

30/88

وزارة التعليم العالي
du Ministère de l'Enseignement Supérieur

224

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ET UDES

THEME

CONTRIBUTION A LA DETERMINATION DES
PROPRIETES PHYSIQUES DES CORPS PURS
ET FRACTIONS PETROLIERES
PAR NOMOGRAPHIE

Proposé par :

Pr. S.E. CHITOUR

Etudié par :

M. RAHMOUN

D. EL - HADI

Dirigé par :

Mme ABAS TURKI

Pr. S.E. CHITOUR

PROMOTION JUIN 1988

1871

1872

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE

المكتبة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ET UDES

THEME

CONTRIBUTION A LA DETERMINATION DES
PROPRIETES PHYSIQUES DES CORPS PURS
ET FRACTIONS PETROLIERES
PAR NOMOGRAPHIE

Proposé par :

Pr. S.E. CHITOUR

Etudié par :

M. RAHMOUN

D. EL - HADI

Dirigé par :

Mme ABAS TURKI

Pr. S.E. CHITOUR

PROMOTION JUIN 1988

— Remerciements —

Nous tenons à remercier le professeur
S.E CHITOUR pour avoir proposé et
suivi ce travail.

Nous adressons également nos sincères
remerciements à Madame ABBAS-TURKI et
Melle DERMOUNE pour l'aide précieuse et
leur suivi constaté durant notre projet.

Nous tenons aussi à remercier Mr BELABBES
d'avoir accepté la présidence du jury.

Nos sincères remerciements sont adressés à tout
ceux qui ont contribué à la réalisation de ce
modeste travail.

SOMMAIRE

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale

Partie théorique

I Les nomogrammes

I - 1 Introduction

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

Introduction, construction, utilisation.

I - 3 Abaques à système d'échelles à pivots

Introduction, construction, utilisation.

II Propriétés physico-chimiques des hydrocarbures purs et de leurs mélanges.

II - 1 Introduction.

II - 2 Propriétés des corps purs.

Densité, masse moléculaire, viscosité,
chaleur spécifique, indice de réfraction,
tension de vapeur, chaleur de vaporisation,
température d'ébullition, tension superficielle,
propriétés critiques, volume molaire,
chaleur de combustion et refraction molaire.

II - 3 Propriétés des mélanges.

- pondération simple des propriétés.

- les formules des autres propriétés

III Propriétés des fractions pétrolières

III - 1 propriétés expérimentales

IV Détermination des compositions des fractions pétrolières.

- IV - 1 Introduction
- IV - 2 Méthode n.d.P.A.
- IV - 3 Méthode Riazi - Daubert
- IV - 4 Autres corrélations
- IV - 5 Par C.P.G

PARTIE EXPÉRIMENTALE

I Analyse des fractions pétrolières

- I - 1 Méthodes utilisées.
- I - 2 Distillation ASTM d'une coupe :
(essence normale)
- I - 3 Application des méthodes du (I-1)
pour l'analyse de la fraction 17
du pétrole DHANE.
- II Analyse par C.P.G de la fraction 17
et de ses sous fractions.
- III Comparaison de la composition en P, N, A
de la fraction 17 obtenue par différentes
méthodes avec celle obtenue par C.P.G

PARTIE CALCUL.

- I Tableaux de valeurs des propriétés des
corps purs de chaque famille.
- II Exemples de construction des nomogrammes
pour les différents types.

- III Verification pour les hydrocarbures
choisis à titre individuel.
- calcul d'erreur.
- IV Calcul pour un hydrocarbure inconnu,
dont on connaît une propriété.
- V Verification pour un mélange de deux
hydrocarbures d'abord de même famille,
ensuite de familles différentes
- Calcul d'erreur.
- VI Calcul pour un mélange de trois
hydrocarbures.
- calcul d'erreur
- VII Calcul pour une fraction pétrolière
légère, dont on connaît une propriété.
- comparaison avec les valeurs expérimentales
- calcul d'erreur
- VIII le volume molaire pour les corps
purs et leurs mélanges.

Conclusion générale

Annexe

INTRODUCTION GENERALE

Le but de ce travail est de déterminer les propriétés physico-chimiques des fractions pétrolières à partir de la connaissance de certaines grandeurs. Une quinzaine de propriétés sera déterminée pour chacune des propriétés, le fondement théorique sera présenté.

Il n'est souvent pas possible de déterminer expérimentalement les propriétés physiques, nous avons alors recours à des corrélations empiriques qui correspondent pour une bonne précision à la valeur de la propriété.

Certaines corrélations, permettent d'atteindre des précisions de 5%, ce qui dans l'industrie du raffinage est correct, compte tenu du temps et des moyens mis en œuvre pour avoir une précision plus grande, somme toute pas nécessaire.

Après avoir étudié le corps, le mélange de corps, la fraction pétrolière sera abordée.

Dans une deuxième partie, des nomogrammes simplifiant les méthodes de calcul et permettant à partir de la connaissance d'une propriété de déduire les autres, seront présentés.

Des exemples de calculs seront donnés dans différents cas, une partie expérimentale sera faite en analyse par chromatographie en phase gazeuse, pour comparer les valeurs des

propriétés obtenues par calcul, à celles obtenues par
monogrammes et par expérience.

PARTIE

THEORIQUE

I Les nomogrammes

I-1 Introduction.

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

La nomographie du grec (nomos: Loi et graphem: écrire) veut dire représentation graphique d'une loi. Ce terme a été adopté par le congrès international des mathématiques qui s'est tenu à Paris en 1890.

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

I-2-1 Introduction au problème.

Soit donnée la relation entre deux variables α et β

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

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

Le problème est le suivant: Tracer une échelle à pivot qui permet de déduire directement la valeur de α à partir de la variable β ou l'inverse.

I-2-2 Construction des échelles

La condition nécessaire et suffisante est que la fonction $\beta = f(\alpha)$ soit monotone sur l'intervalle $[\alpha_i, \alpha_f]$

Prendons une fonction arbitraire ϕ et cherchons l'image des deux membres de l'équation (1-1)

$$\text{on obtient } \Phi(\beta) = \Phi[\phi(\alpha)] \quad (1-2)$$

Introduisons maintenant les paramètres de transformation m et a , l'équation (1-2) devient :

$$a + m\Phi(\beta) = a + m\Phi[\phi(\alpha)] \quad (1-3)$$

m : paramètre définissant les dimensions de l'échelle.

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

Soient deux repères xoy et $x'o'z$ et soient h_1 et h_2 les abscisses des supports des échelles α et β .

$$\text{Echelle } \beta : x = h_1 ; y = a + m\Phi(\beta) \quad (xoy)$$

$$\text{Echelle } \alpha : x = h_2 ; z = a + m\Phi[\phi(\alpha)] \quad (x'o'z)$$

$$\text{on a } y(\beta_i) = z(\alpha_i) \text{ et } y(\beta_f) = z(\alpha_f)$$

- Détermination du paramètre m .

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

$$L = y(\beta_f) - y(\beta_i) = [a + m\Phi(\beta_f)] - [a + m\Phi(\beta_i)]$$

de cette relation on tire m .

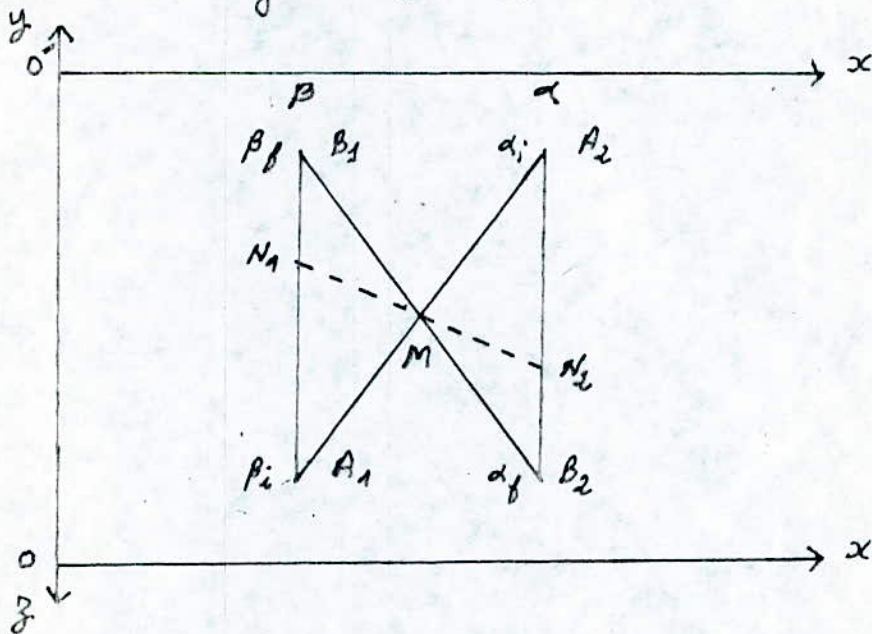
$$m = \frac{L}{\Phi(\beta_f) - \Phi(\beta_i)}$$

- le tracé de l'échelle.

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

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

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



I-2-3 Utilisation.

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

I-2-4 Applications.

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

« voir partie applications »

I-3 Abaques à système d'échelles à pivots

I-3-1 Introduction au problème.

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

$$f_1(\alpha_1) = f_2(\alpha_2) = \dots = f_m(\alpha_m) \quad (2-1)$$

Soient $(\alpha_{i_1}, \alpha_{i_2}, \dots, \alpha_{i_m})$ respectivement les valeurs initiales des variables $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$.

Soient $(\alpha_{f_1}, \alpha_{f_2}, \dots, \alpha_{f_m})$ respectivement les valeurs finales des variables $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$

n : nombre de fonctions $n \geq 2$

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

I-3-2 Construction des échelles.

Soient deux repères xoy et $x'o'y'$ et h_1, h_2, \dots, h_m les abscisses des supports des échelles $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$.

Deux cas peuvent se présenter.

- 1^{er} cas n pair :

$$\text{Echelle } \alpha_1 : x = h_1, y = a + m \phi[f_1(\alpha_1)]$$

$$\text{Echelle } \alpha_2 : x = h_2, y = a + m \phi[f_2(\alpha_2)]$$

$$\text{Echelle } \alpha_3 : x = h_3, y = a + m \phi[f_3(\alpha_3)]$$

⋮

$$\text{Echelle } \alpha_m : x = h_m, y = a + m \phi[f_m(\alpha_m)]$$

$$y(\alpha_{i1}) = z(\alpha_{i2}) = y(\alpha_{i3}) = \dots = z(\alpha_{im})$$

$$y(\alpha_{\beta 1}) = z(\alpha_{\beta 2}) = y(\alpha_{\beta 3}) = \dots = z(\alpha_{\beta m})$$

— 2^{me} cas n impair :

$$\text{Echelle } \alpha_1 : x = h_1, y = a + m \phi[\beta_1(\alpha_1)]$$

$$\text{Echelle } \alpha_2 : x = h_2, z = a + m \phi[\beta_2(\alpha_2)]$$

$$\text{Echelle } \alpha_3 : x = h_3, y = a + m \phi[\beta_3(\alpha_3)]$$

$$\vdots$$

$$\text{Echelle } \alpha_m : x = h_m, y = a + m \phi[\beta_m(\alpha_m)]$$

$$y(\alpha_{i1}) = z(\alpha_{i2}) = y(\alpha_{i3}) = \dots = y(\alpha_{im})$$

$$y(\alpha_{\beta 1}) = z(\alpha_{\beta 2}) = y(\alpha_{\beta 3}) = \dots = y(\alpha_{\beta m})$$

si L est la longueur admissible de l'échelle alors

on peut trouver m par la relation suivante.

$$m = \frac{L}{\phi[\beta_2(\alpha_{\beta 1})] - \phi[\beta_1(\alpha_{i1})]}$$

— Le tracé des échelles.

Soient (A_1, A_2, \dots, A_m) respectivement les points qui correspondent à $(\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im})$ et soient

(B_1, B_2, \dots, B_m) respectivement les points qui correspondent à $(\alpha_{\beta 1}, \alpha_{\beta 2}, \dots, \alpha_{\beta m})$.

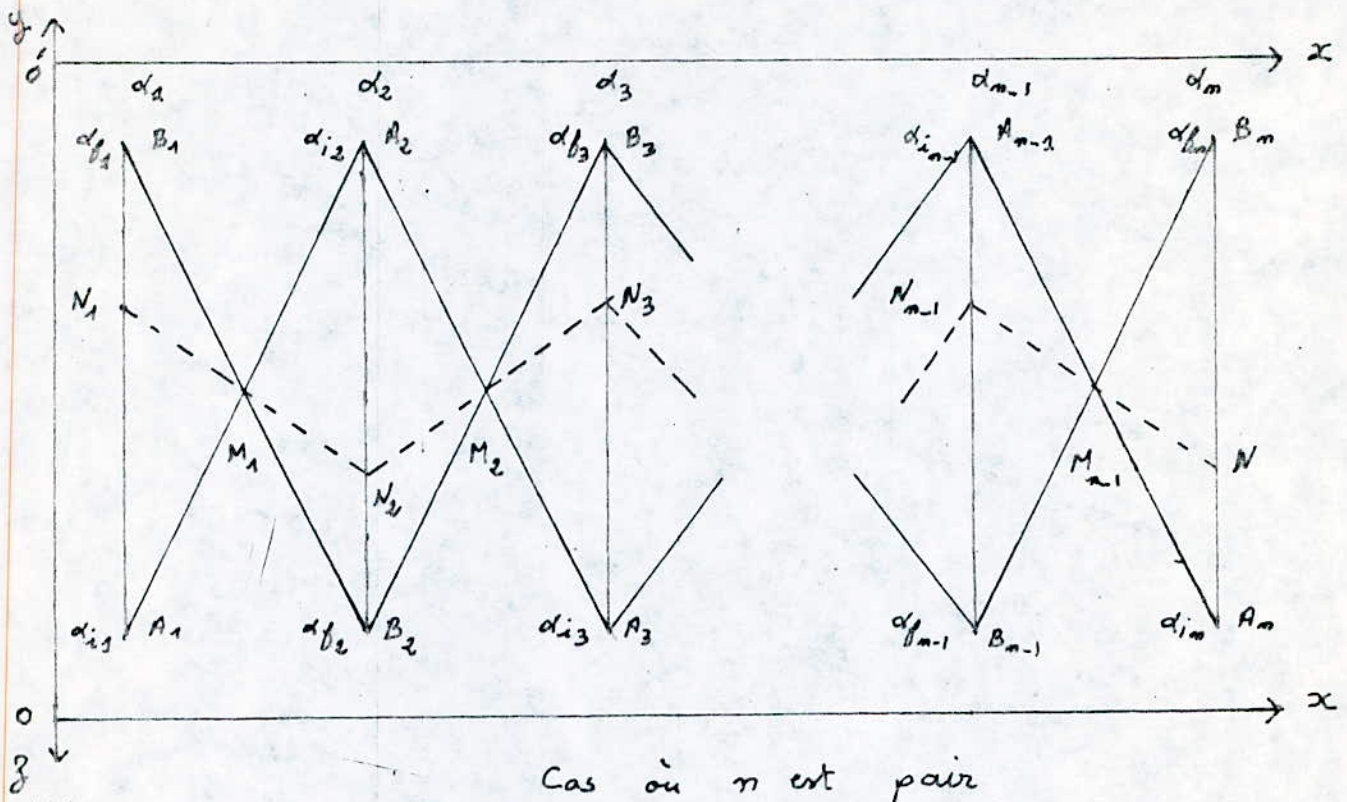
Les points pivots M_1, M_2, \dots, M_{m-1} sont définis par :

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

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

\vdots

M_{m-1} est l'intersection du segment $[A_{m-1} A_m]$ avec le segment $[B_{m-1} B_m]$.



I-3-3 Utilisation.

Soit le point N_1 sur l'échelle d_1 , le point N_2 sur l'échelle d_2 qui correspond à N_1 est l'intersection du segment $[N_1M_1]$ avec le segment $[A_2B_2]$. Le point N_3 sur l'échelle d_3 qui correspond à N_1 est l'intersection de $[N_2M_2]$ avec $[A_3B_3]$ et ainsi de suite jusqu'à l'obtention du point N_m sur l'échelle d_m .

I-3-4 Applications.

Ce type de nomogrammes est appliqué aux systèmes d'équations du type : $f_1(\alpha_1) = f_2(\alpha_2) = \dots = f_m(\alpha_m)$
 f_1, f_2, \dots, f_m sont des fonctions monotones sur l'intervalle $[\alpha_{i1}, \alpha_{f1}]$.

« Voir partie applications »

II Propriétés physico-chimiques des hydrocarbures purs et de leurs mélanges.

II - 1 Introduction.

La matière première traitée par l'ingénieur se présente sous trois formes :

- Hydrocarbures purs : les principales propriétés physico-chimiques sont données dans des tableaux, tels que ceux figurant dans le livre des données de "L'API".
- Mélanges d'hydrocarbures purs : Il est possible de connaître les propriétés des mélanges si on connaît les lois d'additivité car la composition est connue qualitativement et quantitativement.
- Fractions pétrolières : la complexité de leurs compositions n'en permet l'analyse. Seules certaines grandeurs sont accessibles expérimentalement et font l'objet de normes d'analyses.

Les fractions pétrolières possèdent des propriétés que l'on peut définir comme étant une moyenne pondérée des propriétés physiques de chaque constituant pur.

En résumé on peut dire qu'il est nécessaire de connaître les lois d'additivité des diverses propriétés en mélange. Certaines se pondèrent selon une formule mathématique très simple comme la densité, le poids moléculaire et l'enthalpie, d'autres,

au contraire, telles que viscosité, indice d'octane, point de congélation, tension de vapeur Reid, font appel à des corrélations empiriques, résultats de tests nombreux.

II - 2 Propriétés physico-chimiques des hydrocarbures purs.

II - 2 - 1 La Densité.

La densité est le rapport de la masse d'un corps au volume qu'il occupe. Experimentalement on la détermine en utilisant la norme N F T 60 - 101 AFNOR.

La densité est fonction de la température selon la loi :

$$d_4^t = d_4^{20} - \gamma (t - 20) \quad (1)$$

d_4^{20} : densité du corps à 20°C par rapport à la densité de l'eau à 4°C.

d_4^t : densité du corps à la température de l'essai.

γ : Coefficient de dilatation volumétrique (ses valeurs sont données dans la littérature)

t : température de l'essai en °C

II - 2 - 2 La masse moléculaire

La détermination de la masse moléculaire ne pose pas de problème pour un corps pur du fait de la connaissance de sa structure.

Experimentalement on détermine la masse moléculaire en utilisant la spectrométrie de masse, méthode très coûteuse et d'un maniement délicat.

II - 2 - 3 La température d'ébullition.

L'ébullition est une vaporisation rapide d'un liquide, elle se produit au sein même du liquide et à une température bien déterminée, c'est la température d'ébullition. Sous une pression constante, la température d'ébullition d'un corps pur reste constante pendant toute la durée de l'ébullition, elle est donc caractéristique du corps pur. Experimentalement elle est déterminée par un thermomètre ou un thermocouple lors de l'ébullition.

II - 2 - 4 L'indice de réfraction.

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

$$\text{formule : } n = \frac{\sin(i)}{\sin(r)} \quad (2)$$

i : angle d'incidence

r : angle de réfraction

Généralement la détermination est faite par un réfractomètre par rapport à la raie jaune de sodium D (589,3 nm) à 20°C, on désignera l'indice de réfraction par n_D^{20} .

L'effet de la température est pris en compte à l'aide de la formule : $n_D^t = n_D^{20} + 0,0004(20-t)$ (3)

t : température de l'essai.

II - 2 - 5 La tension de vapeur.

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

Généralement, pour les composés organiques, on utilise l'équation d'Antoine dans laquelle les tensions de vapeur sont exprimées en "mm Hg" et les températures en "°C" :

$$\log TV = A - \frac{B}{t + C} \quad (4)$$

A, B, C des constantes

Les valeurs de A, B et C sont données dans la littérature pour chaque corps pur. « Référence 4 »

II - 2 - 6 La chaleur de vaporisation.

La chaleur latente de vaporisation d'un corps pur "L_v", est la quantité de chaleur fournie à l'unité de poids d'une substance pour la transformer en vapeur. Elle s'exprime en cal/g.

Généralement on utilise l'une des corrélations suivantes:

- Corrélation de PITZER.

$$\Delta H_v = RT_c \left[7,08 (1 - T_{ebr})^{0,354} + 10,95 w (1 - T_{ebr})^{0,4567} \right] \quad (5)$$

- Corrélation de RIDEL.

$$\Delta H_v = 1,093 RT_c \left[T_{ebr} \frac{\ln P_c - 1}{0,930 - T_{ebr}} \right] \quad (6)$$

ΔH_v : chaleur de vaporisation à la température d'ébullition normale en Cal/(g.mole)

T_c : température critique en (K)

P_c : Pression critique en (atm)

w : Facteur acentrique

R : constante des gaz parfaits $R = 1,987 \text{ cal g}^{-1} \text{ mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$

T_{ebr} : température réduite rapportée à la température d'ébullition normale.

II - 2 - 7 La chaleur spécifique .

