0
CH ₃ -CH(CH ₃)-	133.3	-NO ₂	74.0	I	90.3
CH ₃ -CH ₂ -CH(CH ₃)-	171.9	-NO ₃	93.0	Terminal	19.1
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH(CH ₃)-	211.7	- CO(NH ₂)	91.7	2.3 position	17.7
CH ₃ -CH(CH ₃)- CH ₂ -	173.3	=O (cétone)		3.4 position	16.3
CH ₃ -CH ₂ -CH(C ₂ H ₅)-	209.5	3 atomes de C	22.3	Triple bond	40.6
CH ₃ -C(CH ₃) ₂ -	170.4	4 atomes de C	20.0		
CH ₃ -CH ₂ -C(CH ₃) ₂ -	207.5	5 atomes de C	18.5	Three membered	12.5
CH ₃ -CH(CH ₃)- CH(CH ₃)-	207.9	6 atomes de C	17.3	Four-membered	6.0
CH ₃ -CH(CH ₃)- C(CH ₃) ₂ -	243.5	N	17.5	five-membered	3.0
C ₆ H ₅ -	189.6	S	49.1	Six- membered	0.8

Tableau 3.6 :Contributions structurales pour le calcul du parachor .

b) Corrélation de Zidelkhier – Chitour [27]:

Ces auteurs proposent une corrélation donnant la tension superficielle en fonction du nombre d'atomes de carbone connaissant la famille à laquelle appartient l'hydrocarbure en mettant en œuvre les méthodes de contribution de groupe. Les données de référence sont celles de l'API .Projet 44 .

Paraffines :

$$TS = -0.4500661 + 4.43303 * N - 0.2803 * N^2 + 0.00849284 * N^3 - 9.75061 E -5 * N^4 .$$

Naphtènes :

$$TS = 26.8048 + 1.51841 * N - 0.0692555 * N^2 + 0.0013369 * N^3 - 8.67053 E -6 * N^4 .$$

Aromatiques :

$$TS = 8.23228 + 2.53518 * N - 0.0508118 * N^2 - 0.000228769 * N^3 + 1.34985 E -5 * N^4 .$$

Avec : N . nombre d'atomes de carbone .

TS : tension superficielle en dyne / cm .

c) Corrélation de Skander- Chitour [21]:

Ces auteurs proposent des corrélations pour la prédiction des tensions superficielles des hydrocarbures de type n – alcanes , n-alkylcyclohexanes et n-alkylbenzène connaissant seulement le nombre d'atomes de carbone : Elles sont basées sur le même principe que les équations de Zidelkhier –Chitour , sauf que les données de référence sont celles du D.P.P.R (Design Institute for Physical Propperties Research .U.S.A) .

Les équations proposées sont de la forme :

$$TS = a + \frac{b}{1 + (N / c)^d}$$

Les constantes a , b , c et d sont données pour chaque famille dans le tableau suivant :

Familles chimiques	a	b	c	d
n- alcanes	-15.489187	49.980704	3.1254045	-1.0720868
n-alkylcyclohexanes	22.298482	9.014923	10.633427	-2.1806274
n- alkylbenzène	27.694314	2.7062063	9.2238513	-3.7531335

Tableau 3.7 : Constantes de l'équation

d) corrélation de Riazi- EL Sahhaf [31]:

Ces auteurs ont proposé une corrélation pour l'estimation de la tension superficielle à 25 °C des n-alcanes, n-alkylcyclopentanes, n-alkylcyclohexanes et n-alkylbenzènes, en fonction de la masse moléculaire :

$$\ln (TS_{\alpha} - TS) = a - b M^c .$$

L'écart moyen absolu ne dépasse pas les 1.7 % .

Avec :

TS : tension superficielle à 25 °C (dyne/ cm) .

TS_α : tension superficielle quand M tend vers l'infini (dyne/ cm) .

M : masse moléculaire .

A, b et c : constantes dépendant de la famille chimique .

Familles chimiques	TS _α	a	b	c
n-alcanes	33.2	5.29577	0.61653	0.32
n-alkylcyclopentanes	30.6	14.17595	7.02549	0.12
n-alkylcyclohexanes	31	2.54826	0.00759	1
n-alkylbenzènes	30.4	1.98292	-0.0142	1.0

Tableau 3.8 : Valeurs des constantes a ,b ,c et TS_α .

III . 4 . 2 . Les corrélations donnant la tension superficielle pour les mélanges de corps purs :

♦ variation de la tension superficielle à basses pressions :

La tension superficielle d'un mélange liquide n'est pas une fonction simple des tension superficielles des divers constituants, car dans un mélange, la composition à la surface n'est pas identique à celle existant au sein du liquide. Nous pouvons en première approximation admettre l'additivité des propriétés. Pour estimer la tension superficielle d'un mélange, il est fait appel à des corrélations empiriques .

a) Corrélation de MacLeod – Sudgen modifiée [32]:

Ces auteurs proposent une relation de la forme suivante :

$$(TS)^{1/4} = d_{ml} * \sum (Xi * Tsi^{1/4}) / d_{li} .$$

Où :

TS : tension superficielle du mélange en (dyne / cm) .

TS_i : tension superficielle du constituant i .

.d_{ml} : densité du mélange liquide .

d_{li} : densité du constituant i liquide .

Cette corrélation peut être donnée en fonction du parachor .

b) variation de la tension superficielle pour des pressions élevées Equation de Weinaug et Katz [33]:

Pour les mélanges définis et à haute pression, la tension superficielle peut se calculer par l'expression suivante donnée par Weinaug et Katz :

$$TS_m = \left\{ \sum [P_i] * \left(\frac{d_l}{M_l} * X_i - \left(\frac{d_v}{M_v} * y_i \right) \right)^4 \right.$$

TS_m : tension superficielle du mélange .

$[P_i]$: parachor du constituant i .

M_l : masse molaire du mélange liquide .

M_v : masse molaire du mélange vapeur .

d_l : densité du mélange liquide .

d_v : densité du mélange vapeur .

X_i : fraction molaire du constituant i dans la phase liquide .

y_i : fraction molaire du constituant i dans la phase vapeur .

III . 4 . 3 . corrélation pour les fractions pétrolières :

a) Equation de Sanborn et Evans :

Pour les fractions pétrolières, ces deux auteurs donnent l'équation suivante :

$$TS = (673.7 / Kuop) * (1 - (T/T_c))^{1.232} .$$
$$Kuop = (Teb \text{ en } ^\circ R)^{1/3} / SpGr_{60/60} .$$

Où :

K : facteur de caractérisation de Watson ($Kuop$) .

T_c : température critique absolue .

Teb : température d'ébullition absolue .

TS : tension superficielle en dyne / cm .

S : specific gravity 60 / 60 °F .

Cette corrélation peut être appliquée aussi aux corps purs .

b) Corrélation de Weinaug – Katz [34]:

Weinaug –Katz proposent l'équation suivante :

$$TS = (P_l / V_l) - (P_g / V_g) .$$

Avec : $n = 1 / 4$, P_l et P_g parachors des liquides et des gaz, V_l et V_g volumes molaires des phases liquides et de gaz en $cm^3 / g.mole$.

Le parachor du mélange se déduit en écrivant :

$$P_l = \sum X_i P_{li} , \quad P_g = \sum y_i P_{gi} .$$

P_{li} et P_{Gi} étant les parachors du composé i dans les phases liquide et gazeuse .

X_i et Y_i étant les fractions molaires du composé i dans les phrases liquide et gazeuse .

Corps purs	X	Y	Domaine (°F)	Corps purs	X	Y	Domaine (°F)
Paraffines				Oléfines			
n-hexane	2.925	2.430	14 à 140	I – hexanes	2.970	2.44	32 à 140
n-heptane	2.700	3.200	32 à 48	I-heptène	2.760	3.210	32 à 176
n-octane	2.625	3.730	14 à 320	I- octène	2.660	3.770	32 à 212
n-nonane	2.495	4.250	-22 à 302	I-nonène	2.450	4.320	32 à 140
n-décane	2.390	4.640	-4 à 248	I-décène	2.390	4.710	32 à 176
n-undécane	2.250	5.060	-4 à 248	I-undécène	2.300	5.070	32 à 212
n-dodécane	2.180	5.340	32 à 248	I-dodécène	2.210	5.390	32 à 140
n-tridécane	2.130	5.560	32 à 248	I-tridécène	2.160	5.610	32 à 176
n-tétradécane	2.100	5.790	50 à 248	I-tétradécène	2.160	5.890	32 à 212
n-pentadécane	2.060	6.010	68 à 248	I-pentadécène	2.090	6.030	32 à 212
n-eicosane	1.980	6.720	68 à 248	Aromatiques			
Naphtènes				Benzène	3.510	5.000	50 à 464
Cyclopentane	3.270	3.380	32 à 104	Méthyl- benzène	3.050	5.370	32 à 212
Méthyl- cyclopentane	3.330	3.340	32 à 140	Ethyl-benzène	2.760	5.850	32 à 212
Diméthyl- cyclopentane	1.750	3.620	32 à 140	n-propyl- benzène	2.700	5.900	32 à 212
Cyclohexane	3.210	4.190	50 à 140	n- butyl- benzène	2.640	6.020	59 à 104
Méthyl- cyclohexane	2.900	4.100	32 à 122	n- pentylbenzène	2.330	6.420	55.8 à 104
Ethyl-cyclohexane	2.840	4.770	32 à 140	n-hexyl- benzène	2.130	6.790	68 à 104
n-propyl- cyclohexane	2.700	5.100	68 à 104	n-décy- benzène	1680	7.440	54 à 212

Tableau 3.9 : Valeurs des cordonnées de X et Y en fonction de la température pour différents hydrocarbures .

c) utilisation des méthodes d'additivité :

Connaissant la composition du mélange complexe ou de la fraction pétrolière , il est possible de déduire la propriété moyenne en considérant en première approximation l'additivité de la propriété ; cela veut dire que les coefficients d'interaction binaires sont supposés être nuls , il n'y a de ce fait pas de grandeurs d'excès :

$$TS_{mél} = \sum T_{si} * X_i .$$

X_i et TS_i : fraction molaire et tension superficielle du constituant i .

**CHAPITRE IV
CACUL DES PROPRIETES
PHYSIQUESDES MELANGES
D'HYDROCARBURES PAR LES REGLES
DE MELANGE.**

**PARTIE EXPERIMENTALE
ET
CALCUL**

I. INTRODUCTION :

La présente étude a consisté dans un premier temps en la collecte des données expérimentales de quelques propriétés physiques d'une soixantaine de mélanges binaires, ternaire à partir de travaux antérieures (Berradj [35]), Par la suite, nous avons élargi cette base de données en préparant 45 binaires , 9 ternaires et 6 multi-composants . Les propriétés (densité, indice de réfraction , viscosité , tension superficielle) ont été mesurées pour ces nouveaux mélanges .

Sur la base des compositions prédéfinies, nous avons procédé aux calcul des quatre propriétés des mélanges à partir des règles de mélanges classiques, et comparé les résultats obtenus aux valeurs expérimentales. En fin, nous avons tenté de proposer une nouvelle règle de mélange pour la prédiction de la viscosité des mélanges d'hydrocarbures.

II. Partie expérimentale :

II .1. Préparation des mélanges et collecte des données :

Nous avons procédé à la préparation de 45 mélanges binaires , 9 ternaires et 6 multi composants d'hydrocarbures purs . Les mélanges ont été préparés par pesée des produits purs .

❖ Les différentes familles chimiques utilisées sont les suivantes:

- ◆ **LES PARAFFINES :** n – hexane ($C_6 H_{12}$), n-heptane ($C_7 H_{16}$),
n- nonane ($C_9 H_{20}$), n – décane ($C_{10} H_{22}$),
n-undécane ($C_{11} H_{24}$), n. dodécane ($C_{12} H_{26}$),
n – tridécane ($C_{13} H_{28}$), n – tétradécane ($C_{14} H_{30}$),
n- pentadécane ($C_{15} H_{32}$), n –hexadécane ($C_{16} H_{34}$),
n – octadécane ($C_{18} H_{38}$).

- ◆ **LES NAPHTENES :** cyclohexane ($C_6 H_{12}$), Methylcyclohexane ($C_7 H_{14}$),
1.2 diméthylcyclohexane ($C_8 H_{16}$).

- ◆ **LES AROMATIQUES :** Benzène ($C_6 H_6$), Toluène ($C_7 H_8$),
EthylBenzène ($C_8 H_{10}$), PentylBenzène ($C_{11} H_{16}$),
TertbutylBenzène ($C_{10} H_{14}$).

❖ Les compositions des mélanges binaires (disponibles et nouveaux) sont données dans le tableau suivant :

N°	C ₁	C ₂	m ₁ %	m ₂ %	n ₁ %	n ₂ %	V ₁ %	V ₂ %
1	cy C6	Meth cy C6	50,84	49,16	54,68	45,32	50,54	49,46
2	cy C6	Meth cy C6	19,11	80,89	21,61	78,39	18,93	81,07
3	cy C6	Meth cy C6	80,33	19,67	82,66	17,34	80,15	19,85
4	cy C6	1,2dimcyC6	49,34	50,66	58,58	41,42	49,80	50,20
5	cy C6	1,2dimcyC6	22,60	77,40	29,77	70,23	22,93	77,07
6	cy C6	1,2dimcyC6	74,47	25,53	80,90	19,10	74,82	25,18
7	Bz	n C10	53,16	46,84	67,40	32,60	48,53	51,47
8	Bz	n C10	21,72	78,28	33,58	66,42	18,73	81,27
9	Bz	n C10	82,68	17,32	89,68	10,32	79,86	20,14
10	Bz	1,2dimcyC6	52,13	47,87	63,02	36,98	49,57	50,43
11	cy C6	Ethyl Bz	46,93	53,07	52,73	47,27	49,61	50,39
12	cy C6	Ethyl Bz	16,52	83,48	19,98	80,02	18,05	81,95
13	cy C6	Ethyl Bz	77,74	22,26	81,50	18,50	79,53	20,47
14	cy C6	pentyl Bz	46,58	53,42	60,57	39,43	49,07	50,93
15	Bz	Ethyl Bz	20,11	79,89	25,49	74,51	19,88	80,12
16	Bz	Ethyl Bz	79,94	20,06	84,41	15,59	79,71	20,29
17	Tol	Meth cy C6	21,24	78,76	22,33	77,67	19,32	80,68
18	Tol	Meth cy C6	82,07	17,93	82,98	17,02	80,24	19,76
19	Tol	pentyl Bz	49,70	50,30	61,39	38,61	49,51	50,49
20	1,2dimcyC6	Ter-butyl Bz	47,13	52,87	66,19	33,81	49,33	50,67
21	Bz	Ter-butyl Bz	23,52	76,48	49,25	50,75	23,26	76,74
22	Bz	Ter-butyl Bz	75,15	24,85	90,51	9,49	74,88	25,12
23	Bz	Ter-butyl Bz	49,49	50,51	75,56	24,44	49,13	50,87
24	cy C6	n C10	50,11	49,89	62,93	37,07	48,50	51,50
25	cy C6	n C10	21,27	78,73	31,36	68,64	20,22	79,78
26	cy C6	n C10	81,27	18,73	88,00	12,00	80,27	19,73
27	n C6	1,2dimcyC6	45,08	54,92	53,80	46,20	49,66	50,34
28	n C10	1,2dimcyC6	79,17	20,83	76,55	23,45	80,51	19,49
29	n C7	cy C6	46,03	53,97	41,74	58,26	49,25	50,75
30	n C7	cy C6	17,52	82,48	15,14	84,86	19,47	80,53
31	n C7	cy C6	77,32	22,68	74,11	25,89	79,50	20,50
32	n C6	1-Hexene	49,12	50,88	48,53	51,47	49,61	50,39
33	n C6	1-Hexene	19,10	80,90	18,74	81,26	19,40	80,60
34	n C6	1-Hexene	79,54	20,46	79,15	20,85	79,85	20,15
35	Bz	1-Hexene	24,32	75,68	25,72	74,28	19,76	80,24
36	Bz	1-Hexene	55,91	44,09	57,74	42,26	49,28	50,72
37	Bz	1-Hexene	84,31	15,69	85,27	14,73	80,46	19,54
38	cy C6	1-Hexene	53,04	46,96	53,04	46,96	49,41	50,59

39	cy C6	1-Hexene	81,42	18,58	81,42	18,58	79,12	20,88
40	cy C6	1-Hexene	22,42	77,58	22,42	77,58	20,00	80,00
41	n C14	1,2dimcyC6	49,04	50,96	37,22	62,78	50,02	49,98
42	cy C6	n C14	51,08	48,92	71,11	28,89	50,57	49,43
43	Bz	n C14	54,09	45,91	74,95	25,05	50,56	49,44
44	Ethyl-Bz	n C13	53,21	46,79	66,38	33,62	49,82	50,18
45	nC6	nC7	48,49	51,51	52,25	47,75	49,38	50,62
46	nC6	nC7	19,62	80,38	22,11	77,89	20,19	79,81
47	nC6	nC7	74,30	25,70	77,07	22,93	74,98	25,02
48	nC13	nC14	49,57	50,43	51,40	48,60	49,78	50,22
49	nC14	nC6	21,41	78,59	10,58	89,42	19,08	80,92
50	nC6	nC10	46,92	53,08	59,34	40,66	49,43	50,57
51	nC6	nC10	80,32	19,68	87,08	12,92	81,87	18,13
52	nC6	CYC6	45,70	54,30	45,11	54,89	49,81	50,19
53	nC6	CYC6	16,93	83,07	16,60	83,40	19,38	80,62
54	nC6	CYC6	78,18	21,82	77,78	22,22	80,86	19,14
55	nC6	Bz	43,25	56,75	40,86	59,14	50,36	49,64
56	nC6	Bz	15,56	84,44	14,31	85,69	19,70	80,30
57	nC6	Bz	75,19	24,81	73,31	26,69	80,14	19,86
58	Bz	Tol	49,43	50,57	53,55	46,45	49,08	50,92
59	Bz	Tol	19,27	80,73	21,97	78,03	19,06	80,94
60	Bz	Tol	80,91	19,09	83,33	16,67	80,69	19,31
61	Bz	CYC6	81,01	18,99	82,13	17,87	79,07	20,93
62	Bz	CYC6	22,16	77,84	23,47	76,53	20,14	79,86
63	Bz	CYC6	56,74	43,26	58,56	41,44	53,74	46,26
64	nC15	nC7	21,19	78,81	11,26	88,74	19,93	80,07
65	nC7	MetCyC6	47,22	52,78	46,71	53,29	49,16	50,84
66	nC7	MetCyC6	64,88	35,12	64,42	35,58	66,63	33,37
67	nC7	EtBz	45,88	54,12	47,32	52,68	50,79	49,21
68	EtBz	nC6	57,39	42,61	52,23	47,77	50,65	49,35
69	EtBz	MetCYC6	53,58	46,42	51,63	48,37	50,61	49,39
70	MetCYC6	nC6	52,30	47,70	49,04	50,96	48,48	51,52
71	nC6	nC9	76,30	23,70	82,73	17,27	77,82	22,18
72	nC7	nC10	50,50	49,50	59,16	40,84	51,14	48,86
73	nC7	Bz	50,97	49,03	44,76	55,24	56,21	43,79
74	Bz	EtBz	50,06	49,94	57,67	42,33	49,71	50,29
75	Bz	MetCyC6	54,03	45,97	59,63	40,37	50,71	49,29
76	nC7	nC13	79,78	20,22	87,89	12,11	80,75	19,25
77	nC10	nC14	72,84	27,16	78,90	21,10	73,70	26,30
78	metCyC6	nC13	74,20	25,80	84,38	15,62	73,88	26,12
79	MetCYC6	nC14	74,31	25,69	85,39	14,61	74,14	25,86
80	nC7	Tol	40,19	59,81	38,19	61,81	45,00	55,00
81	nC6	Tol	49,93	50,07	51,60	48,40	56,69	43,31
82	nC13	Tol	46,69	53,31	30,45	69,55	50,09	49,91

83	metCYC6	Tol	48,79	51,21	47,20	52,80	51,77	48,23
84	Bz	nC14	76,05	23,95	88,97	11,03	73,38	26,62
85	nC13	EtBz	40,50	59,50	28,16	71,84	43,81	56,19

Tableau 4.1 : compositions des mélanges binaires .

❖ **Les mélanges ternaires :**

N°	C 1	C 2	C 3	m1	m2	m3	n1	n2	n3	V1	V2	V3
86	nC ₆	nC ₁₀	nC ₁₂	37,22	31,55	31,24	51,60	26,49	21,91	39,82	30,52	29,67
87	nC ₁₂	mCy C ₆	l.2dimCyC ₆	33,92	32,72	33,36	32,63	29,03	38,34	33,90	32,14	33,96
88	CyC ₆	mCy C ₆	l.2dimCyC ₆	33,17	33,05	33,78	39,14	33,42	27,44	33,25	33,52	33,23
89	Bz	Et Bz	Ter bt Bz	33,33	32,99	33,67	48,82	35,55	15,63	33,02	33,14	33,84
90	nC ₆	Pt Bz	CyC ₆	28,22	37,55	34,23	33,16	25,65	41,19	32,79	33,49	33,73
91	nC ₁₀	CyC ₆	Pt Bz	36,09	38,54	25,36	28,74	51,88	19,38	38,49	38,55	22,96
92	nC ₁₀	CyC ₆	Bz	30,50	32,99	36,50	19,97	36,51	43,52	33,24	33,72	33,04
93	C ₁₃	Cy C ₆	Pt Bz	32,49	31,85	35,66	22,16	47,59	30,25	34,27	32,65	33,08
94	nC ₆	nC ₇	nC ₉	33,20	33,43	33,37	39,35	34,08	26,57	34,55	33,57	31,88
95	nC ₆	nC ₁₃	nC ₁₂	30,50	34,95	34,56	47,42	25,40	27,18	33,27	33,26	33,47
96	nC ₇	nC ₁₃	nC ₆	33,12	35,62	31,26	37,28	21,80	40,92	33,89	32,96	33,15
97	CyC ₆	BZ	nC ₆	32,99	36,20	30,81	32,32	38,21	29,48	32,54	31,63	35,84
98	nC ₁₃	CyC ₆	BZ	29,20	32,56	38,24	15,30	37,39	47,31	31,14	33,75	35,11
99	mCyC ₆	Tol	nC ₇	26,38	41,15	32,47	25,85	42,97	31,18	26,54	36,74	36,73
100	nC ₇	BZ	Tol	27,99	35,77	36,24	24,70	40,51	34,79	33,14	32,98	33,88
101	nC ₇	CyC ₆	mCyC ₆	29,97	34,09	35,94	27,94	37,85	34,20	32,61	32,61	34,78
102	nC ₁₀	CyC ₆	mCyC ₆	33,22	34,63	32,15	24,01	42,32	33,67	34,52	33,76	31,72
103	nC ₁₀	BZ	Tol	28,66	36,11	35,23	19,25	44,19	36,55	32,44	33,96	33,60
104	nC ₁₀	Tol	EtBz	29,42	35,84	34,74	22,40	42,14	35,46	33,10	33,96	32,94
105	nC ₁₂	nC ₁₃	CyC ₆	32,04	33,82	34,14	24,20	23,61	52,19	32,73	33,96	33,31
106	nC ₁₃	mCyC ₆	Tol	14,55	64,54	20,91	8,19	68,25	23,56	15,11	65,93	18,96
107	nC ₁₃	CyC ₆	EtBz	11,53	21,80	66,67	6,59	27,27	66,14	12,68	23,30	64,02
108	BZ	Tol	EtBz	24,59	36,97	38,44	29,20	37,22	33,59	24,33	37,09	38,58
109	BZ	Tol	nC ₆	31,50	25,78	42,73	34,21	23,73	42,06	27,50	22,82	49,67
110	BZ	Tol	mCyC ₆	27,36	22,79	49,85	31,69	22,38	45,93	25,48	21,51	53,01
111	BZ	EtBz	nC ₁₃	21,81	63,50	14,69	29,18	62,50	8,33	21,12	62,36	16,52
112	BZ	EtBz	mCyC ₆	23,51	57,78	18,71	29,06	52,54	18,39	22,72	56,63	20,65
113	CyC ₆	mCyC ₆	EtBz	33,32	44,81	21,87	37,42	43,12	19,46	33,90	46,12	19,98
114	CyC ₆	nC ₆	mCyC ₆	32,97	42,42	24,61	34,52	43,38	22,09	30,55	46,36	23,08
115	nC ₇	nC ₁₀	mCyC ₆	18,00	40,26	41,75	20,23	31,87	47,90	19,38	40,63	39,99

Tableau 4.2 : compositions des mélanges ternaires .

❖ Les mélanges multi-composants :

Les différents mélanges multi-composants ont été préparés à partir des 10 corps purs suivants :

N ° du composé	Nom du composé
C ₁	n C6
C ₂	n C10
C ₃	n C14
C ₄	cy C6
C ₅	methy cy C6
C ₆	1,2 dimethy cy C6
C ₇	Bz
C ₈	Tol
C ₉	ethyl Bz
C ₁₀	ter-butyl Bz

Tableau 4.3 : La composition des mélanges multi-composants .

Leurs compositions en % massique , molaire et volumique sont donnés ci-après :

N °	m1%	m2%	m3%	m4%	m5%	m6%	m7%	m8%	m9%	m10%
116	8,86	8,87	10,00	9,49	9,13	9,50	10,41	11,69	11,18	10,87
117	15,60	16,68	17,65	6,97	6,66	6,37	7,03	7,70	7,45	7,89
118	5,88	5,84	5,90	17,38	17,74	17,29	7,46	7,00	7,54	7,97
119	5,52	5,48	5,86	5,68	5,36	5,85	16,63	15,84	17,02	16,77

N °	n1%	n2%	n3%	n4%	n5%	n6%	n7%	n8%	n9%	n10%
116	11,32	6,86	5,55	12,41	10,23	8,55	14,67	13,96	11,59	4,85
117	19,93	12,90	9,79	9,12	7,46	5,73	9,90	9,20	7,720	3,52
118	7,51	4,52	3,27	22,72	19,88	15,57	10,51	8,37	7,821	3,56
119	7,05	4,24	3,25	7,43	6,01	5,26	23,43	18,92	17,65	7,49

N °	V1%	V2%	V3%	V4%	V5%	V6%	V7%	V8%	V9%	V10%
116	10,70	9,68	10,45	9,71	9,45	9,54	9,44	10,75	10,28	10,00
117	18,83	18,20	18,44	7,14	6,90	6,40	6,37	7,08	6,85	7,26
118	7,10	6,37	6,16	17,79	18,37	17,37	6,77	6,44	6,94	7,33
119	6,67	5,98	6,12	5,81	5,56	5,87	15,08	14,56	15,65	15,42

Tableau 4.4 : compositions des mélanges multi-composants .

II . 2. La mesure expérimentale des propriétés physiques des différents mélanges :

Pour tous les mélanges d'hydrocarbures préparés , nous avons procédé à la mesure des propriétés physiques suivantes :

II . 2 . 1 . La densité (d_4^{20}) :

Nous avons utilisé un densimètre électronique pour la mesure de la densité . La mesure est faite à 20 °C grâce à un régulateur de température fixé à 20 °C .La mesure a nécessité un volume d'environ 5 ml de produit .

II . 2 . 2 . L'indice de réfraction (n_D^{20}):

Pour mesurer l'indice de réfraction , nous avons utilisé un réfractomètre d'ABBEE par rapport à la raie jaune du sodium , réglé à une température de 20 °C . Quelques gouttes d'échantillon seulement sont nécessaires pour effectuer la mesure .

II . 2 . 3 . La viscosité cinématique (v^{20}) :

La mesure de la viscosité consiste à mesurer le temps d'écoulement d'une quantité de liquide à travers un tube capillaire entre deux niveaux différents . Compte tenu des caractéristiques du viscosimètre , la viscosité cinématique est obtenue en multipliant chaque constante du viscosimètre par le temps d'écoulement et de faire la moyenne des deux valeurs .

II . 2 . 4 . La tension superficielle (TS^{20}) :

Nous avons utilisé la méthode de l'arrachement de l'anneau . Cette méthode a consisté à mesurer la force nécessaire pour « arracher » un anneau rigide immergé dans le liquide. L'anneau est relié par l'intermédiaire d'un fil de torsion à une balance de mesure , la lecture de la valeur de la tension superficielle se fait directement sur le tensiomètre en dynes /cm .

L'appareil n'est pas chargé d'un régulateur de température , de ce fait , les mesures ont été effectuées à une températures proche de plus ou moins 20 °C .

Les résultats des mesures expérimentales obtenues à partir des produits purs et des mélanges binaires , ternaires et multi – composants sont consignés dans les tableaux : 5 , 6 , 7 et 8 :

❖ Corps purs :

Corps purs	d_4^{20} (g mole / l)	n_D^{20}	v^{20} (cst)	TS^{20} (dyne/cm)
Paraffines				
nC ₆ H ₁₂	0.66	1.3794	0.46	63
nC ₇ H ₁₆	0.6841	1.3918	0.6	68
nC ₉ H ₂₀	0.7188	1.4095	0.98	73.2
nC ₁₀ H ₂₂	0.7299	1.4156	1.22	75.4
nC ₁₁ H ₂₄	-	-	1.59	79.2
C ₁₂ H ₂₆	0.7434	1.4223	1.65	81.6
nC ₁₃ H ₂₈	0.7564	1.4293	2.45	
nC ₁₄ H ₃₀	0.7626	1.4325	3.05	88.6
nC ₁₅ H ₃₂	0.7688	1.4358	-	-
nC ₁₈ H ₃₈	0.7828	1.4329	4.85	28.40
Naphtènes				
Cy C ₆	0.7783	1.4398	1.1	30.8
M CyC ₆	0.7691	1.4261	1.15	39.2
1.2 di méth C ₆	0.793	1.4368	1.33	46.8
Aromatiques				
Bz	0.8786	1.5035	0.74	32.4
Tol	0.8666	1.5001	0.68	31.9
Eth Bz	0.8663	1.4985	0.77	38.7
Penthyl Bz	0.86	1.489	1.35	44.8
Tertbutyl Bz	0.866	1.4926	1.35	56.4

Tableau 4.5 : Résultats de mesure des propriétés des corps purs .

❖ Mélanges binaires :

N° mélange	d_4^{20} (g mole / l)	n_D^{20}	v^{20} (cst)	TS^{20} (dyne/cm)
1	0,774	1,4287	1,1	23,36
2	0,7709	1,4276	1,68	23,85
3	0,7768	1,4298	1,21	22,68
4	0,7739	1,4281	1,11	28,04
5	0,7889	1,4353	1,3	22,63
6	0,7814	1,4321	1,31	23,69
7	0,7966	1,4529	0,83	23,44
8	0,7538	1,4289	1,01	26,91
9	0,8442	1,4822	0,75	25,67
10	0,8305	1,4661	1,11	27,18
11	0,8196	1,4634	0,91	26,71
12	0,8487	1,4852	0,79	29,91
13	0,794	1,4428	1,02	24,71
14	0,8169	1,4612	1,28	26,48

15	0,8684	1,4995	0,78	33,44
16	0,8751	1,5032	0,74	32,44
17	0,7863	1,4397	1,17	33,24
18	0,8457	1,4853	0,7	28,86
19	0,8622	1,4957	0,99	29,99
20	0,8294	1,4681	1,26	24,03
21	0,8683	1,4969	1,12	25,57
22	0,8745	1,5008	0,85	24,87
23	0,8713	1,4988	0,95	27,77
24	0,7508	1,4201	1,2	26,08
25	0,738	1,4169	1,19	28,57
26	0,7667	1,4259	1,2	24,04
27	0,7297	1,4122	0,73	20,20
28	0,7418	1,4198	1,25	25,88
29	0,7298	1,4093	0,8	27,15
30	0,7586	1,4211	1,02	33,84
31	0,7023	1,3984	0,65	26,70
32	0,6668	1,3853	0,45	22,47
33	0,6703	1,3887	0,43	28,23
34	0,6619	1,3813	0,46	27,50
35	0,7282	1,4216	0,46	28,84
36	0,784	1,4526	0,52	29,11
37	0,8422	1,4851	0,64	26,75
38	0,7333	1,4148	0,63	33,21
39	0,7592	1,423	0,91	30,17
40	0,7078	1,4078	0,5	32,20
41	0,7769	1,4347	1,94	33,03
42	0,7674	1,4291	1,79	22,40
43	0,8144	1,4622	1,17	22,87
44	0,8086	1,4618	1,19	21,74
45	0,6721	1,3859	-	21,33
46	0,679	1,39	-	21,78
47	0,6656	1,3825	-	20,71
48	0,7593	1,4311	3,37	25,61
49	0,6804	1,3934	0,91	20,67
50	0,6958	1,4	0,78	21,63
51	0,6727	1,3883	1,01	21,40
52	0,7181	1,4044	0,99	24,57
53	0,7547	1,42	0,99	23,45
54	0,6819	1,3892	0,56	23,85
55	0,7652	1,4409	0,55	24,39
56	0,8336	1,4791	0,66	27,32
57	0,7011	1,402	0,5	22,57
58	0,8714	1,5021	0,71	26,71
59	0,8684	1,5003	0,7	30,54
60	0,8751	1,5029	0,73	29,62
61	0,8442	1,4798	0,75	30,35
62	0,7942	1,442	0,98	26,36

63	0,8269	1,4665	0,79	27,39
64	0,7238	1,4102	0,86	21,94
65	0,7412	1,4153	0,75	23,35
66	0,7313	1,411	0,63	22,71
67	0,7871	1,4494	0,66	25,36
68	0,7678	1,444	0,58	23,81
69	0,8169	1,4619	0,81	26,09
70	0,7143	1,4034	0,62	21,96
71	0,6736	1,388	0,56	18,44
72	0,7208	1,41	0,87	23,63
73	0,7795	1,4418	0,53	24,79
74	0,8714	1,4994	0,75	30,90
75	0,8204	1,4621	0,73	24,38
76	0,7209	1,4088	0,81	20,52
77	0,7387	1,4203	1,54	25,78
78	0,765	1,4276	1,18	25,11
79	0,7669	1,4283	1,06	26,34
80	0,7957	1,4558	1,13	26,58
81	0,7503	1,4398	0,51	24,43
82	0,8083	1,461	1,12	30,32
83	0,8134	1,46	0,73	27,55
84	0,842	1,4802	0,89	29,40
85	0,816	1,466	1,1	30,17

Tableau 4 . 6 : Résultats de mesure des propriétés des mélanges binaires .