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

L'unité de chaleur spécifique est :

$$\text{Cal/g}^\circ\text{C} = \text{th/t}^\circ\text{C} = \text{Btu/lb}^\circ\text{F}$$

On définit les chaleurs spécifiques à volume et pression constante par :

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \quad ; \quad C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

où U et H sont respectivement l'énergie interne et l'enthalpie du système.

La chaleur spécifique dépend directement de la température, on estime généralement la chaleur spécifique par l'équation empirique :

$$C_p = a + bT + c/T^2 \quad (7) \quad T \text{ (K)}$$

a, b, c des constantes, leurs valeurs sont données dans la littérature. « Référence 6 »

II - 2 - 8 La chaleur de combustion.

La chaleur de combustion, pour les liquides organiques est obtenue à partir de la formule approchée de Kharrash (1929) à $T = 298$ (K)

$$H_c = -26,050(4C + H - p) + \sum \kappa_i \Delta_i \quad (8)$$

Elle est exprimée en $\text{Kcal} \cdot \text{mole}^{-1}$

26,050 $\text{Kcal} / (\text{mole} \text{ électron})$: chaleur de rupture des liaisons C-C et C-H et de formation ultérieure de CO_2 et H_2O .

$4C + H$: nombre d'électrons mobiles pour les n-alcanes.

p : nombre d'électrons partiellement déplacés dans la molécule du corps (par ex C_2H_6 , $p=0$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $p=2$)

κ_i : nombre de substituants identiques.

Δ_i : La correction thermique correspondant au substituant considéré. « Référence 6 »

II - 2 - 9 La réfraction moléculaire.

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

$$R = \frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} \cdot \frac{1}{d} \quad (9)$$

(Formule de Lorentz)

d : densité du produit, mesurée à la même température que l'indice de réfraction.

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

$$RM = \frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} \frac{M}{d} \quad (10)$$

M: masse moléculaire du corps.

II - 2 - 10 La viscosité.

La viscosité est une grandeur physique qui mesure la résistance interne à l'écoulement d'un fluide, résistance due aux frottements des molécules qui glissent les unes contre les autres.

Expérimentalement on détermine la viscosité cinématique par mesure du temps d'écoulement du produit entre deux traits-repères d'un tube capillaire calibré d'un viscosimètre.

La valeur en centistokes (Cst) de la viscosité cinématique est donnée par la relation :

$$\nu = C.t - \frac{B}{t} \quad (11)$$

t : temps d'écoulement du liquide entre les 2 traits.

C : constante de calibrage du viscosimètre.

B : constante expérimentale.

Le «Bureau of standards» donne la relation suivante

$$\nu = 0,219 t - \frac{149,7}{t} \quad (12)$$

t : temps d'écoulement en secondes (s)

Remarque: La viscosité absolue est obtenue en multipliant la viscosité cinématique par la densité prise à la même température.

II - 2 - 11 La tension superficielle.

Pour augmenter la surface d'un liquide d'une quantité ΔS , il est nécessaire ; pour vaincre les forces de cohésion entre molécules de fournir une énergie ΔG_s . La grandeur qui caractérise une surface sera donc le travail à fournir pour augmenter sa surface libre d'une aire unité. Cette grandeur est appelée tension superficielle, on la désigne par (T_s) ou (γ) et elle s'exprime en dym/cm .

$$T_s = \left(\frac{\Delta G_s}{\Delta S} \right)_{T,P} \quad (13)$$

Expérimentalement elle est déterminée par la méthode d'arrachement.

II - 2 - 12 Les propriétés critiques.

Les méthodes d'estimation des propriétés critiques sont basées sur les contributions structurales.

Plusieurs relations ont été présentées.

- Méthode de Lydersen

$$\left[\begin{array}{l} T_c = T_b [0,567 + \Sigma \Delta T - (\Sigma \Delta T)^2]^{-1} \quad (K) \\ P_c = M (0,34 + \Delta P)^{-2} \quad (\text{atm}) \\ V_c = 40 + \Sigma \Delta V \quad (\text{cm}^3/\text{g} \cdot \text{mole}) \end{array} \right] \quad (14)$$

Les incréments $\Sigma \Delta T$, ΔP , $\Sigma \Delta V$ sont évalués par sommation des groupements d'atomes et leurs valeurs sont tabulées. "Référence 1"

- Méthode de Nokay.

Nokay donne une relation pour évaluer T_c .

$$\log T_c = A + B \log S_p G_r + C \log T_b \quad (15)$$

T_c : température critique (K)

$S_p G_r$: densité des Hydrocarbures liquides à 60°F

T_b : température d'ébullition (K)

A, B, C: constantes déterminées par Spencer et Daubert. « Référence 5 »

II - 2 - 13 Le volume molaire.

Le volume molaire d'une substance est le volume occupé par une mole de cette substance dans les conditions normales de température et de pression.

$$- V_M = \frac{M}{d} \quad (16) \quad M: \text{masse molaire}; d: \text{densité}$$

- T_{ym} et Calus donnent une relation qui relie le volume critique V_c au volume molaire V_M .

$$V_M = 0,285 V_c^{1,048} \quad (17)$$

L'erreur maximale est de 3%

* D'autres équations ont été proposées.

Quelques théoriciens ont proposé une méthode fidèle pour le calcul des volumes molaires pour une large variété de structures.

Les volumes molaires en $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mole}^{-1}$, pour les hydrocarbures liquides peuvent être calculés à partir des équations suivantes.

- A "20°C et 1 at-m".

$$V_M = 16,28 N_1 + 13,15 N_2 + 9,7 N_3 - 6,2 N_4 + 31,2 \quad (18)$$

- A " - 253°C et 1 atm "

$$V_M = 13,15 N_1 + 11,13 N_2 + 8,9 N_3 - 4,0 N_4 \quad (19)$$

Ces relations ont été proposées par :

S.S KURTZ, JR et ALBERT. SANKIN .

N_1 : nombre d'atomes de carbone dans la structure.

N_2 : nombre d'atomes de carbone dans le cycle.

N_3 : nombre d'atomes de carbone liés au cycle.

N_4 : nombre de doubles liaisons.

« Référence 10 »

II - 3 Propriétés physiques des mélanges de corps purs.

II - 3 - 1 Introduction.

Pour des mélanges de composition qualitative et quantitative connue et en connaissant les propriétés des constituants du mélange on pourra alors déduire les propriétés en mélange en connaissant les différentes lois d'additivité.

Certaines caractéristiques, telles que densité, masse moléculaire, enthalpie de vaporisation, chaleur spécifique, tension de vapeur, chaleur de combustion, réfraction molaire et pression critique se pondèrent selon une formule mathématique très simple.

$$\alpha_M = \frac{\sum X_i d_i}{\sum X_i} \quad (20)$$

α_m : propriété en mélange

α_i : propriété du constituant i

X_i : Fraction molaire du constituant i

Les autres propriétés des mélanges peuvent être trouvées en utilisant les relations suivantes.

II - 3 - 2 La température critique.

Elle est donnée par :

$$(T_c)_m = \frac{\sum \phi_i T_{ci}}{\sum \phi_i} \quad (21)$$

avec $\phi_i = \frac{X_i V_{ci}}{\sum X_i V_{ci}}$

$(T_c)_m$: température critique du mélange

T_{ci} : température critique du constituant i

V_{ci} : volume critique du constituant i

« Référence 3 »

II - 3 - 3 Le volume critique.

il est donné par :

$$(V_c)_m = X_1 V_{c1} + X_2 V_{c2} - \frac{X_1 X_2 (V_{c1} - V_{c2})^2}{V_{c1} + V_{c2}} \quad (22)$$

Remarque :

Pour un mélange à plusieurs constituants, on

calcule $(V_c)_m$ en prenant les constituants

deux à deux.

II - 3 - 4 La viscosité absolue.

Elle est donnée par :

$$\text{Log}(\text{Log } \mathcal{D}_m) = \frac{\sum X_i \text{Log}(\text{Log } \mathcal{D}_i)}{\sum X_i} \quad (23)$$

$$(\mathcal{V}_A)_m = \mathcal{D}_m \cdot d_m \quad , \quad \mathcal{V}_A i = \mathcal{D}_i \cdot d_i$$

ν : viscosité cinématique

ν_A : viscosité absolue

« Référence 1 »

II - 3 - 5 La tension superficielle.

Peut être calculée par la relation de MacLeod - Sugden modifiée.

$$(TS)_m^{1/4} = \rho_{LM} \frac{\sum x_i (TS)_i^{1/4} / \rho_{Li}}{\sum x_i} \quad (24)$$

$$\rho_{Lm} = \frac{d_m}{M_m} \quad ; \quad \rho_{Li} = \frac{d_i}{M_i}$$

TS : tension superficielle

ρ_L : densité rapportée à la masse moléculaire.

« Référence 1 »

II - 3 - 6 La température d'ébullition.

En connaissant ΔH_v du mélange, ainsi que P_c et T_c du mélange, on pourra déduire la température d'ébullition du mélange à l'aide de la corrélation de Reid.

II - 3 - 7 L'indice de réfraction.

Connaissant la réfraction molaire du mélange, ainsi que la densité et la masse moléculaire on peut en déduire l'indice de réfraction du mélange par :

$$n^2 = \frac{1 + 2\alpha}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{RM}{V_m} \quad (25)$$

$$V_m = \frac{M}{d}$$

III Propriétés physico-chimiques des fractions pétrolières.

III - 1. Grandeurs expérimentales.

Certaines propriétés sont accessibles expérimentalement et font l'objet de normes d'analyses.

Comme propriété on peut citer la densité, l'indice de réfraction, le point d'anilime, la viscosité, la tension superficielle, le point de congélation et enfin le pouvoir calorifique.

III - 2. Grandeurs obtenues par calcul.

Les propriétés non accessibles à l'expérience peuvent être obtenues soit à l'aide de corrélations empiriques soit par l'utilisation d'abaques.

Comme propriété on peut citer la masse moléculaire, la chaleur spécifique, l'enthalpie de vaporisation, le facteur de caractérisation, la réfraction molaire et les paramètres critiques.

« Référence 1 »

IV Détermination des compositions des fractions pétrolières.

IV - 1. Introduction.

Comme il n'est pas possible de connaître

individuellement les constituants d'une fraction pétrolière, on se contente de connaître la composition globale en chacune des familles d'hydrocarbures.

Dans le but de répondre à ce besoin, plusieurs méthodes ont été développées, nous allons citer quelques unes.

IV - 2 Méthode n.d.PA.

Elle est basée sur la mesure de l'indice de réfraction n , la densité d , du point d'aniline PA et sur l'utilisation de deux formules linéaires.

$$\left[\begin{array}{l} \% C_A = 1039,4 n - 470,4 d - 0,315 PA - 1094,3 \\ \% C_N = -1573,3 n + 840,15 d - 0,4619 PA + 1662,2 \\ \% C_P = 100 - (\% C_A + \% C_N) \end{array} \right]$$

IV - 3 Méthode de Riazi - Daubert.

Cette méthode, applicable aux fractions légères, fait intervenir un nouveau facteur de caractérisation VGF défini par :

$$VGF = -1,816 + 3,484 SpGr - 0,1156 D_{100^\circ F}$$

La composition des fractions pétrolières est alors déterminée à partir des équations suivantes.

$$\left[\begin{array}{l} \% C_P = -23,94 + 24,21 Ri - 1,092 VGF \\ \% C_N = 41,14 - 39,43 Ri + 0,627 VGF \\ \% C_A = -16,20 + 15,22 Ri + 0,465 VGF \end{array} \right]$$

IV - 4 D'autres équations proposées.

« Référence 11 »

a) $A = d^{3,3} / M^{1,26} ; B = n^{2,2}$

 x_p, x_N, x_A sont obtenues par :

$$\left[\begin{array}{l} x_p = -6244,549 A + 2,854 \cdot 10^{-4} B + 1,4647 \\ x_N = 7793,582 A - 7,072 \cdot 10^{-4} B - 0,2973 \\ x_A = -1549,033 A + 4,219 \cdot 10^{-4} B - 0,1673 \end{array} \right]$$

b) $A = d^{10} / T_{eb}^{0,75} ; B = n^{2,2}$

 x_p, x_N, x_A sont obtenues par :

$$\left[\begin{array}{l} x_p = -1185,224 A + 4,46 \cdot 10^{-4} B + 1,1495 \\ x_N = 1479,233 A - 9,077 \cdot 10^{-4} B + 0,096 \\ x_A = -294,009 A + 4,617 \cdot 10^{-4} B - 0,2455 \end{array} \right]$$

c) $A = T_{eb}^3 / (d \cdot n)^{17,5} ; B = n^{23,2}$

$$\left[\begin{array}{l} x_p = 7,994 \cdot 10^{-7} A + 1,755 \cdot 10^{-5} B - 0,1314 \\ x_N = -3,88 \cdot 10^{-7} A - 23,16 \cdot 10^{-5} B + 1,6489 \\ x_A = 1,887 \cdot 10^{-7} A + 21,405 \cdot 10^{-5} B - 0,5175 \end{array} \right]$$

IV - 5 Détermination de la composition d'une fraction

pétrolière par CPG.

L'utilisation de la CPG permet, dans certaines conditions d'approcher la composition d'une fraction pétrolière en utilisant la méthode des indices de KOVATZ.

PARTIE

EXPERIMENTALE

I Analyse des fractions pétrolières issues de la distillation atmosphérique.

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

I - 1 Méthodes utilisées.

PROPRIETES	METHODES
Densité	Norme d'analyse (picnomètre)
Indice de réfraction	Norme d'analyse (Réfractomètre)
Viscosité cinématique	Norme d'analyse (viscosimètre)
Tension superficielle	Norme d'analyse (tensiomètre)
T_{max}	utilisation d'abaques
Masse molaire	utilisation d'abaques
Chaleur spécifique	utilisation d'abaques
Température critique	utilisation d'abaques
Pression critique	utilisation d'abaques
Réfraction molaire	Corrélation N° 10 « partie théorique »
Chaleur de vaporisation	Corrélation N° 6 « partie théorique »
Point d'aniline	Norme d'analyse
Pouvoir calorifique	Norme d'analyse

I - 2 Distillation ASTM d'une coupe essence normale. « Références 11 »

V(ml)	10	20	50	70	80	90
T(°C)	61	70	107	134	158	189

Tableau - 2

I - 3 Application des méthodes du tableau 1 pour l'analyse de :

- la fraction 17 issue de la distillation "TBP" du pétrole OHANE, fraction qui distille dans l'intervalle de température [110 - 114 °C] « Références 14 »

- la coupe essence normale dont la distillation ASTM a été donnée ci-dessus.

les résultats sont données dans le tableau 3.

prop Fraction	d (g/cm ³) à 25°C	n à 25°C	v (c.stk)	PA (°C)	T _{mar} (°C)	MM (g)	HV (Cal/g)
Fraction 17	0,7198	1,4032	0,74 ^{100%}	56	112	110	75,08
Essence Normale	0,7388	1,42862	0,5228 ^{25%}	29,6	90,2	94	80,5

prop Fraction	TS (dyn/cm) à 25°C	T _c (°C)	P _c (atm)	RM (ml/mole) à 25°C	C _p (Cal.°C ⁻¹ ml ⁻¹) à 25°C	-
Fraction 17	22,2	282	28	37,31	39,6	-
Essence Normale	21,9	275	35,2	32,78	31,96	-

Tableau - 3

II Analyse par C.P.G de la fraction 17 et de ses sous fractions

t _R (min)	% poids f. mère	S f ₁ -100°C	S f ₂ -88°C	S f ₃ -65°C	Composés
1,07	0,104	0,031	0,03	0	(N) Eth - Cyclopropane
1,25	23,323	15,925	15,846	0,703	(IP) 2-Meth - pentane
1,54	0,028	0,029	0,03	0,062	(N) Meth - cyclopentane
1,73	1,654	1,664	1,669	0,945	(P) n - hexane
1,84	0,799	0,828	0,795	0,522	(IP) 2-2 diméthyl - pentane
1,96	3,631	3,77	3,745	2,8	(IP) 2-4 diméthyl - pentane
2,28	1,833	1,911	1,903	1,616	(IP) 2-Meth - Hexane
2,71	5,672	6,033	5,972	5,777	(IP) 3-Meth - Hexane
2,82	3,831	4,187	4,22	4,712	(P) n - heptane
3,19	11,749	12,654	12,659	14,405	(N) Eth - Cyclopentane
3,77	10,007	10,714	10,72	12,578	(IP) 3-3 Dimet - hexane
4,12	0,983	1,138	1,146	1,491	(IP) 2-Meth - 3 Eth - pentane
4,29	0,5	0,579	0,583	0,843	(IP) 2-Meth - heptane
4,68	10,531	11,495	11,52	13,799	(N) Cis 1,3 Dimet - cyclohexane
4,89	4,185	4,868	4,896	6,759	(N) Cis Trans 1,2 Dimet cyclohexane
5,19	4,058	4,531	4,546	6,415	(P) n - octane
5,74	10,157	11,656	11,682	16,816	(N) Eth cyclohexane
7,22	3,262	3,862	3,9	0,881	(A) 3 - Xylène
8,49	2,807	3,078	3,097	4,608	(P) n - nonane
9,01	0,284	0,358	0,364	3,284	(N) 1 Meth - Trans 2 Eth cyclohexane
9,83	0,386	0,423	0,422	0,418	(P) -
10,84	0,2	0,248	0,248	0,268	(A) Propyl benzène
12,39	0,007	0,009	0,007	0,297	(A) 1-Meth 2 - Eth benzène
13,29	0,011	0,01	0	0	(P) Dimeth - octane

Tableau - 4

III Détermination de la composition en P, N, A par les diverses méthodes pour la fraction 17 et la coupe essence normale.

Méthode fraction		nd.PA	Riazi- Daubert	conelation (a)	conelation (b)	conelation (c)	C.P.G
fraction 17	X _p (%)	61	54	46,3	79,6	62,5	59,1
	X _N (%)	31,8	42,3	32,9	5,9	12,6	37
	X _A (%)	7,22	3,7	20,8	26,3	24,9	3,5
Esence normale	X _p (%)	44,2					
	X _N (%)	22,0					
	X _A (%)	33,8					

Tableau - 5

IV Point d'aniline pour une fraction pétrolière à partir de l'analyse par C.P.G.

Après identification d'une fraction pétrolière pic par pic, on peut déduire le point d'aniline de la fraction en appliquant la corrélation suivante.

$$PA = -204,9 - 1,498 (NC_{50}) + 100,5 [(NC_{50})^{1/3} / d]$$

PA: pt d'aniline en (°C) pour la fraction.

NC₅₀: nombre de carbone du normale paraffine à 50 %

d: densité relative de la fraction

Elle a été proposée par RP Walsh and

J.V. Mortimer. « Référence 9 »

PARTIE

CALCUL

I Tableaux des valeurs des principales propriétés des différentes familles d'hydrocarbures.

- Introduction.

Avant d'entrer dans le vif du sujet nous allons donner les valeurs des principales propriétés pour les hydrocarbures de différentes familles. Les propriétés comme la densité, l'indice de réfraction; la réfraction molaire sont données à 25°C .

Ces valeurs qui sont regroupées dans des tableaux pour chaque famille d'hydrocarbures, ont été obtenues à partir du livre des données de "l'API".

famille	propriété		Pc (atm)	Tc (°C)	Vc (ml/mole)	d (g/cm ³) à 25°C	MM (g)	Teb (°C) à 1atm	n à 25°C	TV (mm Hg) à 25°C
	composé									
n-paraffines	pentane	C ₅	33,25	196,5	304	0,62137	72,150	36,000	1,35472	512,48
	hexane	C ₆	29,73	234,30	370	0,65479	86,178	68,730	1,37226	151,26
	heptane	C ₇	27,00	267,10	432	0,67949	100,205	98,500	1,38511	45,71
	octane	C ₈	24,54	295,68	492	0,69847	114,232	125,675	1,39505	14,02
	nonane	C ₉	22,60	321,49	548	0,71379	128,259	150,818	1,40311	4,34
Naphthènes	cyclohexane	C ₆	40,00	280,40	308	0,77387	84,162	80,719	1,42354	97,580
	methyl "	C ₇	34,30	299,04	368	0,76504	98,129	100,934	1,42058	46,330
	ethyl "	C ₈	24,50	336,00	450	0,83000	112,216	131,80	1,43073	12,780
	propyl "	C ₉	22,50	366,00	477	0,84630	126,243	156,75	1,43478	4,123
Aromatiques	butyl "	C ₁₀	20,80	394,70	534	0,85380	140,270	180,98	1,43855	1,520
	Benzène	C ₆	48,34	298,01	259	0,87368	78,114	80,094	1,49792	95,170
	Toluène	C ₇	40,55	318,64	316	0,86231	92,113	110,629	1,49413	28,440
	ethyl benzène	C ₈	35,62	344,02	374	0,86262	106,168	136,200	1,49320	9,580
	propyl "	C ₉	31,58	365,23	440	0,85778	120,195	159,241	1,48951	3,360
	butyl "	C ₁₀	28,49	387,40	497	0,85605	134,225	183,305	1,48479	1,026

Tableau I - 1

famille	propriété		HV (Cal/g)	C _g (°K)	C _p (Cal/deg. mole)	H _c (Kcal/mole)	RM (ml. mole ⁻¹)	VA (c. poises)	TS (dyn/cm)
	Corps pur		à Teb et 1 atm	à 1 atm	à 25°C	à 25°C	à 25°C	à 25°C	à 25°C
n-Paraffines	n-pentane	C ₅	85,38	143,44	28,73	838,77	25,29	0,2240	15,48
	n-hexane	C ₆	80,03	177,81	34,20	995,01	29,93	0,2976	17,90
	n-heptane	C ₇	75,61	182,55	39,67	1151,27	34,57	0,3955	19,80
	n-octane	C ₈	72,01	216,37	45,14	1307,53	39,21	0,5136	21,26
	n-nonane	C ₉	68,80	219,64	50,60	1463,80	43,86	0,6676	22,44
Naphthènes	cyclohexane	C ₆	85,08	279,72	25,40	936,86	27,72	0,8950	24,38
	méthyl "	C ₇	75,78	146,57	32,27	1091,13	32,52	0,6830	23,17
	éthyl "	C ₈	73,08	161,84	37,96	1248,23	37,03	0,7850	25,12
	propyl "	C ₉	68,30	178,26	44,03	1404,34	41,69	0,9310	25,85
Aromatiques	butyl "	C ₁₀	65,60	198,44	49,50	1560,78	46,33	1,2040	26,35
	Benzène	C ₆	94,13	278,69	19,52	780,98	26,20	0,6010	28,18
	Toluène	C ₇	86,08	178,17	24,80	934,50	31,11	0,5500	27,92
	Ethyl benzène	C ₈	80,07	178,19	30,69	1091,03	35,78	0,6354	28,48
	propyl "	C ₉	76,00	173,66	36,41	1247,19	40,47	0,7962	28,45
butyl "	C ₁₀	69,89	185,19	41,85	1403,46	45,12	0,9570	28,38	

Tableau I - 2

famille	Propriété		Pc (atm)	Tc (°C)	Vc (ml/mole)	d (g/cm ³) à 25°C	MM(g)	Teb (°C) à 1atm	n à 25°C	TV (mm Hg) à 25°C
	corps pur									
isoparaffines	isopentane	C ₅	33,40	187,8	306	0,616	72,15	28,0	1,3517	688,05
	isohexane	C ₆	29,7	224,5	367	0,646	86,18	60,4	1,3695	211,75
	isohéptane	C ₇	27,0	257,3	421	0,675	100,21	90,1	1,3829	65,89
	isooctane	C ₈	24,5	286,6	488	0,694	114,23	117,7	1,3939	20,61
	isononane	C ₉	22,9	313,9	531	0,709	128,26	143,3	1,4042	6,54
oléfines	pentène	C ₅	40	191,63	305	0,63531	70	29,96	1,36835	637,68
	hexène	C ₆	31	230,88	370	0,66846	84	63,47	1,38502	185,97
	heptène	C ₇	28	260,14	440	0,69265	98	93,64	1,39713	56,33
	octène	C ₈	26	293,5	510	0,71083	112	121,29	1,40620	17,38
	nonène	C ₉	23	319	580	0,72529	126	146,88	1,41333	5,34
	decène	C ₁₀	22	342	650	0,73691	140	170,60	1,41913	1,33

Tableau I - 3

nom	Propriété		HV (Cal/g)	C_p ($^{\circ}K$)	C_p	Hc (Kcal/mole)	RM (ml.mole ⁻¹)	VA (C. poises)	TS (dyn/cm)
	corps pur		à Téb et 1 atm	à 1 atm	(cal. deg ⁻¹ . mole ⁻¹) à 25°C	à 25°C	à 25°C	à 25°C	à 25°C
isoparaffines	isopentane	C ₅	80,97	113,0	28,52	837,31	25,29	0,344	15,05
	isohexane	C ₆	76,89	119,3	33,97	993,71	29,91	0,508	18,05
	isohéptane	C ₇	73,40	154,8	39,42	1149,97	34,53	0,620	19,00
	isooctane	C ₈	70,30	165,6	44,87	1306,28	39,14	0,822	20,35
	isnonane	C ₉	68,30	192,6	50,32	1463,80	43,76	1,073	21,73
oléfines	pentène	C ₅	85,87	107,781	37,12	800,68	24,82	-	15,45
	hexène	C ₆	80,30	133,168	43,81	956,92	29,45	0,340	17,90
	heptène	C ₇	75,7	154,120	50,62	1113,37	34,08	0,440	19,80
	octène	C ₈	71,9	163,285	57,65	1269,82	38,71	0,557	21,28
	nonène	C ₉	68,8	191,660	64,70	1425,70	43,35	0,704	22,56
	décène	C ₁₀	65,9	206,724	71,78	1582,12	47,99	0,877	23,54

Tableau I - 4

II Construction des nomogrammes.

II-1 Nomogramme du type $\beta = f(\alpha)$.

Nous allons construire un nomogramme pour l'équation: $V_M = 0,235 V_C^{1,048}$; $V_M = f(V_C)$

Généralement V_M est compris entre 15 et 235

$$V_{M_i} = 15 \quad ; \quad V_{M_f} = 235$$

L : Longueur admissible de l'échelle. $L = 22$ cm

$$\text{d'où } m \text{ est égal: } m = \frac{L}{V_{M_f} - V_{M_i}} = \frac{22}{235 - 15}$$

$$m = 0,1$$

On choisit $\phi(V_M) = \phi[f(V_C)] = V_M = f(V_C)$

d'où ϕ est la fonction identité,

dans le repère xoy l'échelle de V_M est:

$$x = 2 \text{ cm} \quad ; \quad y = a + 0,1 \cdot V_M$$

On veut que la distance entre l'origine de

V_M et l'axe (ox) soit égale à 1 cm.

On aura donc la relation suivante:

$$1 = a + 0,1 V_{M_i} \quad \text{avec } V_{M_i} = 15$$

d'où on tire a qui est égale:

$$a = -0,5$$

- Dans les deux repères (xoy) et $(x'o'z')$, les

équations des échelles de V_M et V_C sont:

$$V_M: \quad x = h_1 = 2 \text{ cm} \quad ; \quad y = -0,5 + 0,1 V_M \quad (xoy)$$

$$V_C: \quad x = h_2 = 7 \text{ cm} \quad ; \quad z = -0,5 + 0,1 \beta(V_C) \quad (x'o'z')$$

Les valeurs de y et z sont données dans les

tableaux II-1 et II-2.

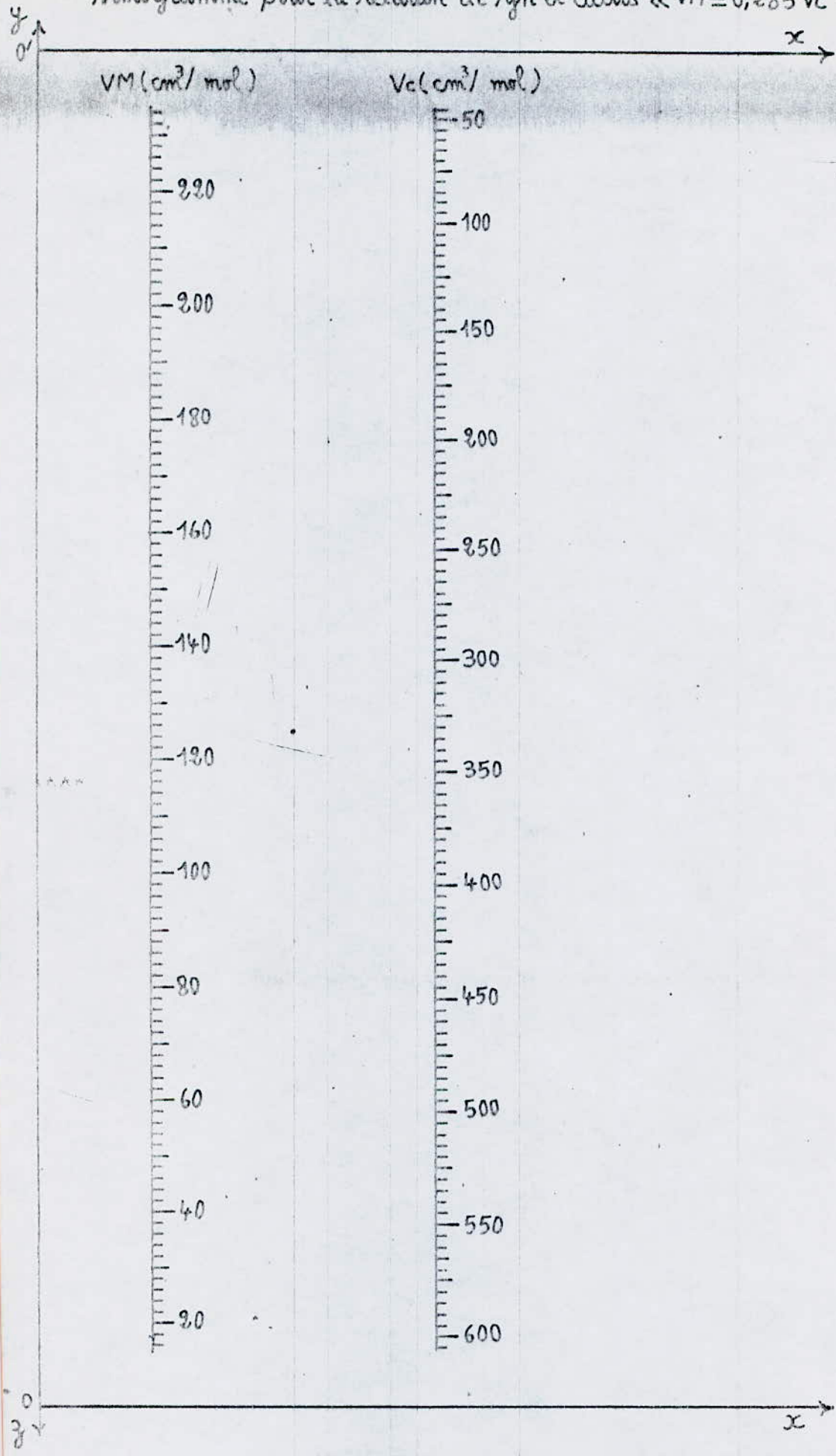
VM (cm ³ /mole)			15	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
y (cm)			1	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
VM (cm ³ /mole)	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68
y (cm)	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3
VM (cm ³ /mole)	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
y (cm)	6,5	6,7	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3
VM (cm ³ /mole)	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128
y (cm)	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,3	11,5	11,7	11,9	12,1	12,3
VM (cm ³ /mole)	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148
y (cm)	11,5	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,7	12,9	13,1	13,3	13,5	13,7	13,9	14,1	14,3
VM (cm ³ /mole)	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178
y (cm)	14,5	14,7	14,9	15,1	15,3	15,5	15,7	15,9	16,1	16,3	16,5	16,7	16,9	17,1	17,3
VM (cm ³ /mole)	180	182	184	186	188	190	192	194	196	198	200	202	204	206	208
y (cm)	17,5	17,7	17,9	18,1	18,3	18,5	18,7	18,9	19,1	19,3	19,5	19,7	19,9	20,1	20,3
VM (cm ³ /mole)	210	212	214	216	218	220	222	224	226	228	230	232	234	235	
y (cm)	20,5	20,7	20,9	21,1	21,3	21,5	21,7	21,9	22,1	22,3	22,5	22,7	22,9	23	

Tableau II - 1

V_c (cm ³ /mole)					45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
z (cm)					1,04	1,22	1,40	1,58	1,76	1,95	2,13	2,31	2,50	2,68	2,87
V_c (cm ³ /mole)	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170
z (cm)	3,06	3,24	3,43	3,62	3,80	3,99	4,18	4,37	4,56	4,75	4,94	5,13	5,32	5,51	5,70
V_c (cm ³ /mole)	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
z (cm)	5,89	6,08	6,27	6,47	6,66	6,85	7,04	7,24	7,43	7,62	7,82	8,01	8,20	8,40	8,59
V_c (cm ³ /mole)	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320
z (cm)	8,79	8,98	9,18	9,37	9,57	9,76	9,96	10,15	10,35	10,55	10,74	10,94	11,14	11,33	11,53
V_c (cm ³ /mole)	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395
z (cm)	11,73	11,92	12,12	12,32	12,52	12,71	12,91	13,11	13,31	13,51	13,71	13,90	14,10	14,30	14,50
V_c (cm ³ /mole)	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470
z (cm)	14,70	14,90	15,10	15,30	15,50	15,70	15,90	16,10	16,30	16,50	16,70	16,90	17,10	17,30	17,50
V_c (cm ³ /mole)	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545
z (cm)	17,70	17,90	18,10	18,30	18,50	18,70	18,90	19,11	19,31	19,51	19,71	19,91	20,11	20,32	20,52
V_c (cm ³ /mole)	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605			
z (cm)	20,72	20,92	21,13	21,33	21,53	21,73	21,94	22,14	22,34	22,54	22,75	22,95			

Tableau II - 2

Nomogramme pour la relation de Tyn et Colus « $V_M = 0,285 V_c^{1,048}$ »



II - 2 Normogrammes pour les ²⁷ systèmes d'équations de

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

II - 2 - 1 Normogrammes des n -paraffines.

a) 1^{ère} série d'équations "Référence 12"

$$d = f_1(P_c) = f_2(T_c) = f_3(V_c) = f_4(T_{eb}) = f_5(\pi) = f_6(TV)$$

$$0,620 \leq d \leq 0,715 \quad d_i = 0,620 \quad ; \quad d_f = 0,715$$

$$L = 22 \text{ cm} \quad ; \quad m = \frac{22}{0,715 - 0,620} = 231$$

ϕ : fonction identité.

L'échelle pour d est :

$$x = 1 \text{ cm} ; \quad y = a + 231 d$$

$$y_i = 1 \text{ cm} \Rightarrow a = -142,22$$

Dans les repères (xoy) et $(x'o'z')$, les équations des échelles pour les diverses propriétés sont :

$$d : x = 1 \text{ cm} ; \quad y = -142,22 + 231 d ; \quad 0,620 \leq d \leq 0,715$$

$$P_c : x = 3,7 \text{ cm} ; \quad z = -142,22 + 231 f_1(P_c) ; \quad 22,4 \leq P_c \leq 33,5$$

$$V_c : x = 9,1 \text{ cm} ; \quad z = -142,22 + 231 f_3(V_c) ; \quad 305 \leq V_c \leq 550$$

$$T_c : x = 6,4 \text{ cm} ; \quad y = -142,22 + 231 f_2(T_c) ; \quad 195 \leq T_c \leq 324$$

$$T_{eb} : x = 11,8 \text{ cm} ; \quad y = -142,22 + 231 f_4(T_{eb}) ; \quad 35 \leq T_{eb} \leq 153$$

$$\pi : x = 14,5 \text{ cm} ; \quad z = -142,22 + 231 f_5(\pi) ; \quad 1,354 \leq \pi \leq 1,403$$

$$TV : x = 17,2 \text{ cm} ; \quad y = -142,22 + 231 f_6(TV)$$

$f_1 ; f_2 ; f_3 ; f_4 ; f_5$ sont des fonctions monotones par conséquent la continuité de leurs échelles.

f_6 est une fonction non monotone d'où la discontinuité de l'échelle.

28

b) 2^{ème} Série d'équations « Référence 13 »

$$C_p = f_1(H_c) = f_2(RM) = f_3(HV) = f_4(M) = f_5(TS) \\ = f_6(VA) = f_7(Teb) = f_8(Cg)$$

$$27 \leq C_p \leq 51 \quad C_{p_i} = 27 \quad ; \quad C_{p_8} = 51$$

$$L = 22 \text{ cm} \quad , \quad m = 0,9 \quad ; \quad a = -23,3$$

ϕ : fonction identité.

Dans les repères (xoy) et $(x'o'z')$ les équations des échelles sont :

$$C_p : \quad y = -23,3 + 0,9 C_p \quad 27 \leq C_p \leq 51$$

$$H_c : \quad z = -23,3 + 0,9 f_1(H_c) \quad 790 \leq H_c \leq 1480$$

$$RM : \quad y = -23,3 + 0,9 f_2(RM) \quad 24 \leq RM \leq 44,5$$

$$HV : \quad z = -23,3 + 0,9 f_3(HV) \quad 68,5 \leq HV \leq 96,5$$

$$M : \quad y = -23,3 + 0,9 f_4(M) \quad 68 \leq M \leq 130$$

f_1, f_2, f_3, f_4 sont des fonctions monotones d'où la continuité des échelles.

$$M : \quad y = -23,3 + 0,9 f_4(M) \quad 68 \leq M \leq 130$$

$$TS : \quad z = -23,3 + 0,9 f_5(TS) \quad 15 \leq TS \leq 22,6$$

$$VA : \quad y = -23,3 + 0,9 f_6(VA) \quad 0,21 \leq VA \leq 0,69$$

$$Teb : \quad z = -23,3 + 0,9 f_7(Teb) \quad 26 \leq Teb \leq 155$$

$$C_g : \quad y = -23,3 + 0,9 f_8(C_g)$$

f_5, f_6, f_7 sont des fonctions monotones d'où la continuité des échelles.

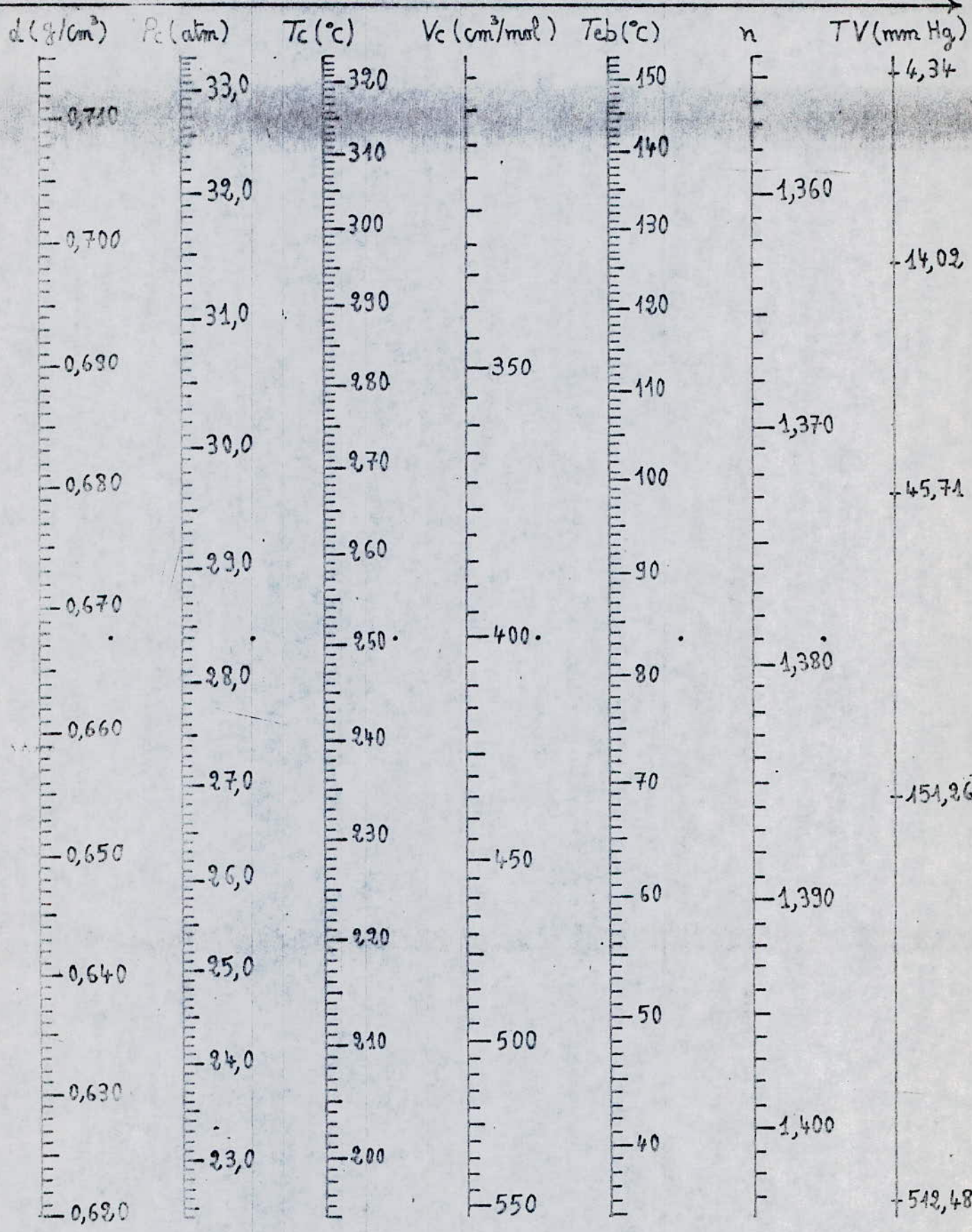
f_8 : fonction quelconque (non monotone) ce qui implique la discontinuité de l'échelle.