❖ **Mélanges ternaires :**

N mélange	d_4^{20} (g mole / l)	n_D^{20}	v^{20}	TS^{20}
86	0,7074	1,4172	0,93	24,72
87	0,7449	1,4228	1,72	26,97
88	0,7798	1,4312	1,15	21,91
89	0,8693	1,4989	0,85	23,55
90	0,7661	1,4366	0,87	27,24
91	0,7543	1,4223	1,21	24,44
92	0,7894	1,4444	0,86	26,53
93	0,7948	1,4487	1,52	24,35
94	0,6878	1,3963	0,65	24,49
95	0,7209	1,4119	1,19	26,72
96	0,7013	1,4018	0,81	21,70
97	0,7636	1,4332	0,62	23,33
98	0,7927	1,4472	1,09	26,98
99	0,7715	1,439	0,65	24,21
100	0,8071	1,463	0,61	26,28
101	0,7431	1,4155	0,85	24,12

102	0,7565	1,4229	1,14	25.37
103	0,8226	1,4712	0,75	27.58
104	0,8186	1,4693	0,8	28.12
105	0,757	1,4256	1,61	26.25
106	0,7834	1,4392	0,95	26.22
107	0,8287	1,4726	0,93	28.42
108	0,83	1,471	0,81	28.23
109	0,7446	1,424	0,6	22.92
110	0,795	1,4442	0,82	26.23
111	0,8503	1,4877	0,86	29.33
112	0,847	1,484	0,73	29.29
113	0,7897	1,4412	0,93	27.29
114	0,721	1,4059	0,7	22.32
115	0,7368	1,4151	0,99	24.36

Tableau 4 . 7 : Résultats de mesure des propriétés physiques des mélanges ternaires .

❖ **Mélanges multi-composants :**

N ° mélange	d_4^{20} (g mole / l)	n_D^{20}	v^{20}	TS ²⁰
116	0,7945	1,4503	0,97	27.14
117	0,7786	1,4681	0,93	26.54
118	0,7889	1,4438	0,92	27.28
119	0,8221	1,4682	1,01	24.32

Tableau 4 .8 : Résultats de mesure des propriétés physiques des mélanges multi-composants

III . CALCUL DES PROPRIETES PHYSIQUES DES MELANGES PREPARES PARLES REGLES DE MELANGES CLASSIQUES:

Pour le calcul des propriétés physiques des mélanges préparés , nous avons appliquée les différentes règles de mélanges classiques . Le but est de retrouver ces propriétés , et de comparer les résultats aux valeurs expérimentales .

❖ Les règles de mélanges classiques que nous avons utilisé sont les suivantes :

- Moyenne arithmétique : $P_i = \sum X_i P_i$
- Moyenne géométrique : $P_i^{1/2} = \sum X_i P_i^{1/2}$
- Moyenne cubique : $P_i^{1/3} = \sum X_i P_i^{1/3}$
- Moyenne logarithmique : $\ln P_i = \sum X_i \ln P_i$
- Moyenne harmonique : $P_i^{-1} = \sum X_i P_i^{-1}$

Avec :

P_i : propriété du constituant i

X_i : fraction massique, molaire ou volumique du constituant i dans le mélange.

III.1. La Densité :

□ Cas des mélanges binaires :

N° mél	d exp	d _{arith} masse	e(%)	d _{arith} mol	e(%)	d _{arith} vol	e(%)	d _{geo} masse	e(%)	d _{geo} mol	e(%)
1	0,774	0,7738	0,03	0,7738	0,03	0,7737	0,03	0,7738	0,03	0,7741	0,02
2	0,7709	0,7709	0,01	0,7709	0,01	0,7708	0,01	0,7709	0,01	0,7711	0,02
3	0,7768	0,7765	0,04	0,7765	0,04	0,7765	0,04	0,7765	0,04	0,7767	0,01
4	0,7739	0,7857	1,53	0,7857	1,53	0,7857	1,52	0,7857	1,53	0,7844	1,35
5	0,7889	0,7897	0,10	0,7897	0,10	0,7896	0,09	0,7897	0,10	0,7886	0,04
6	0,7814	0,7821	0,08	0,7821	0,08	0,7820	0,08	0,7820	0,08	0,7811	0,04
7	0,7966	0,8089	1,55	0,8089	1,55	0,8021	0,69	0,8072	1,33	0,8286	4,02
8	0,7538	0,7622	1,11	0,7622	1,11	0,7578	0,53	0,7610	0,96	0,7783	3,25
9	0,8442	0,8528	1,02	0,8528	1,02	0,8487	0,53	0,8519	0,91	0,8626	2,18
10	0,8305	0,8376	0,86	0,8376	0,86	0,8354	0,59	0,8371	0,79	0,8464	1,92
11	0,8196	0,8250	0,66	0,8250	0,66	0,8226	0,37	0,8244	0,59	0,8193	0,04
12	0,8487	0,8518	0,36	0,8518	0,36	0,8504	0,20	0,8514	0,32	0,8483	0,04
13	0,794	0,7979	0,49	0,7979	0,49	0,7963	0,29	0,7975	0,44	0,7942	0,03
14	0,8169	0,8219	0,62	0,8219	0,62	0,8199	0,37	0,8214	0,56	0,8100	0,84
15	0,8684	0,8688	0,04	0,8688	0,04	0,8687	0,04	0,8688	0,04	0,8694	0,12
16	0,8751	0,8761	0,12	0,8761	0,12	0,8761	0,11	0,8761	0,12	0,8767	0,18
17	0,7863	0,7898	0,45	0,7898	0,45	0,7879	0,21	0,7893	0,38	0,7904	0,52
18	0,8457	0,8491	0,40	0,8491	0,40	0,8473	0,19	0,8487	0,35	0,8496	0,46
19	0,8622	0,8633	0,13	0,8633	0,13	0,8633	0,12	0,8633	0,12	0,8640	0,21
20	0,8294	0,8316	0,26	0,8316	0,26	0,8300	0,07	0,8312	0,22	0,8173	1,46
21	0,8683	0,8690	0,08	0,8690	0,08	0,8689	0,07	0,8690	0,08	0,8722	0,45
22	0,8745	0,8755	0,11	0,8755	0,11	0,8754	0,11	0,8755	0,11	0,8774	0,33
23	0,8713	0,8722	0,11	0,8722	0,11	0,8722	0,10	0,8722	0,11	0,8755	0,48
24	0,7508	0,7542	0,45	0,7542	0,45	0,7534	0,34	0,7540	0,42	0,7602	1,25
25	0,738	0,7402	0,30	0,7402	0,30	0,7397	0,23	0,7401	0,28	0,7449	0,94
26	0,7667	0,7692	0,33	0,7692	0,33	0,7688	0,27	0,7691	0,31	0,7724	0,74
27	0,7297	0,7330	0,46	0,7330	0,46	0,7270	0,38	0,7315	0,25	0,7199	1,34
28	0,7418	0,7430	0,17	0,7430	0,17	0,7422	0,05	0,7428	0,14	0,7445	0,36
29	0,7298	0,7349	0,70	0,7349	0,70	0,7319	0,29	0,7342	0,60	0,7382	1,16

30	0,7586	0,7618	0,42	0,7618	0,42	0,7600	0,18	0,7614	0,36	0,7636	0,67
31	0,7023	0,7055	0,45	0,7055	0,45	0,7034	0,16	0,7049	0,38	0,7079	0,80
32	0,6668	0,6666	0,03	0,6666	0,03	0,6666	0,04	0,6666	0,03	0,6667	0,02
33	0,6703	0,6705	0,03	0,6705	0,03	0,6705	0,03	0,6705	0,03	0,6706	0,04
34	0,6619	0,6627	0,11	0,6627	0,11	0,6626	0,11	0,6626	0,11	0,6627	0,12
35	0,7282	0,7230	0,71	0,7230	0,71	0,7136	2,00	0,7205	1,06	0,7233	0,68
36	0,784	0,7880	0,50	0,7880	0,50	0,7743	1,24	0,7846	0,07	0,7884	0,56
37	0,8422	0,8463	0,49	0,8463	0,49	0,8384	0,45	0,8445	0,28	0,8466	0,52
38	0,7333	0,7289	0,61	0,7289	0,61	0,7250	1,13	0,7279	0,74	0,7279	0,74
39	0,7592	0,7587	0,06	0,7587	0,06	0,7563	0,38	0,7582	0,14	0,7582	0,14
40	0,7078	0,6966	1,58	0,6966	1,58	0,6941	1,94	0,6959	1,67	0,6959	1,67
41	0,7769	0,7781	0,15	0,7781	0,15	0,7778	0,12	0,7780	0,14	0,7816	0,61
42	0,7674	0,7706	0,42	0,7706	0,42	0,7705	0,41	0,7706	0,42	0,7737	0,83
43	0,8144	0,8253	1,34	0,8253	1,34	0,8212	0,84	0,8243	1,22	0,8488	4,22
44	0,8086	0,8149	0,78	0,8149	0,78	0,8111	0,32	0,8139	0,66	0,8285	2,46
45	0,6721	0,6724	0,05	0,6715	0,09	0,6722	0,01	0,6724	0,04	0,6715	0,10
46	0,679	0,6794	0,05	0,6788	0,03	0,6792	0,03	0,6793	0,05	0,6787	0,04
47	0,6656	0,6662	0,09	0,6655	0,01	0,6660	0,06	0,6662	0,08	0,6655	0,02
48	0,7593	0,7595	0,03	0,7594	0,01	0,7595	0,03	0,7595	0,03	0,7594	0,01
49	0,6804	0,6820	0,23	0,6709	1,40	0,6796	0,12	0,6813	0,14	0,6705	1,45
50	0,6958	0,6971	0,19	0,6884	1,06	0,6953	0,07	0,6967	0,12	0,6880	1,12
51	0,6727	0,6738	0,16	0,6690	0,55	0,6727	0,00	0,6735	0,12	0,6688	0,57
52	0,7181	0,7242	0,85	0,7249	0,95	0,7194	0,18	0,7230	0,69	0,7237	0,78
53	0,7547	0,7583	0,47	0,7587	0,53	0,7554	0,09	0,7576	0,38	0,7580	0,44
54	0,6819	0,6858	0,57	0,6863	0,64	0,6826	0,11	0,6850	0,45	0,6854	0,52
55	0,7652	0,7841	2,46	0,7893	3,15	0,7685	0,43	0,7802	1,96	0,7855	2,66
56	0,8336	0,8446	1,32	0,8473	1,64	0,8355	0,23	0,8425	1,07	0,8454	1,42
57	0,7011	0,7142	1,87	0,7183	2,46	0,7034	0,33	0,7113	1,46	0,7153	2,02
58	0,8714	0,8725	0,13	0,8730	0,19	0,8725	0,13	0,8725	0,13	0,8730	0,19
59	0,8684	0,8689	0,06	0,8692	0,10	0,8689	0,06	0,8689	0,06	0,8692	0,10
60	0,8751	0,8763	0,14	0,8766	0,17	0,8763	0,14	0,8763	0,14	0,8766	0,17
61	0,8442	0,8596	1,82	0,8607	1,95	0,8576	1,59	0,8591	1,76	0,8602	1,90
62	0,7942	0,8005	0,80	0,8018	0,96	0,7985	0,54	0,8000	0,73	0,8013	0,89
63	0,8269	0,8352	1,01	0,8370	1,23	0,8322	0,64	0,8345	0,91	0,8363	1,14
64	0,7238	0,7237	0,01	0,7180	0,80	0,7230	0,11	0,7235	0,04	0,7179	0,81
65	0,7412	0,7419	0,10	0,7422	0,14	0,7408	0,05	0,7417	0,06	0,7420	0,10
66	0,7313	0,7318	0,07	0,7321	0,10	0,7308	0,07	0,7315	0,03	0,7318	0,07
67	0,7871	0,7953	1,04	0,7931	0,76	0,7877	0,08	0,7934	0,80	0,7912	0,52
68	0,7678	0,7784	1,38	0,7678	0,01	0,7645	0,43	0,7750	0,93	0,7643	0,46
69	0,8169	0,8212	0,52	0,8193	0,29	0,8183	0,17	0,8205	0,44	0,8186	0,20
70	0,7143	0,7171	0,39	0,7135	0,11	0,7129	0,20	0,7160	0,24	0,7125	0,26
71	0,6736	0,6736	0,00	0,6698	0,56	0,6727	0,13	0,6734	0,03	0,6696	0,59
72	0,7208	0,7207	0,02	0,7191	0,24	0,7205	0,04	0,7206	0,02	0,7190	0,24
73	0,7795	0,7935	1,79	0,8038	3,12	0,7847	0,67	0,7913	1,51	0,8017	2,84
74	0,8714	0,8725	0,12	0,8734	0,23	0,8724	0,12	0,8724	0,12	0,8734	0,23
75	0,8204	0,8283	0,96	0,8344	1,71	0,8246	0,52	0,8274	0,85	0,8335	1,60
76	0,7209	0,7207	0,03	0,7170	0,54	0,7202	0,09	0,7205	0,05	0,7170	0,55
77	0,7387	0,7388	0,01	0,7368	0,26	0,7385	0,03	0,7387	0,00	0,7367	0,27

78	0,765	0,7658	0,11	0,7671	0,28	0,7658	0,10	0,7658	0,11	0,7671	0,28
79	0,7669	0,7674	0,07	0,7682	0,16	0,7674	0,07	0,7674	0,07	0,7681	0,16
80	0,7957	0,8043	1,08	0,8074	1,47	0,7968	0,14	0,8025	0,85	0,8056	1,25
81	0,7503	0,7635	1,75	0,7600	1,29	0,7495	0,11	0,7599	1,29	0,7565	0,83
82	0,8083	0,8151	0,85	0,8330	3,06	0,8114	0,38	0,8142	0,73	0,8323	2,96
83	0,8134	0,8190	0,69	0,8206	0,88	0,8161	0,33	0,8183	0,60	0,8199	0,79
84	0,842	0,8508	1,05	0,8658	2,83	0,8477	0,68	0,8501	0,96	0,8654	2,78
85	0,816	0,8218	0,71	0,8353	2,37	0,8182	0,26	0,8209	0,60	0,8346	2,28
e_{moy}			0.53		0.70		0.31		0.46		0.86

N° mél	d exp	d _{geom} vol	e(%)	d _{cub} masse	e(%)	d _{cub} mol	e(%)	d _{cub} vol	e(%)	d _{log} masse	e(%)
1	0,774	0,7737	0,03	0,7738	0,03	0,7741	0,02	0,7737	0,03	0,7738	0,03
2	0,7709	0,7708	0,01	0,7709	0,01	0,7711	0,02	0,7708	0,01	0,7708	0,01
3	0,7768	0,7765	0,04	0,7765	0,04	0,7767	0,01	0,7765	0,04	0,7765	0,04
4	0,7739	0,7857	1,52	0,7857	1,53	0,7844	1,35	0,7857	1,52	0,7857	1,53
5	0,7889	0,7896	0,09	0,7897	0,10	0,7886	0,04	0,7896	0,09	0,7897	0,10
6	0,7814	0,7820	0,08	0,7820	0,08	0,7811	0,04	0,7820	0,07	0,7820	0,08
7	0,7966	0,8003	0,47	0,8067	1,26	0,8281	3,95	0,7998	0,40	0,8055	1,12
8	0,7538	0,7567	0,39	0,7606	0,91	0,7778	3,18	0,7564	0,34	0,7599	0,81
9	0,8442	0,8475	0,40	0,8515	0,87	0,8624	2,16	0,8472	0,35	0,8508	0,79
10	0,8305	0,8349	0,53	0,8369	0,77	0,8463	1,90	0,8347	0,51	0,8365	0,73
11	0,8196	0,8221	0,30	0,8242	0,56	0,8191	0,06	0,8219	0,28	0,8238	0,52
12	0,8487	0,8501	0,16	0,8513	0,31	0,8482	0,06	0,8499	0,15	0,8511	0,28
13	0,794	0,7959	0,24	0,7974	0,42	0,7941	0,01	0,7958	0,23	0,7971	0,39
14	0,8169	0,8194	0,31	0,8213	0,53	0,8099	0,86	0,8192	0,29	0,8209	0,49
15	0,8684	0,8687	0,04	0,8688	0,04	0,8694	0,12	0,8687	0,04	0,8688	0,04
16	0,8751	0,8761	0,11	0,8761	0,12	0,8767	0,18	0,8761	0,11	0,8761	0,12
17	0,7863	0,7875	0,15	0,7892	0,36	0,7902	0,50	0,7873	0,13	0,7889	0,32
18	0,8457	0,8469	0,14	0,8485	0,34	0,8495	0,44	0,8467	0,12	0,8482	0,30
19	0,8622	0,8633	0,12	0,8633	0,12	0,8640	0,21	0,8633	0,12	0,8633	0,12
20	0,8294	0,8296	0,02	0,8311	0,20	0,8172	1,47	0,8295	0,01	0,8308	0,17
21	0,8683	0,8689	0,07	0,8690	0,08	0,8722	0,45	0,8689	0,07	0,8689	0,07
22	0,8745	0,8754	0,11	0,8755	0,11	0,8774	0,33	0,8754	0,11	0,8755	0,11
23	0,8713	0,8722	0,10	0,8722	0,11	0,8755	0,48	0,8722	0,10	0,8722	0,10
24	0,7508	0,7532	0,32	0,7539	0,41	0,7601	1,24	0,7531	0,31	0,7538	0,39
25	0,738	0,7396	0,21	0,7400	0,27	0,7449	0,93	0,7395	0,21	0,7399	0,26
26	0,7667	0,7686	0,25	0,7691	0,31	0,7724	0,74	0,7686	0,25	0,7690	0,30
27	0,7297	0,7254	0,59	0,7310	0,18	0,7194	1,41	0,7249	0,65	0,7300	0,04
28	0,7418	0,7420	0,03	0,7428	0,13	0,7444	0,35	0,7419	0,02	0,7426	0,11
29	0,7298	0,7312	0,19	0,7339	0,57	0,7380	1,12	0,7309	0,15	0,7334	0,50
30	0,7586	0,7595	0,12	0,7612	0,34	0,7635	0,65	0,7593	0,10	0,7609	0,30
31	0,7023	0,7029	0,09	0,7048	0,35	0,7077	0,77	0,7028	0,06	0,7044	0,30
32	0,6668	0,6665	0,04	0,6666	0,03	0,6667	0,02	0,6665	0,04	0,6666	0,03
33	0,6703	0,6705	0,03	0,6705	0,03	0,6706	0,04	0,6705	0,02	0,6705	0,03
34	0,6619	0,6626	0,11	0,6626	0,11	0,6627	0,12	0,6626	0,11	0,6626	0,11
35	0,7282	0,7114	2,30	0,7197	1,17	0,7224	0,79	0,7108	2,40	0,7181	1,39

36	0,784	0,7709	1,67	0,7834	0,07	0,7873	0,42	0,7697	1,82	0,7812	0,36
37	0,8422	0,8363	0,70	0,8439	0,20	0,8460	0,45	0,8355	0,79	0,8426	0,05
38	0,7333	0,7241	1,26	0,7276	0,78	0,7276	0,78	0,7238	1,30	0,7269	0,87
39	0,7592	0,7557	0,46	0,7580	0,16	0,7580	0,16	0,7555	0,49	0,7576	0,22
40	0,7078	0,6934	2,03	0,6957	1,71	0,6957	1,71	0,6932	2,06	0,6953	1,77
41	0,7769	0,7777	0,11	0,7780	0,14	0,7816	0,60	0,7777	0,10	0,7779	0,13
42	0,7674	0,7705	0,41	0,7706	0,42	0,7737	0,83	0,7705	0,41	0,7706	0,41
43	0,8144	0,8202	0,71	0,8240	1,18	0,8485	4,19	0,8199	0,67	0,8233	1,09
44	0,8086	0,8102	0,20	0,8136	0,62	0,8282	2,43	0,8099	0,16	0,8130	0,55
45	0,6721	0,6721	0,01	0,6723	0,04	0,6714	0,10	0,6721	0,00	0,6723	0,03
46	0,679	0,6792	0,03	0,6793	0,05	0,6787	0,04	0,6792	0,03	0,6793	0,04
47	0,6656	0,6660	0,06	0,6661	0,08	0,6655	0,02	0,6660	0,06	0,6661	0,08
48	0,7593	0,7595	0,03	0,7595	0,03	0,7594	0,01	0,7595	0,03	0,7595	0,03
49	0,6804	0,6790	0,21	0,6811	0,11	0,6704	1,47	0,6788	0,23	0,6807	0,05
50	0,6958	0,6949	0,13	0,6965	0,10	0,6879	1,14	0,6948	0,15	0,6962	0,06
51	0,6727	0,6724	0,04	0,6734	0,10	0,6688	0,58	0,6723	0,06	0,6732	0,07
52	0,7181	0,7182	0,01	0,7226	0,63	0,7233	0,73	0,7177	0,05	0,7218	0,52
53	0,7547	0,7546	0,01	0,7574	0,35	0,7578	0,41	0,7544	0,05	0,7569	0,29
54	0,6819	0,6819	0,00	0,6847	0,41	0,6852	0,48	0,6816	0,04	0,6842	0,33
55	0,7652	0,7646	0,08	0,7789	1,80	0,7842	2,49	0,7633	0,25	0,7763	1,46
56	0,8336	0,8331	0,06	0,8418	0,99	0,8447	1,34	0,8322	0,17	0,8403	0,81
57	0,7011	0,7009	0,02	0,7104	1,32	0,7143	1,88	0,7001	0,14	0,7085	1,06
58	0,8714	0,8725	0,12	0,8725	0,13	0,8730	0,19	0,8725	0,12	0,8725	0,13
59	0,8684	0,8689	0,06	0,8689	0,06	0,8692	0,10	0,8689	0,06	0,8689	0,06
60	0,8751	0,8763	0,13	0,8763	0,14	0,8766	0,17	0,8763	0,13	0,8763	0,14
61	0,8442	0,8571	1,53	0,8589	1,74	0,8601	1,88	0,8569	1,51	0,8586	1,71
62	0,7942	0,7980	0,48	0,7998	0,71	0,8011	0,87	0,7979	0,46	0,7995	0,67
63	0,8269	0,8315	0,55	0,8342	0,88	0,8361	1,11	0,8312	0,52	0,8337	0,82
64	0,7238	0,7228	0,13	0,7235	0,04	0,7179	0,82	0,7228	0,14	0,7234	0,06
65	0,7412	0,7406	0,09	0,7416	0,05	0,7419	0,09	0,7405	0,10	0,7414	0,03
66	0,7313	0,7305	0,10	0,7315	0,02	0,7317	0,06	0,7305	0,12	0,7313	0,00
67	0,7871	0,7858	0,16	0,7928	0,72	0,7906	0,44	0,7852	0,24	0,7915	0,56
68	0,7678	0,7610	0,89	0,7738	0,78	0,7631	0,61	0,7598	1,04	0,7715	0,48
69	0,8169	0,8176	0,08	0,8202	0,41	0,8183	0,17	0,8173	0,05	0,8197	0,35
70	0,7143	0,7119	0,34	0,7157	0,19	0,7121	0,31	0,7115	0,39	0,7150	0,10
71	0,6736	0,6725	0,16	0,6733	0,04	0,6696	0,60	0,6724	0,17	0,6732	0,06
72	0,7208	0,7205	0,04	0,7206	0,03	0,7190	0,24	0,7205	0,04	0,7206	0,03
73	0,7795	0,7826	0,39	0,7906	1,42	0,8009	2,75	0,7819	0,30	0,7891	1,23
74	0,8714	0,8724	0,12	0,8724	0,12	0,8734	0,23	0,8724	0,11	0,8724	0,12
75	0,8204	0,8237	0,40	0,8271	0,81	0,8332	1,56	0,8234	0,37	0,8264	0,74
76	0,7209	0,7201	0,11	0,7205	0,05	0,7169	0,55	0,7201	0,11	0,7204	0,06
77	0,7387	0,7384	0,04	0,7387	0,00	0,7367	0,27	0,7384	0,04	0,7386	0,01
78	0,765	0,7658	0,10	0,7658	0,11	0,7671	0,28	0,7658	0,10	0,7658	0,10
79	0,7669	0,7674	0,07	0,7674	0,07	0,7681	0,16	0,7674	0,07	0,7674	0,07
80	0,7957	0,7950	0,09	0,8019	0,77	0,8050	1,17	0,7943	0,17	0,8006	0,62
81	0,7503	0,7460	0,57	0,7588	1,13	0,7553	0,67	0,7449	0,72	0,7564	0,82
82	0,8083	0,8105	0,27	0,8139	0,69	0,8320	2,93	0,8102	0,23	0,8133	0,62
83	0,8134	0,8154	0,25	0,8181	0,57	0,8196	0,76	0,8152	0,22	0,8176	0,51

84	0,842	0,8469	0,58	0,8498	0,93	0,8653	2,76	0,8466	0,55	0,8493	0,87
85	0,816	0,8172	0,15	0,8206	0,56	0,8343	2,25	0,8169	0,11	0,8200	0,49
e_{moy}			0.30		0.44		0.85		0.31		0.39

N° mél	d exp	d_{log} mol	e(%)	d_{log} vol	e(%)	d_{har} masse	e(%)	d_{har} mol	e(%)	d_{har} vol	e(%)
1	0,774	0,7741	0,02	0,7737	0,03	0,7737	0,03	0,7741	0,01	0,7737	0,04
2	0,7709	0,7711	0,02	0,7708	0,01	0,7708	0,01	0,7711	0,02	0,7708	0,01
3	0,7768	0,7767	0,01	0,7765	0,04	0,7765	0,04	0,7767	0,01	0,7765	0,04
4	0,7739	0,7844	1,35	0,7856	1,52	0,7857	1,52	0,7843	1,35	0,7856	1,51
5	0,7889	0,7886	0,04	0,7896	0,09	0,7896	0,09	0,7886	0,04	0,7896	0,09
6	0,7814	0,7811	0,04	0,7820	0,07	0,7820	0,08	0,7811	0,04	0,7819	0,07
7	0,7966	0,8271	3,82	0,7986	0,25	0,8021	0,69	0,8239	3,42	0,7952	0,17
8	0,7538	0,7768	3,05	0,7557	0,25	0,7578	0,53	0,7739	2,66	0,7538	0,00
9	0,8442	0,8620	2,10	0,8464	0,26	0,8487	0,53	0,8605	1,93	0,8440	0,03
10	0,8305	0,8459	1,86	0,8343	0,46	0,8354	0,59	0,8449	1,73	0,8332	0,33
11	0,8196	0,8187	0,11	0,8215	0,23	0,8226	0,37	0,8176	0,25	0,8203	0,08
12	0,8487	0,8480	0,09	0,8497	0,12	0,8504	0,20	0,8472	0,18	0,8490	0,03
13	0,794	0,7939	0,02	0,7956	0,20	0,7963	0,29	0,7932	0,10	0,7948	0,10
14	0,8169	0,8095	0,90	0,8189	0,24	0,8199	0,37	0,8086	1,02	0,8179	0,12
15	0,8684	0,8694	0,12	0,8687	0,04	0,8687	0,04	0,8694	0,12	0,8687	0,04
16	0,8751	0,8767	0,18	0,8761	0,11	0,8761	0,11	0,8767	0,18	0,8761	0,11
17	0,7863	0,7899	0,45	0,7870	0,09	0,7879	0,21	0,7889	0,33	0,7862	0,01
18	0,8457	0,8492	0,41	0,8464	0,08	0,8473	0,19	0,8483	0,31	0,8454	0,03
19	0,8622	0,8640	0,21	0,8633	0,12	0,8633	0,12	0,8640	0,21	0,8633	0,12
20	0,8294	0,8170	1,50	0,8292	0,03	0,8300	0,07	0,8163	1,58	0,8284	0,12
21	0,8683	0,8722	0,45	0,8689	0,07	0,8689	0,07	0,8722	0,44	0,8689	0,07
22	0,8745	0,8774	0,33	0,8754	0,10	0,8754	0,11	0,8774	0,33	0,8754	0,10
23	0,8713	0,8755	0,48	0,8722	0,10	0,8722	0,10	0,8755	0,48	0,8721	0,10
24	0,7508	0,7600	1,22	0,7530	0,29	0,7534	0,34	0,7596	1,18	0,7526	0,24
25	0,738	0,7447	0,91	0,7394	0,19	0,7397	0,23	0,7444	0,87	0,7392	0,16
26	0,7667	0,7723	0,73	0,7685	0,24	0,7688	0,27	0,7722	0,71	0,7682	0,20
27	0,7297	0,7184	1,55	0,7239	0,79	0,7270	0,38	0,7154	1,95	0,7209	1,21
28	0,7418	0,7442	0,33	0,7418	0,00	0,7422	0,05	0,7438	0,27	0,7414	0,05
29	0,7298	0,7375	1,06	0,7304	0,08	0,7319	0,29	0,7360	0,85	0,7289	0,13
30	0,7586	0,7632	0,61	0,7590	0,05	0,7600	0,18	0,7624	0,50	0,7580	0,08
31	0,7023	0,7073	0,72	0,7024	0,02	0,7034	0,16	0,7062	0,56	0,7015	0,11
32	0,6668	0,6667	0,02	0,6665	0,04	0,6666	0,04	0,6666	0,03	0,6665	0,05
33	0,6703	0,6705	0,04	0,6705	0,02	0,6705	0,03	0,6705	0,03	0,6704	0,02
34	0,6619	0,6627	0,12	0,6626	0,11	0,6626	0,11	0,6627	0,12	0,6626	0,10
35	0,7282	0,7208	1,02	0,7094	2,58	0,7136	2,00	0,7161	1,66	0,7056	3,10
36	0,784	0,7850	0,13	0,7675	2,11	0,7743	1,24	0,7781	0,75	0,7607	2,97
37	0,8422	0,8448	0,31	0,8340	0,97	0,8384	0,45	0,8408	0,17	0,8291	1,56
38	0,7333	0,7269	0,87	0,7231	1,39	0,7250	1,13	0,7250	1,13	0,7212	1,65
39	0,7592	0,7576	0,22	0,7550	0,55	0,7563	0,38	0,7563	0,38	0,7537	0,73
40	0,7078	0,6953	1,77	0,6928	2,11	0,6941	1,94	0,6941	1,94	0,6917	2,27
41	0,7769	0,7815	0,60	0,7776	0,10	0,7778	0,12	0,7814	0,58	0,7775	0,08

42	0,7674	0,7737	0,83	0,7705	0,40	0,7705	0,41	0,7737	0,82	0,7705	0,40
43	0,8144	0,8480	4,12	0,8192	0,59	0,8212	0,84	0,8464	3,92	0,8171	0,34
44	0,8086	0,8277	2,36	0,8093	0,08	0,8111	0,32	0,8260	2,15	0,8074	0,14
45	0,6721	0,6714	0,10	0,6721	0,00	0,6722	0,01	0,6713	0,12	0,6720	0,02
46	0,679	0,6787	0,04	0,6792	0,02	0,6792	0,03	0,6786	0,06	0,6791	0,01
47	0,6656	0,6654	0,02	0,6659	0,05	0,6660	0,06	0,6654	0,03	0,6659	0,04
48	0,7593	0,7594	0,01	0,7595	0,03	0,7595	0,03	0,7594	0,01	0,7595	0,03
49	0,6804	0,6702	1,50	0,6784	0,29	0,6796	0,12	0,6695	1,60	0,6774	0,44
50	0,6958	0,6876	1,18	0,6945	0,19	0,6953	0,07	0,6867	1,30	0,6936	0,32
51	0,6727	0,6686	0,60	0,6722	0,08	0,6727	0,00	0,6683	0,66	0,6717	0,15
52	0,7181	0,7225	0,61	0,7169	0,16	0,7194	0,18	0,7201	0,27	0,7145	0,50
53	0,7547	0,7573	0,34	0,7538	0,12	0,7554	0,09	0,7558	0,15	0,7522	0,33
54	0,6819	0,6846	0,40	0,6812	0,11	0,6826	0,11	0,6831	0,17	0,6798	0,31
55	0,7652	0,7817	2,15	0,7607	0,59	0,7685	0,43	0,7739	1,13	0,7530	1,59
56	0,8336	0,8433	1,17	0,8305	0,38	0,8355	0,23	0,8388	0,63	0,8248	1,06
57	0,7011	0,7124	1,61	0,6986	0,36	0,7034	0,33	0,7069	0,83	0,6943	0,97
58	0,8714	0,8730	0,18	0,8725	0,12	0,8725	0,13	0,8730	0,18	0,8724	0,12
59	0,8684	0,8692	0,09	0,8689	0,05	0,8689	0,06	0,8692	0,09	0,8689	0,05
60	0,8751	0,8766	0,17	0,8763	0,13	0,8763	0,14	0,8766	0,17	0,8763	0,13
61	0,8442	0,8598	1,84	0,8566	1,47	0,8576	1,59	0,8588	1,73	0,8555	1,34
62	0,7942	0,8008	0,83	0,7975	0,42	0,7985	0,54	0,7997	0,70	0,7966	0,30
63	0,8269	0,8356	1,05	0,8307	0,46	0,8322	0,64	0,8341	0,87	0,8292	0,27
64	0,7238	0,7178	0,83	0,7227	0,16	0,7230	0,11	0,7176	0,86	0,7223	0,21
65	0,7412	0,7417	0,07	0,7403	0,12	0,7408	0,05	0,7411	0,01	0,7397	0,20
66	0,7313	0,7315	0,03	0,7303	0,14	0,7308	0,07	0,7310	0,03	0,7298	0,20
67	0,7871	0,7893	0,28	0,7839	0,40	0,7877	0,08	0,7855	0,20	0,7802	0,88
68	0,7678	0,7608	0,92	0,7575	1,34	0,7645	0,43	0,7538	1,83	0,7505	2,25
69	0,8169	0,8178	0,12	0,8169	0,01	0,8183	0,17	0,8164	0,06	0,8154	0,18
70	0,7143	0,7114	0,40	0,7108	0,49	0,7129	0,20	0,7093	0,69	0,7087	0,78
71	0,6736	0,6695	0,61	0,6723	0,19	0,6727	0,13	0,6691	0,67	0,6719	0,26
72	0,7208	0,7190	0,25	0,7205	0,04	0,7205	0,04	0,7190	0,26	0,7204	0,05
73	0,7795	0,7995	2,56	0,7804	0,12	0,7847	0,67	0,7951	2,00	0,7762	0,42
74	0,8714	0,8734	0,23	0,8724	0,11	0,8724	0,12	0,8734	0,22	0,8724	0,11
75	0,8204	0,8326	1,49	0,8228	0,29	0,8246	0,52	0,8308	1,27	0,8210	0,07
76	0,7209	0,7169	0,56	0,7200	0,12	0,7202	0,09	0,7167	0,58	0,7198	0,15
77	0,7387	0,7367	0,27	0,7384	0,05	0,7385	0,03	0,7366	0,29	0,7382	0,06
78	0,765	0,7671	0,27	0,7658	0,10	0,7658	0,10	0,7671	0,27	0,7657	0,10
79	0,7669	0,7681	0,16	0,7674	0,07	0,7674	0,07	0,7681	0,16	0,7674	0,07
80	0,7957	0,8038	1,02	0,7931	0,33	0,7968	0,14	0,8001	0,55	0,7892	0,81
81	0,7503	0,7530	0,36	0,7426	1,02	0,7495	0,11	0,7461	0,56	0,7360	1,91
82	0,8083	0,8314	2,86	0,8095	0,15	0,8114	0,38	0,8298	2,66	0,8077	0,08
83	0,8134	0,8191	0,70	0,8147	0,16	0,8161	0,33	0,8177	0,53	0,8132	0,02
84	0,842	0,8650	2,73	0,8461	0,49	0,8477	0,68	0,8641	2,62	0,8444	0,29
85	0,816	0,8338	2,18	0,8163	0,04	0,8182	0,26	0,8322	1,99	0,8145	0,19
e _{moy}			0.82		0.33		0.61		0.77		0.42

Tableau 4.9 : Valeurs des densités calculées des mélanges binaires .