NOMOGRAMMES

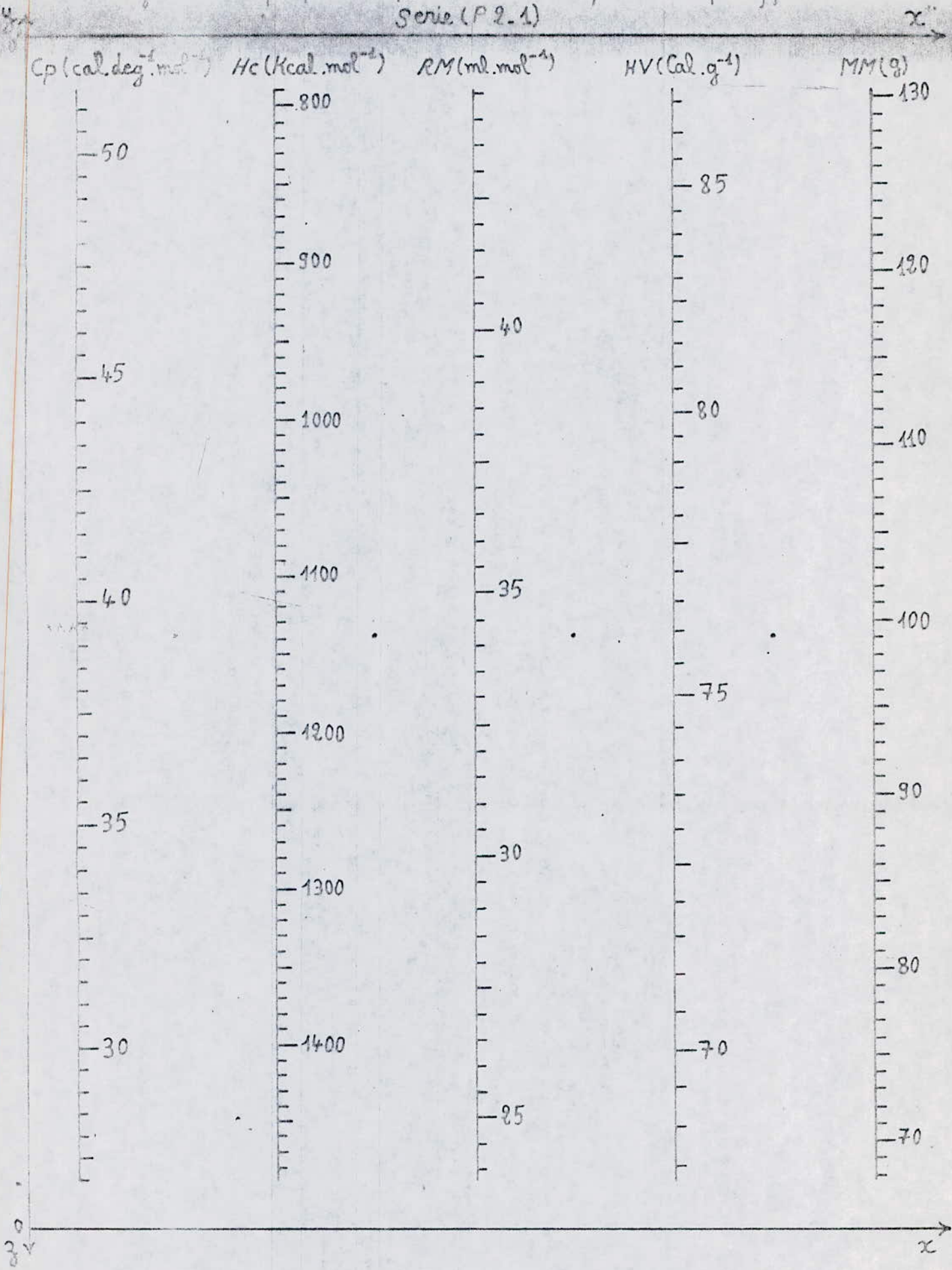
DES

N - PARAFFINES

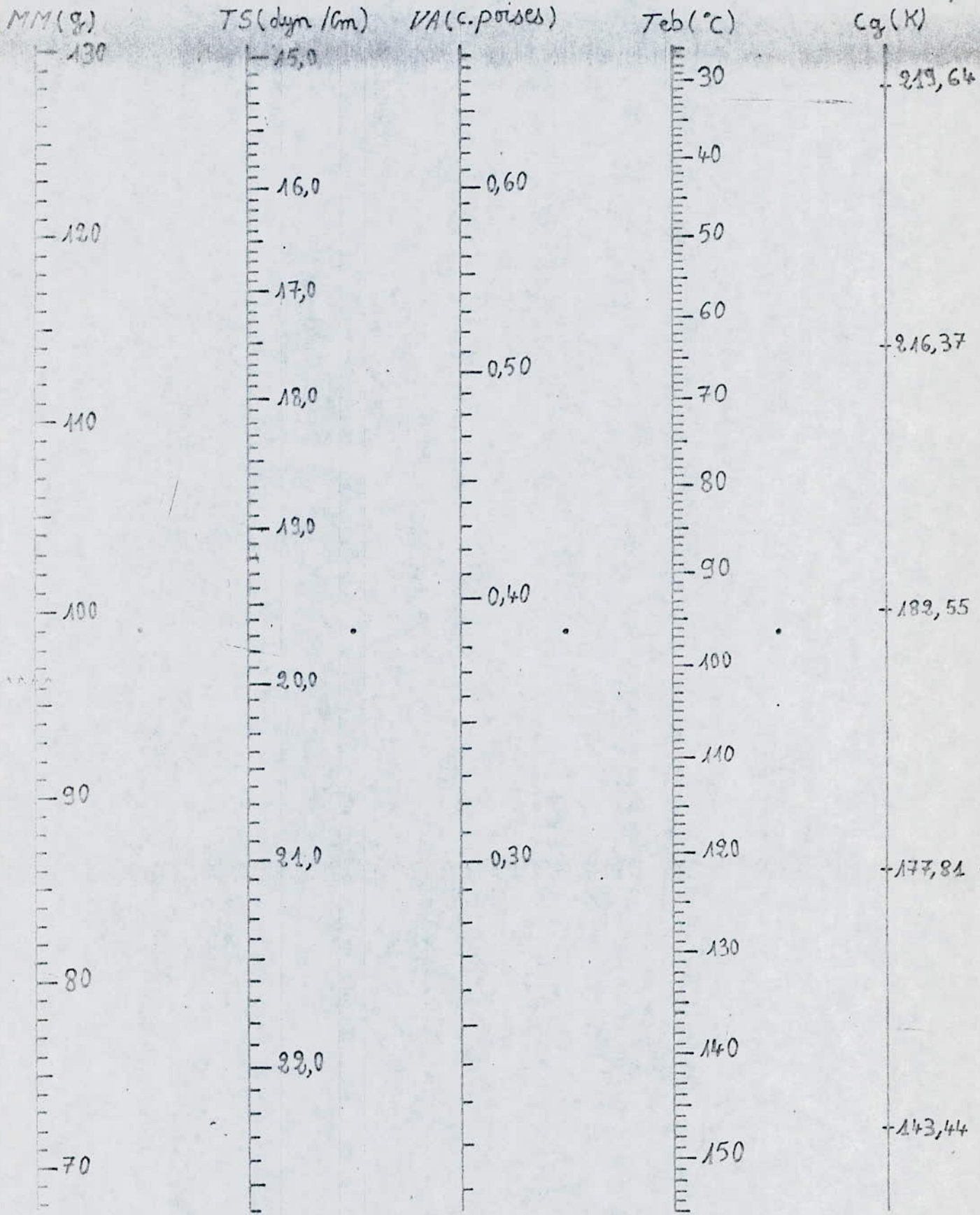
Nomogramme des propriétés d ; P_c ; T_c ; V_c ; T_{eb} ; T_V pour les n-paraffines
 Serie (P1)



Nomogramme des propriétés C_p ; H_c ; RM ; HV ; MM pour les n-paraffines.
 Serie (P 2-1)



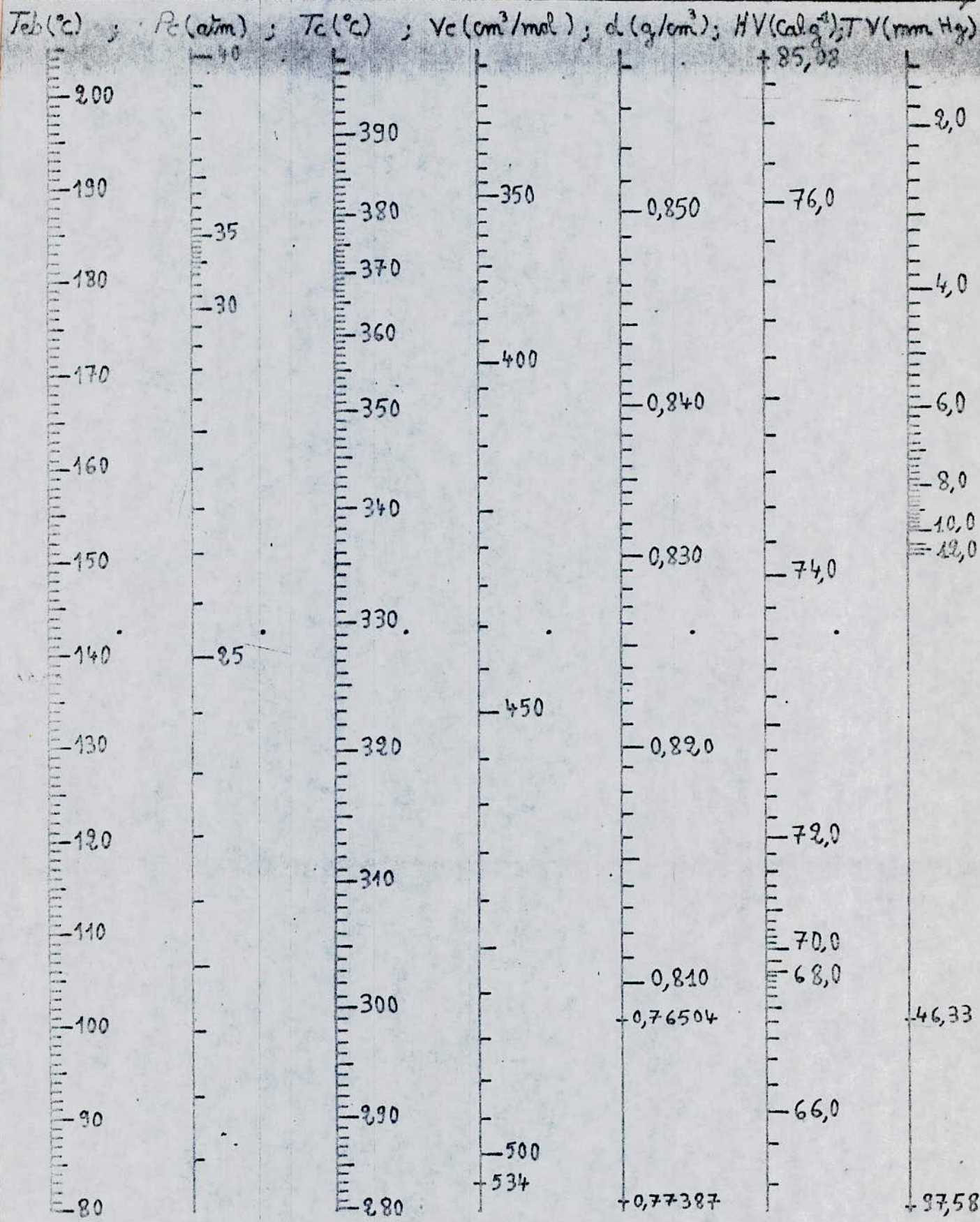
Nomogramme des propriétés MM; TS; VA; T_{eb} ; C_g pour les n-paraffines
 Serie (P 2.2)



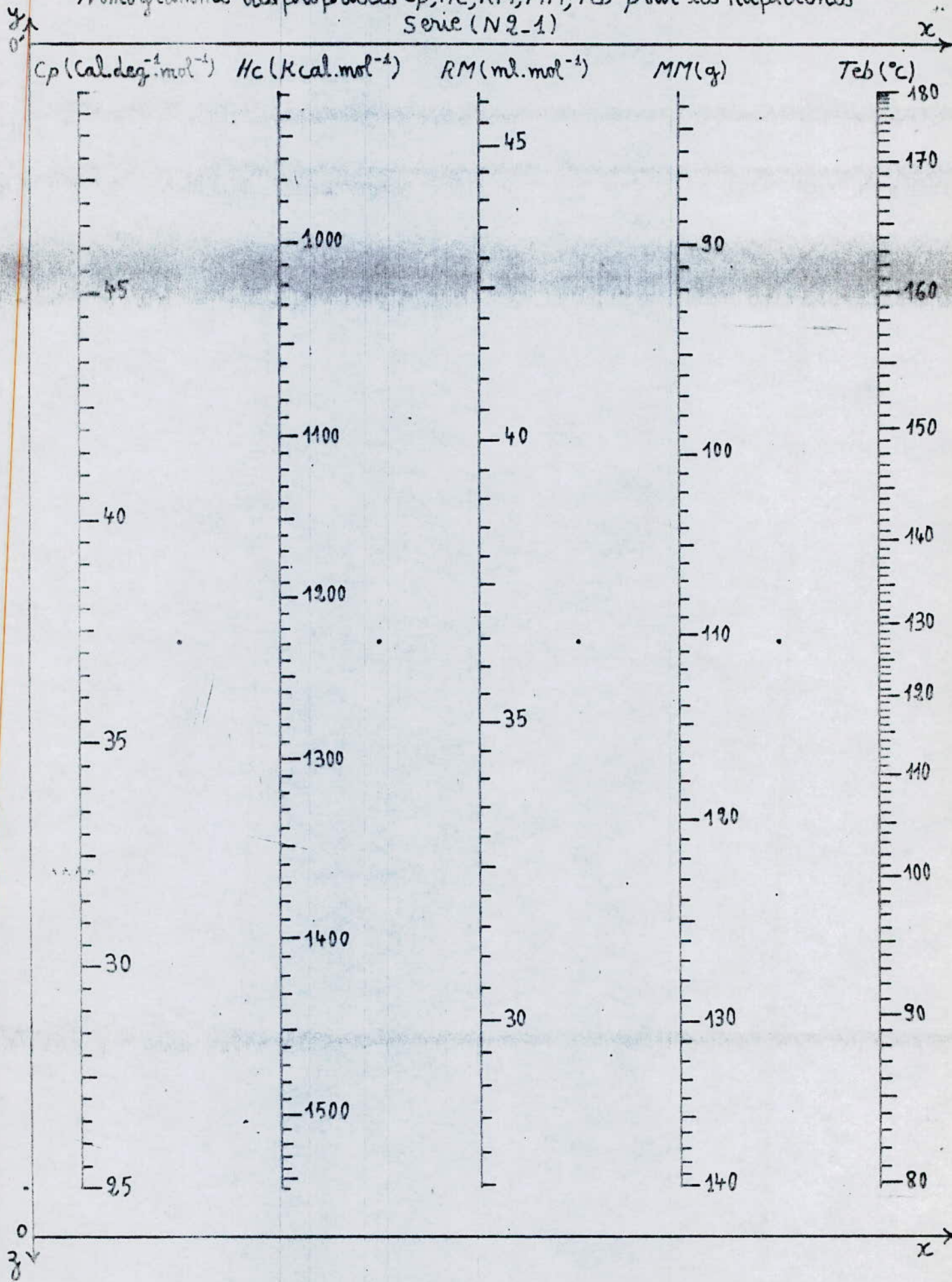
219,64
 216,37
 182,55
 177,84
 143,44

NOMOGRAMMES
DES
NAPHTENES

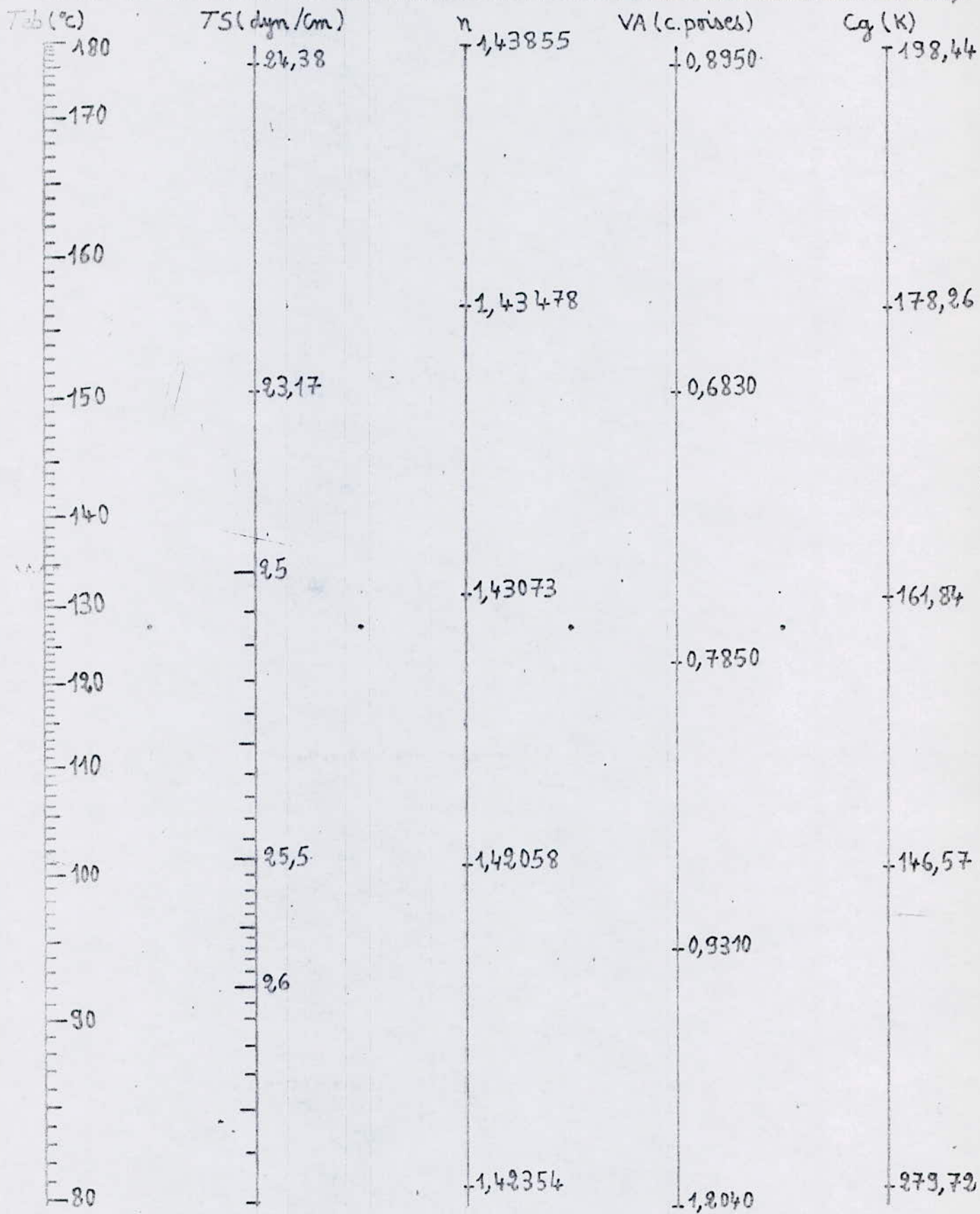
Monogramme des propriétés T_{eb} ; P_c ; T_c ; V_c ; d ; n ; TV pour les naphthènes
 Serie (N1)



Nomogramme des propriétés C_p ; H_c ; RM ; MM ; T_{eb} pour les naphtésines
Série (N2-1)



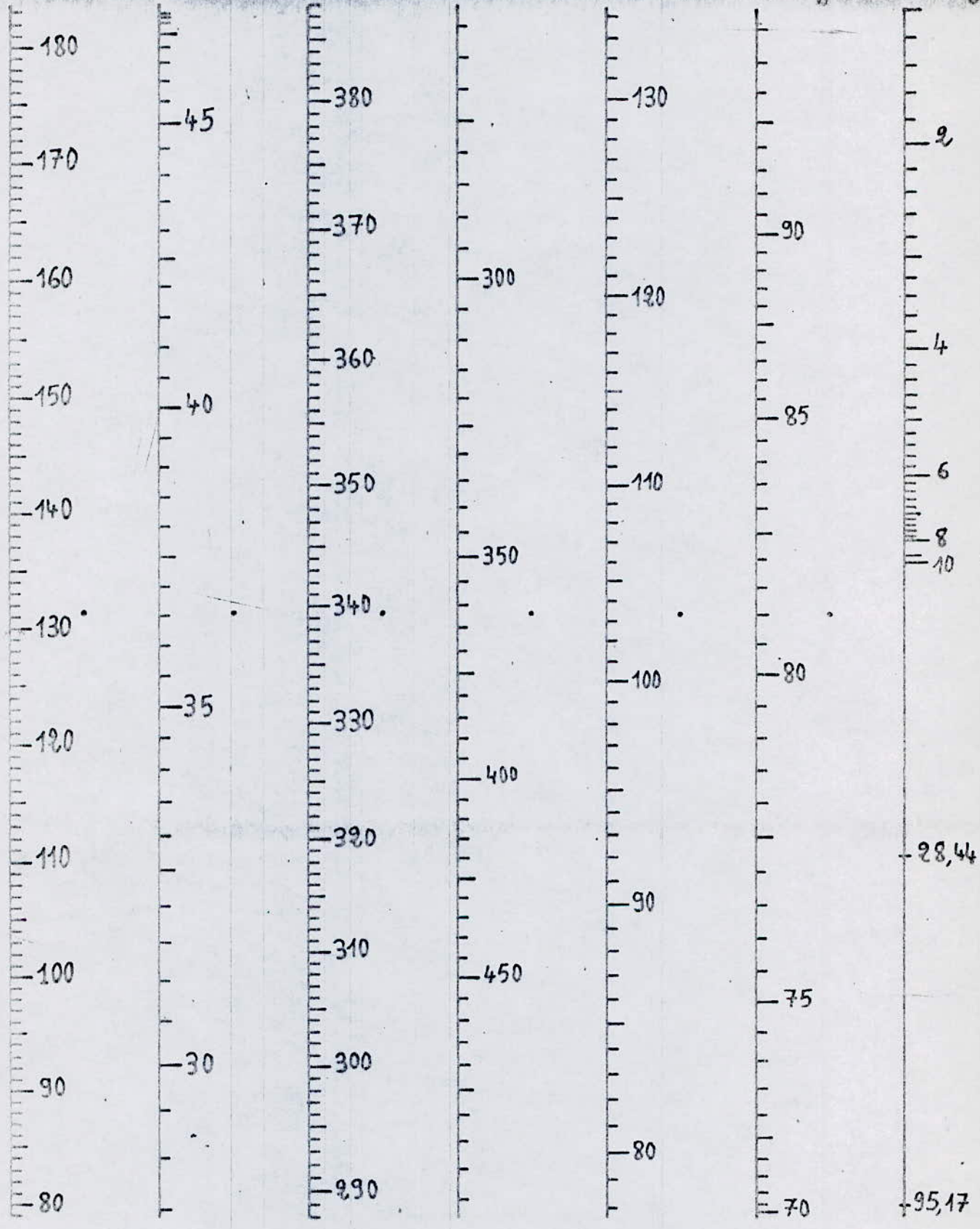
Monogramme des propriétés T_{eb} ; TS ; n ; VA ; C_g pour les naphthènes
 Serie (N 2-3)