□ Cas des mélanges ternaires :

N° mél	d _{exp}	d _{arith masse}	e(%)	d _{arith mol}	e(%)	d _{arith vol}	e(%)	d _{geo masse}	e(%)	d _{geo mol}	e(%)
86	0,7074	0,7081	0,10	0,6968	1,50	0,71	0,19	0,7076	0,03	0,6963	1,57
87	0,7449	0,7432	0,23	0,7420	0,39	0,7430	0,26	0,7431	0,24	0,7420	0,39
88	0,7798	0,7802	0,05	0,7793	0,07	0,7801	0,04	0,7802	0,05	0,7792	0,07
89	0,8693	0,8703	0,11	0,8723	0,34	0,8703	0,11	0,8703	0,11	0,8722	0,34
90	0,7661	0,7756	1,24	0,7600	0,79	0,7669	0,10	0,7735	0,96	0,7580	1,05
91	0,7543	0,7816	3,61	0,7802	3,44	0,7784	3,20	0,7808	3,51	0,7796	3,35
92	0,7894	0,8001	1,36	0,8123	2,90	0,7954	0,75	0,7989	1,21	0,8111	2,76
93	0,7948	0,8003	0,69	0,7982	0,42	0,7978	0,38	0,7997	0,61	0,7976	0,36
94	0,6878	0,6877	0,02	0,6838	0,58	0,6868	0,14	0,6875	0,05	0,6836	0,61
95	0,7209	0,7225	0,22	0,7072	1,91	0,7200	0,13	0,7219	0,14	0,7064	2,01
96	0,7013	0,7023	0,15	0,6900	1,61	0,6999	0,19	0,7017	0,06	0,6895	1,68
97	0,7636	0,7782	1,91	0,7818	2,38	0,7676	0,53	0,7756	1,57	0,7792	2,04
98	0,7927	0,8103	2,22	0,8224	3,75	0,8067	1,77	0,8094	2,10	0,8215	3,64
99	0,7715	0,7816	1,31	0,7845	1,68	0,7737	0,29	0,7796	1,06	0,7825	1,43
100	0,8071	0,8198	1,58	0,8264	2,39	0,8101	0,37	0,8175	1,29	0,8242	2,12
101	0,7431	0,7468	0,49	0,7488	0,77	0,7444	0,17	0,7462	0,41	0,7483	0,70
102	0,7565	0,7593	0,37	0,7636	0,94	0,7587	0,29	0,7591	0,35	0,7635	0,92
103	0,8226	0,8318	1,11	0,8456	2,79	0,8263	0,45	0,8305	0,95	0,8446	2,67
104	0,8186	0,8263	0,94	0,8359	2,11	0,8213	0,32	0,8251	0,79	0,8349	1,99
105	0,757	0,7597	0,36	0,7647	1,01	0,7594	0,32	0,7596	0,35	0,7646	1,01
106	0,7834	0,7876	0,54	0,7910	0,97	0,7857	0,29	0,7871	0,48	0,7905	0,9
107	0,8287	0,8344	0,69	0,8351	0,77	0,8319	0,38	0,8338	0,62	0,8345	0,70
108	0,83	0,8694	4,75	0,8700	4,82	0,8694	4,75	0,8694	4,75	0,8700	4,82
109	0,7446	0,7821	5,04	0,7838	5,26	0,7673	3,05	0,7785	4,55	0,7802	4,77
110	0,795	0,8213	3,31	0,8256	3,85	0,8180	2,89	0,8205	3,20	0,8248	3,75
111	0,8503	0,8528	0,30	0,8607	1,23	0,8507	0,05	0,8523	0,24	0,8604	1,19
112	0,847	0,8510	0,47	0,8520	0,59	0,8490	0,24	0,8505	0,42	0,8515	0,53
113	0,7897	0,7934	0,47	0,7915	0,22	0,7916	0,25	0,7930	0,41	0,7910	0,17
114	0,721	0,7259	0,67	0,7249	0,55	0,7213	0,05	0,7247	0,520	0,7238	0,39
115	0,7368	0,7380	0,17	0,7394	0,35	0,7367	0,01	0,7377	0,12	0,7390	0,30
e _{moy}			1.14		1.62		0.74		1.03		1.57

N° mél	d _{exp}	d _{geom vol}	e(%)	d _{cub masse}	e(%)	d _{cub mol}	e(%)	d _{cub vol}	e(%)	d _{log masse}	e(%)
86	0,774	0,7056	0,26	0,7074	0,00	0,6961	1,60	0,7054	0,28	0,7071	0,04
87	0,7449	0,7430	0,26	0,7431	0,24	0,7419	0,40	0,7429	0,26	0,7431	0,25
88	0,7798	0,7801	0,03	0,7802	0,05	0,7792	0,07	0,7801	0,03	0,7802	0,05
89	0,8693	0,8702	0,11	0,8703	0,11	0,8722	0,34	0,8702	0,11	0,8703	0,11
90	0,7661	0,7646	0,19	0,7727	0,87	0,7574	1,14	0,7639	0,29	0,7713	0,68
91	0,7543	0,7777	3,10	0,7805	3,47	0,7794	3,33	0,7774	3,06	0,7800	3,40
92	0,7894	0,7942	0,60	0,7985	1,16	0,8108	2,71	0,7938	0,55	0,7977	1,06
93	0,7948	0,7972	0,30	0,7995	0,59	0,7974	0,33	0,7970	0,28	0,7991	0,54
94	0,6878	0,6866	0,17	0,6874	0,06	0,6836	0,61	0,6866	0,18	0,6873	0,08

95	0,7209	0,7193	0,22	0,7217	0,11	0,7062	2,04	0,7191	0,25	0,7213	0,05
96	0,7013	0,6994	0,28	0,7015	0,03	0,6894	1,70	0,6992	0,30	0,7011	0,03
97	0,7636	0,7650	0,18	0,7747	1,45	0,7783	1,92	0,7641	0,06	0,7729	1,22
98	0,7927	0,8058	1,66	0,8091	2,06	0,8212	3,60	0,8055	1,62	0,8085	1,99
99	0,7715	0,7717	0,03	0,7790	0,97	0,7819	1,34	0,7711	0,06	0,7777	0,80
100	0,8071	0,8075	0,05	0,8167	1,19	0,8235	2,03	0,8067	0,05	0,8151	0,99
101	0,7431	0,7438	0,09	0,7460	0,39	0,7481	0,67	0,7436	0,06	0,7456	0,34
102	0,7565	0,7585	0,27	0,7591	0,34	0,7634	0,91	0,7585	0,26	0,7590	0,33
103	0,8226	0,8249	0,28	0,8300	0,90	0,8442	2,63	0,8245	0,23	0,8291	0,79
104	0,8186	0,8200	0,17	0,8247	0,74	0,8345	1,94	0,8195	0,11	0,8238	0,64
105	0,757	0,7594	0,31	0,7596	0,35	0,7646	1,00	0,7593	0,31	0,7596	0,34
106	0,7834	0,7852	0,23	0,7870	0,45	0,7903	0,88	0,7850	0,21	0,7866	0,41
107	0,8287	0,8312	0,30	0,8336	0,59	0,8343	0,67	0,8310	0,28	0,8332	0,54
108	0,83	0,8694	4,75	0,8694	4,75	0,8700	4,82	0,8694	4,75	0,8694	4,75
109	0,7446	0,7635	2,54	0,7772	4,38	0,7789	4,61	0,7623	2,38	0,7748	4,05
110	0,795	0,8171	2,79	0,8202	3,17	0,8245	3,71	0,8169	2,75	0,8196	3,10
111	0,8503	0,8502	0,01	0,8522	0,22	0,8603	1,18	0,8500	0,04	0,8518	0,18
112	0,847	0,8485	0,18	0,8504	0,40	0,8514	0,51	0,8483	0,16	0,8500	0,36
113	0,7897	0,7912	0,19	0,7928	0,39	0,7909	0,15	0,7911	0,17	0,7925	0,36
114	0,721	0,7202	0,11	0,7244	0,47	0,7234	0,34	0,7198	0,16	0,7236	0,36
115	0,7368	0,7364	0,06	0,7376	0,11	0,7389	0,29	0,7363	0,07	0,7374	0,08
e _{moy}			0,68		0,99		1,56		0,67		0,93

N° mél	d _{exp}	d _{log mol}	e(%)	d _{log vol}	e(%)	d _{har masse}	e(%)	d _{har mol}	e(%)	d _{har vol}	e(%)
86	0,774	0,6957	1,65	0,7050	0,33	0,7061	0,19	0,6947	1,80	0,7040	0,48
87	0,7449	0,7419	0,40	0,7429	0,27	0,7430	0,26	0,7418	0,41	0,7428	0,28
88	0,7798	0,7792	0,08	0,7800	0,03	0,7801	0,04	0,7791	0,08	0,7800	0,02
89	0,8693	0,8722	0,34	0,8702	0,11	0,8703	0,11	0,8722	0,34	0,8702	0,11
90	0,7661	0,7560	1,32	0,7624	0,48	0,7669	0,10	0,7519	1,85	0,7579	1,07
91	0,7543	0,7790	3,27	0,7769	3,00	0,7784	3,20	0,7778	3,12	0,7754	2,80
92	0,7894	0,8100	2,61	0,7930	0,46	0,7954	0,75	0,8077	2,32	0,7907	0,16
93	0,7948	0,7971	0,29	0,7966	0,23	0,7978	0,38	0,7961	0,16	0,7954	0,08
94	0,6878	0,6834	0,64	0,6864	0,44	0,69	0,50	0,6830	0,06	0,6860	0,38
95	0,7209	0,7057	2,15	0,7187	1,84	0,72	2,02	0,7043	0,20	0,7173	1,65
96	0,7013	0,6891	1,78	0,6988	1,41	0,70	1,58	0,6882	0,13	0,6976	1,24
97	0,7636	0,7765	1,66	0,7623	1,83	0,77	1,15	0,7712	0,69	0,7570	2,51
98	0,7927	0,8206	3,41	0,8050	1,91	0,81	1,70	0,8189	0,21	0,8033	2,12
99	0,7715	0,7805	1,16	0,7697	1,38	0,77	0,88	0,7766	0,51	0,7658	1,89
100	0,8071	0,8220	1,81	0,8049	2,08	0,81	1,45	0,8173	0,58	0,7995	2,73
101	0,7431	0,7477	0,61	0,7432	0,61	0,74	0,44	0,7465	0,16	0,7419	0,77
102	0,7565	0,7633	0,90	0,7584	0,65	0,76	0,61	0,7631	0,03	0,7581	0,69
103	0,8226	0,8435	2,48	0,8235	2,38	0,83	2,04	0,8413	0,26	0,8206	2,72
104	0,8186	0,8338	1,82	0,8186	1,82	0,82	1,51	0,8316	0,26	0,8159	2,14
105	0,757	0,7645	0,99	0,7593	0,68	0,76	0,67	0,7644	0,02	0,7592	0,70
106	0,7834	0,7900	0,83	0,7847	0,66	0,79	0,54	0,7889	0,13	0,7838	0,78
107	0,8287	0,8339	0,62	0,8305	0,40	0,83	0,24	0,8327	0,15	0,8292	0,56

108	0,83	0,8700	4,60	0,8694	0,07	0,87	0,07	0,8700	0,00	0,8694	0,07
109	0,7446	0,7764	4,10	0,7598	2,14	0,77	1,18	0,7689	0,97	0,7524	3,09
110	0,795	0,8240	3,51	0,8163	0,93	0,82	0,73	0,8223	0,20	0,8147	1,13
111	0,8503	0,8601	1,14	0,8496	1,22	0,85	1,09	0,8594	0,08	0,8484	1,36
112	0,847	0,8510	0,47	0,8480	0,36	0,85	0,23	0,8500	0,12	0,8469	0,49
113	0,7897	0,7906	0,12	0,7908	0,02	0,79	0,13	0,7898	0,10	0,7900	0,08
114	0,721	0,7227	0,23	0,7190	0,50	0,72	0,19	0,7204	0,32	0,7168	0,82
115	0,7368	0,7387	0,25	0,7360	0,36	0,74	0,27	0,7379	0,10	0,7353	0,45
e_{moy}			1.53		0.67		1.83		1.43		0.71

Tableau 4.10 : Valeurs des densités calculées des mélanges ternaires .

□ **Cas des mélanges multi-composants :**

N° mél	d exp	d _{arith} masse	e(%)	d _{arith} mol	e(%)	d _{arith} vol	e(%)	d _{geo} masse	e(%)	d _{geo} mol	e(%)
116	0,7945	0,8027	1,03	0,8025	1.00	0.8052	1.34	0,8012	0,84	0.8010	0.82
117	0,7802	0,7766	0,46	0,7793	0.11	0.7812	0.13	0,7750	0,67	0.7812	0.13
118	0,7889	0,7958	0,87	0,7942	0.67	0.7820	0.87	0,7948	0,74	0.7865	0.30
119	0,8221	0,8289	0,83	0,8255	0.41	0.8263	0.51	0,8277	0,68	0.8234	0.16
e_{moy}			0.79		0.54		0.71		0.73		0.35

N° mél	d exp	d _{geom} vol	e(%)	d _{cub} masse	e(%)	d _{cub} mol	e(%)	d _{cub} vol	e(%)	d _{log} masse	e(%)
116	0,7945	0.7943	0.02	0,8007	0,78	0.7932	0.16	0,7946	0,01	0,7997	0,65
117	0,7802	0.7808	0.08	0,7744	0,74	1.4420	0.23	0,7808	0,07	0,7733	0,88
118	0,7889	0.7892	0.04	0,7944	0,70	0,7890	0.12	0,7883	0,07	0,7937	0,61
119	0,8221	0.8223	0.02	0,8272	0,63	0.8302	0.98	0,8217	0,05	0,8264	0,52
e_{moy}			0.04		0.71		0.37		0.05		0.66

N° mél	d exp	d _{log} mol	e(%)	d _{log} vol	e(%)	d _{har} masse	e(%)	d _{har} mol	e(%)	d _{har} vol	e(%)
116	0,7945	0,7993	0,60	0,7935	0,12	0,7966	0,27	0,7959	0,18	0,7943	0,02
117	0,7802	0,7806	0,05	0,7595	2,65	0,7699	1,31	0,7950	1,89	0,7810	0,10
118	0,7889	0,7855	0,44	0,7883	0,07	0,7916	0,35	0,7716	2,19	0,7884	0,06
119	0,8221	0,8257	0,43	0,8262	0,50	0,8237	0,19	0,8179	0,50	0,8219	0,020
e_{moy}			0.38		0.83		0.53		1.19		0.05

Tableau 4.11 : Valeurs des densités calculées des mélanges multi-composants .

❖ **Comparaison entre les densités calculées et celles mesurées :**

Les écarts moyens obtenus entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales de la densité sont regroupés dans le tableau ci dessous:

Compositions	Massique (%)				Molaire (%)				Volumique (%)			
	bin	ter	Multi-compos	moy	bin	ter	Mut-compos	moy	bin	ter	Mut-compos	moy
e _{moy} (%) arithmétique	0.53	1.14	0.79	0.82	0.70	1.62	0.54	0.95	0.31	0.74	0.71	0.58
e _{moy} (%) géométrique	0.46	1.03	0.73	0.74	0.86	1.57	0.35	0.92	0.30	0.68	0.04	0.34
e _{moy} (%) cubique	0.44	0.99	0.71	0.71	0.85	1.56	0.37	0.92	0.32	0.68	0.05	0.35
e _{moy} (%) logarithmique	0.39	0.93	0.66	0.66	0.82	1.53	0.38	0.91	0.33	0.67	0.83	0.61
e _{moy} (%) harmonique	0.61	1.83	0.53	0.99	0.77	1.43	1.19	1.13	0.42	0.71	0.05	0.39

Tableau 4 .12 : Comparaison entre les densités calculées et celles mesurées .

La comparaison entre les densités mesurées expérimentalement et les valeurs des densités calculées à partir des règles de mélanges , montre que les écarts obtenus sont généralement faibles et ce pour toutes les moyennes . Nous remarquons tout de même que relativement les plus faibles écarts ont été enregistrés dans le cas où la composition est prise en pourcentages volumique pour les différentes moyennes.

Les résultats du tableau (4 .12) , montrent que la moyenne géométrique donne le plus faible écart . Ceci confirme ce qui a été déduit lors des travaux antérieures ([35]Berradj) .

III . 2 . L'indice de réfraction :

□ Pour tous les mélanges préparés , nous avons obtenu les résultats suivants :

N° mél	n_D^{20} exp	n_D^{20} arith masse	e(%)	n_D^{20} arith mol	e(%)	n_D^{20} arith vol	e(%)	n_D^{20} géom masse	e(%)	n_D^{20} géom mol	e(%)
1	1,4287	1,4331	0,31	1,4336	0,34	1,4330	0,30	1,4331	0,30	1,4336	0,34
2	1,4276	1,4287	0,08	1,4291	0,10	1,4287	0,08	1,4287	0,08	1,4291	0,10
3	1,4298	1,4371	0,51	1,4374	0,53	1,4371	0,51	1,4371	0,51	1,4374	0,53
4	1,4281	1,4378	0,68	1,4381	0,70	1,4378	0,68	1,4378	0,68	1,4381	0,70
5	1,4353	1,4367	0,10	1,4370	0,12	1,4367	0,10	1,4367	0,10	1,4370	0,12
6	1,4321	1,4388	0,47	1,4390	0,48	1,4388	0,47	1,4388	0,47	1,4390	0,48
7	1,4529	1,4623	0,65	1,4748	1,51	1,4583	0,37	1,4620	0,63	1,4746	1,49
8	1,4289	1,4347	0,41	1,4451	1,13	1,4321	0,22	1,4345	0,39	1,4448	1,11
9	1,4822	1,4883	0,41	1,4944	0,83	1,4858	0,24	1,4881	0,40	1,4943	0,82
10	1,4661	1,4711	0,34	1,4785	0,84	1,4694	0,22	1,4709	0,33	1,4783	0,83
11	1,4634	1,4710	0,52	1,4675	0,28	1,4694	0,41	1,4708	0,51	1,4674	0,27
12	1,4852	1,4888	0,24	1,4868	0,11	1,4879	0,18	1,4887	0,24	1,4867	0,10
13	1,4428	1,4529	0,70	1,4507	0,54	1,4518	0,62	1,4528	0,69	1,4506	0,54
14	1,4612	1,4661	0,33	1,4592	0,14	1,4649	0,25	1,4660	0,33	1,4591	0,14
15	1,4995	1,4995	0,00	1,4998	0,02	1,4995	0,00	1,4995	0,00	1,4998	0,02
16	1,5032	1,5025	0,05	1,5027	0,03	1,5025	0,05	1,5025	0,05	1,5027	0,03
17	1,4397	1,4418	0,15	1,4426	0,20	1,4404	0,05	1,4417	0,14	1,4425	0,19
18	1,4853	1,4868	0,10	1,4875	0,15	1,4855	0,01	1,4867	0,09	1,4874	0,14
19	1,4957	1,4945	0,08	1,4958	0,01	1,4945	0,08	1,4945	0,08	1,4958	0,01
20	1,4681	1,4663	0,12	1,4557	0,85	1,4651	0,21	1,4662	0,13	1,4555	0,85
21	1,4969	1,4952	0,12	1,4980	0,07	1,4951	0,12	1,4952	0,12	1,4980	0,07
22	1,5008	1,5008	0,00	1,5025	0,11	1,5008	0,00	1,5008	0,00	1,5025	0,11
23	1,4988	1,4980	0,05	1,5008	0,14	1,4980	0,06	1,4980	0,05	1,5008	0,14
24	1,4201	1,4277	0,54	1,4308	0,76	1,4273	0,51	1,4277	0,54	1,4308	0,75
25	1,4169	1,4207	0,27	1,4232	0,44	1,4205	0,25	1,4207	0,27	1,4232	0,44
26	1,4259	1,4353	0,66	1,4369	0,77	1,4350	0,64	1,4353	0,66	1,4369	0,77
27	1,4122	1,4104	0,13	1,4055	0,48	1,4078	0,31	1,4102	0,14	1,4053	0,49
28	1,4198	1,4198	0,00	1,4203	0,04	1,4195	0,02	1,4198	0,00	1,4203	0,04
29	1,4093	1,4177	0,60	1,4198	0,74	1,4162	0,49	1,4176	0,59	1,4197	0,74
30	1,4211	1,4314	0,72	1,4325	0,80	1,4305	0,66	1,4313	0,72	1,4325	0,80
31	1,3984	1,4027	0,31	1,4042	0,42	1,4016	0,23	1,4026	0,30	1,4041	0,41
32	1,3853	1,3837	0,12	1,3837	0,11	1,3836	0,12	1,3837	0,12	1,3837	0,11
33	1,3887	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18
34	1,3813	1,3811	0,01	1,3812	0,01	1,3811	0,02	1,3811	0,01	1,3811	0,01
35	1,4216	1,4159	0,40	1,4176	0,28	1,4107	0,77	1,4155	0,43	1,4171	0,32
36	1,4526	1,4525	0,01	1,4546	0,14	1,4448	0,54	1,4519	0,05	1,4540	0,10
37	1,4851	1,4853	0,02	1,4865	0,09	1,4809	0,28	1,4850	0,00	1,4862	0,07
38	1,4148	1,4154	0,04	1,4154	0,04	1,4135	0,09	1,4153	0,03	1,4153	0,03
39	1,423	1,4301	0,50	1,4301	0,50	1,4289	0,42	1,4301	0,50	1,4301	0,50
40	1,4078	1,3995	0,59	1,3995	0,59	1,3982	0,68	1,3994	0,60	1,3994	0,60
41	1,4347	1,4342	0,04	1,4346	0,01	1,4341	0,04	1,4342	0,04	1,4346	0,01
42	1,4291	1,4362	0,50	1,4377	0,60	1,4362	0,50	1,4362	0,50	1,4377	0,60

43	1,4622	1,4709	0,60	1,4857	1,61	1,4684	0,42	1,4707	0,58	1,4856	1,60
44	1,4618	1,4661	0,30	1,4752	0,92	1,4638	0,14	1,4659	0,28	1,4751	0,91
45	1,3859	1,3858	0,01	1,3853	0,04	1,3857	0,02	1,3858	0,01	1,3853	0,04
46	1,39	1,3894	0,05	1,3891	0,07	1,3893	0,05	1,3894	0,05	1,3891	0,07
47	1,3825	1,3826	0,01	1,3822	0,02	1,3825	0,00	1,3826	0,01	1,3822	0,02
48	1,4311	1,4309	0,01	1,4309	0,02	1,4309	0,01	1,4309	0,01	1,4309	0,02
49	1,3934	1,3908	0,19	1,3850	0,60	1,3895	0,28	1,3907	0,19	1,3850	0,60
50	1,4	1,3986	0,10	1,3941	0,42	1,3977	0,16	1,3986	0,10	1,3941	0,42
51	1,3883	1,3865	0,13	1,3841	0,30	1,3860	0,17	1,3865	0,13	1,3841	0,31
52	1,4044	1,4122	0,56	1,4126	0,58	1,4097	0,38	1,4120	0,54	1,4124	0,57
53	1,42	1,4296	0,67	1,4298	0,69	1,4281	0,57	1,4295	0,67	1,4297	0,68
54	1,3892	1,3926	0,24	1,3928	0,26	1,3910	0,13	1,3925	0,24	1,3927	0,25
55	1,4409	1,4498	0,62	1,4528	0,83	1,4410	0,01	1,4492	0,57	1,4522	0,78
56	1,4791	1,4842	0,34	1,4857	0,45	1,4791	0,00	1,4838	0,32	1,4854	0,43
57	1,402	1,4102	0,58	1,4125	0,75	1,4040	0,15	1,4097	0,55	1,4120	0,71
58	1,5021	1,5018	0,02	1,5019	0,01	1,5018	0,02	1,5018	0,02	1,5019	0,01
59	1,5003	1,5008	0,03	1,5008	0,04	1,5007	0,03	1,5008	0,03	1,5008	0,04
60	1,5029	1,5029	0,00	1,5029	0,00	1,5028	0,00	1,5029	0,00	1,5029	0,00
61	1,4798	1,4914	0,78	1,4921	0,83	1,4902	0,70	1,4913	0,78	1,4920	0,83
62	1,442	1,4539	0,83	1,4548	0,88	1,4526	0,74	1,4538	0,82	1,4546	0,88
63	1,4665	1,4759	0,64	1,4771	0,72	1,4740	0,51	1,4758	0,63	1,4769	0,71
64	1,4102	1,4091	0,08	1,4057	0,32	1,4087	0,11	1,4091	0,08	1,4057	0,32
65	1,4153	1,4147	0,04	1,4148	0,04	1,4142	0,08	1,4146	0,05	1,4148	0,04
66	1,411	1,4104	0,04	1,4105	0,03	1,4100	0,07	1,4104	0,04	1,4105	0,04
67	1,4494	1,4542	0,33	1,4528	0,23	1,4494	0,00	1,4538	0,30	1,4524	0,21
68	1,444	1,4478	0,26	1,4416	0,17	1,4397	0,30	1,4472	0,22	1,4410	0,21
69	1,4619	1,4649	0,20	1,4635	0,11	1,4627	0,06	1,4647	0,19	1,4633	0,09
70	1,4034	1,4038	0,03	1,4023	0,08	1,4020	0,10	1,4037	0,02	1,4022	0,09
71	1,388	1,3861	0,14	1,3841	0,28	1,3856	0,17	1,3860	0,14	1,3841	0,28
72	1,41	1,4087	0,09	1,4075	0,18	1,4086	0,10	1,4087	0,09	1,4075	0,18
73	1,4418	1,4517	0,69	1,4580	1,13	1,4464	0,32	1,4513	0,66	1,4576	1,09
74	1,4994	1,5010	0,11	1,5014	0,13	1,5010	0,11	1,5010	0,11	1,5014	0,13
75	1,4621	1,4679	0,40	1,4723	0,69	1,4653	0,22	1,4677	0,38	1,4720	0,68
76	1,4088	1,4074	0,10	1,4052	0,25	1,4072	0,12	1,4074	0,10	1,4052	0,26
77	1,4203	1,4202	0,01	1,4192	0,08	1,4200	0,02	1,4202	0,01	1,4192	0,08
78	1,4276	1,4269	0,05	1,4266	0,07	1,4269	0,05	1,4269	0,05	1,4266	0,07
79	1,4283	1,4277	0,04	1,4270	0,09	1,4278	0,04	1,4277	0,04	1,4270	0,09
80	1,4558	1,4606	0,33	1,4626	0,47	1,4559	0,01	1,4602	0,30	1,4622	0,44
81	1,4398	1,4398	0,00	1,4378	0,14	1,4317	0,56	1,4392	0,04	1,4372	0,18
82	1,461	1,4670	0,41	1,4785	1,20	1,4646	0,25	1,4668	0,40	1,4784	1,19
83	1,46	1,4640	0,27	1,4652	0,35	1,4618	0,12	1,4638	0,26	1,4649	0,34
84	1,4802	1,4865	0,43	1,4957	1,04	1,4846	0,30	1,4863	0,41	1,4956	1,04
85	1,466	1,4705	0,30	1,4790	0,89	1,4682	0,15	1,4703	0,29	1,4788	0,88
86	1,4372	1,4042	2,29	1,3984	2,70	1,4032	2,37	1,4042	2,30	1,3983	2,71
87	1,4228	1,4258	0,21	1,4250	0,15	1,4257	0,20	1,4258	0,21	1,4250	0,15
88	1,4312	1,4339	0,19	1,4341	0,20	1,4339	0,19	1,4339	0,19	1,4341	0,20
89	1,4989	1,4982	0,05	1,5000	0,07	1,4982	0,05	1,4982	0,05	1,5000	0,07
90	1,4366	1,4412	0,32	1,4324	0,29	1,4365	0,01	1,4409	0,30	1,4321	0,31

91	1,4223	1,4435	1,49	1,4424	1,41	1,4418	1,37	1,4434	1,48	1,4423	1,40
92	1,4444	1,4557	0,78	1,4627	1,27	1,4528	0,58	1,4554	0,76	1,4625	1,25
93	1,4487	1,4539	0,36	1,4524	0,25	1,4525	0,26	1,4538	0,35	1,4523	0,25
94	1,3963	1,3936	0,19	1,3916	0,33	1,3932	0,22	1,3936	0,20	1,3916	0,34
95	1,4119	1,4117	0,02	1,4037	0,58	1,4104	0,11	1,4116	0,02	1,4036	0,59
96	1,4018	1,4013	0,04	1,3949	0,49	1,4001	0,12	1,4012	0,04	1,3948	0,50
97	1,4332	1,4442	0,77	1,4463	0,92	1,4383	0,36	1,4438	0,74	1,4459	0,89
98	1,4472	1,4611	0,96	1,4683	1,46	1,4589	0,81	1,4609	0,95	1,4681	1,45
99	1,439	1,4454	0,45	1,4472	0,57	1,4407	0,12	1,4450	0,42	1,4468	0,54
100	1,463	1,4710	0,55	1,4747	0,80	1,4653	0,16	1,4706	0,52	1,4743	0,77
101	1,4155	1,4205	0,35	1,4217	0,44	1,4194	0,27	1,4204	0,35	1,4216	0,43
102	1,4229	1,4274	0,31	1,4294	0,46	1,4271	0,30	1,4273	0,31	1,4294	0,45
103	1,4712	1,4771	0,40	1,4853	0,96	1,4738	0,18	1,4769	0,38	1,4851	0,95
104	1,4693	1,4747	0,37	1,4806	0,77	1,4716	0,16	1,4744	0,35	1,4804	0,76
105	1,4256	1,4306	0,35	1,4331	0,53	1,4305	0,34	1,4306	0,35	1,4331	0,52
106	1,4392	1,4420	0,20	1,4438	0,32	1,4406	0,10	1,4419	0,19	1,4436	0,31
107	1,4726	1,4777	0,35	1,4779	0,36	1,4760	0,23	1,4776	0,34	1,4778	0,35
108	1,471	1,5003	1,99	1,5006	2,01	1,5003	1,99	1,5003	1,99	1,5009	2,01
109	1,424	1,4496	1,80	1,4505	1,86	1,4411	1,20	1,4490	1,75	1,4499	1,82
110	1,4442	1,4641	1,38	1,4672	1,59	1,4617	1,21	1,4639	1,36	1,4669	1,57
111	1,4877	1,4894	0,12	1,4942	0,44	1,4881	0,03	1,4893	0,11	1,4941	0,43
112	1,484	1,4861	0,14	1,4866	0,18	1,4847	0,05	1,4860	0,13	1,4865	0,17
113	1,4412	1,4465	0,37	1,4453	0,29	1,4452	0,28	1,4464	0,36	1,4452	0,28
114	1,4059	1,4108	0,35	1,4106	0,33	1,4086	0,19	1,4107	0,34	1,4104	0,32
115	1,4151	1,4157	0,04	1,4158	0,05	1,4152	0,01	1,4157	0,04	1,4158	0,05
116	1,4503	1,4559	0,39	1,4563	0,41	1,4524	0,14	1,4556	0,37	1,4560	0,22
117	1,4681	1,4670	0,07	1,4679	0,33	1,4776	0,65	1,4412	0,48	1,4596	0,58
118	1,4438	1,4489	0,35	1,4436	0,14	1,4555	0,81	1,4487	0,34	1,4329	0,75
119	1,4682	1,4727	0,31	1,4642	0,27	1,4578	0,71	1,4725	0,29	1,4717	0,24
e %			0,42		0,50		0,44		0,45		0,55