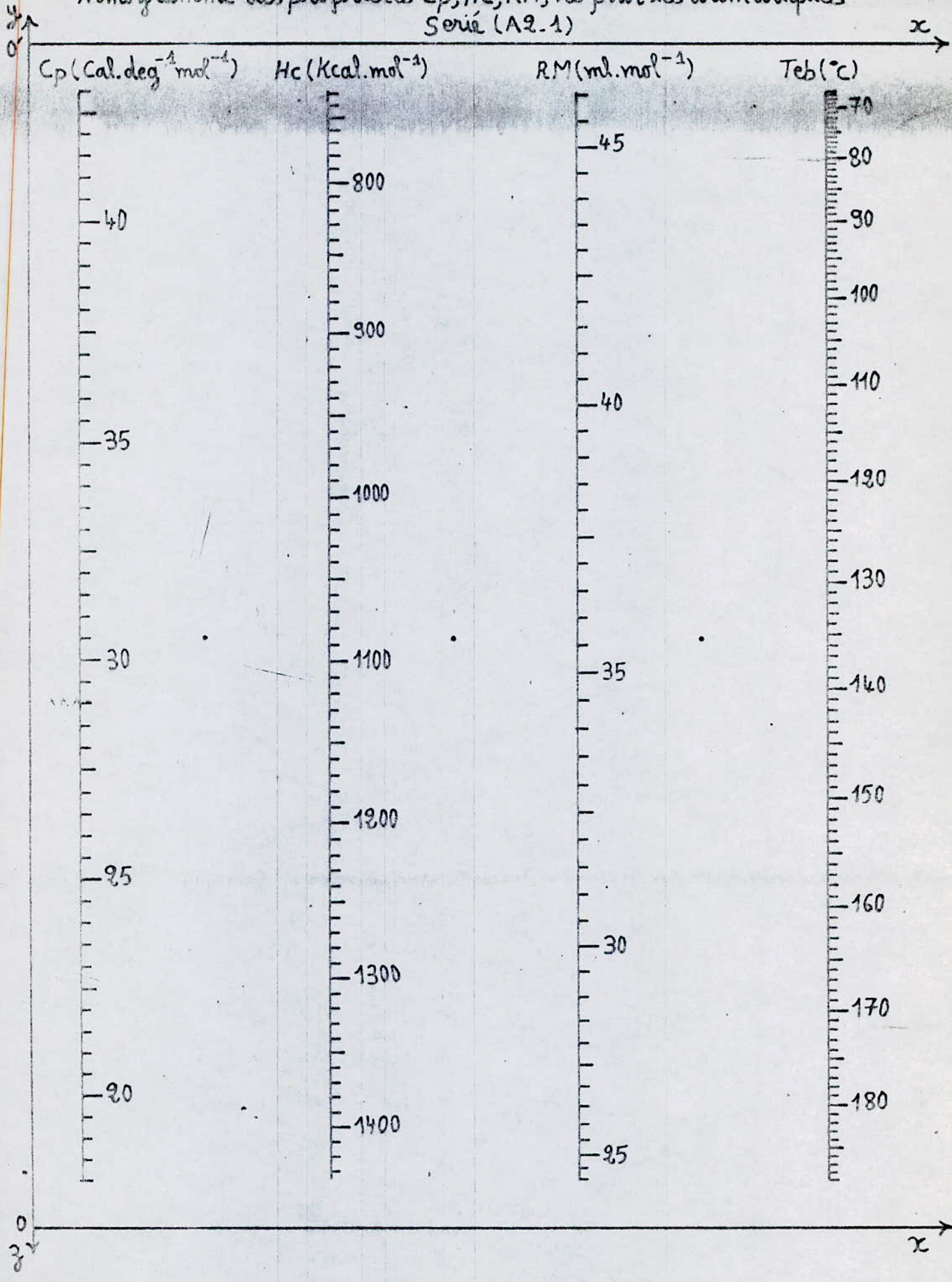
NOMOGRAMMES
DES
AROMATIQUES

Nomogramme des propriétés $T_b; P_c; T_c; V_c; MM; HV; TV$ pour les aromatiques
 Serie (A1)

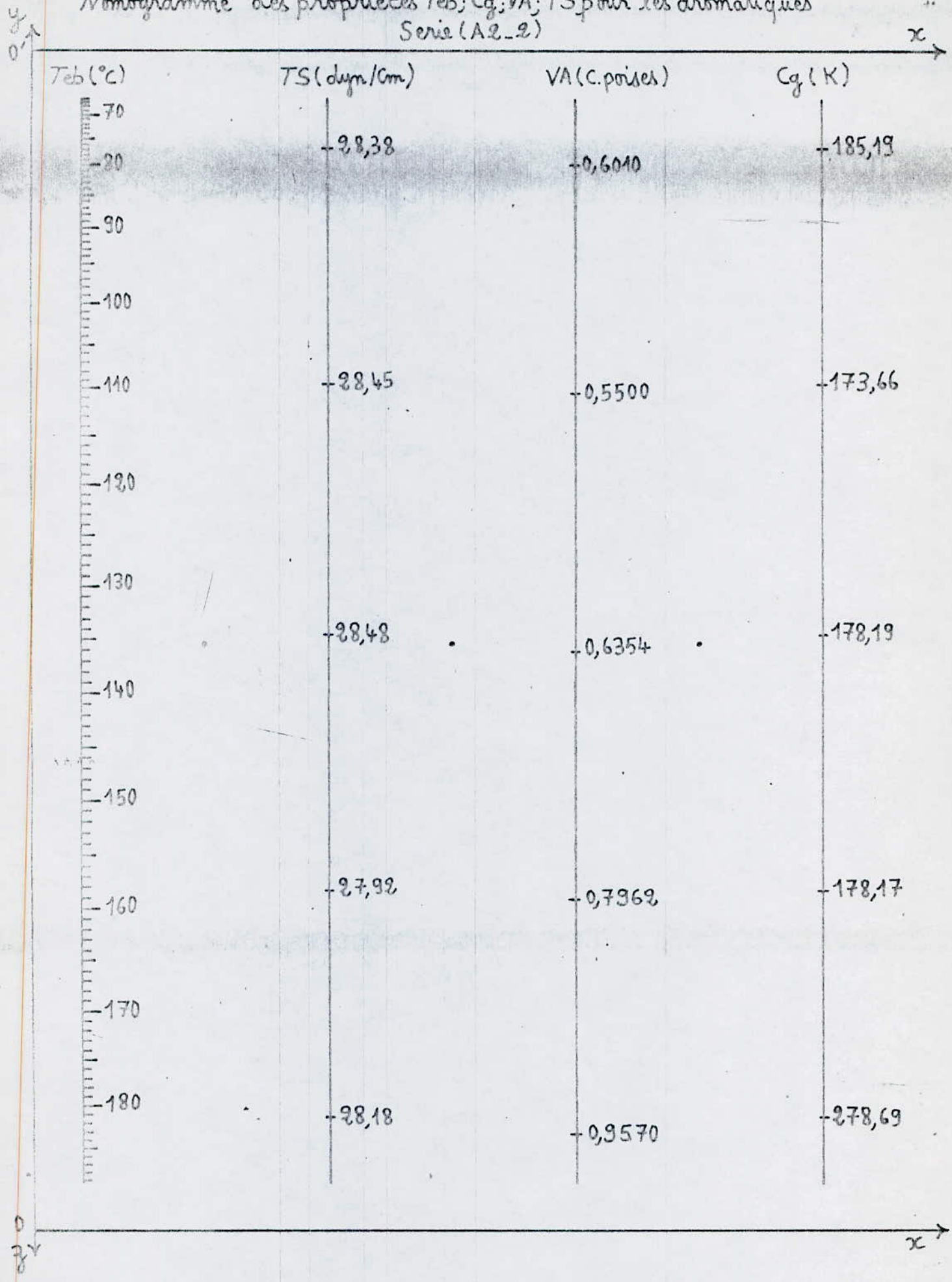
$T_b(^{\circ}C)$; $P_c(atm)$; $T_c(^{\circ}C)$; $V_c(cm^3/mol)$; $MM(g)$; $HV(cal/g)$; $TV(mm Hg)$



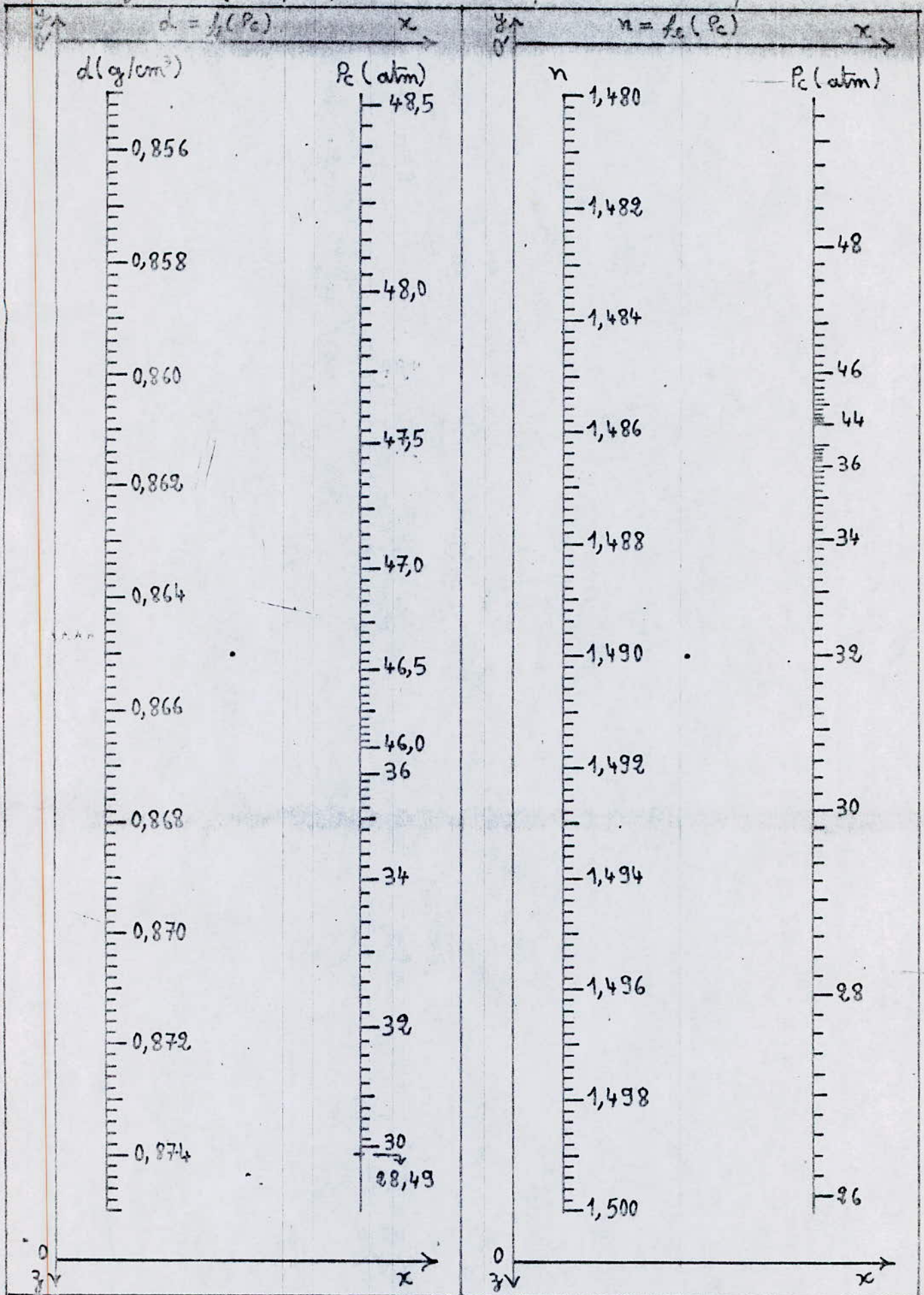
Nomogramme des propriétés C_p ; H_c ; RM ; T_{eb} pour les aromatiques
 Série (A2-1)



Nomogramme des propriétés T_{eb} ; C_g ; VA ; TS pour les aromatiques
 Serie (A2-2)



Nomogramme des propriétés P_c ; d ; n pour les aromatiques «Série (A3)»



NOMOGRAMMES

DES

ISO - PARAFFINES

Nomogramme des propriétés d ; RM ; H_c ; C_p ; HV pour les isoparaffines
 Serie (I 11)

0.7
0.7

x

d (g/cm³)

RM (cm³/mol)

H_c (Kcal/mol)

C_p (Cal. deg⁻¹ mol⁻¹)

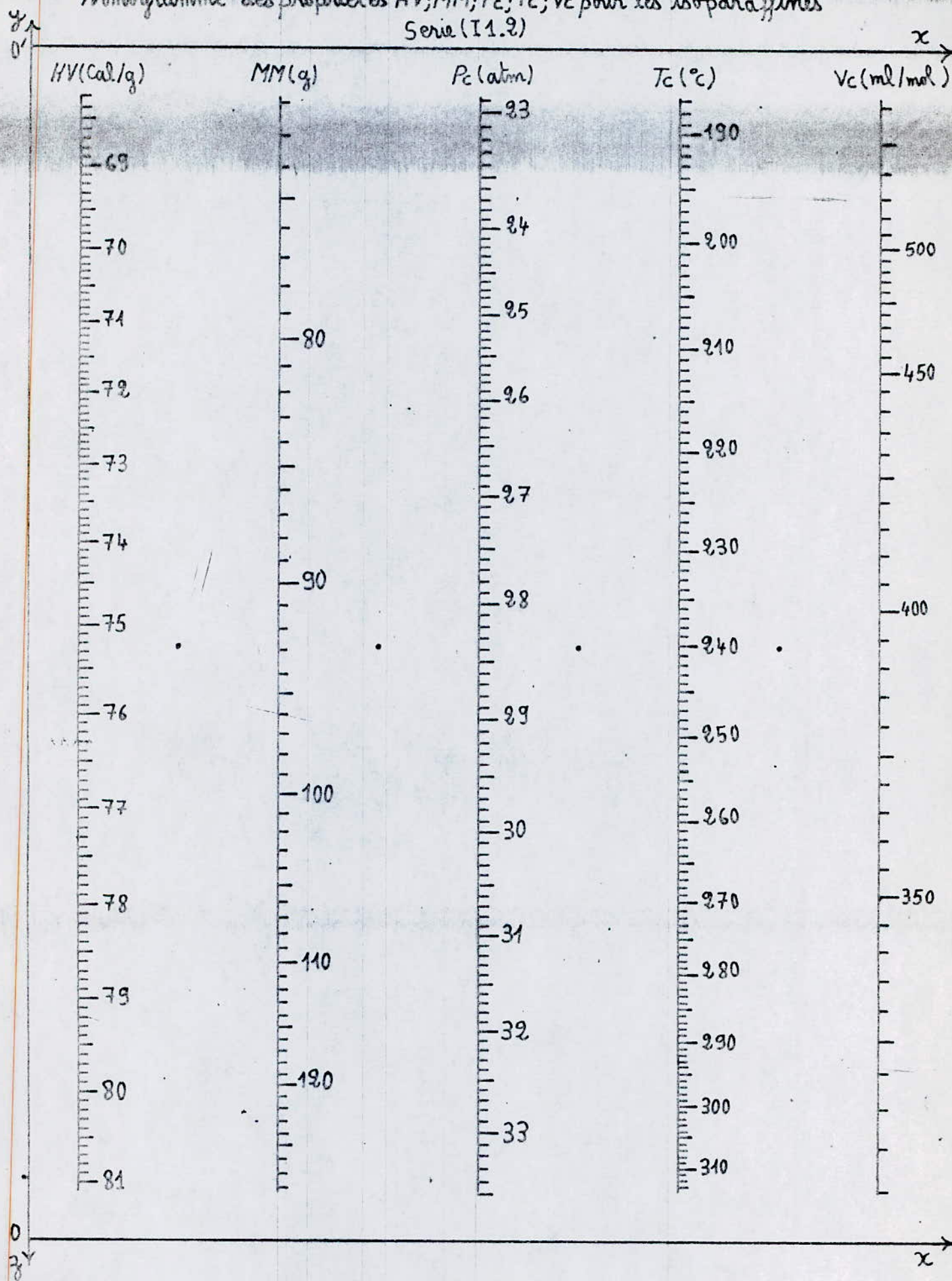
HV (Cal/g)



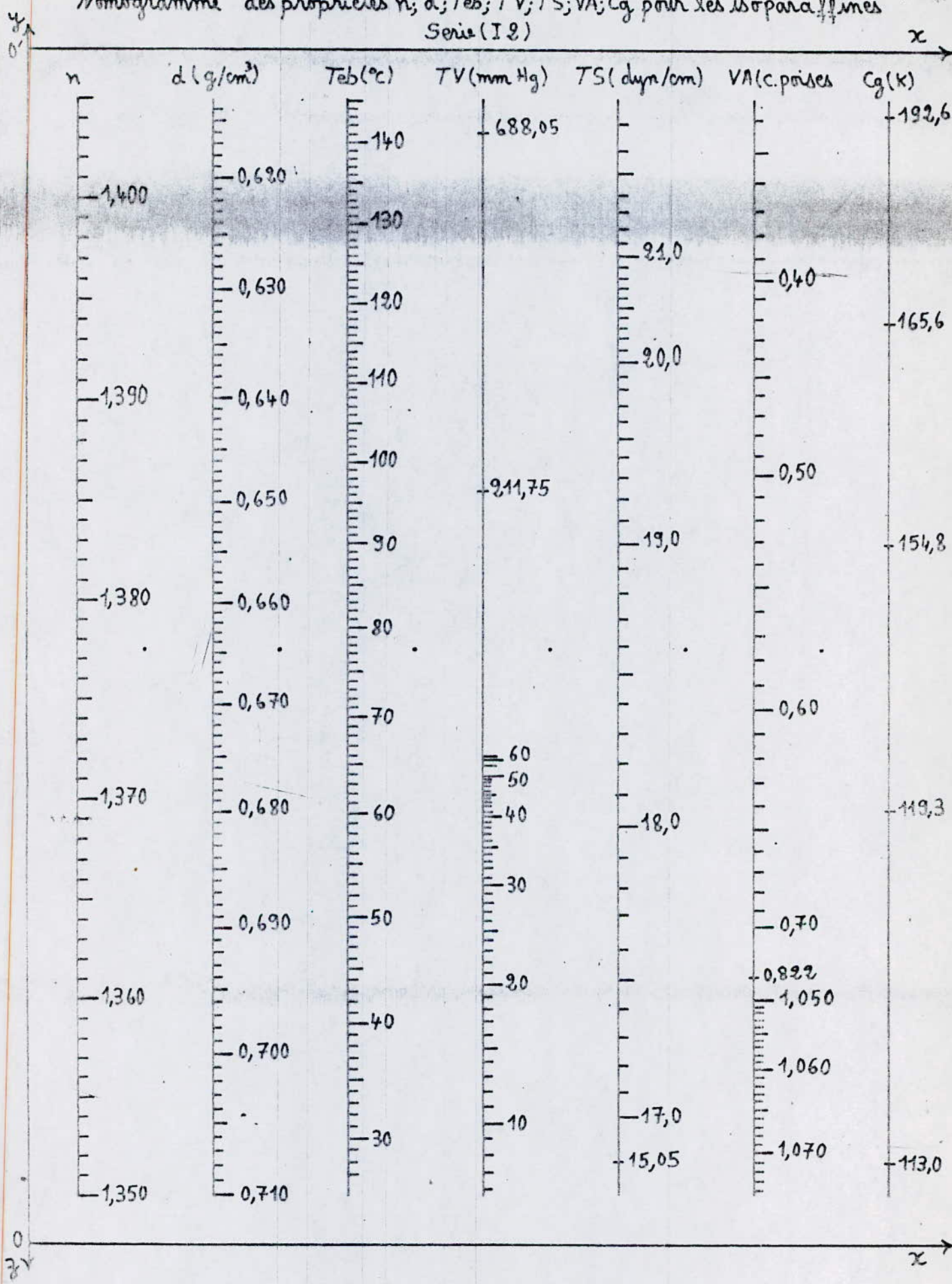
0
3

x

Nomogramme des propriétés HV; MM; P_c; T_c; V_c pour les isoparaffines
 Serie (I1.2)