N°mél	n ²⁰ _D exp	n ²⁰ _D géom vol	e(%)	n ²⁰ _D cub masse	e(%)	n ²⁰ _D cub mol	e(%)	n ²⁰ _D cub vol	e(%)	n ²⁰ _D log masse	e(%)
1	1,4287	1,4330	0,30	1,4330	0,30	1,4336	0,34	1,4330	0,30	1,4330	0,30
2	1,4276	1,4287	0,08	1,4287	0,08	1,4290	0,10	1,4287	0,08	1,4287	0,08
3	1,4298	1,4371	0,51	1,4371	0,51	1,4374	0,53	1,4371	0,51	1,4371	0,51
4	1,4281	1,4378	0,68	1,4378	0,68	1,4381	0,70	1,4378	0,68	1,4378	0,68
5	1,4353	1,4367	0,10	1,4367	0,10	1,4370	0,12	1,4367	0,10	1,4367	0,10
6	1,4321	1,4388	0,47	1,4388	0,47	1,4390	0,48	1,4388	0,47	1,4388	0,47
7	1,4529	1,4579	0,35	1,4619	0,62	1,4744	1,48	1,4578	0,34	1,4617	0,60
8	1,4289	1,4319	0,21	1,4344	0,38	1,4447	1,11	1,4318	0,20	1,4342	0,37
9	1,4822	1,4856	0,23	1,4880	0,39	1,4943	0,81	1,4855	0,22	1,4879	0,38
10	1,4661	1,4692	0,21	1,4708	0,32	1,4782	0,83	1,4691	0,20	1,4707	0,31
11	1,4634	1,4692	0,40	1,4708	0,50	1,4673	0,27	1,4692	0,39	1,4707	0,50
12	1,4852	1,4878	0,18	1,4887	0,23	1,4866	0,10	1,4878	0,17	1,4886	0,23
13	1,4428	1,4517	0,62	1,4527	0,69	1,4505	0,54	1,4517	0,62	1,4527	0,68
14	1,4612	1,4648	0,24	1,4659	0,32	1,4591	0,15	1,4647	0,24	1,4659	0,32

15	1,4995	1,4995	0,00	1,4995	0,00	1,4998	0,02	1,4995	0,00	1,4995	0,00
16	1,5032	1,5025	0,05	1,5025	0,05	1,5027	0,03	1,5025	0,05	1,5025	0,05
17	1,4397	1,4402	0,04	1,4416	0,13	1,4424	0,19	1,4402	0,03	1,4415	0,13
18	1,4853	1,4853	0,00	1,4866	0,09	1,4873	0,14	1,4853	0,00	1,4866	0,08
19	1,4957	1,4945	0,08	1,4945	0,08	1,4958	0,01	1,4945	0,08	1,4945	0,08
20	1,4681	1,4649	0,22	1,4661	0,13	1,4555	0,86	1,4649	0,22	1,4660	0,14
21	1,4969	1,4951	0,12	1,4952	0,12	1,4980	0,07	1,4951	0,12	1,4952	0,12
22	1,5008	1,5008	0,00	1,5008	0,00	1,5025	0,11	1,5008	0,00	1,5008	0,00
23	1,4988	1,4980	0,06	1,4980	0,05	1,5008	0,14	1,4979	0,06	1,4980	0,05
24	1,4201	1,4273	0,51	1,4277	0,53	1,4308	0,75	1,4273	0,51	1,4277	0,53
25	1,4169	1,4205	0,25	1,4207	0,27	1,4232	0,44	1,4205	0,25	1,4207	0,27
26	1,4259	1,4350	0,64	1,4352	0,66	1,4369	0,77	1,4350	0,64	1,4352	0,65
27	1,4122	1,4077	0,32	1,4102	0,14	1,4053	0,49	1,4076	0,33	1,4101	0,15
28	1,4198	1,4195	0,02	1,4198	0,00	1,4203	0,04	1,4195	0,02	1,4198	0,00
29	1,4093	1,4161	0,48	1,4176	0,59	1,4196	0,73	1,4160	0,48	1,4175	0,58
30	1,4211	1,4304	0,65	1,4313	0,72	1,4325	0,80	1,4304	0,65	1,4313	0,72
31	1,3984	1,4016	0,23	1,4026	0,30	1,4041	0,41	1,4015	0,23	1,4025	0,30
32	1,3853	1,3836	0,12	1,3837	0,12	1,3837	0,11	1,3836	0,12	1,3837	0,12
33	1,3887	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18
34	1,3813	1,3811	0,02	1,3811	0,01	1,3811	0,01	1,3811	0,02	1,3811	0,01
35	1,4216	1,4103	0,80	1,4154	0,44	1,4170	0,33	1,4102	0,80	1,4151	0,46
36	1,4526	1,4442	0,58	1,4517	0,06	1,4538	0,09	1,4440	0,59	1,4513	0,09
37	1,4851	1,4805	0,31	1,4849	0,01	1,4861	0,07	1,4804	0,32	1,4847	0,02
38	1,4148	1,4134	0,10	1,4152	0,03	1,4152	0,03	1,4133	0,10	1,4151	0,02
39	1,423	1,4289	0,41	1,4300	0,49	1,4300	0,49	1,4288	0,41	1,4300	0,49
40	1,4078	1,3981	0,69	1,3993	0,60	1,3993	0,60	1,3981	0,69	1,3993	0,60
41	1,4347	1,4341	0,04	1,4342	0,04	1,4346	0,01	1,4341	0,04	1,4342	0,04
42	1,4291	1,4362	0,50	1,4362	0,50	1,4377	0,60	1,4362	0,50	1,4362	0,50
43	1,4622	1,4682	0,41	1,4706	0,58	1,4855	1,59	1,4681	0,40	1,4705	0,57
44	1,4618	1,4636	0,12	1,4658	0,28	1,4750	0,90	1,4635	0,12	1,4657	0,27
45	1,3859	1,3857	0,02	1,3853	0,04	1,3853	0,04	1,3857	0,02	1,3858	0,01
46	1,39	1,3893	0,05	1,3891	0,07	1,3891	0,07	1,3893	0,05	1,3894	0,05
47	1,3825	1,3825	0,00	1,3822	0,02	1,3822	0,02	1,3825	0,00	1,3826	0,01
48	1,4311	1,4309	0,01	1,4309	0,02	1,4309	0,02	1,4309	0,01	1,4309	0,01
49	1,3934	1,3895	0,28	1,3850	0,61	1,3850	0,61	1,3894	0,29	1,3906	0,20
50	1,4	1,3976	0,17	1,3940	0,43	1,3940	0,43	1,3976	0,17	1,3985	0,11
51	1,3883	1,3859	0,17	1,3840	0,31	1,3840	0,31	1,3859	0,17	1,3864	0,13
52	1,4044	1,4096	0,37	1,4123	0,57	1,4123	0,57	1,4095	0,36	1,4119	0,53
53	1,42	1,4280	0,56	1,4297	0,68	1,4297	0,68	1,4280	0,56	1,4294	0,66
54	1,3892	1,3909	0,12	1,3927	0,25	1,3927	0,25	1,3908	0,12	1,3924	0,23
55	1,4409	1,4403	0,04	1,4519	0,77	1,4519	0,77	1,4401	0,05	1,4485	0,53
56	1,4791	1,4786	0,03	1,4853	0,42	1,4853	0,42	1,4785	0,04	1,4835	0,30
57	1,402	1,4036	0,12	1,4118	0,70	1,4118	0,70	1,4035	0,11	1,4092	0,51
58	1,5021	1,5018	0,02	1,5019	0,01	1,5019	0,01	1,5018	0,02	1,5018	0,02
59	1,5003	1,5007	0,03	1,5008	0,04	1,5008	0,04	1,5007	0,03	1,5008	0,03
60	1,5029	1,5028	0,00	1,5029	0,00	1,5029	0,00	1,5028	0,00	1,5029	0,00
61	1,4798	1,4901	0,69	1,4920	0,82	1,4920	0,82	1,4900	0,69	1,4912	0,77
62	1,442	1,4525	0,73	1,4546	0,87	1,4546	0,87	1,4525	0,73	1,4537	0,81

63	1,4665	1,4739	0,50	1,4769	0,71	1,4769	0,71	1,4738	0,50	1,4756	0,62
64	1,4102	1,4086	0,11	1,4057	0,32	1,4057	0,32	1,4086	0,11	1,4090	0,08
65	1,4153	1,4142	0,08	1,4148	0,04	1,4148	0,04	1,4142	0,08	1,4146	0,05
66	1,411	1,4100	0,07	1,4105	0,04	1,4105	0,04	1,4099	0,07	1,4104	0,05
67	1,4494	1,4490	0,03	1,4523	0,20	1,4523	0,20	1,4489	0,03	1,4534	0,27
68	1,444	1,4391	0,34	1,4408	0,22	1,4408	0,22	1,4389	0,35	1,4465	0,18
69	1,4619	1,4625	0,04	1,4632	0,09	1,4632	0,09	1,4624	0,04	1,4644	0,17
70	1,4034	1,4019	0,10	1,4022	0,09	1,4022	0,09	1,4019	0,11	1,4036	0,02
71	1,388	1,3856	0,17	1,3841	0,28	1,3841	0,28	1,3856	0,17	1,3860	0,14
72	1,41	1,4086	0,10	1,4075	0,18	1,4075	0,18	1,4086	0,10	1,4087	0,09
73	1,4418	1,4460	0,29	1,4574	1,08	1,4574	1,08	1,4458	0,28	1,4508	0,63
74	1,4994	1,5010	0,11	1,5014	0,13	1,5014	0,13	1,5010	0,11	1,5010	0,11
75	1,4621	1,4651	0,20	1,4719	0,67	1,4719	0,67	1,4650	0,20	1,4674	0,36
76	1,4088	1,4072	0,12	1,4052	0,26	1,4052	0,26	1,4071	0,12	1,4074	0,10
77	1,4203	1,4200	0,02	1,4192	0,08	1,4192	0,08	1,4200	0,02	1,4202	0,01
78	1,4276	1,4269	0,05	1,4266	0,07	1,4266	0,07	1,4269	0,05	1,4269	0,05
79	1,4283	1,4278	0,04	1,4270	0,09	1,4270	0,09	1,4278	0,04	1,4277	0,04
80	1,4558	1,4555	0,02	1,4621	0,43	1,4621	0,43	1,4554	0,03	1,4598	0,28
81	1,4398	1,4310	0,61	1,4370	0,20	1,4370	0,20	1,4308	0,62	1,4386	0,09
82	1,461	1,4644	0,23	1,4783	1,18	1,4783	1,18	1,4644	0,23	1,4666	0,38
83	1,46	1,4616	0,11	1,4649	0,33	1,4649	0,33	1,4615	0,10	1,4635	0,24
84	1,4802	1,4844	0,29	1,4956	1,04	1,4956	1,04	1,4844	0,28	1,4862	0,40
85	1,466	1,4680	0,14	1,4788	0,87	1,4788	0,87	1,4679	0,13	1,4701	0,28
86	1,4372	1,4031	2,37	1,4041	0,33	1,3983	2,71	1,4031	2,37	1,4041	2,30
87	1,4228	1,4257	0,20	1,4258	0,03	1,4250	0,15	1,4257	0,20	1,4258	0,21
88	1,4312	1,4339	0,19	1,4339	0,19	1,4341	0,20	1,4339	0,19	1,4339	0,19
89	1,4989	1,4982	0,05	1,4982	0,05	1,5000	0,07	1,4981	0,05	1,4982	0,05
90	1,4366	1,4361	0,03	1,4408	0,29	1,4320	0,32	1,4360	0,04	1,4406	0,28
91	1,4223	1,4416	1,36	1,4434	1,48	1,4422	1,40	1,4416	1,36	1,4433	1,47
92	1,4444	1,4526	0,57	1,4553	0,76	1,4624	1,24	1,4525	0,56	1,4552	0,75
93	1,4487	1,4524	0,25	1,4538	0,35	1,4522	0,24	1,4523	0,25	1,4537	0,34
94	1,3963	1,3931	0,23	1,3936	0,20	1,3916	0,34	1,3931	0,23	1,3935	0,20
95	1,4119	1,4103	0,12	1,4116	0,02	1,4036	0,59	1,4102	0,12	1,4115	0,03
96	1,4018	1,4000	0,13	1,4012	0,04	1,3948	0,50	1,3999	0,13	1,4011	0,05
97	1,4332	1,4379	0,32	1,4437	0,73	1,4457	0,87	1,4377	0,31	1,4434	0,71
98	1,4472	1,4587	0,80	1,4608	0,94	1,4681	1,44	1,4586	0,79	1,4607	0,93
99	1,439	1,4403	0,09	1,4449	0,41	1,4467	0,53	1,4402	0,08	1,4446	0,39
100	1,463	1,4649	0,13	1,4704	0,51	1,4742	0,77	1,4647	0,12	1,4702	0,49
101	1,4155	1,4193	0,27	1,4204	0,35	1,4216	0,43	1,4193	0,27	1,4204	0,34
102	1,4229	1,4271	0,29	1,4273	0,31	1,4294	0,45	1,4271	0,29	1,4273	0,31
103	1,4712	1,4736	0,16	1,4768	0,38	1,4851	0,94	1,4735	0,15	1,4766	0,37
104	1,4693	1,4713	0,14	1,4744	0,34	1,4803	0,75	1,4712	0,13	1,4742	0,33
105	1,4256	1,4305	0,34	1,4306	0,35	1,4331	0,52	1,4305	0,34	1,4306	0,35
106	1,4392	1,4405	0,09	1,4418	0,18	1,4436	0,30	1,4404	0,08	1,4417	0,18
107	1,4726	1,4759	0,22	1,4775	0,33	1,4777	0,35	1,4758	0,22	1,4774	0,33
108	1,471	1,5003	1,99	1,5003	1,99	1,5006	2,01	1,5003	1,99	1,5003	1,99
109	1,424	1,4404	1,15	1,4487	1,74	1,4496	1,80	1,4402	1,14	1,4483	1,71
110	1,4442	1,4615	1,20	1,4638	1,36	1,4669	1,57	1,4614	1,19	1,4637	1,35

111	1,4877	1,4880	0,02	1,4893	0,11	1,4941	0,43	1,4880	0,02	1,4892	0,10
112	1,484	1,4845	0,04	1,4859	0,13	1,4864	0,16	1,4845	0,03	1,4858	0,12
113	1,4412	1,4451	0,27	1,4463	0,36	1,4452	0,27	1,4450	0,27	1,4462	0,35
114	1,4059	1,4085	0,18	1,4106	0,34	1,4104	0,32	1,4085	0,18	1,4105	0,33
115	1,4151	1,4152	0,00	1,4157	0,04	1,4158	0,05	1,4151	0,00	1,4156	0,04
116	1,4503	1,4556	0,37	1,4565	0,43	1,4612	0,75	1,4202	0,42	1,4564	0,42
117	1,4681	1,4754	0,50	1,4588	0,63	1,4801	0,82	1,4734	0,53	1,4763	0,56
118	1,4438	1,4500	0,43	1,4500	0,52	1,4549	0,77	1,4497	0,41	1,4490	0,36
119	1,4682	1,4776	0,64	1,4752	0,48	1,4790	0,74	1,4749	0,46	1,4757	0,51
e %			0,41		0,49		0,66		0,40		0,48

N° mél	n_D^{20} exp	n_D^{20} log mol	e(%)	n_D^{20} log vol	e(%)	n_D^{20} har masse	e(%)	n_D^{20} har mol	e(%)	n_D^{20} har vol	e(%)
1	1,4287	1,4336	0,34	1,4330	0,30	1,4330	0,30	1,4336	0,34	1,4330	0,30
2	1,4276	1,4290	0,10	1,4287	0,08	1,4287	0,08	1,4290	0,10	1,4287	0,08
3	1,4298	1,4374	0,53	1,4371	0,51	1,4371	0,51	1,4374	0,53	1,4371	0,51
4	1,4281	1,4381	0,70	1,4378	0,68	1,4378	0,68	1,4381	0,70	1,4378	0,68
5	1,4353	1,4370	0,12	1,4367	0,10	1,4367	0,10	1,4370	0,12	1,4367	0,10
6	1,4321	1,4390	0,48	1,4388	0,47	1,4388	0,47	1,4390	0,48	1,4388	0,47
7	1,4529	1,4743	1,47	1,4576	0,32	1,4610	0,56	1,4737	1,43	1,4569	0,28
8	1,4289	1,4445	1,09	1,4317	0,19	1,4338	0,34	1,4439	1,05	1,4313	0,17
9	1,4822	1,4942	0,81	1,4854	0,21	1,4875	0,36	1,4939	0,79	1,4849	0,18
10	1,4661	1,4781	0,82	1,4690	0,20	1,4703	0,29	1,4777	0,79	1,4686	0,17
11	1,4634	1,4673	0,26	1,4691	0,39	1,4704	0,48	1,4670	0,24	1,4688	0,37
12	1,4852	1,4866	0,09	1,4877	0,17	1,4885	0,22	1,4864	0,08	1,4876	0,16
13	1,4428	1,4505	0,53	1,4516	0,61	1,4525	0,67	1,4503	0,52	1,4514	0,60
14	1,4612	1,4590	0,15	1,4647	0,24	1,4657	0,31	1,4588	0,16	1,4644	0,22
15	1,4995	1,4998	0,02	1,4995	0,00	1,4995	0,00	1,4998	0,02	1,4995	0,00
16	1,5032	1,5027	0,03	1,5025	0,05	1,5025	0,05	1,5027	0,03	1,5025	0,05
17	1,4397	1,4423	0,18	1,4401	0,03	1,4412	0,10	1,4420	0,16	1,4398	0,01
18	1,4853	1,4872	0,13	1,4852	0,01	1,4863	0,07	1,4870	0,11	1,4849	0,03
19	1,4957	1,4958	0,01	1,4945	0,08	1,4945	0,08	1,4958	0,01	1,4945	0,08
20	1,4681	1,4554	0,86	1,4648	0,22	1,4658	0,16	1,4552	0,88	1,4645	0,24
21	1,4969	1,4980	0,07	1,4951	0,12	1,4951	0,12	1,4979	0,07	1,4951	0,12
22	1,5008	1,5025	0,11	1,5008	0,00	1,5008	0,00	1,5025	0,11	1,5007	0,00
23	1,4988	1,5008	0,14	1,4979	0,06	1,4980	0,06	1,5008	0,13	1,4979	0,06
24	1,4201	1,4308	0,75	1,4273	0,51	1,4276	0,53	1,4307	0,75	1,4272	0,50
25	1,4169	1,4231	0,44	1,4205	0,25	1,4207	0,27	1,4231	0,44	1,4204	0,25
26	1,4259	1,4369	0,77	1,4350	0,64	1,4352	0,65	1,4369	0,77	1,4350	0,64
27	1,4122	1,4052	0,50	1,4075	0,33	1,4098	0,17	1,4049	0,52	1,4072	0,35
28	1,4198	1,4203	0,04	1,4195	0,02	1,4198	0,00	1,4203	0,03	1,4195	0,02
29	1,4093	1,4196	0,73	1,4160	0,47	1,4173	0,57	1,4194	0,71	1,4158	0,46
30	1,4211	1,4324	0,80	1,4303	0,65	1,4312	0,71	1,4323	0,79	1,4302	0,64
31	1,3984	1,4041	0,41	1,4015	0,22	1,4024	0,29	1,4039	0,39	1,4014	0,21
32	1,3853	1,3837	0,11	1,3836	0,12	1,3837	0,12	1,3837	0,11	1,3836	0,12
33	1,3887	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18	1,3862	0,18

34	1,3813	1,3811	0,01	1,3811	0,02	1,3811	0,01	1,3811	0,01	1,3811	0,02
35	1,4216	1,4167	0,35	1,4099	0,82	1,4143	0,52	1,4158	0,41	1,4092	0,87
36	1,4526	1,4535	0,06	1,4437	0,62	1,4502	0,17	1,4523	0,02	1,4425	0,70
37	1,4851	1,4859	0,05	1,4802	0,33	1,4841	0,07	1,4853	0,01	1,4794	0,38
38	1,4148	1,4151	0,02	1,4133	0,11	1,4149	0,01	1,4149	0,01	1,4130	0,13
39	1,423	1,4300	0,49	1,4288	0,41	1,4298	0,48	1,4298	0,48	1,4286	0,40
40	1,4078	1,3993	0,60	1,3980	0,69	1,3991	0,62	1,3991	0,62	1,3979	0,70
41	1,4347	1,4346	0,01	1,4341	0,04	1,4342	0,04	1,4346	0,01	1,4341	0,04
42	1,4291	1,4377	0,60	1,4362	0,50	1,4362	0,50	1,4377	0,60	1,4362	0,50
43	1,4622	1,4854	1,59	1,4680	0,39	1,4700	0,54	1,4851	1,56	1,4675	0,36
44	1,4618	1,4749	0,89	1,4634	0,11	1,4653	0,24	1,4745	0,87	1,4630	0,08
45	1,3859	1,3853	0,04	1,3857	0,02	1,3858	0,01	1,3853	0,04	1,3856	0,02
46	1,39	1,3890	0,07	1,3893	0,05	1,3893	0,05	1,3890	0,07	1,3893	0,05
47	1,3825	1,3822	0,02	1,3825	0,00	1,3826	0,00	1,3822	0,02	1,3825	0,00
48	1,4311	1,4309	0,02	1,4309	0,01	1,4309	0,01	1,4309	0,02	1,4309	0,01
49	1,3934	1,3849	0,61	1,3894	0,29	1,3904	0,21	1,3848	0,61	1,3892	0,30
50	1,4	1,3940	0,43	1,3976	0,17	1,3984	0,12	1,3939	0,44	1,3975	0,18
51	1,3883	1,3840	0,31	1,3859	0,17	1,3864	0,14	1,3840	0,31	1,3858	0,18
52	1,4044	1,4122	0,56	1,4094	0,36	1,4116	0,51	1,4119	0,53	1,4091	0,33
53	1,42	1,4296	0,68	1,4279	0,56	1,4292	0,65	1,4294	0,66	1,4277	0,54
54	1,3892	1,3926	0,24	1,3908	0,11	1,3921	0,21	1,3924	0,23	1,3906	0,10
55	1,4409	1,4515	0,74	1,4397	0,09	1,4472	0,44	1,4502	0,65	1,4383	0,18
56	1,4791	1,4851	0,40	1,4782	0,06	1,4827	0,25	1,4844	0,36	1,4773	0,12
57	1,402	1,4115	0,68	1,4032	0,09	1,4082	0,44	1,4105	0,60	1,4024	0,03
58	1,5021	1,5019	0,01	1,5018	0,02	1,5018	0,02	1,5019	0,01	1,5018	0,02
59	1,5003	1,5008	0,04	1,5007	0,03	1,5008	0,03	1,5008	0,04	1,5007	0,03
60	1,5029	1,5029	0,00	1,5028	0,00	1,5028	0,00	1,5029	0,00	1,5028	0,00
61	1,4798	1,4919	0,82	1,4899	0,69	1,4910	0,76	1,4917	0,80	1,4897	0,67
62	1,442	1,4545	0,87	1,4524	0,72	1,4534	0,79	1,4543	0,85	1,4522	0,71
63	1,4665	1,4768	0,70	1,4737	0,49	1,4753	0,60	1,4764	0,68	1,4733	0,47
64	1,4102	1,4057	0,32	1,4086	0,11	1,4090	0,09	1,4056	0,32	1,4085	0,12
65	1,4153	1,4147	0,04	1,4142	0,08	1,4146	0,05	1,4147	0,04	1,4141	0,08
66	1,411	1,4105	0,04	1,4099	0,08	1,4103	0,05	1,4104	0,04	1,4099	0,08
67	1,4494	1,4520	0,18	1,4486	0,05	1,4526	0,22	1,4512	0,12	1,4478	0,11
68	1,444	1,4404	0,25	1,4385	0,38	1,4453	0,09	1,4391	0,34	1,4373	0,47
69	1,4619	1,4630	0,08	1,4623	0,03	1,4640	0,14	1,4626	0,05	1,4618	0,00
70	1,4034	1,4021	0,09	1,4018	0,11	1,4034	0,00	1,4019	0,11	1,4017	0,12
71	1,388	1,3841	0,28	1,3856	0,18	1,3860	0,15	1,3840	0,29	1,3855	0,18
72	1,41	1,4075	0,18	1,4086	0,10	1,4086	0,10	1,4075	0,18	1,4086	0,10
73	1,4418	1,4571	1,06	1,4455	0,26	1,4499	0,56	1,4563	1,00	1,4447	0,20
74	1,4994	1,5014	0,13	1,5010	0,11	1,5010	0,11	1,5014	0,13	1,5010	0,11
75	1,4621	1,4718	0,66	1,4648	0,19	1,4669	0,33	1,4713	0,63	1,4643	0,15
76	1,4088	1,4052	0,26	1,4071	0,12	1,4074	0,10	1,4052	0,26	1,4071	0,12
77	1,4203	1,4191	0,08	1,4200	0,02	1,4202	0,01	1,4191	0,08	1,4200	0,02
78	1,4276	1,4266	0,07	1,4269	0,05	1,4269	0,05	1,4266	0,07	1,4269	0,05
79	1,4283	1,4270	0,09	1,4278	0,04	1,4277	0,04	1,4270	0,09	1,4277	0,04
80	1,4558	1,4618	0,41	1,4551	0,05	1,4590	0,22	1,4610	0,36	1,4543	0,11
81	1,4398	1,4366	0,23	1,4304	0,65	1,4373	0,17	1,4353	0,31	1,4292	0,74

82	1,461	1,4782	1,18	1,4642	0,22	1,4662	0,36	1,4778	1,15	1,4638	0,19
83	1,46	1,4647	0,32	1,4613	0,09	1,4631	0,21	1,4642	0,29	1,4609	0,06
84	1,4802	1,4955	1,03	1,4843	0,27	1,4859	0,38	1,4953	1,02	1,4839	0,25
85	1,466	1,4787	0,86	1,4678	0,12	1,4697	0,25	1,4783	0,84	1,4674	0,09
86	1,4372	1,4388	0,11	1,4398	0,18	1,4402	0,21	1,4385	0,09	1,4404	0,22
87	1,4228	1,4250	0,15	1,4257	0,20	1,4257	0,21	1,4249	0,15	1,4256	0,20
88	1,4312	1,4341	0,20	1,4339	0,19	1,4339	0,19	1,4341	0,20	1,4339	0,19
89	1,4989	1,5000	0,07	1,4981	0,05	1,4982	0,05	1,5000	0,07	1,4981	0,05
90	1,4366	1,4318	0,34	1,4358	0,06	1,4399	0,23	1,4311	0,38	1,4351	0,11
91	1,4223	1,4422	1,40	1,4415	1,35	1,4430	1,45	1,4419	1,38	1,4412	1,33
92	1,4444	1,4622	1,23	1,4523	0,55	1,4547	0,71	1,4618	1,20	1,4519	0,52
93	1,4487	1,4522	0,24	1,4522	0,24	1,4535	0,33	1,4519	0,22	1,4520	0,23
94	1,3963	1,3916	0,34	1,3931	0,23	1,3935	0,20	1,3915	0,34	1,3931	0,23
95	1,4119	1,4035	0,59	1,4102	0,12	1,4113	0,04	1,4033	0,61	1,4100	0,13
96	1,4018	1,3948	0,50	1,3999	0,14	1,4010	0,06	1,3946	0,51	1,3997	0,15
97	1,4332	1,4454	0,85	1,4374	0,29	1,4425	0,65	1,4445	0,79	1,4365	0,23
98	1,4472	1,4679	1,43	1,4585	0,78	1,4603	0,91	1,4676	1,41	1,4582	0,76
99	1,439	1,4464	0,52	1,4399	0,06	1,4439	0,34	1,4456	0,46	1,4392	0,01
100	1,463	1,4739	0,75	1,4644	0,10	1,4693	0,43	1,4731	0,69	1,4635	0,03
101	1,4155	1,4216	0,43	1,4192	0,26	1,4202	0,33	1,4214	0,42	1,4191	0,25
102	1,4229	1,4293	0,45	1,4271	0,29	1,4273	0,31	1,4293	0,45	1,4270	0,29
103	1,4712	1,4849	0,93	1,4733	0,14	1,4761	0,33	1,4845	0,91	1,4727	0,10
104	1,4693	1,4802	0,74	1,4711	0,12	1,4737	0,30	1,4798	0,71	1,4705	0,08
105	1,4256	1,4331	0,52	1,4305	0,34	1,4306	0,35	1,4330	0,52	1,4305	0,34
106	1,4392	1,4435	0,30	1,4403	0,08	1,4414	0,16	1,4431	0,27	1,4401	0,06
107	1,4726	1,4776	0,34	1,4757	0,21	1,4771	0,31	1,4774	0,32	1,4754	0,19
108	1,471	1,5006	2,01	1,5003	1,99	1,5003	1,99	1,5006	2,01	1,5003	1,99
109	1,424	1,4492	1,77	1,4398	1,11	1,4470	1,62	1,4479	1,68	1,4385	1,02
110	1,4442	1,4667	1,56	1,4612	1,18	1,4632	1,31	1,4662	1,52	1,4608	1,15
111	1,4877	1,4941	0,43	1,4879	0,01	1,4890	0,09	1,4939	0,42	1,4876	0,00
112	1,484	1,4864	0,16	1,4844	0,03	1,4856	0,10	1,4861	0,14	1,4841	0,00
113	1,4412	1,4451	0,27	1,4450	0,26	1,4460	0,33	1,4448	0,25	1,4447	0,24
114	1,4059	1,4103	0,31	1,4084	0,18	1,4103	0,31	1,4100	0,29	1,4081	0,16
115	1,4151	1,4158	0,05	1,4151	0,00	1,4156	0,03	1,4157	0,04	1,4151	0,00
116	1,4503	1,4557	0,37	1,4518	0,10	1,4548	0,31	1,4550	0,32	1,4512	0,06
117	1,4681	1,4787	0,72	1,4768	0,59	1,4760	0,54	1,4772	0,62	1,4734	0,36
118	1,4438	1,4682	1,69	1,4493	0,38	1,4480	0,29	1,4355	0,57	1,4365	0,51
119	1,4682	1,4772	0,61	1,4506	1,20	1,4717	0,24	1,4620	0,42	1,4518	1,11
e%			0.68		0.43		0.42		0.58		0.40

Tableau 4. 13 : Valeurs des indices de réfraction obtenues par calcul .

Dans le tableau qui suit tableau (4 .14) nous résumons les différents écarts moyens obtenus en comparant les indices de réfraction expérimentaux et ceux calculés par les différentes règles de mélanges .

Compositions	Massique (%)				Molaire (%)				Volumique (%)			
	bin	ter	Multi-compos	moy	bin	ter	Mut-compos	moy	bin	ter	Mut-compos	moy
e_{moy} (%) arithmétique	0.27	0.5	0.28	0.35	0.40	0.61	0.29	0.43	0.22	0.38	0.57	0.39
e_{moy} (%) géométrique	0.26	0.49	0.37	0.37	0.39	0.61	0.45	0.48	0.23	0.37	0.48	0.36
e_{moy} (%) cubique	0.33	0.48	0.51	0.44	0.39	0.61	0.77	0.59	0.23	0.37	0.45	0.35
e_{moy} (%) logarithmique	0.26	0.48	0.46	0.40	0.39	0.60	0.76	0.58	0.23	0.37	0.56	0.38
e_{moy} (%) harmonique	0.25	0.46	0.34	0.35	0.39	0.59	0.48	0.48	0.23	0.35	0.48	0.35

Tableau 4 .14 : Comparaison entre les indice de réfraction calculés et ceux mesurés .

D'après les résultats du tableau ci-dessus , on remarque que les écarts enregistrés entre les valeurs des indices de réfraction calculés et ceux mesurés expérimentalement sont faibles pour toutes les moyennes utilisées . Cependant, des écarts plus faibles sont obtenues en pondérant les indices en pourcentages volumiques .

Les moyennes qui donnent une estimation meilleure , sont les moyenne géométrique, cubique et harmonique combinées aux pourcentages volumiques .

III . 3 . L a Viscosité :

□ Pour tous les mélanges préparés , nous avons obtenu les résultats suivants :

N° mél	v exp	v arith masse	e(%)	v arith mol	e(%)	v arith vol	e(%)	v géom masse	e(%)	v géom mol	e(%)
1	1,1	1,12	2,23	1,12	2,06	1,12	2,25	1,12	2,22	1,12	2,05
2	1,68	1,14	32,12	1,14	32,19	1,14	32,11	1,14	32,12	1,14	32,20
3	1,21	1,11	8,28	1,11	8,37	1,11	8,27	1,11	8,29	1,11	8,38
4	1,11	1,22	9,60	1,20	7,68	1,22	9,50	1,21	9,35	1,19	7,44
5	1,3	1,28	1,69	1,26	2,96	1,28	1,75	1,28	1,84	1,26	3,14
6	1,31	1,16	11,55	1,14	12,68	1,16	11,61	1,16	11,71	1,14	12,81
7	0,83	0,96	16,25	0,90	8,01	0,99	18,92	0,95	14,45	0,88	6,43
8	1,01	1,12	10,47	1,06	4,84	1,13	11,89	1,11	9,46	1,05	3,52
9	0,75	0,82	9,75	0,79	5,27	0,84	11,56	0,81	8,61	0,78	4,53
10	1,11	1,02	7,89	0,96	13,68	1,04	6,53	1,00	9,82	0,94	15,48
11	0,91	0,92	1,63	0,94	3,74	0,93	2,60	0,92	0,83	0,94	2,93
12	0,79	0,82	4,37	0,84	5,81	0,83	5,01	0,82	3,86	0,83	5,22
13	1,02	1,03	0,64	1,04	1,86	1,03	1,22	1,02	0,14	1,03	1,42
14	1,28	1,23	3,63	1,20	6,36	1,23	4,12	1,23	3,88	1,20	6,60
15	0,78	0,76	2,06	0,76	2,26	0,76	2,05	0,76	2,06	0,76	2,27
16	0,74	0,75	0,81	0,74	0,63	0,75	0,82	0,75	0,81	0,74	0,63
17	1,17	1,05	10,24	1,05	10,68	1,06	9,47	1,04	11,12	1,03	11,59
18	0,7	0,76	9,18	0,76	8,57	0,77	10,41	0,76	7,89	0,75	7,33
19	0,99	1,02	2,73	0,94	5,18	1,02	2,86	0,99	0,15	0,91	7,91
20	1,26	1,34	6,39	1,34	6,09	1,34	6,36	1,34	6,39	1,34	6,09
21	1,12	1,21	7,72	1,05	6,29	1,21	7,87	1,19	6,26	1,03	8,32
22	0,85	0,89	4,89	0,80	6,13	0,89	5,08	0,87	2,89	0,79	7,05
23	0,95	1,05	10,33	0,89	6,41	1,05	10,56	1,03	7,93	0,87	8,18
24	1,2	1,16	3,34	1,14	4,63	1,16	3,18	1,16	3,41	1,14	4,69
25	1,19	1,19	0,38	1,18	0,64	1,20	0,48	1,19	0,33	1,18	0,70
26	1,2	1,12	6,46	1,11	7,13	1,12	6,36	1,12	6,50	1,11	7,16
27	0,73	0,94	28,46	0,86	18,08	0,90	23,01	0,88	20,81	0,81	10,40
28	1,25	1,24	0,57	1,25	0,34	1,24	0,68	1,24	0,60	1,25	0,37
29	0,8	0,87	8,73	0,89	11,41	0,85	6,72	0,85	6,40	0,87	9,13
30	1,02	1,01	0,75	1,02	0,42	1,00	1,70	1,00	1,81	1,01	0,53
31	0,65	0,71	9,76	0,73	12,22	0,70	8,08	0,70	7,73	0,72	10,00
32	0,45	0,45	0,04	0,45	0,07	0,45	0,02	0,45	0,05	0,45	0,08
33	0,43	0,44	3,21	0,44	3,20	0,44	3,23	0,44	3,21	0,44	3,19
34	0,46	0,46	0,89	0,46	0,91	0,46	0,88	0,46	0,90	0,46	0,91
35	0,46	0,51	11,52	0,52	12,43	0,50	8,54	0,51	9,96	0,51	10,82
36	0,52	0,61	16,87	0,61	17,93	0,59	13,04	0,60	15,03	0,60	16,11
37	0,64	0,69	8,27	0,70	8,72	0,68	6,46	0,69	7,47	0,69	7,96
38	0,63	0,79	25,41	0,79	25,41	0,77	21,60	0,75	19,53	0,75	19,53
39	0,91	0,98	7,40	0,98	7,40	0,96	5,74	0,95	4,93	0,95	4,93
40	0,5	0,59	17,60	0,59	17,60	0,57	14,39	0,56	12,43	0,56	12,43
41	1,94	2,17	12,04	1,97	1,56	2,19	12,90	2,09	7,50	1,89	2,68
42	1,79	2,05	14,74	1,66	7,08	2,06	15,30	1,93	7,95	1,56	12,66
43	1,17	1,80	53,89	1,32	12,71	1,88	60,87	1,61	37,23	1,17	0,10
44	1,19	1,56	30,77	1,33	12,17	1,61	35,55	1,44	20,87	1,23	3,30

45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	3,37	2,75	18,40	2,74	18,69	2,75	0,00	2,74	18,56	2,73	18,89
49	0,91	1,02	11,65	0,74	19,00	0,96	5,88	0,83	9,15	0,64	29,95
50	0,78	0,87	11,18	0,77	1,60	0,85	2,30	0,82	4,79	0,73	6,71
51	1,01	0,62	38,61	0,57	43,56	0,61	1,61	0,59	41,58	0,55	45,54
52	0,99	0,81	18,18	0,82	17,17	0,79	2,47	0,78	21,21	0,78	21,21
53	0,99	0,99	0,30	1,00	0,70	0,98	1,01	0,97	2,32	0,98	1,31
54	0,56	0,61	8,93	0,61	8,93	0,59	3,28	0,58	3,57	0,59	5,36
55	0,55	0,62	27,05	0,63	25,87	0,60	3,23	0,62	27,05	0,62	27,05
56	0,66	0,70	5,90	0,70	5,90	0,69	1,43	0,69	4,39	0,70	5,90
57	0,5	0,54	8,87	0,54	8,87	0,52	3,70	0,53	6,85	0,54	8,87
58	0,71	0,71	0,14	0,71	0,14	0,71	0,00	0,71	0,14	0,71	0,14
59	0,7	0,69	1,00	0,69	1,00	0,69	0,00	0,69	1,00	0,69	1,00
60	0,73	0,73	0,54	0,73	0,54	0,73	0,00	0,73	0,54	0,73	0,54
61	0,75	0,81	8,00	0,80	6,67	0,82	1,23	0,80	6,67	0,80	6,67
62	0,98	1,02	4,08	1,02	4,08	1,03	0,98	1,01	3,06	1,01	3,06
63	0,79	0,90	13,92	0,89	12,66	0,91	1,11	0,89	12,66	0,88	11,39
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0,75	0,91	21,33	0,91	21,33	0,90	1,10	0,89	18,67	0,89	18,67
66	0,63	0,82	30,16	0,82	30,16	0,81	1,22	0,80	26,98	0,80	26,98
67	0,66	0,71	7,58	0,71	7,58	0,70	1,41	0,71	7,58	0,71	7,58
68	0,58	0,64	10,34	0,63	8,62	0,62	3,13	0,63	8,62	0,62	6,90
69	0,81	0,95	17,28	0,95	17,28	0,96	1,05	0,94	16,05	0,94	16,05
70	0,62	0,83	33,87	0,80	29,03	0,80	3,61	0,79	27,42	0,77	24,19
71	0,56	0,59	5,36	0,56	0,00	0,58	1,69	0,57	1,79	0,54	3,57
72	0,87	0,93	6,90	0,88	1,15	0,92	1,08	0,90	3,45	0,85	2,30
73	0,53	0,69	30,19	0,70	32,08	0,68	1,45	0,69	30,19	0,69	30,19
74	0,75	0,75	0,00	0,75	0,00	0,76	1,33	0,75	0,00	0,75	0,00
75	0,73	0,93	27,40	0,91	24,66	0,94	1,08	0,92	26,03	0,89	21,92
76	0,81	1,01	24,69	0,86	6,17	0,99	1,98	0,91	12,35	0,80	1,23
77	1,54	1,72	11,69	1,61	4,55	1,70	1,16	1,64	6,49	1,54	0,00
78	1,18	1,49	26,27	1,35	14,41	1,49	0,00	1,44	22,03	1,32	11,86
79	1,06	1,64	54,72	1,43	34,91	1,64	0,00	1,55	46,23	1,37	29,25
80	1,13	0,66	41,59	0,66	41,59	0,66	0,00	0,66	41,59	0,66	41,59
81	0,51	0,58	13,73	0,57	11,76	0,56	3,45	0,57	11,76	0,57	11,76
82	1,12	1,51	34,82	1,22	8,93	1,57	3,97	1,37	22,32	1,10	1,79
83	0,73	0,91	24,66	0,90	23,29	0,92	1,10	0,89	21,92	0,89	21,92
84	0,89	1,29	44,94	0,99	11,24	1,35	4,65	1,15	29,21	0,92	3,37
85	1,1	1,45	31,82	1,24	12,73	1,51	4,14	1,34	21,82	1,15	4,55
86	0,93	1,071	15,21	0,922	0,86	1,04	12,36	1,004	7,98	0,853	8,20
87	1,72	1,768	2,81	1,717	0,15	1,761	2,39	1,732	0,74	1,682	2,20
88	1,15	1,194	3,84	1,179	2,59	1,193	3,76	1,192	3,67	1,178	2,43
89	0,85	0,955	12,39	0,846	0,47	0,956	12,51	0,936	10,13	0,834	1,82
90	0,87	1,013	16,47	0,951	9,41	0,973	11,94	0,973	11,91	0,911	4,82
91	1,21	1,206	0,27	1,182	2,24	1,203	0,53	1,204	0,44	1,181	2,40
92	0,86	1,005	16,88	0,967	12,48	1,020	18,71	0,994	15,58	0,956	11,19
93	1,52	1,627	7,09	1,47	2,97	1,645	8,25	1,579	3,94	1,433	5,66
94	0,65	0,68	4,62	0,65	0,00	0,68	0,00	0,67	3,08	0,63	3,08
95	1,19	1,57	31,93	1,29	8,40	1,52	3,18	1,44	21,01	1,15	3,36
96	0,81	1,22	50,62	0,95	17,28	1,17	4,10	1,06	30,86	0,83	2,47
97	0,62	0,78	25,81	0,78	25,81	0,76	2,56	0,75	20,97	0,76	22,58

98	1,09	1,36	24,77	1,14	4,59	1,39	2,21	1,27	16,51	1,08	0,92
99	0,65	0,78	20,00	0,78	20,00	0,78	0,00	0,76	16,92	0,76	16,92
100	0,61	0,68	11,48	0,68	11,48	0,67	1,47	0,68	11,48	0,68	11,48
101	0,85	0,97	14,12	0,98	15,29	0,95	2,06	0,95	11,76	0,96	12,94
102	1,14	1,16	1,75	1,15	0,88	1,16	0,00	1,16	1,75	1,15	0,88
103	0,75	0,86	14,67	0,81	8,00	0,88	2,33	0,84	12,00	0,8	6,67
104	0,8	0,87	8,75	0,83	3,75	0,89	1,15	0,86	7,50	0,82	2,50
105	1,61	1,73	7,45	1,55	3,73	1,74	2,31	1,69	4,97	1,51	6,21
106	0,95	1,24	30,53	1,15	21,05	1,26	4,03	1,19	25,26	1,11	16,84
107	0,93	1,04	11,83	0,97	4,30	1,06	4,81	0,99	6,45	0,94	1,08
108	0,81	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	0,00	0,73	9,88	0,73	9,88
109	0,6	0,61	1,67	0,61	1,67	0,59	1,64	0,6	0,00	0,61	1,67
110	0,82	0,93	13,41	0,91	10,98	0,94	1,08	0,92	12,20	0,9	9,76
111	0,86	1,01	17,44	0,9	4,65	1,04	5,94	0,95	10,47	0,86	0,00
112	0,73	0,83	13,70	0,83	13,70	0,84	0,00	0,83	13,70	0,83	13,70
113	0,93	1,05	12,90	1,06	13,98	1,06	0,95	1,04	11,83	1,05	12,90
114	0,7	0,85	21,43	0,84	20,00	0,82	4,71	0,81	15,71	0,8	14,29
115	0,99	1,08	9,09	1,06	7,07	1,07	1,85	1,06	7,07	1,05	6,06
116	0,87	1,00	15,32	0,98	12,54	1,01	15,74	0,99	14,32	0,97	11,63
117	0,93	1,09	17,45	0,13	13,82	1,08	16,87	1,07	15,68	1,04	12,47
118	0,92	1,07	16,64	0,12	13,16	1,07	16,33	1,08	15,74	1,04	13,08
119	1,01	1,19	17,87	0,13	13,04	1,16	15,08	1,16	14,98	1,14	12,89
e%			14,39		10,04		14,06		11,90		9,32

N° mél	v exp	v _{geom} vol	e(%)	v _{cub} masse	e(%)	v _{cub} mol	e(%)	v _{cub} vol	e(%)	v _{log} masse	e(%)
1	1,1	1,12	2,24	1,12	2,22	1,12	2,04	1,12	2,23	1,12	2,21
2	1,68	1,14	32,12	1,14	32,12	1,14	32,20	1,14	32,12	1,14	32,13
3	1,21	1,11	8,28	1,11	8,29	1,11	8,38	1,11	8,28	1,11	8,29
4	1,11	1,21	9,25	1,21	9,27	1,19	7,36	1,21	9,17	1,21	9,11
5	1,3	1,28	1,90	1,28	1,89	1,26	3,19	1,27	1,95	1,27	1,99
6	1,31	1,16	11,77	1,16	11,76	1,14	12,85	1,16	11,82	1,15	11,86
7	0,83	0,97	17,13	0,95	13,86	0,88	5,92	0,97	16,52	0,94	12,68
8	1,01	1,12	10,99	1,10	9,11	1,04	3,06	1,12	10,67	1,09	8,36
9	0,75	0,83	10,28	0,81	8,26	0,78	4,31	0,82	9,88	0,81	7,59
10	1,11	1,02	8,46	0,99	10,46	0,93	16,06	1,01	9,11	0,98	11,74
11	0,91	0,93	1,80	0,92	0,56	0,93	2,66	0,92	1,53	0,91	0,03
12	0,79	0,83	4,46	0,82	3,70	0,83	5,03	0,82	4,29	0,82	3,38
13	1,02	1,03	0,75	1,02	0,03	1,03	1,27	1,03	0,59	1,02	0,39
14	1,28	1,22	4,36	1,23	3,96	1,19	6,68	1,22	4,45	1,23	4,13
15	0,78	0,76	2,05	0,76	2,06	0,76	2,27	0,76	2,05	0,76	2,07
16	0,74	0,75	0,82	0,75	0,80	0,74	0,62	0,75	0,81	0,75	0,80
17	1,17	1,05	10,29	1,04	11,43	1,03	11,91	1,05	10,58	1,03	12,09
18	0,7	0,76	9,02	0,75	7,49	0,75	6,95	0,76	8,59	0,75	6,74
19	0,99	0,99	0,02	0,98	1,11	0,90	8,79	0,98	0,98	0,96	3,02
20	1,26	1,34	6,36	1,34	6,39	1,34	6,09	1,34	6,36	1,34	6,39
21	1,12	1,19	6,42	1,18	5,74	1,02	9,00	1,19	5,90	1,17	4,64
22	0,85	0,88	3,07	0,87	2,27	0,79	7,33	0,87	2,44	0,86	1,09
23	0,95	1,03	8,16	1,02	7,13	0,87	8,73	1,02	7,36	1,00	5,53
24	1,2	1,16	3,25	1,16	3,43	1,14	4,71	1,16	3,27	1,16	3,47

25	1,19	1,20	0,44	1,19	0,32	1,18	0,72	1,20	0,43	1,19	0,29
26	1,2	1,12	6,40	1,12	6,51	1,11	7,17	1,12	6,41	1,12	6,54
27	0,73	0,84	15,28	0,86	18,17	0,79	7,85	0,82	12,68	0,82	12,89
28	1,25	1,24	0,71	1,24	0,61	1,25	0,38	1,24	0,72	1,24	0,63
29	0,8	0,83	4,37	0,84	5,61	0,87	8,35	0,83	3,58	0,83	4,02
30	1,02	0,99	2,86	1,00	2,20	1,01	0,87	0,99	3,27	0,99	3,02
31	0,65	0,69	6,19	0,70	7,10	0,71	9,31	0,69	5,61	0,69	5,91
32	0,45	0,45	0,03	0,45	0,06	0,45	0,08	0,45	0,03	0,45	0,06
33	0,43	0,44	3,22	0,44	3,20	0,44	3,19	0,44	3,22	0,44	3,20
34	0,46	0,46	0,88	0,46	0,90	0,46	0,92	0,46	0,89	0,46	0,91
35	0,46	0,49	7,20	0,50	9,48	0,51	10,31	0,49	6,78	0,50	8,55
36	0,52	0,58	11,18	0,59	14,41	0,60	15,49	0,57	10,56	0,59	13,16
37	0,64	0,68	5,51	0,69	7,18	0,69	7,69	0,67	5,17	0,68	6,57
38	0,63	0,73	15,71	0,74	17,53	0,74	17,53	0,72	13,73	0,72	13,55
39	0,91	0,94	3,04	0,95	4,00	0,95	4,00	0,93	2,03	0,93	1,96
40	0,5	0,55	9,64	0,55	10,88	0,55	10,88	0,54	8,24	0,54	8,07
41	1,94	2,10	8,37	2,06	5,99	1,86	4,04	2,07	6,85	2,00	3,00
42	1,79	1,94	8,50	1,89	5,67	1,53	14,36	1,90	6,22	1,81	1,21
43	1,17	1,69	44,09	1,54	31,71	1,13	3,52	1,62	38,41	1,42	21,18
44	1,19	1,49	25,61	1,40	17,59	1,20	0,55	1,45	22,26	1,32	11,22
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-
48	3,37	2,74	18,69	2,74	18,69	2,73	18,99	2,74	18,69	2,97	11,87
49	0,91	0,79	13,53	0,78	14,62	0,61	33,23	0,74	19,00	0,91	0,39
50	0,78	0,81	3,51	0,81	3,51	0,72	7,99	0,79	0,96	0,76	2,88
51	1,01	0,58	42,57	0,58	42,57	0,54	46,53	0,57	43,56	0,59	41,58
52	0,99	0,75	24,24	0,77	22,22	0,77	22,22	0,74	25,25	0,71	28,28
53	0,99	0,96	3,32	0,97	2,32	0,97	2,32	0,95	4,33	0,88	11,38
54	0,56	0,57	1,79	0,58	3,57	0,58	3,57	0,56	0,00	0,55	1,79
55	0,55	0,60	29,40	0,61	28,23	0,62	27,05	0,59	30,58	0,72	15,28
56	0,66	0,68	2,87	0,69	4,39	0,70	5,90	0,68	2,87	0,89	34,64
57	0,5	0,52	4,84	0,53	6,85	0,53	6,85	0,52	4,84	0,57	14,92
58	0,71	0,71	0,14	0,71	0,14	0,71	0,14	0,71	0,14	0,86	21,30
59	0,7	0,69	1,00	0,69	1,00	0,69	1,00	0,69	1,00	0,94	34,86
60	0,73	0,73	0,54	0,73	0,54	0,73	0,54	0,73	0,54	0,78	6,27
61	0,75	0,81	8,00	0,80	6,67	0,80	6,67	0,81	8,00	0,78	4,00
62	0,98	1,02	4,08	1,01	3,06	1,01	3,06	1,02	4,08	0,94	4,08
63	0,79	0,90	13,92	0,88	11,39	0,88	11,39	0,89	12,66	0,84	6,33
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0,75	0,88	17,33	0,88	17,33	0,89	18,67	0,87	16,00	0,81	8,00
66	0,63	0,79	25,40	0,80	26,98	0,80	26,98	0,79	25,40	0,75	19,05
67	0,66	0,70	6,06	0,71	7,58	0,71	7,58	0,7	6,06	0,81	22,73
68	0,58	0,61	5,17	0,63	8,62	0,61	5,17	0,61	5,17	0,86	48,28
69	0,81	0,95	17,28	0,93	14,81	0,94	16,05	0,95	17,28	0,87	7,41
70	0,62	0,76	22,58	0,78	25,81	0,75	20,97	0,75	20,97	1,08	74,19
71	0,56	0,57	1,79	0,57	1,79	0,54	3,57	0,56	0,00	0,56	0,00
72	0,87	0,90	3,45	0,90	3,45	0,85	2,30	0,89	2,30	0,80	8,05
73	0,53	0,68	28,30	0,69	30,19	0,69	30,19	0,68	28,30	0,80	50,94
74	0,75	0,76	1,33	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,86	14,67
75	0,73	0,93	27,40	0,91	24,66	0,89	21,92	0,93	27,40	0,85	16,44
76	0,81	0,90	11,11	0,88	8,64	0,78	3,70	0,87	7,41	0,70	13,58
77	1,54	1,62	5,19	1,61	4,55	1,52	1,30	1,6	3,90	1,16	24,68

78	1,18	1,44	22,03	1,42	20,34	1,31	11,02	1,43	21,19	1,11	5,93
79	1,06	1,55	46,23	1,53	44,34	1,35	27,36	1,53	44,34	1,11	4,72
80	1,13	0,66	41,59	0,66	41,59	0,66	41,59	0,66	41,59	0,84	25,66
81	0,51	0,56	9,80	0,57	11,76	0,57	11,76	0,55	7,84	0,69	35,29
82	1,12	1,43	27,68	1,32	17,86	1,07	4,46	1,38	23,21	1,52	35,71
83	0,73	0,91	24,66	0,89	21,92	0,88	20,55	0,9	23,29	1,07	46,58
84	0,89	1,20	34,83	1,11	24,72	0,90	1,12	1,16	30,34	0,80	10,11
85	1,1	1,39	26,36	1,30	18,18	1,12	1,82	1,35	22,73	1,44	30,91
86	0,93	0,98	5,00	0,98	5,44	0,83	10,61	0,95	2,45	0,93	0,27
87	1,72	1,73	0,33	1,72	0,06	1,67	2,86	1,71	0,35	1,70	1,28
88	1,15	1,19	3,58	1,19	3,61	1,18	2,38	1,19	3,52	1,19	3,50
89	0,85	0,94	10,25	0,93	9,40	0,83	2,23	0,93	9,52	0,92	8,00
90	0,87	0,93	7,08	0,96	10,25	0,90	3,18	0,92	5,34	0,93	6,76
91	1,21	1,20	0,69	1,20	0,49	1,18	2,45	1,20	0,74	1,20	0,60
92	0,86	1,01	17,45	0,99	15,13	0,95	10,76	1,01	17,02	0,98	14,23
93	1,52	1,60	4,98	1,56	2,93	1,42	6,49	1,58	3,93	1,54	0,99
94	0,65	0,66	1,54	0,66	1,54	0,63	3,08	0,65	0,00	0,65	0,00
95	1,19	0,39	67,23	1,39	16,81	1,1	7,56	1,34	12,61	1,29	8,40
96	0,81	1,01	24,69	1,01	24,69	0,8	1,23	0,96	18,52	0,92	13,58
97	0,62	0,74	19,35	0,75	20,97	0,75	20,97	0,73	17,74	0,73	17,74
98	1,09	1,31	20,18	1,24	13,76	1,06	2,75	1,28	17,43	1,19	9,17
99	0,65	0,76	16,92	0,76	16,92	0,76	16,92	0,76	16,92	0,75	15,38
100	0,61	0,67	9,84	0,68	11,48	0,68	11,48	0,67	9,84	0,68	11,48
101	0,85	0,94	10,59	0,94	10,59	0,96	12,94	0,93	9,41	0,93	9,41
102	1,14	1,16	1,75	1,16	1,75	1,15	0,88	1,16	1,75	1,15	0,88
103	0,75	0,86	14,67	0,84	12,00	0,8	6,67	0,86	14,67	0,83	10,67
104	0,8	0,87	8,75	0,85	6,25	0,82	2,50	0,87	8,75	0,84	5,00
105	1,61	1,69	4,97	1,67	3,73	1,49	7,45	1,68	4,35	1,64	1,86
106	0,95	1,21	27,37	1,18	24,21	1,1	15,79	1,2	26,32	1,15	21,05
107	0,93	1,01	8,60	0,97	4,30	0,93	0,00	0,99	6,45	0,95	2,15
108	0,81	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	9,88
109	0,6	0,59	1,67	0,6	0,00	0,6	0,00	0,58	3,33	0,6	0,00
110	0,82	0,93	13,41	0,91	10,98	0,9	9,76	0,93	13,41	0,9	9,76
111	0,86	0,98	13,95	0,93	8,14	0,85	1,16	0,96	11,63	0,9	4,65
112	0,73	0,84	15,07	0,83	13,70	0,82	12,33	0,83	13,70	0,82	12,33
113	0,93	1,05	12,90	1,04	11,83	1,05	12,90	1,05	12,90	1,04	11,83
114	0,7	0,78	11,43	0,8	14,29	0,79	12,86	0,77	10,00	0,78	11,43
115	0,99	1,06	7,07	1,06	7,07	1,04	5,05	1,05	6,06	1,05	6,06
116	0,87	0,92	5,75	0,92	6,23	0,94	8,19	0,90	4,17	0,92	5,31
117	0,93	0,95	2,17	0,97	4,16	0,98	6,29	0,95	2,25	0,96	2,98
118	0,92	0,82	10,98	1,03	12,58	1,06	15,44	0,98	7,04	0,84	8,08
119	1,01	0,93	8,12	0,9	10,82	0,87	13,62	1,07	6,33	0,94	7,28
e%			10.10		9.68		9.06		9.13		7.96

N° mél	v _{exp}	v _{log} mol	e(%)	v _{log} vol	e(%)	v _{har} masse	e(%)	v _{har} mol	e(%)	v _{har} vol	e(%)
1	1,1	1,12	2,04	1,12	2,22	1,12	2,18	1,12	2,01	1,12	2,20
2	1,68	1,14	32,20	1,14	32,12	1,14	32,14	1,14	32,21	1,14	32,13
3	1,21	1,11	8,39	1,11	8,29	1,11	8,31	1,11	8,40	1,11	8,30
4	1,11	1,19	7,21	1,21	9,01	1,21	8,62	1,18	6,75	1,20	8,52
5	1,3	1,26	3,32	1,27	2,05	1,27	2,31	1,25	3,69	1,27	2,37
6	1,31	1,14	12,93	1,15	11,92	1,15	12,15	1,14	13,16	1,15	12,21

7	0,83	0,87	4,94	0,96	15,32	0,91	9,30	0,85	2,28	0,93	11,80
8	1,01	1,03	2,13	1,11	9,99	1,07	5,87	1,00	0,81	1,09	7,70
9	0,75	0,78	3,89	0,82	9,12	0,79	5,88	0,77	2,84	0,80	7,16
10	1,11	0,92	17,19	0,99	10,40	0,94	15,36	0,89	20,25	0,95	14,12
11	0,91	0,93	2,13	0,92	0,99	0,90	1,52	0,91	0,52	0,90	0,59
12	0,79	0,83	4,67	0,82	3,95	0,81	2,55	0,82	3,68	0,81	3,05
13	1,02	1,03	0,96	1,02	0,25	1,00	1,55	1,02	0,08	1,01	0,85
14	1,28	1,19	6,83	1,22	4,61	1,22	4,63	1,19	7,29	1,21	5,11
15	0,78	0,76	2,28	0,76	2,06	0,76	2,08	0,76	2,29	0,76	2,07
16	0,74	0,74	0,62	0,75	0,81	0,75	0,79	0,74	0,61	0,75	0,80
17	1,17	1,02	12,59	1,04	11,20	1,00	14,29	1,00	14,85	1,01	13,29
18	0,7	0,74	6,23	0,75	7,77	0,73	4,83	0,73	4,40	0,74	5,68
19	0,99	0,89	10,49	0,96	2,90	0,91	8,46	0,84	15,03	0,91	8,35
20	1,26	1,34	6,09	1,34	6,36	1,34	6,39	1,34	6,09	1,34	6,35
21	1,12	1,00	10,35	1,17	4,80	1,13	0,96	0,96	14,27	1,13	1,14
22	0,85	0,78	7,83	0,86	1,25	0,83	1,93	0,77	9,04	0,83	1,80
23	0,95	0,86	9,77	1,00	5,76	0,96	0,93	0,83	12,43	0,96	1,14
24	1,2	1,14	4,75	1,16	3,31	1,16	3,60	1,14	4,86	1,16	3,44
25	1,19	1,18	0,75	1,19	0,40	1,19	0,20	1,18	0,87	1,19	0,31
26	1,2	1,11	7,19	1,12	6,44	1,12	6,61	1,11	7,24	1,12	6,52
27	0,73	0,75	2,91	0,79	7,54	0,72	1,66	0,66	9,69	0,69	6,05
28	1,25	1,24	0,40	1,24	0,74	1,24	0,69	1,24	0,47	1,24	0,80
29	0,8	0,85	6,77	0,82	2,01	0,80	0,62	0,82	2,02	0,78	2,51
30	1,02	1,00	1,61	0,98	4,16	0,96	5,90	0,98	4,24	0,95	7,21
31	0,65	0,70	7,99	0,68	4,52	0,67	2,92	0,68	4,62	0,66	1,79
32	0,45	0,45	0,09	0,45	0,04	0,45	0,09	0,45	0,11	0,45	0,07
33	0,43	0,44	3,18	0,44	3,21	0,44	3,18	0,44	3,17	0,44	3,20
34	0,46	0,46	0,92	0,46	0,89	0,46	0,92	0,46	0,94	0,46	0,91
35	0,46	0,50	9,34	0,49	6,00	0,49	6,12	0,49	6,79	0,48	3,98
36	0,52	0,59	14,24	0,57	9,32	0,57	9,42	0,57	10,48	0,55	5,74
37	0,64	0,69	7,10	0,67	4,45	0,67	4,45	0,67	5,07	0,65	2,03
38	0,63	0,72	13,55	0,69	9,83	0,65	2,44	0,65	2,44	0,63	0,73
39	0,91	0,93	1,96	0,91	0,17	0,86	5,47	0,86	5,47	0,84	7,95
40	0,5	0,54	8,07	0,53	5,69	0,51	1,68	0,51	1,68	0,50	0,00
41	1,94	1,81	6,63	2,01	3,83	1,84	5,23	1,68	13,23	1,85	4,51
42	1,79	1,48	17,49	1,82	1,73	1,60	10,58	1,35	24,63	1,61	10,16
43	1,17	1,06	9,82	1,49	27,40	1,13	3,03	0,91	21,94	1,18	1,11
44	1,19	1,14	4,51	1,38	15,66	1,13	4,72	1,00	15,91	1,17	1,35
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	--	-	-	-	-	-	-
47	-	-	--	-	-	-	-	-	--	--	-
48	3,37	2,73	19,13	2,73	18,84	2,72	19,29	2,71	19,58	2,72	19,33
49	0,91	0,57	37,61	0,67	26,66	0,57	37,61	0,52	43,08	0,56	38,70
50	0,78	0,69	11,82	0,76	2,88	0,70	10,54	0,63	19,49	0,68	13,10
51	1,01	0,53	47,52	0,56	44,55	0,53	47,52	0,51	49,50	0,53	47,52
52	0,99	0,75	24,24	0,72	27,27	0,68	31,31	0,69	30,30	0,66	33,33
53	0,99	0,96	3,32	0,93	6,34	0,90	9,37	0,90	9,37	0,87	12,39
54	0,56	0,57	1,79	0,55	1,79	0,54	3,57	0,54	3,57	0,53	5,36
55	0,55	0,61	28,23	0,59	30,58	0,59	30,58	0,60	29,40	0,57	32,93
56	0,66	0,69	4,39	0,68	2,87	0,68	2,87	0,68	2,87	0,66	0,15
57	0,5	0,53	6,85	0,51	2,82	0,52	4,84	0,52	4,84	0,51	2,82
58	0,71	0,71	0,14	0,71	0,14	0,71	0,14	0,71	0,14	0,71	0,14
59	0,7	0,69	1,00	0,69	1,00	0,69	1,00	0,69	1,00	0,69	1,00

60	0,73	0,73	0,54	0,73	0,54	0,73	0,54	0,73	0,54	0,73	0,54
61	0,75	0,79	5,33	0,80	6,67	0,79	5,33	0,79	5,33	0,79	5,33
62	0,98	1,00	2,04	1,02	4,08	0,99	1,02	0,99	1,02	1,00	2,04
63	0,79	0,87	10,13	0,89	12,66	0,86	8,86	0,86	8,86	0,87	10,13
64	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-	-
65	0,75	0,87	16,00	0,86	14,67	0,84	12,00	0,84	12,00	0,83	10,67
66	0,63	0,79	25,40	0,78	23,81	0,76	20,63	0,76	20,63	0,75	19,05
67	0,66	0,71	7,58	0,70	6,06	0,70	6,06	0,70	6,06	0,70	6,06
68	0,58	0,61	5,17	0,60	3,45	0,61	5,17	0,59	1,72	0,59	1,72
69	0,81	0,93	14,81	0,94	16,05	0,91	12,35	0,92	13,58	0,92	13,58
70	0,62	0,73	17,74	0,73	17,74	0,68	9,68	0,66	6,45	0,66	6,45
71	0,56	0,53	5,36	0,55	1,79	0,54	3,57	0,52	7,14	0,53	5,36
72	0,87	0,83	4,60	0,88	1,15	0,84	3,45	0,79	9,20	0,83	4,60
73	0,53	0,69	30,19	0,68	28,30	0,69	30,19	0,69	30,19	0,68	28,30
74	0,75	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00
75	0,73	0,88	20,55	0,92	26,03	0,89	21,92	0,86	17,81	0,90	23,29
76	0,81	0,75	7,41	0,83	2,47	0,75	7,41	0,70	13,58	0,75	7,41
77	1,54	1,48	3,90	1,55	0,65	1,46	5,19	1,40	9,09	1,45	5,84
78	1,18	1,29	9,32	1,40	18,64	1,33	12,71	1,25	5,93	1,34	13,56
79	1,06	1,33	25,47	1,48	39,62	1,37	29,25	1,27	19,81	1,37	29,25
80	1,13	0,66	41,59	0,66	41,59	0,66	41,59	0,66	41,59	0,66	41,59
81	0,51	0,56	9,80	0,55	7,84	0,56	9,80	0,55	7,84	0,54	5,88
82	1,12	1,00	10,71	1,29	15,18	1,03	8,04	0,87	22,32	1,07	4,46
83	0,73	0,87	19,18	0,89	21,92	0,85	16,44	0,84	15,07	0,86	17,81
84	0,89	0,87	2,25	1,08	21,35	0,90	1,12	0,81	8,99	0,93	4,49
85	1,1	1,07	2,73	1,28	16,36	1,07	2,73	0,95	13,64	1,10	0,00
86	0,93	0,79	15,27	0,90	2,70	0,80	14,46	0,68	26,94	0,77	17,00
87	1,72	1,65	4,17	1,69	1,69	1,63	5,09	1,59	7,79	1,63	5,46
88	1,15	1,18	2,28	1,19	3,41	1,19	3,16	1,17	1,97	1,19	3,08
89	0,85	0,82	3,00	0,92	8,12	0,89	4,26	0,81	4,91	0,89	4,36
90	0,87	0,87	0,20	0,89	1,74	0,83	4,44	0,78	10,57	0,79	9,31
91	1,21	1,18	2,55	1,20	0,84	1,20	0,92	1,18	2,86	1,20	1,15
92	0,86	0,95	9,89	1,00	16,13	0,96	11,46	0,92	7,30	0,98	13,39
93	1,52	1,40	8,05	1,55	1,90	1,46	4,14	1,34	11,95	1,47	3,50
94	0,65	0,62	4,62	0,64	1,54	0,62	4,62	0,6	7,69	0,62	4,62
95	1,19	1,01	15,13	1,24	4,20	1	15,97	0,78	34,45	0,96	19,33
96	0,81	0,74	8,64	0,88	8,64	0,73	9,88	0,63	22,22	0,71	12,35
97	0,62	0,74	19,35	0,72	16,13	0,69	11,29	0,70	12,90	0,67	8,06
98	1,09	1,03	5,50	1,23	12,84	1,07	1,83	0,96	11,93	1,1	0,92
99	0,65	0,75	15,38	0,75	15,38	0,73	12,31	0,73	12,31	0,72	10,77
100	0,61	0,68	11,48	0,67	9,84	0,67	9,84	0,68	11,48	0,67	9,84
101	0,85	0,94	10,59	0,92	8,24	0,89	4,71	0,9	5,88	0,88	3,53
102	1,14	1,14	0,00	1,16	1,75	1,15	0,88	1,14	0,00	1,16	1,75
103	0,75	0,79	5,33	0,85	13,33	0,81	8,00	0,77	2,67	0,82	9,33
104	0,8	0,81	1,25	0,86	7,50	0,82	2,50	0,79	1,25	0,83	3,75
105	1,61	1,47	8,70	1,65	2,48	1,56	3,11	1,39	13,66	1,56	3,11
106	0,95	1,08	13,68	1,17	23,16	1,08	13,68	1,03	8,42	1,09	14,74
107	0,93	0,92	1,08	0,97	4,30	0,9	3,23	0,88	5,38	0,91	2,15
108	0,81	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	9,88	0,73	9,88
109	0,6	0,60	0,00	0,58	3,33	0,58	3,33	0,59	1,67	0,57	5,00
110	0,82	0,89	8,54	0,92	12,20	0,88	7,32	0,86	4,88	0,89	8,54
111	0,86	0,84	2,33	0,92	6,98	0,85	1,16	0,81	5,81	0,86	0,00
112	0,73	0,82	12,33	0,83	13,70	0,81	10,96	0,81	10,96	0,82	12,33

113	0,93	1,05	12,90	1,05	12,90	1,02	9,68	1,03	10,75	1,03	10,75
114	0,7	0,77	10,00	0,75	7,14	0,71	1,43	0,7	0,00	0,68	2,86
115	0,99	1,03	4,04	1,04	5,05	1,01	2,02	0,99	0,00	1	1,01
116	0,87	0,96	10,43	0,96	10,94	0,94	8,00	0,97	11,59	0,98	12,69
117	0,93	1,07	15,73	1,08	16,08	1,05	13,27	1,08	16,72	1,08	16,08
118	0,92	0,83	9,58	0,82	10,33	0,85	7,94	1,02	10,64	0,81	11,39
119	1,01	1,12	11,41	0,88	12,29	1,10	9,66	0,87	13,38	0,87	14,22
e%			9.33		9.36		8.29		10.85		9.79

Tableau 4.15 : Valeurs des viscosités calculées par les différentes moyennes .