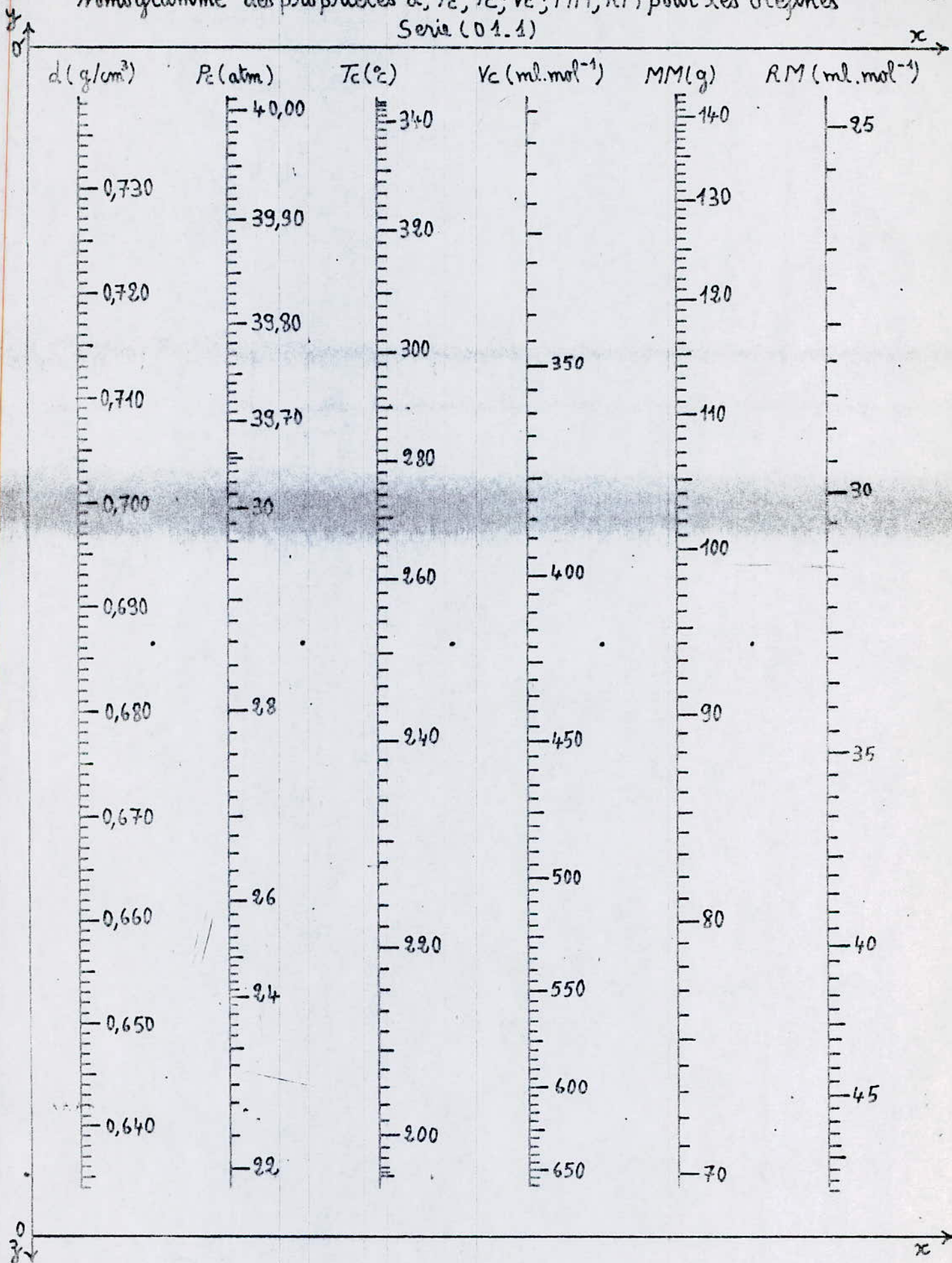


Nomogramme des propriétés n ; d ; T_{eb} ; TV ; TS ; VA ; C_g pour les isoparaffines
Série (I 2)

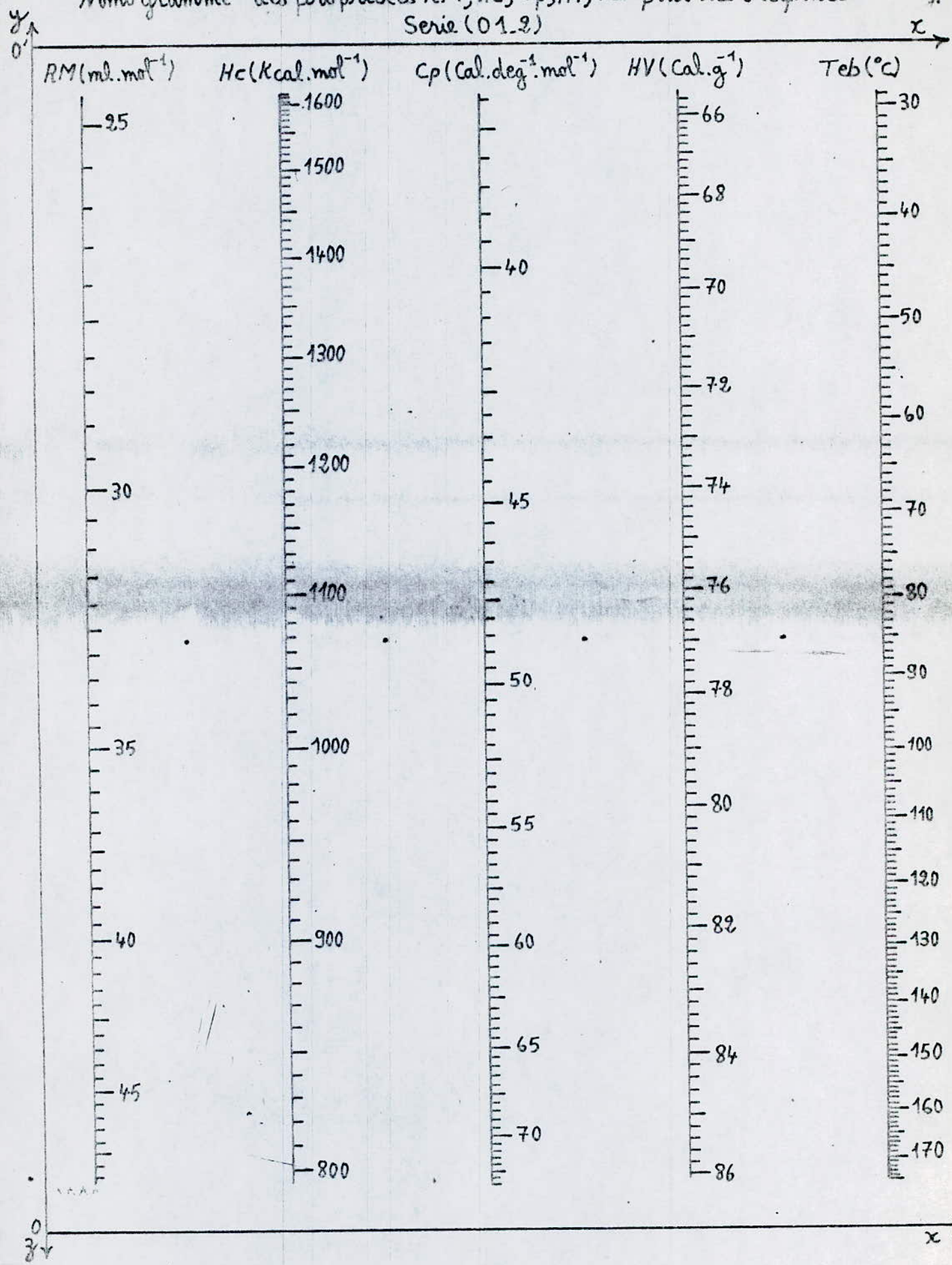


NOMOGRAMMES
DES
OLEFINES

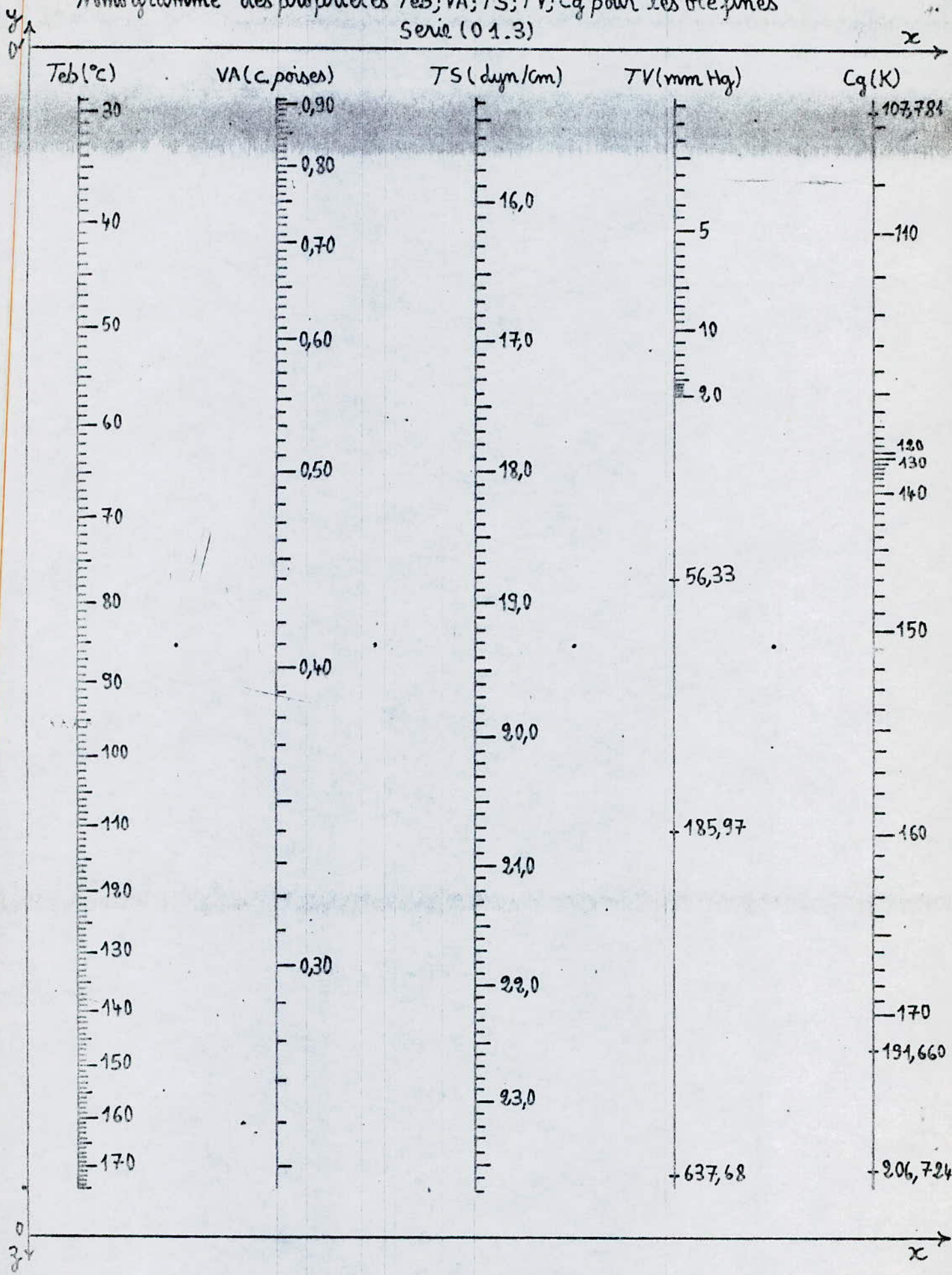
Nomogramme des propriétés d ; P_c ; T_c ; V_c ; MM ; RM pour les oléfines
 Serie (01.1)



Nomogramme des propriétés $RM; H_c; C_p; HV; T_{eb}$ pour les oléfines
 Serie (01-2)



Nomogramme des propriétés Teb ; VA ; TS ; TV ; Cg pour les oléfines
 Serie (01.3)



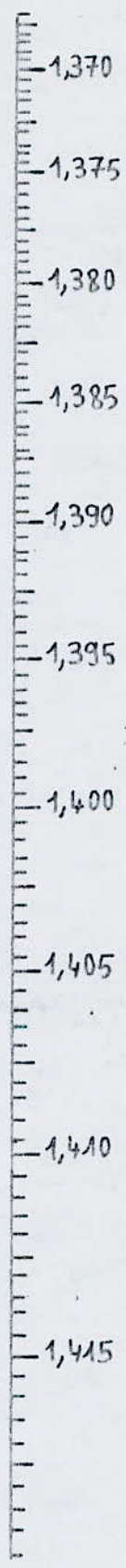
Nomogramme des propriétés T_{eb} ; n pour les oléines
Serie (02)

y
0

x

$T_{eb}(^{\circ}C)$

n



0
y

x

III Comparaison entre les valeurs expérimentales et celles des nomogrammes pour les différentes familles d'hydrocarbures.

- Pour une propriété donnée on calcule l'erreur (%) entre la valeur expérimentale et celle du nomogramme.

Pour une propriété α :

α_{Exp} : valeur expérimentale de α

α_{Nom} : valeur obtenue à partir du nomogramme.

L'erreur en pourcent par rapport à la valeur expérimentale est donnée par :

$$\% E = \frac{|\alpha_{Exp} - \alpha_{Nom}|}{\alpha_{Exp}} \times 100$$

Les résultats sont donnés dans les tableaux de

III - 1 à III - 6

- Conclusion.

Les lois reliant les différentes propriétés ont été obtenues par interpolation du polynôme de Newton, il en résulte des erreurs qui sont dues à cette interpolation.

Le polynôme passe par les points représentant les hydrocarbures purs d'où l'erreur d'interpolation est nulle par conséquent l'erreur observée est due seulement à la construction et on remarque qu'elle est insignifiante.

Par contre entre ces points il y a cumulation

		P_c	T_c	V_c	MM	T_{eb}	d	n
C ₅	EXP	33,25	196,5	304	72,150	36,000	0,62137	1,35472
	NOM	33,25	196,5	305	72	36	0,6215	1,3545
	%E	0,000	0,000	0,329	0,208	0,000	0,021	0,016
C ₆	EXP	29,73	234,30	370	86,178	68,730	0,65479	1,37226
	NOM	29,70	234	370	86	69	0,6550	1,3725
	%E	0,101	0,128	0,000	0,207	0,393	0,032	0,017
C ₇	EXP	27,00	267,10	432	100,205	98,500	0,67949	1,38511
	NOM	27,00	267	432,5	100	98,5	0,6795	1,3850
	%E	0,000	0,037	0,116	0,205	0,000	0,001	0,008
C ₈	EXP	24,54	295,68	492	114,232	125,675	0,69847	1,39505
	NOM	24,60	296	490	114	125,5	0,6985	1,3950
	%E	0,244	0,108	0,407	0,203	0,139	0,004	0,004
C ₉	EXP	22,60	321,49	548	128,259	150,818	0,71379	1,40311
	NOM	22,6	321,5	547,5	128	151	0,7140	1,4030
	%E	0,000	0,003	0,091	0,202	0,121	0,029	0,008

		Hv	Cp	RM	TV	TS	Hc	VA
C ₅	EXP	85,38	28,73	25,29	512,48	15,48	838,77	0,224
	NOM	85,5	28,75	25,25	—	15,5	835	0,225
	%E	0,141	0,070	0,158	—	0,129	0,449	0,446
C ₆	EXP	80,03	34,20	29,93	151,26	17,90	995,01	0,2976
	NOM	80	34,25	30	—	17,90	995	0,300
	%E	0,037	0,146	0,234	—	0,000	0,001	0,806
C ₇	EXP	75,61	39,67	34,57	45,71	19,80	1151,27	0,3955
	NOM	75,5	39,75	34,5	—	19,80	1150	0,395
	%E	0,145	0,202	0,202	—	0,000	0,110	0,127
C ₈	EXP	72,01	45,14	39,21	14,02	21,26	1307,53	0,5136
	NOM	72	45	39,25	—	21,26	1305	0,515
	%E	0,014	0,310	0,102	—	0,000	0,193	0,273
C ₉	EXP	68,80	50,60	43,86	4,34	22,44	1463,80	0,6676
	NOM	69	50,50	44	—	22,45	1465	0,670
	%E	0,291	0,198	0,319	—	0,045	0,082	0,358

Tableau III - 1 "les n-parabbes"

		Pc	Tc	Vc	MM	Teb	d	n
C ₆	EXP	40,00	280,40	308	84,162	80,719	0,77387	1,42354
	NOM	40,00	280,50	308	84,0	80,70	—	—
	%E	0,000	0,036	0,000	0,192	0,024	—	—
C ₇	EXP	34,30	299,04	368	98,199	100,934	0,76504	1,42058
	NOM	34,00	299,00	370	98,0	100,9	—	—
	%E	0,875	0,013	0,543	0,131	0,034	—	—
C ₈	EXP	24,50	336,00	450	112,216	131,80	0,83000	1,43073
	NOM	24,50	336,00	450	112,0	131,8	0,8300	—
	%E	0,000	0,000	0,000	0,192	0,000	0,000	—
C ₉	EXP	22,50	366,00	477	126,243	156,75	0,84630	1,430472
	NOM	22,50	366,00	475	126	156,7	0,8460	—
	%E	0,000	0,000	0,419	0,192	0,032	0,035	—
C ₁₀	EXP	20,80	394,70	534	140,270	180,98	0,85380	1,43855
	NOM	20,50	395,00	—	140,0	181	0,854	—
	%E	1,442	0,076	—	0,192	0,011	0,023	—

		Hv	Cp	RM	Tv	Ts	Hc	VA
C ₆	EXP	85,08	25,40	27,72	97,580	24,32	936,86	0,8950
	NOM	—	25,50	27,75	—	—	935	—
	%E	—	0,394	0,108	—	—	0,199	—
C ₇	EXP	75,72	32,27	32,52	46,330	23,17	1091,13	0,6830
	NOM	75,80	32,25	32,50	—	—	1090	—
	%E	0,026	0,062	0,062	—	—	0,104	—
C ₈	EXP	73,08	37,96	37,03	12,780	25,12	1248,23	0,7850
	NOM	73,10	38,00	37,00	13,00	25,10	1250	—
	%E	0,027	0,105	0,081	1,721	0,080	0,142	—
C ₉	EXP	68,30	44,03	41,69	4,123	25,85	1404,34	0,9310
	NOM	68,30	44,00	41,50	4,10	25,85	1405	—
	%E	0,000	0,068	0,456	0,558	0,000	0,047	—
C ₁₀	EXP	65,60	49,50	46,33	1,520	26,35	1560,78	1,2040
	NOM	65,60	49,50	46,50	1,50	26,35	1560	—
	%E	0,000	0,000	0,367	1,316	0,000	0,050	—

Tableau III - 2 "Les naphènes"

		P_c	T_c	V_c	MM	T_{cb}	d	n
C ₆	EXP	48,34	289,01	259	78,114	80,094	0,87368	1,49792
	NOM	48,5	289,0	260	78,0	80,0	0,8737	1,4979
	%E	0,331	0,003	0,386	0,146	0,117	0,002	0,002
C ₇	EXP	40,55	318,64	316	92,113	110,629	0,86231	1,49413
	NOM	40,50	318,50	315	92,0	110,5	0,8623	1,4941
	%E	0,123	0,044	0,316	0,123	0,117	0,001	0,002
C ₈	EXP	35,62	344,02	374	106,168	136,200	0,86262	1,49320
	NOM	35,50	344,0	375	106,0	136,0	0,8626	1,49320
	%E	0,337	0,006	0,267	0,152	0,147	0,002	0,000
C ₉	EXP	31,58	365,23	440	120,195	159,241	0,85778	1,48951
	NOM	31,50	365	440	120,0	159,0	0,8578	1,4895
	%E	0,253	0,063	0,000	0,162	0,151	0,002	0,001
C ₁₀	EXP	28,49	387,40	497	134,225	183,305	0,85605	1,48479
	NOM	28,50	387,50	495	134,0	183,50	0,8560	1,4848
	%E	0,035	0,026	0,402	0,168	0,106	0,006	0,001