Les écarts moyens obtenus entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales des viscosités sont reportés dans le tableau (4. 16) ci-dessous :

Compositions	Massique (%)				Molaire (%)				Volumique (%)			
	bin	ter	Multi	moy	bin	ter	Multi	moy	bin	ter	Multi	moy
e _{moy} (%) arithmétique	14.21	12.14	16.82	14.39	11.21	5.77	13.14	10.04	14.12	12.06	16.00	14.06
e _{moy} (%) géométrique	12.18	8.34	15.18	11.9	10.32	5.13	12.51	9.32	12.23	11.32	6.75	10.10
e _{moy} (%) cubique	11.07	9.52	8.45	9.68	10.34	5.96	10.88	9.06	11.79	10.65	4.95	9.13
e _{moy} (%) logarithmique	9.99	7.98	5.91	7.96	10.00	6.20	11.79	9.33	10.17	5.50	12.41	9.36
e _{moy} (%) harmonique	9.06	6.09	9.72	8.29	10.72	8.75	13.08	10.85	9.03	6.75	13.59	9.79

Tableau 4.16 : Comparaison entre les viscosités calculées et celles mesurées .

En examinant le tableau (4.16) , nous remarquons que des écarts assez élevés ont été enregistrés pour les différentes règles de mélanges , atteignant les 14 % en terme d'écart moyen et des écarts max. de l'ordre de 60% dans certains cas . Tout ceci confirme ce qui a déjà été prévu dans la littérature à savoir que la viscosité est une propriété non additive.

Nous remarquons tout de même que la moyenne cubique est celle qui a donné relativement les plus faibles écarts moyens , de l'ordre de 9% en considérant les compositions massiques, molaires ou volumiques .

Enfin , la moyenne logarithmique associée aux compositions massiques a donné le plus faible écart moyen par rapport au reste des règles de mélange .

III . 4 . La tension superficielle :

N° mél	TS exp	TS arith masse	e(%)	TS arith mol	e(%)	TS arith vol	e(%)	TS géom masse	e(%)	TS géom mol	e(%)
1	23,36	21,93	6,13	23,89	2,27	23,98	2,66	23,98	2,67	23,86	2,16
2	23,85	22,76	4,56	24,85	4,18	24,91	4,44	24,91	4,44	24,83	4,11
3	22,68	21,18	6,60	23,10	1,88	23,17	2,17	23,17	2,18	23,08	1,80
4	28,04	29,09	3,73	31,85	13,58	31,85	13,59	31,85	13,59	31,85	13,58
5	22,63	22,30	1,48	23,38	3,31	24,19	6,90	24,27	7,25	23,30	2,96
6	23,69	23,08	2,57	24,59	3,83	25,13	6,11	25,20	6,38	24,52	3,52
7	23,44	21,41	8,64	23,08	1,53	23,36	0,32	23,40	0,16	23,05	1,67
8	26,91	24,53	8,84	26,91	0,00	26,52	1,44	26,70	0,78	26,75	0,59
9	25,67	26,70	3,98	29,26	13,97	29,03	13,07	29,14	13,50	29,17	13,62
10	27,18	26,02	4,26	24,21	10,92	23,95	11,88	24,07	11,44	24,10	11,33
11	26,71	26,76	0,17	29,59	10,78	28,43	6,43	28,97	8,47	29,27	9,58
12	29,91	29,84	0,23	32,83	9,75	32,17	7,56	32,50	8,66	32,67	9,21
13	24,71	23,20	6,12	25,63	3,72	24,80	0,35	25,15	1,80	25,37	2,68
14	26,48	25,13	5,10	35,03	32,28	35,07	32,45	35,07	32,43	35,03	32,28
15	33,44	32,30	3,42	35,34	5,68	35,37	5,77	35,36	5,76	35,34	5,68
16	32,44	31,75	2,13	34,74	7,10	34,76	7,18	34,76	7,17	34,74	7,09
17	33,24	30,89	7,06	33,87	1,90	33,75	1,54	33,81	1,71	33,85	1,85
18	28,86	28,77	0,32	31,56	9,33	31,43	8,87	31,48	9,08	31,54	9,25
19	29,99	30,02	0,10	32,94	9,85	32,75	9,21	32,84	9,51	32,91	9,75
20	24,03	24,17	0,60	25,89	7,74	26,39	9,85	26,42	9,94	25,86	7,62
21	25,57	24,60	3,80	26,95	5,40	26,87	5,09	26,91	5,24	26,93	5,31
22	24,87	24,08	3,17	26,38	6,09	26,31	5,81	26,34	5,94	26,36	6,00
23	27,77	27,47	1,07	29,95	7,86	29,64	6,74	29,91	7,72	29,78	7,25
24	26,08	26,61	2,04	28,52	9,39	28,33	8,66	28,83	10,55	28,21	8,18
25	28,57	28,80	0,81	31,42	9,99	31,36	9,79	31,47	10,15	31,36	9,76
26	24,04	23,32	3,01	25,33	5,37	25,30	5,23	25,44	5,82	25,24	4,99
27	20,20	21,45	6,22	23,17	14,74	23,42	15,94	23,45	16,09	23,14	14,56
28	25,88	24,22	6,42	26,29	1,60	26,50	2,41	26,50	2,41	26,28	1,54
29	27,15	27,23	0,29	30,39	11,96	29,32	8,02	29,63	9,15	30,21	11,29
30	33,84	31,40	7,20	34,41	1,70	34,38	1,61	34,38	1,61	34,41	1,70
31	26,70	29,01	8,67	32,11	20,27	31,56	18,23	31,69	18,71	32,04	20,01
32	22,47	24,25	7,95	26,03	15,83	26,49	17,92	26,50	17,93	25,99	15,66
33	28,23	26,43	6,38	28,69	1,64	28,90	2,40	28,91	2,42	28,67	1,56
34	27,50	26,78	2,63	28,98	5,39	29,33	6,66	29,30	6,56	28,97	5,35
35	28,84	26,80	7,08	28,97	0,42	29,36	1,77	29,33	1,68	28,95	0,38
36	29,11	28,68	1,47	31,61	8,60	30,91	6,18	31,19	7,16	31,40	7,88
37	26,75	26,43	1,19	28,72	7,38	28,05	4,85	28,56	6,77	28,34	5,94
38	33,21	30,86	7,06	34,41	3,61	33,67	1,39	33,77	1,69	34,38	3,55
39	30,17	29,31	2,86	32,21	6,74	31,88	5,67	32,00	6,04	32,11	6,42
40	32,20	30,99	3,74	34,28	6,47	33,87	5,18	33,93	5,37	34,28	6,46
41	33,03	30,34	8,16	33,52	1,47	33,14	0,33	33,21	0,53	33,51	1,44
42	22,40	23,02	2,78	22,91	2,27	22,99	2,66	23,00	2,67	22,88	2,16
43	22,87	23,90	4,51	23,82	4,18	23,88	4,44	23,88	4,44	23,81	4,11
44	21,74	22,24	2,27	22,15	1,88	22,22	2,17	22,22	2,18	22,13	1,80
45	21,33	21,93	2,78	21,82	2,27	21,90	2,66	21,90	2,67	21,79	2,16
46	21,78	22,76	4,51	22,69	4,18	22,75	4,44	22,75	4,44	22,67	4,11
47	20,71	21,18	2,27	21,10	1,88	21,16	2,17	21,16	2,18	21,08	1,80

48	25,61	29,09	13,59	29,08	13,58	29,09	13,59	29,09	13,59	29,08	13,58
49	20,67	22,30	7,88	21,35	3,31	22,09	6,90	22,17	7,25	21,28	2,96
50	21,63	23,08	6,69	22,46	3,83	22,95	6,11	23,01	6,38	22,39	3,52
51	21,40	21,41	0,04	21,08	1,53	21,34	0,32	21,37	0,16	21,05	1,67
52	24,57	24,53	0,18	24,57	0,00	24,22	1,44	24,38	0,78	24,43	0,59
53	23,45	26,70	13,86	26,72	13,97	26,51	13,07	26,61	13,50	26,64	13,62
54	23,85	22,76	4,56	24,85	4,18	24,91	4,44	24,91	4,44	24,83	4,11
55	24,39	26,76	9,68	27,02	10,78	25,96	6,43	26,46	8,47	26,73	9,58
56	27,32	29,84	9,24	29,98	9,75	29,38	7,56	29,68	8,66	29,83	9,21
57	22,57	23,20	2,80	23,41	3,72	22,65	0,35	22,97	1,80	23,17	2,68
58	26,71	26,76	0,17	29,59	10,78	28,43	6,43	28,97	8,47	29,27	9,58
59	30,54	32,30	5,76	32,27	5,68	32,30	5,77	32,29	5,76	32,27	5,68
60	29,62	31,75	7,17	31,72	7,10	31,75	7,18	31,74	7,17	31,72	7,09
61	30,35	30,89	1,77	30,93	1,90	30,82	1,54	30,87	1,71	30,92	1,85
62	26,36	28,77	9,15	28,82	9,33	28,70	8,87	28,75	9,08	28,80	9,25
63	27,39	30,02	9,61	30,08	9,85	29,91	9,21	29,99	9,51	30,06	9,75
64	21,94	24,17	10,15	23,64	7,74	24,10	9,85	24,12	9,94	23,61	7,62
65	23,35	24,60	5,34	24,62	5,40	24,54	5,09	24,58	5,24	24,59	5,31
66	22,71	24,08	6,03	24,09	6,09	24,03	5,81	24,06	5,94	24,07	6,00
67	25,36	27,47	8,32	27,35	7,86	27,07	6,74	27,32	7,72	27,20	7,25
68	23,81	26,61	11,74	26,05	9,39	25,88	8,66	26,33	10,55	25,76	8,18
69	26,09	28,80	10,38	28,70	9,99	28,64	9,79	28,74	10,15	28,64	9,76
70	21,96	23,32	6,21	23,14	5,37	23,10	5,23	23,23	5,82	23,05	4,99
71	18,44	21,45	16,31	21,16	14,74	21,38	15,94	21,41	16,09	21,13	14,56
72	23,63	24,22	2,47	24,01	1,60	24,20	2,41	24,20	2,41	24,00	1,54
73	24,79	27,23	9,82	27,76	11,96	26,78	8,02	27,06	9,15	27,59	11,29
74	30,90	31,40	1,61	31,43	1,70	31,40	1,61	31,40	1,61	31,43	1,70
75	24,38	29,01	18,99	29,32	20,27	28,82	18,23	28,94	18,71	29,26	20,01
76	20,52	24,25	18,20	23,77	15,83	24,20	17,92	24,20	17,93	23,73	15,66
77	25,78	26,43	2,52	26,20	1,64	26,40	2,40	26,40	2,42	26,18	1,56
78	25,11	26,78	6,62	26,47	5,39	26,79	6,66	26,76	6,56	26,46	5,35
79	26,34	26,80	1,75	26,45	0,42	26,81	1,77	26,79	1,68	26,44	0,38
80	26,58	28,68	7,89	28,87	8,60	28,23	6,18	28,49	7,16	28,68	7,88
81	24,43	26,43	8,20	26,23	7,38	25,62	4,85	26,08	6,77	25,88	5,94
82	30,32	30,86	1,77	31,42	3,61	30,75	1,39	30,84	1,69	31,40	3,55
83	27,55	29,31	6,37	29,41	6,74	29,12	5,67	29,22	6,04	29,32	6,42
84	29,40	30,99	5,40	31,31	6,47	30,93	5,18	30,98	5,37	31,30	6,46
85	30,17	30,34	0,57	30,61	1,47	30,26	0,33	30,33	0,53	30,60	1,44
86	24,72	23,10	6,58	22,82	7,68	23,05	6,78	23,07	6,70	22,78	7,84
87	26,97	25,65	4,91	24,45	9,36	25,46	5,61	25,54	5,31	24,31	9,88
88	21,91	23,85	8,89	23,11	5,48	23,72	8,29	23,79	8,62	23,05	5,21
89	23,55	27,19	15,46	27,39	16,29	26,66	13,20	27,00	14,66	27,18	15,39
90	27,24	29,93	9,88	30,12	10,60	29,85	9,60	29,92	9,86	30,10	10,53
91	24,44	28,04	14,73	28,22	15,45	27,65	13,14	27,91	14,21	28,06	14,83
92	26,53	29,86	12,54	30,13	13,58	29,43	10,92	29,73	12,06	30,00	13,09
93	24,35	26,10	7,20	26,25	7,79	26,01	6,84	26,09	7,13	26,22	7,67
94	24,49	22,89	6,53	22,61	7,68	22,83	7,27	22,85	6,70	22,57	7,84
95	26,72	25,42	4,87	24,22	9,36	25,22	5,95	25,3	5,31	24,08	9,88
96	21,70	23,64	8,94	22,89	5,48	23,5	7,66	23,57	8,62	22,83	5,21
97	23,33	26,95	15,52	27,13	16,29	26,41	11,66	26,75	14,66	26,92	15,39
98	26,98	29,66	9,93	29,84	10,60	29,57	8,76	29,64	9,86	29,82	10,53
99	24,21	27,79	14,79	27,95	15,45	27,39	11,61	27,65	14,21	27,8	14,83
100	26,28	29,59	12,60	29,85	13,58	29,15	9,85	29,45	12,06	29,72	13,09

101	24,12	25,87	7,26	26	7,79	25,77	6,40	25,84	7,13	25,97	7,67
102	25,37	26,49	4,41	26,69	5,20	26,46	4,12	26,48	4,38	26,68	5,16
103	27,58	30,12	9,21	30,72	11,39	29,88	7,70	30,05	8,96	30,66	11,17
104	28,12	29,96	6,54	30,45	8,29	29,73	5,42	29,89	6,29	30,38	8,04
105	26,25	27,72	5,60	27,8	5,90	27,72	5,30	27,71	5,56	27,8	5,90
106	26,22	27,79	5,99	27,77	5,91	27,68	5,27	27,73	5,76	27,7	5,64
107	28,42	30,27	6,51	30,2	6,26	30,19	5,86	30,25	6,44	30,18	6,19
108	28,23	31,77	12,54	31,79	12,61	31,77	11,14	31,77	12,54	31,79	12,61
109	22,92	27,04	17,98	27,1	18,24	26,24	12,65	26,73	16,62	26,79	16,88
110	26,23	29	10,56	29,21	11,36	28,81	8,96	28,92	10,26	29,13	11,06
111	29,33	30,65	4,50	30,96	5,56	30,56	4,02	30,62	4,40	30,94	5,49
112	29,29	30,33	3,55	30,37	3,69	30,23	3,11	30,29	3,41	30,33	3,55
113	27,29	27,8	1,87	27,75	1,69	27,71	1,52	27,76	1,72	27,72	1,58
114	22,32	24,29	8,83	24,26	8,69	24,02	7,08	24,17	8,29	24,14	8,15
115	24,36	25,28	3,78	25,27	3,74	25,24	3,49	25,27	3,74	25,26	3,69
116	27,14	26,49	2,39	26,69	1,66	26,46	2,57	26,48	2,43	26,68	1,69
117	26,54	30,12	13,49	30,72	15,75	29,88	11,18	30,05	13,23	30,66	15,52
118	27,28	29,96	9,82	30,45	11,62	29,73	8,24	29,89	9,57	30,38	11,36
119	24,32	27,72	13,98	27,8	14,31	27,72	12,27	27,71	13,94	27,8	14,31
e%			9,13		11,14		8,82		11,4		11,74

N° mél	TS _{exp}	TS _{geo} vol	e(%)	TS _{cub} masse	e(%)	TS _{cub} mol	e(%)	TS _{cub} vol	e(%)	TS _{log} masse	e(%)
1	23,36	23,95	2,55	23,97	2,63	23,85	2,12	23,95	2,51	23,96	2,56
2	23,85	24,89	4,36	24,90	4,42	24,82	4,08	24,88	4,34	24,89	4,37
3	22,68	23,15	2,09	23,16	2,15	23,08	1,77	23,14	2,06	23,15	2,09
4	28,04	31,85	13,59	31,85	13,59	31,85	13,58	31,85	13,59	31,85	13,59
5	22,63	24,06	6,32	24,23	7,05	23,28	2,85	24,02	6,14	24,14	6,66
6	23,69	25,06	5,80	25,17	6,27	24,50	3,42	25,03	5,69	25,12	6,06
7	23,44	23,32	0,51	23,39	0,22	23,03	1,72	23,31	0,57	23,36	0,35
8	26,91	26,36	2,04	26,64	0,98	26,69	0,79	26,30	2,24	26,54	1,38
9	25,67	28,93	12,68	29,11	13,38	29,14	13,49	28,89	12,54	29,04	13,12
10	27,18	23,85	12,25	24,03	11,59	24,06	11,48	23,82	12,36	23,96	11,84
11	26,71	28,10	5,20	28,86	8,06	29,16	9,17	27,99	4,78	28,64	7,23
12	29,91	31,96	6,86	32,44	8,46	32,61	9,02	31,89	6,61	32,31	8,02
13	24,71	24,59	0,50	25,08	1,48	25,29	2,34	24,52	0,77	24,93	0,87
14	26,48	35,07	32,44	35,07	32,43	35,03	32,27	35,07	32,44	35,07	32,42
15	33,44	35,36	5,76	35,36	5,76	35,34	5,68	35,36	5,76	35,36	5,75
16	32,44	34,76	7,17	34,76	7,16	34,74	7,09	34,76	7,17	34,76	7,16
17	33,24	33,73	1,48	33,80	1,69	33,85	1,83	33,72	1,46	33,79	1,65
18	28,86	31,41	8,81	31,48	9,05	31,53	9,23	31,40	8,79	31,46	9,01
19	29,99	32,72	9,11	32,83	9,48	32,90	9,72	32,71	9,08	32,81	9,41
20	24,03	26,35	9,65	26,40	9,87	25,85	7,58	26,33	9,58	26,37	9,74
21	25,57	26,85	5,00	26,91	5,21	26,92	5,28	26,84	4,97	26,89	5,15
22	24,87	26,29	5,72	26,34	5,92	26,35	5,98	26,28	5,69	26,32	5,86
23	27,77	29,47	6,13	29,86	7,51	29,73	7,05	29,42	5,93	29,74	7,10
24	26,08	28,02	7,46	28,72	10,15	28,10	7,77	27,91	7,05	28,51	9,35
25	28,57	31,30	9,56	31,45	10,08	31,34	9,68	31,28	9,48	31,40	9,92
26	24,04	25,21	4,84	25,41	5,69	25,21	4,86	25,17	4,71	25,35	5,43
27	20,20	23,37	15,73	23,43	16,02	23,13	14,51	23,36	15,66	23,40	15,88

28	25,88	26,49	2,34	26,50	2,39	26,27	1,52	26,48	2,32	26,49	2,35
29	27,15	29,14	7,35	29,57	8,92	30,15	11,07	29,08	7,13	29,45	8,47
30	33,84	34,38	1,61	34,38	1,61	34,41	1,70	34,38	1,61	34,38	1,61
31	26,70	31,49	17,95	31,67	18,62	32,01	19,92	31,46	17,86	31,62	18,44
32	22,47	26,44	17,66	26,48	17,84	25,97	15,60	26,42	17,57	26,44	17,67
33	28,23	28,88	2,30	28,90	2,39	28,66	1,53	28,87	2,27	28,88	2,33
34	27,50	29,31	6,60	29,30	6,54	28,97	5,33	29,31	6,57	29,29	6,49
35	28,84	29,34	1,70	29,32	1,66	28,95	0,37	29,33	1,68	29,31	1,62
36	29,11	30,69	5,43	31,12	6,91	31,33	7,64	30,62	5,18	30,98	6,41
37	26,75	27,67	3,45	28,43	6,29	28,21	5,47	27,55	2,98	28,18	5,34
38	33,21	33,64	1,31	33,76	1,67	34,38	3,52	33,63	1,28	33,74	1,61
39	30,17	31,78	5,34	31,96	5,93	32,07	6,31	31,75	5,23	31,90	5,72
40	32,20	33,86	5,15	33,92	5,36	34,27	6,45	33,85	5,14	33,92	5,34
41	33,03	33,13	0,29	33,21	0,52	33,50	1,43	33,13	0,28	33,20	0,50
42	22,40	22,97	2,55	22,99	2,63	22,87	2,12	22,96	2,51	22,97	2,56
43	22,87	23,87	4,36	23,88	4,42	23,80	4,08	22,72	0,63	23,87	4,37
44	21,74	22,20	2,09	22,21	2,15	22,13	1,77	21,13	2,80	22,20	2,09
45	21,33	21,88	2,55	21,89	2,63	21,78	2,12	21,87	2,51	21,88	2,56
46	21,78	22,73	4,36	22,74	4,42	22,67	4,08	22,72	4,34	22,73	4,37
47	20,71	21,14	2,09	21,15	2,15	21,07	1,77	21,13	2,06	21,14	2,09
48	25,61	29,09	13,59	29,09	13,59	29,08	13,58	29,09	13,59	29,09	13,59
49	20,67	21,98	6,32	22,13	7,05	21,26	2,85	21,94	6,14	22,05	6,66
50	21,63	22,89	5,80	22,99	6,27	22,37	3,42	22,86	5,69	22,94	6,06
51	21,40	21,30	0,51	21,36	0,22	21,04	1,72	21,28	0,57	21,33	0,35
52	24,57	24,07	2,04	24,33	0,98	24,38	0,79	24,02	2,24	24,23	1,38
53	23,45	26,42	12,68	26,58	13,38	26,61	13,49	26,39	12,54	26,52	13,12
54	23,85	24,12	1,13	24,85	4,19	23,56	1,21	23,46	1,63	24,22	1,55
55	24,39	25,66	5,20	26,36	8,06	26,63	9,17	25,56	4,78	26,16	7,23
56	27,32	29,19	6,86	29,63	8,46	29,78	9,02	29,12	6,61	29,51	8,02
57	22,57	22,45	0,50	22,90	1,48	23,09	2,34	22,39	0,77	22,76	0,87
58	26,71	27,81	4,12	25,79	3,44	28,15	5,39	24,95	6,59	26,52	0,71
59	30,54	32,30	5,76	32,29	5,76	32,27	5,68	32,30	5,76	32,29	5,75
60	29,62	31,75	7,17	31,74	7,16	31,72	7,09	31,75	7,17	31,74	7,16
61	30,35	30,80	1,48	30,87	1,69	30,91	1,83	30,80	1,46	30,86	1,65
62	26,36	28,68	8,81	28,75	9,05	28,79	9,23	28,68	8,79	28,73	9,01
63	27,39	29,88	9,11	29,98	9,48	30,05	9,72	29,87	9,08	29,96	9,41
64	21,94	24,06	9,65	24,11	9,87	23,61	7,58	24,05	9,58	24,08	9,74
65	23,35	24,52	5,00	24,57	5,21	24,59	5,28	24,51	4,97	24,56	5,15
66	22,71	24,01	5,72	24,05	5,92	24,07	5,98	24,00	5,69	24,04	5,86
67	25,36	26,92	6,13	27,27	7,51	27,15	7,05	26,86	5,93	27,16	7,10
68	23,81	25,59	7,46	26,23	10,15	25,66	7,77	25,49	7,05	26,04	9,35
69	26,09	28,58	9,56	28,72	10,08	28,62	9,68	28,56	9,48	28,68	9,92
70	21,96	23,02	4,84	23,20	5,69	23,02	4,86	22,99	4,71	23,15	5,43
71	18,44	21,35	15,73	21,40	16,02	21,12	14,51	21,33	15,66	21,37	15,88
72	23,63	24,19	2,34	24,20	2,39	23,99	1,52	24,18	2,32	24,19	2,35
73	24,79	26,61	7,35	27,00	8,92	27,53	11,07	26,56	7,13	26,89	8,47
74	30,90	31,40	1,61	31,40	1,61	31,43	1,70	31,40	1,61	31,40	1,61
75	24,38	28,76	17,95	28,92	18,62	29,23	19,92	28,73	17,86	28,87	18,44
76	20,52	24,14	17,66	24,18	17,84	23,72	15,60	24,12	17,57	24,14	17,67
77	25,78	26,37	2,30	26,40	2,39	26,17	1,53	26,36	2,27	26,38	2,33
78	25,11	26,77	6,60	26,76	6,54	26,45	5,33	26,76	6,57	26,74	6,49
79	26,34	26,79	1,70	26,78	1,66	26,44	0,37	26,79	1,68	26,77	1,62
80	26,58	28,03	5,43	28,42	6,91	28,61	7,64	27,96	5,18	28,29	6,41

81	24,43	25,27	3,45	25,97	6,29	25,77	5,47	25,16	2,98	25,73	5,34
82	30,32	30,72	1,31	30,83	1,67	31,39	3,52	30,71	1,28	30,81	1,61
83	27,55	29,03	5,34	29,19	5,93	29,29	6,31	29,00	5,23	29,13	5,72
84	29,40	30,92	5,15	30,98	5,36	31,30	6,45	30,92	5,14	30,98	5,34
85	30,17	30,25	0,29	30,32	0,52	30,60	1,43	30,25	0,28	30,32	0,50
86	24,26	31,77	30,96	31,79	31,04	31,77	30,96	31,77	30,96	31,79	31,04
87	24,72	27,04	9,39	27,1	9,63	26,24	6,15	26,73	8,13	26,79	8,37
88	26,97	29	7,53	29,21	8,31	28,81	6,82	28,92	7,23	29,13	8,01
89	21,91	30,65	39,89	30,96	41,31	30,56	39,48	30,62	39,75	30,94	41,21
90	23,55	30,33	28,79	30,37	28,96	30,23	28,37	30,29	28,62	30,33	28,79
91	27,24	27,8	2,06	27,75	1,87	27,71	1,73	27,76	1,91	27,72	1,76
92	24,44	24,29	0,61	24,26	0,74	24,02	1,72	24,17	1,10	24,14	1,23
93	26,53	25,28	4,71	25,27	4,75	25,24	4,86	25,27	4,75	25,26	4,79
94	24,35	22,79	6,94	22,84	6,74	22,56	7,88	22,78	6,98	22,81	6,86
95	26,72	25,1	6,06	25,26	5,46	24,04	10,03	25,06	6,21	25,18	5,76
96	21,70	23,43	7,97	23,55	8,53	22,81	5,12	23,4	7,83	23,5	8,29
97	23,33	26,19	12,26	26,68	14,36	26,85	15,09	26,12	11,96	26,53	13,72
98	26,98	29,55	9,53	29,63	9,82	29,81	10,49	29,54	9,49	29,62	9,79
99	24,21	27,25	12,56	27,6	14,00	27,75	14,62	27,2	12,35	27,5	13,59
100	26,28	28,99	10,31	29,4	11,87	29,68	12,94	28,94	10,12	29,31	11,53
101	24,12	25,74	6,72	25,83	7,09	25,95	7,59	25,72	6,63	25,8	6,97
102	25,37	26,45	4,26	26,47	4,34	26,68	5,16	26,45	4,26	26,46	4,30
103	27,58	29,79	8,01	30,02	8,85	30,64	11,09	29,76	7,90	29,96	8,63
104	28,12	29,64	5,41	29,86	6,19	30,36	7,97	29,62	5,33	29,81	6,01
105	26,25	27,72	5,60	27,71	5,56	27,8	5,90	27,71	5,56	27,71	5,56
106	26,22	27,62	5,34	27,71	5,68	27,68	5,57	27,61	5,30	27,67	5,53
107	28,42	30,17	6,16	30,24	6,40	30,17	6,16	30,17	6,16	30,23	6,37
108	28,23	31,77	12,54	31,77	12,54	31,79	12,61	31,77	12,54	31,77	12,54
109	22,92	25,92	13,09	26,62	16,14	26,68	16,40	25,81	12,61	26,41	15,23
110	26,23	28,73	9,53	28,89	10,14	29,11	10,98	28,7	9,42	28,84	9,95
111	29,33	30,54	4,13	30,62	4,40	30,94	5,49	30,53	4,09	30,6	4,33
112	29,29	30,19	3,07	30,28	3,38	30,32	3,52	30,17	3,00	30,25	3,28
113	27,29	27,68	1,43	27,75	1,69	27,71	1,54	27,67	1,39	27,73	1,61
114	22,32	23,9	7,08	24,13	8,11	24,1	7,97	23,86	6,90	24,05	7,75
115	24,36	25,23	3,57	25,27	3,74	25,26	3,69	25,23	3,57	25,26	3,69
116	27,14	26,45	2,54	26,47	2,47	26,68	1,69	26,45	2,54	26,46	2,51
117	26,54	29,79	12,25	30,02	13,11	30,64	15,45	29,76	12,13	29,96	12,89
118	27,28	29,64	8,65	29,86	9,46	30,36	11,29	29,62	8,58	29,81	9,27
119	24,32	27,72	13,98	27,71	13,94	27,8	14,31	27,71	13,94	27,71	13,94
e%			10.32		12.18		9.93		11.73		11.23

N° mél	TS _{exp}	TS _{log mol}	e(%)	TS _{log vol}	e(%)	TS _{har masse}	e(%)	TS _{har mol}	e(%)	TS _{har vol}	e(%)
1	23,36	23,84	2,05	23,93	2,44	23,90	2,33	23,78	1,83	23,87	2,21
2	23,85	24,81	4,03	24,87	4,29	24,86	4,22	24,77	3,87	24,84	4,14
3	22,68	23,06	1,72	23,13	2,00	23,11	1,93	23,03	1,56	23,09	1,84
4	28,04	31,85	13,58	31,85	13,59	31,85	13,59	31,85	13,58	31,85	13,59
5	22,63	23,23	2,64	23,94	5,78	23,90	5,61	23,10	2,08	23,73	4,83
6	23,69	24,45	3,23	24,98	5,48	24,97	5,43	24,31	2,64	24,84	4,86
7	23,44	23,01	1,81	23,28	0,69	23,27	0,71	22,96	2,06	23,20	1,02
8	26,91	26,58	1,20	26,19	2,64	26,21	2,58	26,26	2,40	25,87	3,83

9	25,67	29,07	13,24	28,82	12,26	28,83	12,29	28,86	12,42	28,59	11,34
10	27,18	23,99	0,11	23,76	12,58	23,77	12,54	23,80	12,43	23,59	13,20
11	26,71	28,94	8,35	27,77	3,96	27,98	4,74	28,28	5,85	27,13	1,55
12	29,91	32,49	8,61	31,73	6,09	31,87	6,55	32,07	7,22	31,22	4,38
13	24,71	25,13	1,70	24,39	1,28	24,52	0,77	24,70	0,04	24,06	2,63
14	26,48	35,03	32,27	35,07	32,44	35,06	32,41	35,02	32,26	35,07	32,42
15	33,44	35,33	5,67	35,36	5,76	35,36	5,75	35,33	5,67	35,36	5,75
16	32,44	34,74	7,09	34,76	7,17	34,76	7,16	34,73	7,08	34,76	7,16
17	33,24	33,83	1,79	33,71	1,42	33,75	1,54	33,80	1,68	33,67	1,29
18	28,86	31,51	9,18	31,39	8,74	31,43	8,87	31,47	9,04	31,35	8,62
19	29,99	32,88	9,65	32,69	9,02	32,75	9,21	32,82	9,46	32,63	8,82
20	24,03	25,83	7,50	26,30	9,45	26,28	9,36	25,78	7,28	26,21	9,09
21	25,57	26,91	5,21	26,83	4,90	26,84	4,96	26,86	5,02	26,78	4,71
22	24,87	26,34	5,92	26,27	5,63	26,28	5,68	26,29	5,74	26,23	5,47
23	27,77	29,61	6,64	29,30	5,52	29,40	5,88	29,27	5,41	28,97	4,31
24	26,08	27,89	6,96	27,70	6,24	27,88	6,91	27,27	4,57	27,08	3,87
25	28,57	31,29	9,53	31,23	9,33	31,27	9,46	31,16	9,07	31,10	8,87
26	24,04	25,15	4,60	25,11	4,46	25,16	4,66	24,96	3,83	24,93	3,69
27	20,20	23,10	14,40	23,33	15,52	23,32	15,47	23,04	14,08	23,26	15,14
28	25,88	26,26	1,48	26,47	2,28	26,46	2,22	26,23	1,36	26,44	2,16
29	27,15	30,03	10,61	28,96	6,70	29,09	7,14	29,66	9,26	28,62	5,42
30	33,84	34,41	1,70	34,38	1,61	34,38	1,61	34,41	1,70	34,38	1,61
31	26,70	31,96	19,73	31,41	17,67	31,47	17,88	31,82	19,18	31,27	17,12
32	22,47	25,95	15,49	26,38	17,41	26,33	17,19	25,88	15,18	26,28	16,95
33	28,23	28,65	1,48	28,85	2,21	28,83	2,14	28,60	1,33	28,80	2,02
34	27,50	28,96	5,30	29,30	6,53	29,25	6,37	28,94	5,22	29,26	6,41
35	28,84	28,94	0,34	29,32	1,64	29,28	1,50	28,92	0,26	29,28	1,51
36	29,11	31,19	7,15	30,47	4,67	30,53	4,90	30,75	5,64	30,03	3,15
37	26,75	27,96	4,52	27,31	2,07	27,43	2,55	27,22	1,77	26,61	0,53
38	33,21	34,36	3,48	33,61	1,23	33,69	1,45	34,31	3,34	33,56	1,07
39	30,17	32,01	6,09	31,69	5,02	31,70	5,06	31,81	5,44	31,49	4,37
40	32,20	34,27	6,44	33,85	5,12	33,90	5,28	34,26	6,41	33,82	5,05
41	33,03	33,50	1,41	33,12	0,26	33,18	0,44	33,48	1,36	33,10	0,19
42	22,40	22,86	2,05	22,94	2,44	22,92	2,33	22,81	1,83	22,89	2,21
43	22,87	23,79	4,03	23,85	4,29	23,83	4,22	23,75	3,87	23,82	4,14
44	21,74	22,12	1,72	22,18	2,00	22,16	1,93	22,08	1,56	22,14	1,84
45	21,33	21,77	2,05	21,85	2,44	21,83	2,33	21,72	1,83	21,80	2,21
46	21,78	22,66	4,03	22,71	4,29	22,70	4,22	22,62	3,87	22,68	4,14
47	20,71	21,06	1,72	21,12	2,00	21,11	1,93	21,03	1,56	21,09	1,84
48	25,61	29,08	13,58	29,09	13,59	29,09	13,59	29,08	13,58	29,09	13,59
49	20,67	21,22	2,64	21,87	5,78	21,83	5,61	21,10	2,08	21,67	4,83
50	21,63	22,33	3,23	22,82	5,48	22,81	5,43	22,20	2,64	22,68	4,86
51	21,40	21,02	1,81	21,26	0,69	21,25	0,71	20,96	2,06	21,19	1,02
52	24,57	24,28	1,20	23,92	2,64	23,94	2,58	23,98	2,40	23,63	3,83
53	23,45	26,55	13,24	26,32	12,26	26,33	12,29	26,36	12,42	26,11	11,34
54	23,85	24,66	3,39	25,14	5,40	24,74	3,73	27,06	13,46	27,35	14,67
55	24,39	26,43	8,35	25,36	3,96	25,55	4,74	25,82	5,85	24,77	1,55
56	27,32	29,67	8,61	28,98	6,09	29,11	6,55	29,29	7,22	28,51	4,38
57	22,57	22,95	1,70	22,28	1,28	22,39	0,77	22,56	0,04	21,97	2,63
58	26,71	25,36	5,05	27,55	3,14	24,41	8,61	28,17	5,46	27,61	3,37
59	30,54	32,27	5,67	32,30	5,76	32,29	5,75	32,27	5,67	32,29	5,75
60	29,62	31,72	7,09	31,75	7,17	31,74	7,16	31,72	7,08	31,74	7,16
61	30,35	30,90	1,79	30,78	1,42	30,82	1,54	30,86	1,68	30,75	1,29

62	26,36	28,78	9,18	28,66	8,74	28,70	8,87	28,74	9,04	28,63	8,62
63	27,39	30,03	9,65	29,85	9,02	29,91	9,21	29,98	9,46	29,80	8,82
64	21,94	23,59	7,50	24,02	9,45	24,00	9,36	23,54	7,28	23,94	9,09
65	23,35	24,57	5,21	24,50	4,90	24,51	4,96	24,53	5,02	24,45	4,71
66	22,71	24,05	5,92	23,99	5,63	24,00	5,68	24,01	5,74	23,95	5,47
67	25,36	27,04	6,64	26,76	5,52	26,85	5,88	26,73	5,41	26,46	4,31
68	23,81	25,47	6,96	25,30	6,24	25,46	6,91	24,90	4,57	24,73	3,87
69	26,09	28,58	9,53	28,52	9,33	28,56	9,46	28,46	9,07	28,40	8,87
70	21,96	22,97	4,60	22,93	4,46	22,98	4,66	22,80	3,83	22,77	3,69
71	18,44	21,10	14,40	21,31	15,52	21,30	15,47	21,04	14,08	21,24	15,14
72	23,63	23,98	1,48	24,17	2,28	24,16	2,22	23,96	1,36	24,14	2,16
73	24,79	27,42	10,61	26,45	6,70	26,56	7,14	27,09	9,26	26,14	5,42
74	30,90	31,43	1,70	31,40	1,61	31,40	1,61	31,43	1,70	31,40	1,61
75	24,38	29,19	19,73	28,69	17,67	28,74	17,88	29,06	19,18	28,55	17,12
76	20,52	23,70	15,49	24,09	17,41	24,05	17,19	23,63	15,18	24,00	16,95
77	25,78	26,16	1,48	26,35	2,21	26,33	2,14	26,12	1,33	26,30	2,02
78	25,11	26,45	5,30	26,75	6,53	26,71	6,37	26,43	5,22	26,72	6,41
79	26,34	26,43	0,34	26,77	1,64	26,74	1,50	26,41	0,26	26,74	1,51
80	26,58	28,48	7,15	27,83	4,67	27,88	4,90	28,08	5,64	27,42	3,15
81	24,43	25,54	4,52	24,94	2,07	25,05	2,55	24,86	1,77	24,30	0,53
82	30,32	31,38	3,48	30,70	1,23	30,77	1,45	31,34	3,34	30,65	1,07
83	27,55	29,23	6,09	28,94	5,02	28,95	5,06	29,05	5,44	28,76	4,37
84	29,40	31,30	6,44	30,91	5,12	30,96	5,28	31,29	6,41	30,89	5,05
85	30,17	30,59	1,41	30,24	0,26	30,30	0,44	30,58	1,36	30,22	0,19
86	24,72	31,79	31,04	31,77	30,96	31,76	30,92	31,78	31,00	31,76	30,92
87	26,97	26,47	7,08	25,6	3,56	25,76	4,21	25,82	4,45	24,97	1,01
88	21,91	29,06	7,75	28,65	6,23	28,68	6,34	28,9	7,16	28,5	5,67
89	23,55	30,93	41,17	30,51	39,25	30,55	39,43	30,9	41,03	30,46	39,02
90	27,24	30,29	28,62	30,14	27,98	30,17	28,11	30,21	28,28	30,05	27,60
91	24,44	27,69	1,65	27,64	1,47	27,66	1,54	27,63	1,43	27,58	1,25
92	26,53	24,02	1,72	23,78	2,70	23,8	2,62	23,77	2,74	23,53	3,72
93	24,35	25,25	4,82	25,22	4,94	25,24	4,86	25,23	4,90	25,2	5,01
94	24,49	22,53	8,00	22,75	7,10	22,74	7,15	22,45	8,33	22,67	7,43
95	26,72	23,94	10,40	24,97	6,55	24,92	6,74	23,67	11,41	24,71	7,52
96	21,70	22,77	4,93	23,36	7,65	23,36	7,65	22,65	4,38	23,22	7,00
97	23,33	26,71	14,49	25,97	11,32	26,08	11,79	26,26	12,56	25,52	9,39
98	26,98	29,79	10,42	29,53	9,45	29,58	9,64	29,74	10,23	29,49	9,30
99	24,21	27,65	14,21	27,11	11,98	27,22	12,43	27,36	13,01	26,83	10,82
100	26,28	29,59	12,60	28,83	9,70	29	10,35	29,3	11,49	28,5	8,45
101	24,12	25,93	7,50	25,7	6,55	25,73	6,67	25,86	7,21	25,63	6,26
102	25,37	26,67	5,12	26,44	4,22	26,44	4,22	26,65	5,05	26,42	4,14
103	27,58	30,59	10,91	29,71	7,72	29,79	8,01	30,46	10,44	29,53	7,07
104	28,12	30,31	7,79	29,56	5,12	29,64	5,41	30,17	7,29	29,39	4,52
105	26,25	27,8	5,90	27,71	5,56	27,7	5,52	27,79	5,87	27,7	5,52
106	26,22	27,64	5,42	27,57	5,15	27,56	5,11	27,52	4,96	27,47	4,77
107	28,42	30,16	6,12	30,16	6,12	30,2	6,26	30,12	5,98	30,12	5,98
108	28,23	31,79	12,61	31,77	12,54	31,76	12,50	31,78	12,58	31,76	12,50
109	22,92	26,47	15,49	25,6	11,69	25,76	12,39	25,82	12,65	24,97	8,94
110	26,23	29,06	10,79	28,65	9,23	28,68	9,34	28,9	10,18	28,5	8,65
111	29,33	30,93	5,46	30,51	4,02	30,55	4,16	30,9	5,35	30,46	3,85
112	29,29	30,29	3,41	30,14	2,90	30,17	3,00	30,21	3,14	30,05	2,59
113	27,29	27,69	1,47	27,64	1,28	27,66	1,36	27,63	1,25	27,58	1,06
114	22,32	24,02	7,62	23,78	6,54	23,8	6,63	23,77	6,50	23,53	5,42

115	24,36	25,25	3,65	25,22	3,53	25,24	3,61	25,23	3,57	25,2	3,45
116	27,14	26,67	1,73	26,44	2,58	26,44	2,58	26,65	1,81	26,42	2,65
117	26,54	30,59	15,26	29,71	11,94	29,79	12,25	30,46	14,77	29,53	11,27
118	27,28	30,31	11,11	29,56	8,36	29,64	8,65	30,17	10,59	29,39	7,73
119	24,32	27,8	14,31	27,71	13,94	27,7	13,90	27,79	14,27	27,7	13,90
e%			9.37		9.09		8.71		8.98		8.21

Tableau (4 .17) : Résultats des calculs de la tension superficielle .

Dans les tableaux ci-dessus , nous avons reportés les résultats des calculs des tension superficielles à 20°Cdes différents mélanges établies en utilisant les différentes règles de mélanges classiques .

Les écarts moyens obtenus en comparant les valeurs calculées et les valeurs expérimentales sont résumés dans le tableau (4.18) suivant :

Compositions	Massique (%)				Molaire (%)				Volumique (%)			
	bin	ter	Multi	moy	bin	ter	Multi	moy	bin	ter	Multi	moy
e _{moy} (%) arithmétique	7.62	9.10	10.67	9.13	8.84	11.21	13.37	11.14	7.42	8.33	10.71	8.82
e _{moy} (%) géométrique	9.33	12.47	12.4	11.4	10.16	11.51	13.55	11.74	8.47	9.16	13.33	10.32
e _{moy} (%) cubique	11.28	12.30	12.96	12.18	8.35	9.62	11.82	9.93	9.93	11.62	13.64	11.73
e _{moy} (%) logarithmique	9.41	11.85	12.43	11.23	8.17	9.70	10.24	9.37	8.26	8.9	10.11	9.09
e _{moy} (%) harmonique	7.10	8.10	10.93	8.71	7.89	10.12	8.93	8.98	6.75	8.10	9.78	8.21

Tableau 4.18 : comparaison entre les tension superficielles calculées et celles mesurées .

Les écarts enregistrés entre les règles de mélanges et l'expérience varient entre 8 et 12%. Globalement ces écarts , assez élevés , peuvent s'expliquer par le fait que pour effectuer le calcul nous avons considéré la composition du liquide et non pas celle de sa surface d'une part , et d'autre part à la non idéalité des mélanges considérés qui sont caractérisés par la présence de grandeurs d'excès que nous n'avons pas pris en considération pour effectuer le calcul des tensions superficielle moyennes . Cependant , nous pouvons remarquer que la moyenne harmonique est celle qui a enregistré à chaque fois , les plus faibles écarts et ce pour les trois types de compositions .

IV. AMELIORATION DE LA NOUVELLE REGLE DE MELANGE POUR LA PREDICTION DE LA VISCOSITE A 20°C DES MELANGES D'HYDROCARBURES

IV.1. Introduction

L'application des règles de mélanges corrigées dans un précédent travail [] à l'ensemble des mélanges expérimentaux disponibles ont donné des résultats peu satisfaisants. Ainsi, nous nous sommes proposés d'effectuer une nouvelle correction des différentes règles afin de réduire au maximum les écarts enregistrés par rapport aux valeurs expérimentales. Les termes correctifs qui ont été introduit tiennent compte uniquement de la nature des hydrocarbures présents dans les mélanges, à savoir les paraffines, les naphthènes, les aromatiques et les oléfines. Cette dernière famille ayant été introduite suite à l'utilisation du 1- hexene comme composant dans quelques mélanges.

IV.2. Démarche suivie

L'établissement des nouvelles règles de mélanges a consisté à effectuer des régressions multilinéaires moyennant un logiciel d'optimisation SIGMAPLOT. A partir des valeurs expérimentales des viscosités expérimentales à 20°C des mélanges binaires et ternaires ainsi que celles des hydrocarbures purs composant ces mélanges. Les équations que nous nous sommes proposés d'établir sont de la forme :

Cas de la moyenne arithmétique :

$$\mu_{\text{mel}} = C_P \cdot \mu_P X_P + C_N \cdot \mu_N X_N + C_A \cdot \mu_A X_A + C_O \cdot \mu_O X_O \quad (1)$$

Cas de la moyenne géométrique :

$$\mu_{\text{mel}}^{1/2} = C_P \cdot \mu_P^{1/2} X_P + C_N \cdot \mu_N^{1/2} X_N + C_A \cdot \mu_A^{1/2} X_A + C_O \cdot \mu_O^{1/2} X_O \quad (2)$$

Cas de la moyenne cubique :

$$\mu_{\text{mel}}^{1/3} = C_P \cdot \mu_P^{1/3} X_P + C_N \cdot \mu_N^{1/3} X_N + C_A \cdot \mu_A^{1/3} X_A + C_O \cdot \mu_O^{1/3} X_O \quad (3)$$

Cas de la moyenne géométrique :

$$\ln \mu_{\text{mel}} = C_P \cdot \ln \mu_P \cdot X_P + C_N \cdot \ln \mu_N \cdot X_N + C_A \cdot \ln \mu_A \cdot X_A + C_O \cdot \ln \mu_O \cdot X_O \quad (4)$$

Cas de la moyenne harmonique :

$$\mu_{\text{mel}}^{-1} = C_P \cdot \mu_P^{-1} X_P + C_N \cdot \mu_N^{-1} X_N + C_A \cdot \mu_A^{-1} X_A + C_O \cdot \mu_O^{-1} X_O \quad (5)$$

Avec

μ_{mel} : viscosité moyenne du mélange.

μ_P : viscosité de l'hydrocarbure paraffinique.

μ_N : viscosité de l'hydrocarbure naphthénique.

μ_A : viscosité de l'hydrocarbure aromatique.

X_P fraction massique, molaire ou volumique de l'hydrocarbure paraffinique.

X_N fraction massique, molaire ou volumique de l'hydrocarbure naphthénique.

X_A fraction massique, molaire ou volumique de l'hydrocarbure aromatique.

X_O fraction massique, molaire ou volumique de l'hydrocarbure oléfinique.

- C_P : coefficient caractéristique de la famille des paraffines.
 C_N : coefficient caractéristique de la famille des naphthènes.
 C_A : coefficient caractéristique de la famille des aromatiques.
 C_O : coefficient caractéristique de la famille des oléfines.

Notons que pour mener cette opération, nous avons été menés à effectuer dans une première phase un tri parmi les différents mélanges en éliminant de la base de données les mélanges ayant enregistré avec les règles de mélanges classiques des écarts élevés (supérieurs à 30%) par rapport aux valeurs expérimentales. Ainsi, sur les 115 binaires et ternaires, nous n'avons retenu que 96 mélanges comme base de données pour effectuer l'optimisation.

Résultats et commentaires

La régression à partir des données expérimentales, a permis de déterminer les valeurs des coefficients C_P , C_N et C_A et C_O donnés dans le tableau ci-dessous.

	coefficients	%massique	%molaire	%volumique
Moyenne arithmétique	CP	9.1000E-01	1.0380E-00	8.9907E-01
	CN	9.6554E-01	9.6725E-01	9.6961E-01
	CA	8.9758E-01	9.4677E-01	8.8776E-01
	CO	8.5567E-01	8.0311E-01	8.9606E-01
Moyenne géométrique	CP	9.8712E-01	1.0398E-00	9.8253E-01
	CN	9.8437E-01	9.9042E-01	9.8623E-01
	CA	9.5032E-01	9.8338E-01	9.4252E-01
	CO	9.3681E-01	9.1085E-01	9.5825E-01
Moyenne cubique	CP	9.9840E-01	1.0296E-00	9.9580E-01
	CN	9.8998E-01	9.9550E-01	9.9109E-01
	CA	9.6831E-01	9.9164E-01	9.6254E-01
	CO	9.6050E-01	9.4351E-01	9.7486E-01
Moyenne logarithmique	CP	1.1220E-00	1.2171E-00	1.1035E-00
	CN	6.2174E-01	1.0076E-00	6.3487E-01
	CA	1.3600E-00	1.1201E-00	1.4427E-00
	CO	1.0854E-00	1.1228E-00	1.0380E-00
Moyenne harmonique	CP	9.1281E-01	8.8748E-01	9.1104E-01
	CN	9.9696E-01	9.6295E-01	9.9775E-01
	CA	1.0256E-00	9.7143E-01	1.0418E-00
	CO	1.0390E-00	1.0671E-00	1.0032E-00

Tableau 5.1 : Coefficients de la nouvelle règle de mélange.

L'application des nouvelles équations aux différents mélanges a permis de dresser le tableau suivant dans lequel nous avons regroupé les écarts moyens enregistrés par rapport aux résultats expérimentaux. Dans ce même tableau, nous avons également présenté les écarts obtenus dans le cas des règles de mélanges classiques ie avant correction et l'introduction des coefficients de correction.

Ecart moyen en %	e_m % massique	e_m % massique- corrigé	e_m % molaire	e_m % molaire- corrigé	e_m % volumique	e_m % volumique- corrigé
Moyenne arithmétique	12,9	9,4	9,4	8,8	13,2	9,5
Moyenne géométrique	10,6	8,5	8,2	8,3	10,8	8,6
Moyenne cubique	9,8	8,2	8,1	8,3	10,0	8,3
Moyenne logarithmique	8,5	7,7	9,1	7,4	8,7	8,1
Moyenne harmonique	6,9	7,5	11,3	9,7	7,0	7,6

Tableau 5.2 : Valeurs des écarts moyens enregistrés dans le cas de la viscosité par les règles de mélange classiques corrigées .

D'après le tableau précédent, nous avons pu améliorer la prédiction de la viscosité par l'introduction de nouveaux facteurs correctifs tenant compte de la famille d'hydrocarbure .

Ces écarts peuvent probablement être réduits encore plus si l'on tient compte d'autres facteurs tels que la taille des molécules et tenir compte également des interactions entre molécules à l'intérieur d'un mélange .

□ Pour tous les mélanges préparés , nous avons obtenu les résultats suivants :

N°mél	vis exp cst	vis arth %m	e%	vis arth %n	e%	vis arth %V	e%	vis géo %m	e%	vis géo %n	e%
1	1,1	1,11	1,21	1,09	1,00	1,09	0,61	1,11	1,20	1,12	1,49
2	1,68	1,13	32,80	1,11	34,22	1,11	34,01	1,13	32,80	1,13	32,57
3	1,21	1,10	9,20	1,08	11,12	1,08	10,84	1,10	9,20	1,10	8,88
4	1,11	1,20	8,50	1,16	4,45	1,18	6,43	1,20	8,26	1,19	6,86
5	1,3	1,27	2,67	1,22	5,87	1,24	4,50	1,26	2,82	1,25	3,67
6	1,31	1,15	12,43	1,11	15,30	1,13	14,09	1,15	12,59	1,14	13,28
7	0,83	0,96	15,08	0,87	4,77	0,96	15,59	0,94	13,31	0,88	5,85
8	1,01	1,10	9,36	1,03	1,69	1,10	8,76	1,09	8,37	1,04	2,95
9	0,75	0,81	8,66	0,77	2,11	0,81	8,43	0,81	7,53	0,78	3,96
10	1,11	1,01	8,81	0,93	16,27	1,01	9,15	0,99	10,72	0,93	15,94
11	0,91	0,92	0,62	0,92	0,63	0,91	0,27	0,91	0,18	0,93	2,37
12	0,79	0,82	3,33	0,81	2,64	0,81	2,07	0,81	2,82	0,83	4,64
13	1,02	1,02	0,37	1,01	1,20	1,00	1,61	1,01	0,86	1,03	0,87
14	1,28	1,20	6,04	1,16	9,17	1,19	6,80	1,22	4,84	1,19	7,11
15	0,78	0,74	4,50	0,74	5,19	0,74	4,79	0,76	3,04	0,76	2,80
16	0,74	0,73	1,71	0,73	1,38	0,73	2,00	0,07	90,08	0,74	0,08
17	1,17	1,02	12,49	1,02	12,46	1,03	12,00	0,10	91,25	1,03	12,07
18	0,7	0,75	6,45	0,74	6,40	0,75	7,32	0,07	89,38	0,75	6,74

19	0,99	0,99	0,16	0,92	7,08	0,99	0,02	0,10	90,17	0,91	8,41
20	1,26	1,31	3,73	1,31	3,97	1,30	3,38	0,13	89,53	1,33	5,51
21	1,12	1,18	5,03	1,03	8,16	1,17	4,85	0,12	89,54	1,02	8,82
22	0,85	0,87	2,27	0,78	8,01	0,87	2,14	0,09	89,88	0,79	7,34
23	0,95	1,02	7,57	0,87	8,28	1,02	7,46	0,10	89,38	0,87	8,47
24	1,2	1,13	5,76	1,12	6,53	1,13	5,89	0,11	90,50	1,14	4,99
25	1,19	1,16	2,13	1,16	2,63	1,16	2,33	0,12	90,13	1,18	1,01
26	1,2	1,09	8,80	1,09	8,99	1,09	8,98	0,11	90,80	1,11	7,45
27	0,73	0,91	25,25	0,84	15,72	0,87	19,57	0,09	88,11	0,80	10,05
28	1,25	1,21	3,05	1,22	2,33	1,21	3,47	0,12	90,22	1,24	0,68
29	0,8	0,85	6,56	0,87	9,19	0,83	3,73	0,08	89,53	0,87	8,79
30	1,02	0,99	2,73	1,00	1,59	0,97	4,45	0,10	90,34	1,01	0,84
31	0,65	0,70	7,56	0,71	9,98	0,68	5,05	0,07	89,40	0,71	9,66
32	0,45	0,44	2,04	0,44	2,06	0,44	2,82	0,04	90,17	0,45	0,39
33	0,43	0,43	1,15	0,43	1,13	0,43	0,34	0,04	89,84	0,44	2,87
34	0,46	0,45	2,87	0,45	2,89	0,44	3,65	0,04	90,25	0,45	1,22
35	0,46	0,50	9,28	0,51	10,18	0,49	5,50	0,05	89,18	0,51	10,47
36	0,52	0,60	14,53	0,60	15,57	0,57	9,88	0,06	88,68	0,60	15,74
37	0,64	0,68	6,11	0,68	6,55	0,66	3,48	0,07	89,42	0,69	7,62
38	0,63	0,77	22,90	0,77	22,90	0,74	18,20	0,07	88,24	0,75	19,16
39	0,91	0,96	5,26	0,96	5,26	0,94	2,78	0,95	4,30	0,95	4,61
40	0,5	0,58	15,25	0,58	15,25	0,56	11,19	0,56	11,75	0,56	12,08
41	1,94	2,13	9,80	1,93	0,48	2,13	9,74	2,07	6,86	1,88	2,99
42	1,79	2,01	12,45	1,63	8,93	2,01	12,07	1,92	7,30	1,56	12,93
43	1,17	1,76	50,82	1,29	10,45	1,83	56,36	1,60	36,40	1,17	0,21
44	1,19	1,53	28,15	1,31	9,93	1,57	31,76	1,43	20,15	1,23	2,98
45	-	--	-	-	-	-	-	-	-	--	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	3,37	2,71	19,57	2,70	19,86	2,67	20,74	2,73	19,04	2,70	19,78
49	0,91	1,01	10,47	0,73	19,85	0,93	2,46	0,83	9,17	0,63	30,36
50	0,78	0,86	9,93	0,76	2,70	0,83	5,84	0,82	4,69	0,72	7,33
51	1,01	0,61	39,50	0,56	44,37	0,59	41,34	0,59	41,83	0,54	46,08
52	0,99	0,80	19,36	0,81	18,36	0,77	22,50	0,78	21,54	0,77	21,98
53	0,99	0,98	1,44	0,99	0,44	0,95	3,86	0,97	2,43	0,97	1,98
54	0,56	0,60	7,36	0,60	7,37	0,57	2,33	0,58	3,14	0,58	4,32
55	0,55	0,61	11,10	0,62	12,90	0,58	5,95	0,62	12,25	0,61	11,62
56	0,66	0,69	4,53	0,69	4,54	0,67	1,54	0,69	4,11	0,69	5,02
57	0,5	0,53	6,44	0,53	6,45	0,51	1,01	0,53	5,55	0,53	6,94
58	0,71	0,70	1,44	0,70	1,43	0,69	2,88	0,71	0,42	0,70	0,98
59	0,7	0,68	2,85	0,68	2,84	0,67	4,26	0,69	1,84	0,68	2,39
60	0,73	0,72	1,44	0,72	1,43	0,71	2,88	0,73	0,42	0,72	0,98
61	0,75	0,80	6,44	0,79	5,14	0,80	6,19	0,80	6,22	0,79	5,62
62	0,98	1,01	2,58	1,01	2,59	1,00	2,08	1,01	2,63	1,00	2,05
63	0,79	0,89	12,28	0,88	11,04	0,88	11,88	0,89	12,19	0,87	10,30
64	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-	-
65	0,75	0,90	19,59	0,90	19,59	0,87	16,55	0,89	18,17	0,88	17,50
66	0,63	0,81	28,28	0,81	28,29	0,79	24,87	0,80	26,45	0,79	25,74
67	0,66	0,70	6,03	0,70	6,03	0,68	3,01	0,71	7,12	0,70	6,52
68	0,58	0,63	8,76	0,62	7,06	0,60	3,82	0,63	8,16	0,61	5,85
69	0,81	0,94	15,60	0,94	15,60	0,93	15,11	0,94	15,56	0,93	14,91
70	0,62	0,82	31,94	0,79	27,18	0,78	25,32	0,79	26,88	0,76	22,98
71	0,56	0,58	3,84	0,55	1,43	0,56	0,59	0,57	1,36	0,53	4,52

72	0,87	0,92	5,36	0,87	0,30	0,89	2,71	0,90	3,01	0,84	3,26
73	0,53	0,68	28,31	0,69	30,18	0,66	24,61	0,69	29,64	0,68	28,91
74	0,75	0,74	1,44	0,74	1,43	0,74	1,58	0,75	0,42	0,74	0,98
75	0,73	0,92	25,56	0,90	22,87	0,91	25,06	0,92	25,50	0,88	20,72
76	0,81	1,00	22,90	0,85	4,65	0,96	18,71	0,91	11,87	0,79	2,20
77	1,54	1,70	10,08	1,59	3,05	1,65	7,21	1,63	6,05	1,52	0,98
78	1,18	1,47	24,45	1,33	12,77	1,45	22,64	1,43	21,52	1,31	10,77
79	1,06	1,62	52,49	1,41	32,97	1,59	50,27	1,54	45,61	1,36	27,98
80	1,13	0,65	42,43	0,65	42,43	0,64	43,27	0,66	41,84	0,65	42,17
81	0,51	0,57	12,09	0,56	10,16	0,54	6,65	0,57	11,30	0,56	10,67
82	1,12	1,49	32,88	1,20	7,37	1,52	36,15	1,36	21,81	1,09	2,75
83	0,73	0,90	22,86	0,89	21,52	0,89	22,40	0,89	21,41	0,88	20,72
84	0,89	1,27	42,86	0,98	9,64	1,31	47,32	1,15	28,67	0,91	2,36
85	1,1	1,43	29,92	1,22	11,11	1,47	33,32	1,33	21,31	1,14	3,52
86	0,93	1,06	13,50	0,91	2,28	1,01	8,61	1,00	7,50	0,84	9,18
87	1,72	1,74	1,31	1,69	1,60	1,71	0,56	1,72	0,27	1,67	3,17
88	1,15	1,18	2,33	1,16	1,05	1,16	0,76	1,19	3,22	1,17	1,43
89	0,85	0,94	10,74	0,83	1,90	0,93	9,24	0,93	9,66	0,83	2,84
90	0,87	1,00	14,76	0,94	7,74	0,95	8,62	0,97	11,37	0,90	3,69
91	1,21	1,19	1,77	1,17	3,71	1,17	3,44	1,20	0,91	1,17	3,35
92	0,86	0,99	15,18	0,95	10,83	0,99	15,19	0,99	15,10	0,95	10,07
93	1,52	1,60	5,50	1,45	4,68	1,60	5,11	1,57	3,45	1,42	6,65
94	0,65	0,67	3,11	0,64	1,43	0,66	1,61	0,67	2,64	0,62	4,03
95	1,19	1,55	30,03	1,27	6,85	1,48	24,06	1,43	20,50	1,14	4,31
96	0,81	1,20	48,45	0,94	15,60	1,14	40,29	1,06	30,31	0,82	1,46
97	0,62	0,77	23,99	0,77	24,00	0,74	19,05	0,75	20,46	0,75	21,38
98	1,09	1,34	22,97	1,12	3,09	1,35	23,85	1,26	16,02	1,07	1,89
99	0,65	0,77	18,27	0,77	18,28	0,76	16,55	0,76	16,43	0,75	15,78
100	0,61	0,67	9,87	0,67	9,88	0,65	6,68	0,68	11,01	0,67	10,38
101	0,85	0,96	12,47	0,97	13,64	0,92	8,55	0,95	11,30	0,95	11,83
102	1,14	1,14	0,29	1,13	0,57	1,13	1,17	1,16	1,33	1,14	0,11
103	0,75	0,85	13,02	0,80	6,45	0,85	13,96	0,84	11,53	0,79	5,62
104	0,8	0,86	7,18	0,82	2,26	0,86	8,05	0,86	7,05	0,81	1,50
105	1,61	1,71	5,91	1,53	5,11	1,69	4,97	1,68	4,53	1,50	7,13
106	0,95	1,22	28,65	1,13	19,32	1,22	28,82	1,19	24,74	1,10	15,70
107	0,93	1,03	10,22	0,96	2,81	1,03	10,70	0,99	6,00	0,93	0,08
108	0,81	0,72	11,17	0,72	11,17	0,71	12,47	0,73	10,26	0,72	10,76
109	0,6	0,60	0,20	0,60	0,21	0,57	4,50	0,60	0,42	0,60	0,67
110	0,82	0,92	11,78	0,90	9,39	0,91	11,34	0,92	11,72	0,89	8,68
111	0,86	1,00	15,75	0,89	3,15	1,01	17,45	0,95	10,00	0,85	0,98
112	0,73	0,82	12,06	0,82	12,07	0,82	11,76	0,83	13,22	0,82	12,58
113	0,93	1,03	11,28	1,04	12,35	1,03	10,70	1,04	11,36	1,04	11,80
114	0,7	0,84	19,68	0,83	18,28	0,80	13,77	0,81	15,23	0,79	13,17
115	0,99	1,06	7,52	1,04	5,54	1,04	4,97	1,06	6,62	1,04	5,02
116	0,87	0,97	11,49	1,18	35,63	1,09	25,29	0,88	1,29	0,96	10,40
117	0,93	1,27	36,56	1,57	68,82	1,22	31,18	1,07	14,98	1,03	10,73
118	0,92	0,87	5,43	1,05	14,13	1,14	23,91	1,11	20,53	1,03	11,94
119	1,01	1,09	7,92	1,32	30,69	1,30	28,71	1,16	14,69	1,13	11,77