		Hv	Cp	RM	TV	TS	Hc	VA
C ₆	EXP	94,13	19,52	26,20	95,170	28,18	780,98	0,6010
	NOM	94,0	19,50	26,0	-	-	780	-
	%E	0,138	0,102	0,763	-	-	0,125	-
C ₇	EXP	86,08	24,80	31,11	28,440	27,92	934,50	0,5500
	NOM	86,0	24,75	31,0	-	-	935	-
	%E	0,093	0,202	0,354	-	-	0,054	-
C ₈	EXP	80,07	30,69	35,78	9,580	28,48	1091,03	0,6354
	NOM	80,0	30,75	35,75	9,5	-	1090	-
	%E	0,087	0,196	0,084	0,835	-	0,094	-
C ₉	EXP	76,00	36,41	40,47	3,360	28,45	1247,19	0,7962
	NOM	76,0	36,50	40,50	3,3	-	1245	-
	%E	0,000	0,247	0,074	1,786	-	0,176	-
C ₁₀	EXP	69,89	41,85	45,12	1,026	28,38	1403,46	0,9570
	NOM	70	41,75	45,00	1,0	-	1405	-
	%E	0,157	0,239	0,266	2,534	-	0,110	-

Tableau III - 3 " les aromatiques "

		P_c	T_c	V_c	MM	T_{eb}	d	n
C ₅	EXP	33,4	187,8	306	72,15	28,0	0,616	1,3517
	NOM	33,5	188	305	72	28,0	0,616	1,3715
	%E	0,299	0,106	0,327	0,208	0,000	0,000	0,015
C ₆	EXP	29,7	224,5	367	86,18	60,4	0,649	1,3695
	NOM	29,5	224,5	365	86	60,5	0,649	1,3695
	%E	0,673	0,000	0,545	0,209	0,166	0,000	0,000
C ₇	EXP	27	257,3	421	100,21	90,1	0,675	1,3829
	NOM	27	257,5	420	100	90	0,675	1,3830
	%E	0,000	0,078	0,238	0,210	0,111	0,000	0,007
C ₈	EXP	24,5	286,6	488	114,23	117,7	0,694	1,3939
	NOM	24,5	286,5	490	114	117,5	0,694	1,3940
	%E	0,000	0,035	0,410	0,201	0,170	0,000	0,007
C ₉	EXP	22,9	313,9	531	128,26	143,3	0,709	1,4042
	NOM	23	314	530	128	143,5	0,709	1,4040
	%E	0,437	0,032	0,188	0,203	0,140	0,000	0,014

		Hv	Cp	RM	Tv	Ts	Hc	VA
C ₅	EXP	80,97	28,52	25,29	688,05	15,05	837,31	0,344
	NOM	80,95	28,50	25,25	-	15,05	835	0,345
	%E	0,025	0,070	0,150	-	0,000	0,276	0,291
C ₆	EXP	76,89	33,97	29,91	211,75	18,05	993,71	0,508
	NOM	76,90	34,0	30,00	-	18,05	995	0,510
	%E	0,026	0,088	0,301	-	0,000	0,130	0,394
C ₇	EXP	73,40	39,42	34,53	65,89	19,00	1149,97	0,620
	NOM	73,40	39,50	34,50	65,0	19,00	1150	0,620
	%E	0,000	0,203	0,087	1,351	0,000	0,003	0,000
C ₈	EXP	70,30	44,87	39,14	20,61	20,35	1306,28	0,822
	NOM	70,30	44,75	39,00	20,5	20,35	1305	0,820
	%E	0,000	0,267	0,358	0,534	0,000	0,098	0,243
C ₉	EXP	68,30	50,32	43,76	6,54	21,73	1463,80	1,073
	NOM	68,30	50,25	43,75	6,5	21,75	1465	1,075
	%E	0,000	0,139	0,023	0,612	0,092	0,082	0,186

Tableau III - 4

"Les iso-paraffines"

Tableau III - 5

"Les oléfines"

		P_c	T_c	V_c	d	MM	T_{eb}	n	TV
C_5	EXP	40	191,63	305	0,63531	70	29,96	1,36835	637,68
	NOM	40	191	305	0,63550	70	29,95	1,3685	-
	%E	0,000	0,329	0,000	0,030	0,000	0,033	0,011	-
C_6	EXP	31	230,88	370	0,66846	84	63,47	1,38502	185,97
	NOM	31	231	370	0,66850	84	63,45	1,3850	-
	%E	0,000	0,052	0,000	0,006	0,000	0,032	0,001	-
C_7	EXP	28	260,15	440	0,69265	98	93,64	1,39713	56,33
	NOM	28	260	440	0,6925	98	93,65	1,3970	-
	%E	0,000	0,058	0,000	0,022	0,000	0,011	0,009	-
C_8	EXP	26	293,5	510	0,71083	112	121,29	1,40620	17,38
	NOM	26	293	510	0,7110	112	121,30	1,4060	17,4
	%E	0,000	0,170	0,000	0,024	0,000	0,008	0,014	0,115
C_9	EXP	23	313	580	0,72529	126	146,88	1,41333	5,34
	NOM	23	313	580	0,7250	126	146,90	1,4135	5,5
	%E	0,000	0,000	0,000	0,040	0,000	0,014	0,012	2,996
C_{10}	EXP	22	342	650	0,73691	140	170,6	1,41913	1,33
	NOM	22	342	650	0,7370	140	170,6	1,4190	1,5
	%E	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,010	0,007	12,732

		Hv	C _g	C _p	Hc	RM	VA	TS
C ₅	EXP	85,87	107,781	37,12	800,68	24,82	—	15,45
	NOM	85,9	—	37	800	24,75	0,250	15,45
	%E	0,035	—	0,323	0,085	0,282	—	0,000
C ₆	EXP	80,3	133,168	43,81	956,92	29,45	0,340	17,90
	NOM	80,3	135	43,75	955	29,50	0,340	17,90
	%E	0,000	1,376	0,137	0,201	0,170	0,000	0,000
C ₇	EXP	75,7	154,120	50,62	1113,37	34,08	0,440	19,80
	NOM	75,7	154	50,50	1115	34	0,440	19,80
	%E	0,000	0,078	0,237	0,146	0,235	0,000	0,000
C ₈	EXP	71,9	163,285	54,65	1269,82	38,71	0,557	21,28
	NOM	71,9	163,5	54,75	1270	38,75	0,555	21,30
	%E	0,000	0,132	0,183	0,014	0,103	0,359	0,094
C ₉	EXP	68,8	191,660	64,70	1425,70	43,35	0,704	22,56
	NOM	68,8	—	64,75	1425	43,50	0,705	22,55
	%E	—	—	0,077	0,049	0,346	0,142	0,044
C ₁₀	EXP	65,9	206,724	71,78	1582,12	47,99	0,877	23,54
	NOM	65,9	—	71,75	1580	48	0,875	23,55
	%E	0,000	—	0,042	0,008	0,021	0,228	0,042

Propriété Valeur	P_c	T_c	V_c	d	MM	T_{eb}	n
NOM P	26,85	268,5	435	0,6805	101	100	1,3860
NOM N	35	298,0	365	0,7100	98	100	—
NOM A	42,5	308,0	305	0,7630	87	100	—
NOM IP	26,1	268,0	440	0,6825	105	100	1,3870
NOM OL	27,6	268,0	455	0,6970	101	100	1,39925

Prop Valeur	TV	HV	C_g	C_p	H_c	RM	VA	TS
NOM P	—	75,5	—	40	1160	35,25	0,40	19,9
NOM N	—	75,8	—	32	1185	32,25	—	—
NOM A	—	89,5	—	22,75	895	29,5	—	—
NOM IP	36	72,2	—	41,25	1205	36	0,655	19,35
NOM OL	—	74,8	156,5	52,25	1150	35	0,465	20,15

Tableau IV-1

V Application aux mélanges de deux hydrocarbures.

- Introduction.

Pour des mélanges de deux hydrocarbures de mêmes familles et de familles différentes, on déterminera les diverses propriétés pour différentes compositions en utilisant les nomogrammes des différentes familles d'hydrocarbures, on va comparer ensuite ces valeurs à celles obtenues à partir des relations thermodynamiques ou de corrélations empiriques.

V - 1 Mélanges de deux hydrocarbures de m familles.

a) Mélange de deux n -paraffines.

b) Mélange de deux naphthènes.

c) Mélange de deux aromatiques.

V - 2 Mélange de deux hydrocarbures de familles différentes.

a) Mélange d'une paraffine et d'un naphthène.

V - 3 Procédure de calcul.

a) Introduction.

Pour les compositions massiques et volumiques, on doit les convertir en fractions molaires du fait de l'utilisation de ces dernières dans les relations thermodynamiques et corrélations empiriques donnant les propriétés des mélanges.

Nous allons donner les formules permettant de convertir les données massiques et volumiques en données molaires.

- $Y \longrightarrow X$

$$X_1 = \frac{M_2 Y_1}{M_2 Y_1 + M_1 Y_2} \quad ; \quad X_2 = \frac{M_1 Y_2}{M_2 Y_1 + M_1 Y_2}$$

- $Z \longrightarrow X$

$$X_1 = \frac{V_{M_2} Z_1}{V_{M_2} Z_1 + V_{M_1} Z_2} \quad ; \quad X_2 = \frac{V_{M_1} Z_2}{V_{M_2} Z_1 + V_{M_1} Z_2}$$

X : Fraction molaire

Y : Fraction massique

Z : Fraction volumique

M : Masse molaire

V_M : volume molaire

Les résultats des conversions sont donnés sous formes de tableaux en annexe.

b) Procédure de calcul.

Elle reste valable pour un mélange de plusieurs constituants.

* Mélange d'hydrocarbures de même famille.

- Nomogramme : On calcule la valeur d'une propriété additive par exemple la densité et on déduit, en utilisant les nomogrammes les valeurs des autres propriétés.

- Relations thermodynamiques ou corrélations.

Les valeurs des propriétés sont obtenues en utilisant les formules données dans la partie théorique.

- Résultats : on compare les deux valeurs pour chaque propriété en calculant l'erreur (%) en considérant la valeur du nomogramme comme référence, c'est en quelques sortes la détermination de l'intervalle de validité des nomogrammes.

* Mélange d'hydrocarbures de familles différentes.

- Corrélations ou relations thermodynamiques :
Même chose que précédemment.
- Nomogramme : Dans ce cas on utilise les valeurs d'une propriété pour les différents constituants du mélange, on déduit ensuite à partir de chaque nomogramme les autres propriétés et pour calculer la valeur de la propriété du mélange on utilise les formules ayant servi au calcul direct.
- Résultats :
Même chose que précédemment.
- Les résultats sont donnés dans les tableaux de V-1 à V-19.

propriété mélange		%													
		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Paraffines C7, C8	X	0,68898	0,003	107,219	0,675	42,41	0,379	29,87	-	73,81	0,257	1229,40	0,359	36,807	0,373
	N	0,68900	/	106,500	/	42,25	/	-	/	74	/	1225	/	36,75	/
	Y	0,68836	0,020	106,760	0,244	42,23	3,474	30,90	-	73,93	0,095	1224,29	0,352	36,735	0,041
	N	0,68850	/	106,500	/	43,75	/	-	/	74	/	1220	/	36,75	/
	Z	0,68849	0,001	106,855	0,333	42,26	3,406	30,69	-	73,90	0,135	1225,35	0,439	36,767	0,046
	N	0,68850	/	106,500	/	43,75	/	-	/	74	/	1220	/	36,75	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Paraffines C7, C8	X	461	0,108	282,32	0,470	25,77	0,078	0,4481	0,246	20,50	0,737	111,54	0,036	1,38997	0,002
	N	461,5	/	281	/	25,75	/	0,447	/	20,35	/	111,5	/	1,3900	/
	Y	459	0,217	281,38	0,493	25,85	0,000	0,4443	5,468	20,46	0,195	110,66	0,306	1,38965	0,025
	N	460	/	280	/	25,85	/	0,470	/	20,50	/	111	/	1,3900	/
	Z	459	0,217	281,58	0,564	25,83	0,077	0,4451	5,298	20,47	0,146	110,84	0,144	1,38972	0,020
	N	460	/	280	/	25,85	/	0,470	/	20,50	/	111	/	1,3900	/

Tableau V - 1

Mélange de 2 paraffines (C7 - C8)

(50 - 50)

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Paraffines C7, C8	X	0,69373	0,033	110,725	0,659	43,85	0,805	21,94	—	72,91	0,123	1268,47	0,672	38,048	0,19
	N	0,6935	/	110	/	43,50	/	—	/	73	/	1260	/	38	/
	Y	0,69324	0,035	110,369	0,794	43,63	0,299	22,75	—	73,00	0,000	1264,50	0,757	37,930	0,47
	N	0,6930	/	109,5	/	43,50	/	—	/	73	/	1255	/	37,75	/
	Z	0,69335	0,051	110,448	0,866	43,66	0,368	22,57	—	72,98	0,027	1265,37	0,826	37,956	0,54
	N	0,6930	/	109,5	/	43,50	/	—	/	73	/	1255	/	37,75	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Paraffines C7, C8	X	476	0,211	289,21	0,420	25,16	0,040	0,4790	0,842	20,88	0,385	118,12	0,102	1,39248	0,00
	N	475	/	288	/	25,15	/	0,475	/	20,80	/	118	/	1,3925	/
	Y	475	0,211	288,53	0,358	25,22	0,079	0,4757	0,571	20,84	0,048	117,47	0,026	1,39221	0,015
	N	474	/	287,5	/	25,2	/	0,473	/	20,85	/	117,5	/	1,3920	/
	Z	475	0,211	288,68	0,410	25,20	0,000	0,4765	0,740	20,85	0,000	117,62	0,102	1,39227	0,019
	N	474	/	287,5	/	25,2	/	0,473	/	20,85	/	117,5	/	1,3920	/

Tableau IV - 2 Mélange de 2 paraffines (C7 - C8) (25 - 75) %

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Paraffines C ₇ , C ₈	X	0,68424	0,038	103,712	0,691	41,04	1,108	37,79	-	74,71	0,054	1190,34	0,451	35,726	2,121
	N	0,6845	/	103	/	41,5	/	-	/	74,75	/	1185	/	36,5	/
	Y	0,68378	0,032	103,378	0,367	40,91	0,393	38,5	-	74,80	0,067	1186,62	0,561	35,638	0,389
	N	0,6840	/	103	/	40,75	/	-	/	74,75	/	1180	/	35,5	/
	Z	0,68388	0,018	103,447	0,434	40,93	0,442	38,39	-	74,78	0,040	1187,38	0,625	35,638	0,389
	N	0,6840	/	103	/	40,75	/	-	/	74,75	/	1180	/	35,5	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Paraffines C ₇ , C ₈	X	446	0,225	274,96	0,534	26,39	0,038	0,4204	0,095	20,14	0,050	104,66	0,153	1,38751	0,001
	N	445	/	273,5	/	26,40	/	0,420	/	20,15	/	104,5	/	1,3875	/
	Y	445	0,000	274,24	0,271	26,44	0,038	0,4179	0,457	20,11	0,050	104,01	0,010	1,38726	0,017
	N	445	/	273,5	/	26,45	/	0,416	/	20,10	/	104	/	1,3875	/
	Z	445	0,000	274,39	0,325	26,43	0,076	0,4185	0,601	20,12	0,100	104,15	0,144	1,38732	0,013
	N	445	/	273,5	/	26,45	/	0,416	/	20,10	/	104	/	1,3875	/

Tableau V - 3 Mélange de 2 paraffines (C₇ - C₈) (75 - 25) %

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Naphthènes C ₈ , C ₉	X	0,83815	0,018	119,230	0,226	41,00	0,000	8,45	26,119	70,69	1,819	1326,29	0,279	39,361	0,352
	N	0,8380	/	119,5	/	41	/	6,7	/	72	/	1330	/	39,5	/
	Y	0,83767	0,020	118,817	0,572	40,82	0,439	8,71	30,000	70,83	1,625	1321,70	0,624	39,224	0,699
	N	0,8375	/	119,5	/	41	/	6,7	/	72	/	1330	/	39,5	/
	Z	0,83775	0,030	118,884	0,515	40,85	0,366	8,66	29,254	70,81	1,681	1322,44	0,568	39,246	0,643
	N	0,8375	/	119,5	/	41	/	6,7	/	72	/	1330	/	39,5	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Naphthènes C ₈ , C ₉	X	463	0,000	351,44	1,134	23,50	0,000	0,8534	-	25,45	0,394	158,03	1,301	1,46548	-
	N	463	/	347,5	/	23,5	/	-	/	25,35	/	156	/	-	/
	Y	463	0,216	350,55	1,023	23,56	0,255	0,8492	-	25,43	0,316	157,28	0,821	1,46516	-
	N	462	/	347	/	23,5	/	-	/	25,35	/	156	/	-	/
	Z	463	0,216	350,70	1,066	23,55	0,213	0,8499	-	25,44	0,355	157,41	0,904	1,46521	-
	N	462	/	347	/	23,5	/	-	/	25,35	/	156	/	-	/

Tableau V - 4 Mélange de 2 naphthènes (C₈ - C₉) (50 - 50) %

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Naphthènes C ₈ , C ₉	X	0,84223	0,027	122,736	0,215	42,51	0,024	6,29	14,364	69,50	2,661	1365,31	0,342	40,526	0,064
	N	0,8420	/	123	/	42,5	/	5,5	/	71,4	/	1370	/	40,5	/
	Y	0,84185	0,018	122,418	0,473	42,37	0,306	6,48	15,714	69,60	2,521	1361,77	0,601	40,420	0,198
	N	0,8420	/	123	/	42,5	/	5,6	/	71,4	/	1370	/	40,5	/
	Z	0,84192	0,010	122,471	0,430	42,40	0,235	6,45	15,179	69,59	2,535	1362,36	0,558	40,437	0,156
	N	0,8420	/	123	/	42,5	/	5,6	/	71,4	/	1370	/	40,5	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Naphthènes C ₈ , C ₉	X	470	0,427	358,82	1,362	23,00	1,075	0,8910	-	25,64	0,352	164,28	1,721	1,46822	-
	N	468	/	354	/	23,25	/	-	/	25,55	/	161,5	/	-	/
	Y	469	0,214	358,16	1,462	23,05	0,860	0,8875	-	25,62	0,274	163,70	1,362	1,46796	-
	N	468	/	353	/	23,25	/	-	/	25,55	/	161,5	/	-	/
	Z	470	0,427	358,27	1,493	23,04	0,903	0,8881	-	25,63	0,313	163,81	1,430	1,46800	-
	N	468	/	353	/	23,25	/	-	/	25,55	/	161,5	/	-	/

Tableau X-5 Mélange de 2 naphthènes (C₈ - C₉) (25 - 75)%

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Naphthènes C ₈ -C ₉	X	0,83408	0,010	115,723	1,091	39,48	0,051	10,62	27,952	71,89	0,978	1287,26	5,947	38,197	9,055
	N	0,8340	/	117	/	39,5	/	8,3	/	72,6	/	1215	/	42	/
	Y	0,83373	0,028	115,423	0,806	39,35	0,897	10,80	28,571	71,99	0,840	1283,92	0,700	38,097	0,919
	N	0,8335	/	114,5	/	39	/	8,4	/	72,6	/	1275	/	37,75	/
	Z	0,83369	0,023	115,393	0,780	39,33	0,839	10,82	28,810	72,00	0,826	1283,59	0,674	38,087	0,893
	N	0,8335	/	114,5	/	39	/	8,4	/	72,6	/	1275	/	37,75	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Naphthènes C ₈ -C ₉	X	457	0,000	343,83	0,682	24,000	0,000	0,8182	-	25,28	2,582	151,63	2,453	1,46277	-
	N	457	/	341,5	/	24,0	/	-	/	25,95	/	148	/	-	/
	Y	456	0,000	343,17	0,636	24,04	0,167	0,8152	-	25,27	2,493	151,07	2,769	1,46253	-
	N	456	/	341	/	24	/	-	/	25,9	/	147	/	-	/
	Z	456	0,000	343,11	0,619	24,05	0,208	0,8150	-	25,27	2,493	151,01	2,728	1,46250	-
	N	456	/	341	/	24	/	-	/	25,9	/	147	/	-	/

Tableau V - 6 Mélange de 2 naphthènes (C₈-C₉) (75-25)%

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Aromatiques C ₈ -C ₉	X	0,86020	0,000	113,182	0,280	33,55	0,149	6,47	26,863	78,04	0,051	1169,11	0,076	38,126	0,335
	N	0,8602	/	113,5	/	33,5	/	5,1	/	78	/	1170	/	38	/
	Y	0,86044	0,005	112,747	0,224	33,37	0,388	6,66	28,077	78,17	0,218	1164,27	0,490	37,980	0,052
	N	0,8604	/	113	/	33,5	/	5,2	/	78	/	1170	/	38	/
	Z	0,86036	0,005	112,727	0,242	33,36	0,418	6,67	28,269	78,17	0,218	1164,05	0,509	37,973	0,071
	N	0,8604	/	113	/	33,5	/	5,2	/	78	/	1170	/	38	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Aromatiques C ₈ -C ₉	X	406	0,246	355,48	0,135	33,60	0,299	0,7090	-	28,48	-	147,85	0,101	1,49129	0,006
	N	407	/	355,0	/	33,5	/	-	/	-	/	148	/	1,4912	/
	Y	404	0,247	354,83	0,093	33,73	0,687	0,7040	-	28,49	-	147,10	0,271	1,49146	0,016
	N	405	/	354,5	/	33,5	/	-	/	-	/	147,5	/	1,4917	/
	Z	404	0,247	354,80	0,085	33,73	0,687	0,7038	-	28,48	-	147,06	0,298	1,49140	0,020
	N	405	/	354,5	/	33,5	/	-	/	-	/	147,5	/	1,4917	/