N°mél	vis exp cst	vis _{geo} m vol	e(%)	vis _{cub} masse	e(%)	vis _{cub} mol	e(%)	vis _{cub} vol	e(%)	vis _{log} masse	e(%)
1	1,1	1,09	0,78	1,10	0,35	1,10	0,31	1,09	0,57	1,11	1,05
2	1,68	1,11	33,87	1,12	33,12	1,12	33,14	1,11	33,73	1,13	32,65
3	1,21	1,08	10,60	1,09	9,58	1,09	9,62	1,08	10,42	1,10	8,95
4	1,11	1,18	6,23	1,19	7,44	1,17	5,62	1,18	6,45	1,20	8,19
5	1,3	1,25	4,05	1,26	2,95	1,24	4,51	1,24	4,60	1,26	3,04
6	1,31	1,13	13,71	1,14	12,72	1,12	14,26	1,13	13,53	1,14	12,87
7	0,83	0,95	13,89	0,94	12,81	0,87	4,46	0,95	14,13	0,93	12,40
8	1,01	1,09	8,06	1,08	7,35	1,02	1,45	1,09	8,29	1,08	7,11
9	0,75	0,81	7,84	0,80	6,45	0,77	2,46	0,80	6,77	0,80	7,19
10	1,11	0,99	10,45	0,98	12,09	0,92	17,45	0,99	11,14	0,97	12,38
11	0,91	0,91	0,41	0,91	0,35	0,92	0,69	0,90	1,27	0,90	0,75
12	0,79	0,81	2,38	0,81	2,31	0,82	3,51	0,80	1,36	0,81	3,02
13	1,02	1,00	1,59	1,01	1,44	1,01	0,51	1,01	1,39	1,01	0,75
14	1,28	1,19	7,12	1,21	5,29	1,17	8,40	1,19	6,92	1,22	4,63
15	0,78	0,74	5,05	0,75	3,96	0,75	4,00	0,74	4,85	0,75	3,30
16	0,74	0,73	1,23	0,74	0,11	0,73	1,48	0,73	1,03	0,74	0,59
17	1,17	1,02	12,54	1,03	12,39	1,01	13,27	1,03	12,36	1,02	12,63
18	0,7	0,74	5,80	0,74	5,60	0,74	5,56	0,74	6,02	0,74	6,34
19	0,99	0,96	2,55	0,97	2,43	0,89	10,43	0,96	3,33	0,95	3,76
20	1,26	1,31	3,64	1,32	4,82	1,32	4,78	1,31	3,85	1,33	5,55
21	1,12	1,16	3,54	1,16	3,84	1,00	10,27	1,16	3,76	1,16	3,68
22	0,85	0,86	0,89	0,86	0,88	0,78	8,43	0,85	0,05	0,85	0,42
23	0,95	1,00	5,66	1,01	5,82	0,86	9,77	1,00	4,85	0,99	4,47
24	1,2	1,13	5,80	1,14	4,72	1,12	6,40	1,13	5,60	1,15	4,06
25	1,19	1,17	1,73	1,17	1,44	1,16	2,30	1,17	1,53	1,18	0,75
26	1,2	1,09	9,05	1,10	8,01	1,09	8,87	1,09	8,86	1,11	7,37
27	0,73	0,82	12,13	0,85	16,11	0,78	6,62	0,80	9,69	0,81	11,48
28	1,25	1,21	3,33	1,22	2,23	1,23	1,48	1,21	3,13	1,23	1,55
29	0,8	0,81	1,10	0,83	3,49	0,86	7,14	0,81	1,32	0,82	2,97
30	1,02	0,96	5,42	0,99	3,37	1,00	2,44	0,97	5,22	0,98	3,67
31	0,65	0,67	3,45	0,69	6,14	0,70	7,62	0,67	3,66	0,68	5,36
32	0,45	0,44	2,55	0,44	1,44	0,44	1,48	0,44	2,35	0,45	0,75
33	0,43	0,43	0,28	0,43	0,85	0,43	0,81	0,43	0,07	0,44	1,56
34	0,46	0,45	2,55	0,45	1,44	0,45	1,48	0,45	2,35	0,46	0,75
35	0,46	0,48	3,81	0,49	7,13	0,50	9,23	0,48	4,02	0,50	7,88
36	0,52	0,57	8,69	0,58	11,83	0,59	13,68	0,56	7,04	0,59	12,61
37	0,64	0,66	3,54	0,68	6,26	0,68	6,22	0,65	2,23	0,67	5,45
38	0,63	0,71	12,92	0,73	15,77	0,73	15,73	0,70	11,60	0,71	13,43
39	0,91	0,92	0,66	0,94	2,89	0,94	2,85	0,91	0,20	0,92	1,43
40	0,5	0,54	7,20	0,54	8,42	0,54	8,38	0,53	5,47	0,54	7,19
41	1,94	2,05	5,49	2,03	4,66	1,83	5,54	2,02	4,20	1,98	2,32
42	1,79	1,89	5,62	1,86	4,07	1,51	15,79	1,86	3,66	1,80	0,36
43	1,17	1,65	40,76	1,52	29,73	1,11	4,84	1,58	35,21	1,41	20,46
44	1,19	1,45	22,02	1,38	15,96	1,18	0,65	1,42	18,99	1,31	10,09
45	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-
48	3,37	2,67	20,77	2,70	19,86	2,69	20,19	2,68	20,60	2,95	12,53

49	0,91	0,77	15,40	0,77	15,52	0,60	33,96	0,72	20,59	0,90	0,75
50	0,78	0,79	1,20	0,80	2,35	0,71	9,06	0,77	1,09	0,75	3,30
51	1,01	0,57	44,04	0,57	43,40	0,53	47,32	0,56	44,89	0,59	42,02
52	0,99	0,73	26,17	0,76	23,34	0,76	23,37	0,72	27,01	0,70	28,82
53	0,99	0,94	5,50	0,96	3,43	0,96	3,47	0,93	6,29	0,87	11,78
54	0,56	0,56	0,81	0,57	2,08	0,57	2,04	0,55	2,35	0,55	2,52
55	0,55	0,58	6,31	0,60	9,31	0,61	11,06	0,58	4,76	0,71	29,93
56	0,66	0,66	0,40	0,68	3,04	0,69	4,49	0,66	0,61	0,88	33,83
57	0,5	0,51	1,35	0,52	4,48	0,52	4,44	0,51	1,56	0,57	13,14
58	0,71	0,69	2,55	0,70	1,44	0,70	1,48	0,69	2,35	0,85	20,22
59	0,7	0,67	3,94	0,68	2,85	0,68	2,88	0,67	3,74	0,93	33,28
60	0,73	0,71	2,55	0,72	1,44	0,72	1,48	0,71	2,35	0,77	6,05
61	0,75	0,79	5,25	0,79	5,13	0,79	5,09	0,79	5,47	0,77	3,22
62	0,98	0,99	1,43	1,00	1,58	1,00	1,54	1,00	1,64	0,93	4,80
63	0,79	0,88	11,02	0,87	9,79	0,87	9,75	0,87	10,02	0,83	5,53
64	-	-	--		--	--		-	-	--	-
65	0,75	0,86	14,34	0,87	15,65	0,88	16,91	0,85	13,28	0,80	7,19
66	0,63	0,77	22,20	0,79	25,16	0,79	25,11	0,77	22,46	0,74	18,15
67	0,66	0,68	3,36	0,70	6,03	0,70	5,99	0,68	3,57	0,80	21,80
68	0,58	0,59	2,49	0,62	7,06	0,60	3,62	0,60	2,71	0,85	7,16
69	0,81	0,93	14,29	0,92	13,16	0,93	14,34	0,93	14,53	0,86	6,60
70	0,62	0,74	19,45	0,77	24,00	0,74	19,18	0,73	18,13	1,07	2,88
71	0,56	0,56	0,81	0,56	0,32	0,53	5,00	0,55	2,35	0,56	0,75
72	0,87	0,88	0,81	0,89	1,96	0,84	3,74	0,87	0,10	0,79	8,74
73	0,53	0,66	25,03	0,68	28,32	0,68	28,27	0,66	25,29	0,79	49,81
74	0,75	0,74	1,25	0,74	1,44	0,74	1,48	0,73	2,35	0,85	13,80
75	0,73	0,91	24,15	0,90	22,87	0,88	20,12	0,91	24,41	0,84	15,56
76	0,81	0,88	8,28	0,87	7,08	0,77	5,13	0,85	4,89	0,69	14,23
77	1,54	1,58	2,51	1,59	3,04	1,50	2,76	1,56	1,46	1,15	25,24
78	1,18	1,40	18,92	1,40	18,61	1,29	9,38	1,40	18,34	1,10	6,64
79	1,06	1,51	42,50	1,51	42,26	1,33	25,48	1,49	40,95	1,10	3,93
80	1,13	0,64	43,08	0,65	42,43	0,65	42,46	0,64	42,96	0,83	26,22
81	0,51	0,55	7,00	0,56	10,16	0,56	10,11	0,54	5,31	0,68	34,28
82	1,12	1,39	24,42	1,30	16,16	1,05	5,87	1,35	20,32	1,51	34,69
83	0,73	0,89	21,48	0,88	20,16	0,87	18,77	0,88	20,40	1,06	45,47
84	0,89	1,17	31,39	1,09	22,93	0,89	0,37	1,13	27,28	0,79	10,79
85	1,1	1,35	23,14	1,28	16,48	1,10	0,31	1,32	19,85	1,43	29,93
86	0,93	0,96	2,69	0,97	3,86	0,82	12,07	0,93	0,25	0,92	0,75
87	1,72	1,69	1,98	1,70	1,44	1,65	4,34	1,67	2,91	1,69	1,91
88	1,15	1,16	0,84	1,17	1,99	1,16	1,09	1,16	1,05	1,18	2,70
89	0,85	0,92	7,77	0,92	7,84	0,82	3,79	0,91	6,84	0,91	7,42
90	0,87	0,91	4,17	0,95	8,76	0,89	1,92	0,90	3,27	0,92	6,09
91	1,21	1,17	3,36	1,18	2,25	1,16	3,92	1,17	3,15	1,19	1,57
92	0,86	0,98	14,45	0,98	13,46	0,94	8,83	0,99	14,69	0,97	13,10
93	1,52	1,56	2,58	1,54	1,16	1,40	7,96	1,54	1,51	1,53	0,55
94	0,65	0,64	1,05	0,65	0,08	0,62	4,51	0,63	2,35	0,65	0,75
95	1,19	0,38	68,06	1,37	15,13	1,08	8,93	1,31	9,96	1,28	7,59
96	0,81	0,98	21,51	1,00	22,90	0,79	2,69	0,94	15,74	0,91	12,73
97	0,62	0,72	16,31	0,74	19,23	0,74	19,18	0,71	14,98	0,72	16,86
98	1,09	1,28	17,12	1,22	12,13	1,04	4,19	1,25	14,68	1,18	8,35
99	0,65	0,74	13,94	0,75	15,24	0,75	15,20	0,74	14,18	0,74	14,52
100	0,61	0,65	7,04	0,67	9,87	0,67	9,83	0,65	7,26	0,67	10,64
101	0,85	0,92	7,77	0,93	9,00	0,95	11,27	0,91	6,84	0,92	8,59

102	1,14	1,13	0,84	1,14	0,29	1,13	0,61	1,13	0,63	1,14	0,12
103	0,75	0,84	11,74	0,83	10,39	0,79	5,09	0,84	11,98	0,82	9,83
104	0,8	0,85	5,98	0,84	4,72	0,81	0,99	0,85	6,20	0,83	4,21
105	1,61	1,65	2,29	1,65	2,24	1,47	8,82	1,64	1,90	1,63	1,10
106	0,95	1,18	24,12	1,16	22,42	1,08	14,08	1,17	23,35	1,14	20,14
107	0,93	0,98	5,83	0,96	2,80	0,92	1,48	0,97	3,95	0,94	1,38
108	0,81	0,71	12,17	0,72	11,17	0,72	11,21	0,71	11,99	0,72	10,55
109	0,6	0,57	4,17	0,59	1,44	0,59	1,48	0,57	5,60	0,60	0,75
110	0,82	0,91	10,52	0,90	9,38	0,89	8,14	0,91	10,75	0,89	8,93
111	0,86	0,96	11,05	0,92	6,58	0,84	2,62	0,94	9,01	0,89	3,86
112	0,73	0,82	12,13	0,82	12,06	0,81	10,67	0,81	11,03	0,81	11,48
113	0,93	1,02	10,02	1,03	10,22	1,03	11,24	1,03	10,25	1,03	10,99
114	0,7	0,76	8,59	0,79	12,64	0,78	11,19	0,75	7,42	0,77	10,59
115	0,99	1,03	4,34	1,04	5,53	1,02	3,50	1,03	3,57	1,04	5,26
116	0,87	0,90	3,05	0,89	1,96	0,93	6,45	0,90	3,27	0,91	4,95
117	0,93	0,94	0,59	0,94	0,68	0,97	3,82	0,95	1,85	0,94	1,38
118	0,92	0,82	11,02	0,97	4,99	1,04	13,52	1,01	9,33	0,81	11,54
119	1,01	0,92	9,30	1,05	4,42	0,86	15,13	0,88	12,98	0,92	8,61

N°mél	vis exp cst	vislog mol	e(%)	vislog vol	e(%)	vishar masse	e(%)	vishar mol	e(%)	vishar vol	e(%)
1	1,1	1,11	0,55	1,10	0,20	1,11	1,08	1,10	0,26	1,09	0,77
2	1,68	1,13	32,99	1,12	33,49	1,13	32,63	1,12	33,18	1,11	33,87
3	1,21	1,10	9,41	1,09	10,08	1,10	8,93	1,09	9,66	1,08	10,60
4	1,11	1,18	5,87	1,19	6,85	1,20	8,22	1,16	4,68	1,17	5,36
5	1,3	1,24	4,28	1,24	4,25	1,26	3,01	1,23	5,31	1,24	4,79
6	1,31	1,13	14,06	1,13	13,96	1,14	12,85	1,12	14,31	1,12	14,45
7	0,83	0,86	3,51	0,94	13,37	0,90	8,85	0,84	0,85	0,91	9,20
8	1,01	1,02	0,71	1,09	7,72	1,06	5,18	0,98	2,50	1,06	5,18
9	0,75	0,77	2,70	0,80	7,16	0,78	4,57	0,76	1,10	0,78	3,96
10	1,11	0,91	18,15	0,97	12,58	0,93	15,93	0,88	21,04	0,93	16,59
11	0,91	0,92	0,93	0,90	0,91	0,89	1,81	0,90	1,53	0,88	3,61
12	0,79	0,82	3,75	0,80	1,74	0,80	1,79	0,81	2,21	0,79	0,07
13	1,02	1,02	0,28	1,00	1,98	0,99	2,67	1,00	1,53	0,98	3,50
14	1,28	1,18	8,19	1,20	6,58	1,21	5,38	1,17	8,45	1,18	7,87
15	0,78	0,75	3,78	0,74	4,50	0,75	3,27	0,75	4,05	0,74	5,04
16	0,74	0,73	1,25	0,74	0,66	0,74	0,62	0,73	1,53	0,73	1,22
17	1,17	1,01	13,91	1,02	12,87	0,99	15,15	0,98	15,83	0,98	15,87
18	0,7	0,73	4,40	0,74	5,02	0,72	3,53	0,72	2,69	0,72	3,03
19	0,99	0,88	11,22	0,94	4,95	0,90	8,74	0,83	16,45	0,89	10,42
20	1,26	1,32	5,02	1,31	4,24	1,33	5,58	1,32	4,73	1,31	3,65
21	1,12	0,99	11,83	1,15	2,39	1,12	0,16	0,95	15,59	1,10	1,67
22	0,85	0,77	9,38	0,84	0,83	0,82	3,06	0,76	10,79	0,81	4,83
23	0,95	0,85	10,60	0,98	3,17	0,95	0,32	0,82	13,96	0,94	1,52
24	1,2	1,13	6,18	1,14	5,25	1,15	4,03	1,12	6,45	1,13	5,79
25	1,19	1,17	2,08	1,17	1,98	1,18	0,72	1,16	2,35	1,16	2,54
26	1,2	1,10	8,65	1,10	8,52	1,11	7,34	1,09	8,91	1,09	9,04
27	0,73	0,74	1,46	0,77	6,07	0,71	2,08	0,65	10,97	0,67	7,88
28	1,25	1,22	2,04	1,22	2,77	1,23	1,52	1,22	2,31	1,21	3,32
29	0,8	0,84	4,93	0,80	0,47	0,79	0,72	0,81	0,94	0,76	4,98
30	1,02	0,99	3,18	0,96	5,83	0,95	6,56	0,97	5,39	0,93	9,23

31	0,65	0,69	6,35	0,67	2,54	0,67	2,33	0,67	3,02	0,64	1,04
32	0,45	0,44	1,25	0,44	1,98	0,45	0,72	0,44	1,53	0,44	2,54
33	0,43	0,43	1,05	0,43	0,30	0,44	1,59	0,43	0,76	0,43	0,28
34	0,46	0,45	1,25	0,45	1,98	0,46	0,72	0,45	1,53	0,45	2,54
35	0,46	0,49	7,34	0,48	4,41	0,49	5,75	0,48	4,90	0,47	1,70
36	0,52	0,58	12,05	0,56	7,44	0,57	8,82	0,56	7,94	0,54	3,08
37	0,64	0,68	6,47	0,66	2,61	0,67	3,93	0,66	3,09	0,63	1,02
38	0,63	0,71	12,86	0,68	7,35	0,65	2,43	0,64	1,60	0,61	2,54
39	0,91	0,92	0,93	0,89	1,98	0,85	6,18	0,85	6,94	0,82	10,04
40	0,5	0,53	6,65	0,52	3,90	0,51	1,26	0,50	0,44	0,49	2,54
41	1,94	1,79	7,86	1,97	1,55	1,83	5,84	1,65	14,72	1,80	7,06
42	1,79	1,46	18,35	1,78	0,34	1,59	11,26	1,33	25,73	1,57	12,34
43	1,17	1,05	10,53	1,46	24,82	1,12	4,12	0,90	23,41	1,15	1,71
44	1,19	1,13	5,39	1,35	13,67	1,12	5,73	0,98	17,25	1,14	4,18
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	--	-	-	-	-	--	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	3,37	2,70	20,00	2,68	20,60	2,70	19,87	2,67	20,81	2,65	21,34
49	0,91	0,56	38,14	0,66	27,83	0,57	37,81	0,51	43,73	0,55	40,03
50	0,78	0,68	12,64	0,74	4,50	0,69	10,90	0,62	20,46	0,66	15,04
51	1,01	0,52	48,18	0,55	45,65	0,53	47,90	0,50	50,28	0,52	48,86
52	0,99	0,74	25,19	0,71	28,72	0,68	31,81	0,68	31,37	0,64	35,03
53	0,99	0,95	4,24	0,91	7,92	0,89	9,75	0,89	10,48	0,85	14,35
54	0,56	0,56	0,52	0,54	3,73	0,54	4,27	0,53	5,04	0,52	7,76
55	0,55	0,60	9,53	0,58	5,14	0,59	6,50	0,59	7,43	0,56	1,00
56	0,66	0,68	3,24	0,67	0,99	0,68	2,29	0,67	1,46	0,64	2,54
57	0,5	0,52	4,68	0,50	0,02	0,52	3,25	0,51	2,41	0,50	0,59
58	0,71	0,70	1,25	0,70	1,98	0,70	0,72	0,70	1,53	0,69	2,54
59	0,7	0,68	2,66	0,68	3,38	0,69	2,14	0,68	2,93	0,67	3,93
60	0,73	0,72	1,25	0,72	1,98	0,72	0,72	0,72	1,53	0,71	2,54
61	0,75	0,78	4,02	0,78	4,55	0,78	4,57	0,78	3,73	0,77	2,66
62	0,98	0,99	0,77	1,00	2,02	0,98	0,29	0,97	0,52	0,97	0,55
63	0,79	0,86	8,76	0,87	10,42	0,85	8,08	0,85	7,20	0,85	7,33
64	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-
65	0,75	0,86	14,56	0,84	12,39	0,83	11,19	0,83	10,29	0,81	7,85
66	0,63	0,78	23,84	0,76	21,35	0,75	19,76	0,75	18,79	0,73	16,02
67	0,66	0,70	6,24	0,69	3,96	0,69	5,30	0,69	4,44	0,68	3,36
68	0,58	0,60	3,86	0,59	1,40	0,61	4,41	0,58	0,17	0,58	0,86
69	0,81	0,92	13,38	0,92	13,75	0,90	11,53	0,91	11,85	0,90	10,69
70	0,62	0,72	16,28	0,72	15,41	0,68	8,89	0,65	4,83	0,64	3,75
71	0,56	0,52	6,54	0,54	3,73	0,54	4,27	0,51	8,56	0,52	7,76
72	0,87	0,82	5,79	0,86	0,86	0,83	4,15	0,78	10,58	0,81	7,02
73	0,53	0,68	28,57	0,67	25,76	0,69	29,25	0,68	28,20	0,66	25,04
74	0,75	0,74	1,25	0,74	1,98	0,74	0,72	0,74	1,53	0,73	2,54
75	0,73	0,87	19,05	0,90	23,53	0,88	21,04	0,85	16,01	0,88	20,15
76	0,81	0,74	8,56	0,81	0,44	0,74	8,08	0,69	14,90	0,73	9,76
77	1,54	1,46	5,09	1,52	1,35	1,45	5,88	1,38	10,48	1,41	8,24
78	1,18	1,27	7,96	1,37	16,29	1,32	11,90	1,23	4,32	1,31	10,67
79	1,06	1,31	23,91	1,45	36,85	1,36	28,31	1,25	17,98	1,34	25,96
80	1,13	0,65	42,32	0,65	42,75	0,66	42,01	0,65	42,48	0,64	43,08
81	0,51	0,55	8,44	0,54	5,70	0,56	9,01	0,54	6,20	0,53	3,19
82	1,12	0,99	11,83	1,26	12,89	1,02	8,70	0,86	23,51	1,04	6,89
83	0,73	0,86	17,69	0,87	19,50	0,84	15,60	0,83	13,31	0,84	14,81

84	0,89	0,86	3,46	1,06	18,94	0,89	0,39	0,80	10,38	0,91	1,84
85	1,1	1,06	3,94	1,25	14,05	1,06	3,43	0,94	14,95	1,07	2,54
86	0,93	0,78	16,11	0,88	5,15	0,79	14,60	0,67	28,00	0,75	19,31
87	1,72	1,63	5,26	1,66	3,69	1,62	5,92	1,57	8,97	1,59	7,64
88	1,15	1,17	1,33	1,17	1,42	1,18	2,73	1,15	0,19	1,16	0,85
89	0,85	0,81	4,73	0,90	6,09	0,88	3,95	0,80	6,16	0,87	2,04
90	0,87	0,86	1,25	0,87	0,27	0,82	5,29	0,77	11,71	0,77	11,50
91	1,21	1,17	3,69	1,18	2,79	1,19	1,54	1,16	3,97	1,17	3,35
92	0,86	0,94	9,09	0,98	13,97	0,95	10,82	0,91	5,34	0,96	11,06
93	1,52	1,38	9,04	1,52	0,05	1,45	4,64	1,32	13,19	1,43	5,75
94	0,65	0,61	5,80	0,63	3,49	0,62	5,30	0,59	9,10	0,60	7,04
95	1,19	1,00	16,18	1,22	2,13	0,99	16,57	0,77	35,45	0,94	21,38
96	0,81	0,73	9,78	0,86	6,49	0,72	10,53	0,62	23,41	0,69	14,57
97	0,62	0,73	17,87	0,71	13,82	0,69	10,49	0,69	11,18	0,65	5,32
98	1,09	1,02	6,68	1,21	10,60	1,06	2,54	0,95	13,27	1,07	1,65
99	0,65	0,74	13,95	0,74	13,10	0,72	11,50	0,72	10,59	0,70	7,95
100	0,61	0,67	10,09	0,66	7,66	0,67	9,04	0,67	9,77	0,65	7,04
101	0,85	0,93	9,21	0,90	6,09	0,88	3,95	0,89	4,27	0,86	0,90
102	1,14	1,13	1,25	1,14	0,26	1,14	0,15	1,12	1,53	1,13	0,83
103	0,75	0,78	4,02	0,83	11,08	0,80	7,22	0,76	1,10	0,80	6,55
104	0,8	0,80	0,01	0,84	5,37	0,81	1,76	0,78	2,76	0,81	1,11
105	1,61	1,45	9,83	1,62	0,45	1,55	3,80	1,37	14,98	1,52	5,57
106	0,95	1,07	12,27	1,15	20,71	1,07	12,86	1,01	6,77	1,06	11,82
107	0,93	0,91	2,31	0,95	2,23	0,89	3,92	0,87	6,82	0,89	4,64
108	0,81	0,72	11,00	0,72	11,66	0,72	10,53	0,72	11,25	0,71	12,17
109	0,6	0,59	1,25	0,57	5,25	0,58	4,03	0,58	3,17	0,56	7,41
110	0,82	0,88	7,18	0,90	9,97	0,87	6,54	0,85	3,28	0,87	5,78
111	0,86	0,83	3,54	0,90	4,85	0,84	1,88	0,80	7,25	0,84	2,54
112	0,73	0,81	10,93	0,81	11,44	0,80	10,16	0,80	9,27	0,80	9,47
113	0,93	1,04	11,50	1,03	10,66	1,01	8,89	1,01	9,06	1,00	7,94
114	0,7	0,76	8,63	0,74	5,02	0,70	0,70	0,69	1,53	0,66	5,33
115	0,99	1,02	2,74	1,02	2,97	1,00	1,28	0,97	1,53	0,97	1,56
116	0,87	0,95	8,97	0,94	8,16	0,93	7,27	0,96	9,79	0,96	9,78
117	0,93	1,06	13,62	1,06	13,82	1,04	12,09	1,06	14,36	1,05	13,18
118	0,92	0,82	10,91	0,80	12,64	0,84	8,28	1,00	9,18	0,79	14,19
119	1,01	1,11	9,51	0,86	14,60	1,09	8,12	0,86	15,18	0,85	16,05

Tableau 5.3 : Valeurs des viscosités après correction .

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION

En conclusion , notre étude est une contribution à l'étude des propriétés physiques des mélanges d'hydrocarbures dont la composition est parfaitement connue . Pour réaliser cette étude , nous nous sommes basés sur une banque de données expérimentale d'environ 120 mélanges dont des binaires , des ternaires et quelques mélanges multi-composants .

Sur les différents mélanges , nous avons effectué des mesures des densités , des indices de réfraction , des viscosités et des tensions superficielles à 20°C .

Dans le but d'une meilleure estimation des propriétés de ces mélanges d'hydrocarbures , nous avons testé différentes règles de mélanges (moyenne arithmétique , moyenne géométrique , moyenne cubique , moyenne logarithmique et moyenne harmonique) pour prédire les quatre propriétés que nous avons confrontés par la suite aux résultats expérimentaux .

Les résultats obtenus nous ont permis de confirmer la propriété d'additivité de la densité et de l'indice de réfraction . Pour les deux autres propriétés , à savoir la viscosité et la tension superficielle , les écarts enregistrés entre les règles de mélanges classiques et la référence sont assez élevés. Nous avons alors tenté de réduire dans le cas de la viscosité les déviations obtenues en affectant aux valeurs des viscosités dans les règles de mélanges , des coefficients correctifs propres à chaque famille d'hydrocarbure .

Cette opération a été menée en effectuant des régressions multilinéaires à partir des données des mélanges traités .

Nous avons ainsi réussi à réduire pour certaines règles de mélange (d'environ 30%) les écarts enregistrés par rapport à l'expérience . Les coefficients ont été introduits à fin de prendre en considération l'effet de la nature chimique sur la propriété moyenne du mélange . Ce ci reste cependant insuffisant , car il aurait fallu tenir compte des effets dus aux interactions entre molécules . Une suite de ce travail consisterait donc à prendre en considération ces effets , et ce dans le cas de ces propriétés mais également pour d'autres propriétés dont la connaissance est primordiale dans l'industrie chimique .

Enfin , il y a lieu de tester ces nouvelles règles sur des mélanges plus complexes tels que les fractions pétrolières .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R.Leygonie , B.Martin ,M.Prillieux .(1980) . Cette roche nommée PETROLE . Belin , 2^{ème} éditions .
- [2] M.Chouara .(1976) . Formation des gisements de Pétrole . Institut Français du pétrole . Technip , Paris .
- [3] P.Wuithier .(1972) . Pétrole .Raffinage et génie chimique . Technip , Tome I , Paris .
- [4] V.Proskouriakov et A.Drabkine . (1981) . La chimie du pétrole et du gaz . MIR , Moscou .
- [5] A.Crozier . (1956) . Contribution aux méthodes d'analyses des fractions supérieures de pétrole .Revue de l'IFP,11,pp869 912 .
- [6] Y.Berger .(1976) . Production et traitements des pétroles bruts salés .Technip , paris .
- [7] X. Normand .(1976) . Leçon sommaire sur l'industrie du raffinage du pétrole .Technip ,Paris .
- [8] C.E CHITOUR .(1982) . Corrélations sur le pétrole brut et les fractions pétrolières . Office des publications Universitaires , Alger .
- [9] Composition et caractérisation des coupes pétrolières , ENSPM formation industrie ,(1984) .
- [10] P.Henrion , P. Picard . (1966) . Analyse des pétrole bruts . Institut Français du pétrole , Vol 19 , n° 10 .
- [11] C.E .CHITOUR .(1999) . Raffinage , Les propriétés Thermique .Office des Publications Universitaires .
- [12] J.Tranchant .(1982). Manuel pratique de la chromatographie .
- [13] R.Rosset , M. Caude et A jardy . (1982) .Manuel pratique de chromatographie en phase liquide . Masson , 2^{ème} édition ,Paris .
- [14] R.E .Terrel . (1979) Metals in oils .Analytical Chemistry .

[15] C.D. CHITOUR . (1999) . Raffinage ,Les propriétés physiques des hydrocarbures et les fractions pétrolières .

[16]. N. TECHERKEZOFF .(1967). Essais normalisés sur les dérivés pétroliers .IAP, Juillet.

[17] . PATRICKGOUAL .(1979) . Etude des Corrélations entre la composition des mélanges d'hydrocarbures et leurs propriétés physiques , Institut national polytechnique de Toulouse . Thèse de doctorat d'état.

[18] . M.C. GOZALEZ . A.R.RODRIGUEZ . (1983) . The analytical techniques used for the determination of metallic element in crude oils and by – products. Institut Français de pétrole , Vol38, n°2 .

[19] . PERRY et CHILTON . (1973) Chemical engineer's handbook. 5th édition MacHill .

[20] R.C . REID , J.M.PRAUSNITZ , T.K. SHERNOOD . (1977) . The properties of gases and liquids . édition Mc Graw Hill , Newyork .

[21] N.SKANDER .(1996) .Thèse de magister : Contribution à la détermination des propriétés physiques des mélanges d'hydrocarbures et des fractions pétrolières par des méthodes de contribution de groupes . Directeur de thèse : C.D. CHITOUR .

[22] O. DERMOUNE . (1990) .Thèse de magister : Contribution à l'étude des propriétés thermodynamiques des fractions pétrolières du pétrole brut Algérien par diverses méthodes numériques .Directeur de thèse : C.D.CHITOUR .

[23] A. CROZIER . (1956) .Contribution aux méthodes d'analyses des fractions supérieures de pétrole . Revue de l'IFP , 11, pp 869 912 .

[24] M. R .RIAZI , T.E.DAUBERT.(1980) .Ind .ERG . Chem.Process. Des .Dev , Vol 19 p 289 .

[25] M. SOUDERS .(1938). J. Am . Soc . 60 154 .

[26] KENDALL- MONROE . (1917) J . Am . Chem .Soc . 39 . 1787 .

[27] B. ZIDELKHIER . (1993) .Thèse de magister : Approche à la détermination des propriétés physiques des corps purs et des fractions pétrolières par des méthodes numériques des contributions de groupe .Directeur de thèse : C.E.CHITOUR .

[28] Américan Pétroléum Institut . (1992) .Tables : Corrélation sur la viscosité .
New York .

[29] A.K.MEHOTRA . (1994) .Corrélation and prédiction of the viscosity of
hydrocarbons .

[30] S. SUDGEN . (1924) . J.Chemical . Sosiety . New York .32 .

[31] M.R. RIAZI et T.A . ELSAHHAF .Ind . Eng .Chem .Res .34.

[32] D.B. MACLEOD . (1923) Trans .Farad.Soc . 19 . 38 .

[33] C.F.WEINAUG and D.L. KATZ . (1943) .Ind .Eng .Chem .35 , 239 .

[34] SANBORN et EVENS .(1992) . Technical report .n°52 – 53 R (Shell
Development Compagny) .