Tableau V - 7 Mélange de 2 aromatiques (C₈-C₉) (50-50)%

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	Rm	%E
Aromatiques C ₈ - C ₉	X	0,85899	0,001	116,688	0,161	34,98	0,057	4,92	17,143	77,02	0,026	1208,15	0,153	39,300	0,127
	N	0,8590	/	116,5	/	35	/	4,2	/	77	/	1210	/	39,25	/
	Y	0,85911	0,001	116,352	0,303	34,84	0,457	5,06	20,476	77,12	0,156	1204,40	0,050	39,187	0,161
	N	0,8591	/	116	/	35	/	4,2	/	77	/	1205	/	39,25	/
	Z	0,85911	0,001	116,336	0,290	34,84	0,457	5,07	20,714	77,12	0,156	1204,23	0,064	39,182	0,173
	N	0,8591	/	116	/	35	/	4,2	/	77	/	1205	/	39,25	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Aromatiques C ₈ - C ₉	X	422	0,706	360,55	0,153	32,59	0,277	0,7507	-	28,47	-	153,79	0,189	1,49037	0,022
	N	425	/	360	/	32,5	/	-	/	-	/	153,5	/	1,4907	/
	Y	421	0,237	360,08	0,161	32,69	0,585	0,7465	-	28,47	-	153,23	0,150	1,49046	0,023
	N	422	/	359,5	/	32,5	/	-	/	-	/	153	/	1,4908	/
	Z	421	0,237	360,06	0,156	32,69	0,585	0,7463	-	28,47	-	153,20	0,131	1,49046	0,000
	N	422	/	359,5	/	32,5	/	-	/	-	/	153	/	1,49046	/

Tableau V-8 Mélange de 2 aromatiques (C₈ - C₉) (25 - 75) %

		d	%E	M	%E	C _p	%E	T _v	%E	H _v	%E	H _c	%E	RM	%E
Aromatiques C ₈ - C ₉	X	0,86141	0,001	109,675	0,295	32,12	0,403	8,03	27,46°	79,05	0,063	1130,07	0,434	36,951	0,132
	N	0,8614	/	110	/	32,25	/	6,3	/	79	/	1135	/	37	/
	Y	0,86152	0,002	109,359	0,129	31,99	0,806	8,16	25,538	79,14	1,075	1126,56	0,304	36,846	0,416
	N	0,8615	/	109,5	/	32,25	/	6,5	/	80	/	1130	/	37	/
	Z	0,86152	0,002	109,345	0,142	31,99	0,806	8,17	25,692	79,15	1,063	1126,40	0,319	36,841	0,430
	N	0,8615	/	109,5	/	32,25	/	6,5	/	80	/	1130	/	37	/

		V _c	%E	T _c	%E	P _c	%E	V _A	%E	T _S	%E	T _{eb}	%E	n	%E
Aromatiques C ₈ - C ₉	X	389	0,256	349,99	0,003	34,61	0,319	0,6706	-	28,49	-	141,64	0,604	1,49220	0,020
	N	390	/	350	/	34,5	/	-	/	-	/	142,5	/	1,4925	/
	Y	388	0,513	349,48	0,006	34,70	0,580	0,6674	-	28,49	-	141,07	0,655	1,49230	0,013
	N	390	/	349,5	/	34,5	/	-	/	-	/	142	/	1,4925	/
	Z	388	0,513	349,45	0,014	34,70	0,580	0,6672	-	28,49	-	141,06	0,662	1,49229	0,014
	N	390	/	349,5	/	34,5	/	-	/	-	/	142	/	1,4925	/

Tableau V - 9 Mélange de 2 aromatiques (C₈-C₉) (75-25)%

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	Rm	%E
Paraffine C ₈ Naphhtène C ₈	X	0,76424	0,001	113,224	0,198	41,55	0,120	13,40	0,741	72,55	0,000	1277,88	0,030	38,121	0,010
	N	0,76425	/	113	/	41,50	/	13,50	/	72,55	/	1277,5	/	38,125	/
	Y	0,76483	0,001	113,215	0,002	41,52	0,121	13,39	0,815	72,55	0,000	1277,61	0,028	38,111	0,010
	N	0,76484	/	112,991	/	41,47	/	13,50	/	72,55	/	1277,25	/	38,115	/
	Z	0,77048	0,003	113,128	0,198	41,21	0,097	13,34	0,818	72,60	0,000	1275,06	0,013	38,017	0,002
	N	0,77050	/	112,905	/	41,17	/	13,45	/	72,60	/	1274,89	/	38,018	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	Ts	%E	Teb	%E	n	%E
Paraffine C ₈ Naphhtène C ₈	X	471	0,213	314,94	0,067	24,52	0,122	0,6273	0,032	23,72	0,211	134,40	0,119	1,42806	0,072
	N	470	/	315,15	/	24,55	/	0,6275	/	23,67	/	134,24	/	1,42909	/
	Y	471	0,426	315,12	0,067	24,52	0,122	0,6285	0,032	23,74	0,253	134,42	0,112	1,42835	0,072
	N	469	/	315,33	/	24,55	/	0,6287	/	23,68	/	134,33	/	1,42938	/
	Z	469	0,214	316,86	0,060	24,52	0,122	0,6401	0,031	23,90	0,210	135,37	0,118	1,43114	0,070
	N	468	/	317,05	/	24,55	/	0,6403	/	23,85	/	135,21	/	1,43214	/

Tableau V - 10 Mélange d'une paraffine (C₈) et d'un naphhtène (C₈) (50 - 50) %

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈	X	0,79712	0,001	112,720	0,196	39,76	0,025	13,09	1,208	72,81	0,027	1263,06	0,055	37,576	0,03
	N	0,79713	/	112,500	/	39,75	/	13,25	/	72,83	/	1263,75	/	37,563	/
	Y	0,79755	0,001	112,713	0,196	39,73	0,000	13,09	1,208	72,82	0,014	1262,86	0,056	37,569	0,037
	N	0,79756	/	112,493	/	39,73	/	13,25	/	72,83	/	1263,57	/	37,555	/
	Z	0,80159	0,001	112,651	0,195	39,51	0,000	13,05	1,286	72,85	0,014	1261,04	0,067	37,502	0,043
	N	0,80160	/	112,432	/	39,51	/	13,22	/	72,86	/	1261,88	/	37,486	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Te _b	%E	n	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈	X	460	0,000	325,23	0,037	24,51	0,082	0,6994	0,029	24,57	0,163	139,61	0,108	1,44418	0,057
	N	460	/	325,35	/	24,53	/	0,6996	/	24,53	/	139,46	/	1,44501	/
	Y	460	0,000	325,37	0,037	24,51	0,041	0,7005	0,014	24,58	0,163	139,69	0,107	1,44440	0,056
	N	460	/	325,49	/	24,52	/	0,7006	/	24,54	/	139,54	/	1,44521	/
	Z	459	0,218	326,67	0,031	24,51	0,041	0,7102	0,028	24,66	0,162	140,34	0,114	1,44636	0,055
	N	458	/	326,77	/	24,52	/	0,7104	/	24,62	/	140,18	/	1,44715	/

Tableau V - 11 Mélange d'une paraffine (C₈) et d'un naphène (C₈) (25-75) %

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈	X	0,73135	0,004	113,728	0,201	43,35	0,231	13,71	0,291	72,28	0,000	1292,71	0,113	38,665	0,059
	N	0,73138	/	113,500	/	43,25	/	13,75	/	72,28	/	1291,25	/	38,688	/
	Y	0,73180	0,003	113,721	0,201	43,32	0,208	13,71	0,291	72,28	0,000	1292,50	0,112	38,657	0,059
	N	0,73182	/	113,493	/	43,23	/	13,75	/	72,20	/	1291,06	/	38,680	/
	Z	0,73627	0,003	113,653	0,201	43,26	0,628	13,72	0,073	72,32	0,000	1290,49	0,101	38,583	0,052
	N	0,73629	/	113,425	/	42,99	/	13,71	/	72,32	/	1289,19	/	38,603	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈	X	481	0,208	305,10	0,092	24,53	0,203	0,5660	0,053	22,61	0,266	129,35	0,116	1,41166	0,088
	N	480	/	305,38	/	24,58	/	0,5663	/	22,55	/	129,20	/	1,41190	/
	Y	481	0,208	305,23	0,092	24,53	0,163	0,5667	0,071	22,62	0,266	129,44	0,101	1,41188	0,087
	N	480	/	305,51	/	24,57	/	0,5671	/	22,56	/	129,28	/	1,41311	/
	Z	480	0,418	306,55	0,085	24,53	0,163	0,5745	0,070	22,79	0,264	130,09	0,108	1,41412	0,085
	N	478	/	306,81	/	24,57	/	0,5749	/	22,73	/	129,95	/	1,41532	/

Tableau V - 12 Mélange d'une paraffine (C₈) et d'un naphène (C₈) (75-25):

VI Application aux mélanges de trois hydrocarbures.

VI - 1 Mélanges de même familles.

- Mélange de trois paraffines.
- Mélange de trois naphtés.
- Mélange de trois aromatiques.

VI - 2 Mélange de familles différentes.

- Mélange d'une paraffine, d'un naphtène et d'un aromatique.

VI - 3 Procédure de calcul.

- Conversion des données massiques et volumiques en données molaires.

ci dessous les formules de conversion.

$$X_1 = \frac{Y_1 M_2 M_3}{Y_1 M_2 M_3 + Y_2 M_1 M_3 + Y_3 M_1 M_2}$$

$$X_2 = \frac{Y_2 M_1 M_3}{Y_1 M_2 M_3 + Y_2 M_1 M_3 + Y_3 M_1 M_2}$$

$$X_3 = \frac{Y_3 M_1 M_2}{Y_1 M_2 M_3 + Y_2 M_1 M_3 + Y_3 M_1 M_2}$$

Les mêmes formules pour ($Z \rightarrow X$) tout en remplaçant Y par Z et M par V_M .

les résultats des conversions sont donnés sous formes de tableaux en annexe.

- Procédure de calcul.

La même que pour un mélange de deux hydrocarbures. les résultats sont donnés dans

		d	%E	M	%E	C _p	%E	T _v	%E	H _v	%E	H _c	%E	RM	%E
Paraffines C ₇ -C ₈ -C ₉	X	0,69725	0,036	114,232	1,090	45,14	0,872	21,36	-	71,90	2,349	1307,53	0,968	39,210	0,797
	N	0,6975	/	113	/	44,75	/	-	/	70,25	/	1295	/	38,9	/
	Y	0,69583	0,024	113,079	0,963	44,69	0,994	23,09	-	72,42	0,110	1294,69	1,148	38,828	0,852
	N	0,6960	/	112	/	44,25	/	-	/	72,5	/	1280	/	38,5	/
	Z	0,69612	0,017	113,309	1,169	44,78	1,198	22,74	-	72,36	0,193	1297,25	1,348	38,904	1,049
	N	0,6960	/	112	/	44,25	/	-	/	72,5	/	1280	/	38,5	/

		V _c	%E	T _c	%E	P _c	%E	V _A	%E	T _S	%E	T _{eb}	%E	n	%E
Paraffines C ₇ -C ₈ -C ₉	X	490	0,616	296,90	1,158	24,71	0,162	0,5066	0,916	21,10	0,142	124,65	0,931	1,39424	0,049
	N	487	/	293,5	/	24,75	/	0,502	/	21,13	/	123,5	/	1,3945	/
	Y	485	0,622	294,68	1,091	24,90	0,000	0,4958	1,184	20,99	1,455	122,85	1,111	1,39349	0,004
	N	482	/	291,5	/	24,9	/	0,490	/	21,3	/	121,5	/	1,3935	/
	Z	486	0,830	295,12	1,242	24,86	0,161	0,4980	1,633	21,01	1,362	123,27	1,457	1,39364	0,010
	N	482	/	291,5	/	24,9	/	0,490	/	21,3	/	121,5	/	1,3935	/

Tableau VI - 1 Mélange de 3 paraffines (C₇-C₈-C₉) (100/3 - 100/3 - 100/3) %

		d	%E	M	%E	CP	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Paraffines C ₇ -C ₈ -C ₉	X	0,69223	0,033	110,024	0,939	43,50	0,578	26,83	-	73,15	0,137	1260,65	0,852	37,816	0,566
	N	0,6920	/	109	/	43,25	/	-	/	73,25	/	1250	/	37,6	/
	Y	0,69112	0,017	109,149	0,598	43,16	0,372	28,32	-	73,36	0,190	1250,90	0,879	37,526	0,741
	N	0,6910	/	108,5	/	43,0	/	-	/	73,5	/	1240	/	37,25	/
	Z	0,69134	0,049	109,321	0,757	43,22	0,186	28,02	-	73,32	0,245	1252,82	1,034	37,583	0,894
	N	0,6910	/	108,5	/	43,0	/	-	/	73,5	/	1240	/	37,25	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Paraffines C ₇ -C ₈ -C ₉	X	469	0,636	288,43	1,026	25,36	0,237	0,4698	0,385	20,73	0,096	117,06	0,914	1,39162	0,153
	N	472	/	285,5	/	25,3	/	0,468	/	20,75	/	116	/	1,3895	/
	Y	466	0,214	286,64	0,930	25,50	0,000	0,4624	0,522	20,64	0,290	115,39	0,777	1,39104	0,003
	N	467	/	284	/	25,5	/	0,460	/	20,70	/	114,5	/	1,3910	/
	Z	466	0,214	287,00	1,056	25,47	0,118	0,4639	0,848	20,66	0,193	115,73	1,074	1,39116	0,012
	N	467	/	284	/	25,5	/	0,460	/	20,70	/	114,5	/	1,3910	/

Tableau VI - 2 Mélange de 3 paraffines (C₇-C₈-C₉) (45-40-15)%

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	Rm	%E
Naphthènes C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	0,84337	0,015	126,243	0,193	43,83	0,386	6,14	18,077	68,99	2,831	1404,45	0,039	41,685	0,446
	N	0,8435	/	126	/	44	/	5,2	/	71,0	/	1405	/	41,5	/
	Y	0,84247	0,004	125,199	0,959	43,40	0,230	6,57	21,667	69,27	2,847	1392,82	0,203	41,339	0,216
	N	0,8425	/	125	/	43,5	/	5,4	/	71,3	/	1390	/	41,25	/
	Z	0,84259	0,011	125,333	0,266	43,46	0,092	6,51	20,556	69,24	2,889	1394,31	0,310	41,383	0,322
	N	0,8425	/	125	/	43,5	/	5,4	/	71,3	/	1390	/	41,25	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	Va	%E	Ts	%E	Teb	%E	n	%E
Naphthènes C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	486	3,404	366,99	3,087	22,60	1,739	0,9518	-	25,72	0,503	171,76	0,152	1,46897	-
	N	470	/	356	/	23	/	-	/	25,85	/	171,5	/	-	/
	Y	483	2,766	364,82	2,766	22,74	1,130	0,9370	-	25,67	1,079	169,83	2,927	1,46837	-
	N	470	/	355	/	23	/	-	/	25,95	/	165	/	-	/
	Z	484	2,979	365,09	2,842	22,72	1,217	0,9388	-	25,67	1,079	170,09	3,085	1,46845	-
	N	470	/	355	/	23	/	-	/	25,95	/	165	/	-	/

Tableau VI - 3 Mélange de 3 naphthènes (C₈-C₉-C₁₀) (100/3 - 100/3 - 100/3)

		d	%E	M	%E	Cp	%E	Tv	%E	Hv	%E	Hc	%E	RM	%E
Naphthènes C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	0,84009	0,011	122,035	0,029	42,12	0,286	7,63	27,167	70,05	2,301	1357,56	0,179	40,291	0,722
	N	0,8400	/	122	/	42	/	6	/	71,7	/	1360	/	40	/
	Y	0,83935	0,018	121,242	0,621	41,79	0,500	7,99	28,871	70,27	2,131	1348,73	0,829	40,028	0,070
	N	0,8395	/	122	/	42	/	6,2	/	71,8	/	1360	/	40	/
	Z	0,83945	0,006	121,349	0,534	41,83	0,405	7,94	28,065	70,24	2,173	1349,92	0,741	40,063	0,158
	N	0,8395	/	122	/	42	/	6,2	/	71,8	/	1360	/	40	/

		Vc	%E	Tc	%E	Pc	%E	VA	%E	TS	%E	Teb	%E	n	%E
Naphthènes C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	473	1,502	357,90	1,966	23,15	0,430	0,8919	-	25,55	0,196	163,71	2,639	1,46679	-
	N	466	/	351	/	23,25	/	-	/	25,5	/	159,5	/	-	/
	Y	471	1,290	356,19	1,769	23,25	0,000	0,8820	-	25,51	0,039	162,22	1,705	1,46629	-
	N	465	/	350	/	23,25	/	-	/	25,5	/	159,5	/	-	/
	Z	472	1,505	356,42	1,834	23,24	0,043	0,8833	-	25,52	0,078	162,42	1,831	1,46635	-
	N	465	/	350	/	23,25	/	-	/	25,5	/	159,5	/	-	/

Tableau VI - 4 Mélange de 3 naphthènes (C₈-C₉-C₁₀) (45 - 40 - 15) %

		d	%E	M	%E	C _p	%E	T _v	%E	H _v	%E	H _c	%E	RM	%E
Aromatiques C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	0,85882	0,002	120,195	2,731	36,32	3,771	4,66	13,659	75,32	2,182	1247,23	3,077	40,458	2,428
	N	0,8588	/	117	/	35	/	4,1	/	77	/	1210	/	39,5	/
	Y	0,85908	0,002	119,099	2,672	35,88	2,514	4,99	18,810	75,71	1,675	1235,03	2,492	40,093	2,148
	N	0,8591	/	116	/	35	/	4,2	/	77	/	1205	/	39,25	/
	Z	0,85909	0,001	119,064	2,641	35,87	2,425	5,01	19,226	75,73	1,649	1234,64	2,460	40,082	2,120
	N	0,8591	/	116	/	35	/	4,2	/	77	/	1205	/	39,25	/

		V _c	%E	T _c	%E	P _c	%E	V _A	%E	T _S	%E	T _{eb}	%E	n	%E
Aromatiques C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	434	2,118	367,58	1,964	31,90	1,846	0,7798	-	28,47	-	159,11	3,318	1,48993	0,038
	N	425	/	360,5	/	32,5	/	-	/	-	/	154	/	1,4905	/
	Y	429	0,941	365,91	1,783	32,18	0,985	0,7674	-	28,47	-	157,40	2,876	1,49016	0,043
	N	425	/	359,5	/	32,5	/	-	/	-	/	153	/	1,4908	/
	Z	429	0,941	365,86	1,769	32,19	0,954	0,7670	-	28,47	-	157,36	2,850	1,49018	0,042
	N	425	/	359,5	/	32,5	/	-	/	-	/	153	/	1,4908	/

Tableau VI-5 Mélange de 3 aromatiques (C₈ - C₉ - C₁₀) (100/3 - 100/3 - 100/3)

		d	%E	M	%E	C _p	%E	T _v	%E	H _v	%E	H _c	%E	RM	%E
Aromatiques C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	0,85970	0,000	115,987	0,858	34,65	1,168	5,81	26,304	76,92	0,748	1200,36	0,871	39,058	0,795
	N	0,8597	/	115	/	34,25	/	4,6	/	77,5	/	1190	/	38,75	/
	Y	0,85992	0,002	115,154	1,012	34,32	1,689	6,10	24,490	77,20	0,707	1191,08	0,939	38,780	0,727
	N	0,8599	/	114	/	33,75	/	4,9	/	77,75	/	1180	/	38,5	/
	Z	0,85993	0,003	115,124	0,986	34,31	1,659	6,11	24,694	77,21	0,695	1190,75	0,911	38,770	0,701
	N	0,8599	/	114	/	33,75	/	4,9	/	77,75	/	1180	/	38,5	/

		V _c	%E	T _c	%E	P _c	%E	V _A	%E	T _S	%E	T _{eb}	%E	n	%E
Aromatiques C ₈ -C ₉ -C ₁₀	X	417	0,482	360,65	0,881	32,93	0,212	0,7354	-	28,48	-	152,48	1,316	1,49076	0,030
	N	415	/	357,5	/	33	/	-	/	-	/	150,5	/	1,4912	/
	Y	413	0,732	359,32	0,933	33,15	0,151	0,7264	-	28,48	-	151,10	1,409	1,49095	0,164
	N	410	/	356	/	33,2	/	-	/	-	/	149	/	1,4934	/
	Z	413	0,732	359,27	0,919	33,16	0,120	0,7260	-	28,48	-	151,05	1,376	1,49096	0,163
	N	410	/	356	/	33,2	/	-	/	-	/	149	/	1,4934	/

Tableau VI - 6 Mélange de 3 aromatiques (C₈-C₉-C₁₀) (45 - 40 - 15)%

		d	%E	M	%E	C _p	%E	T _v	%E	H _v	%E	H _c	%E	RM	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈ Aromatique C ₈	X	0,79703	0,018	110,872	0,185	37,93	0,264	12,13	0,329	75,05	0,027	1215,60	0,049	37,339	0,016
	N	0,79717	/	110,667	/	37,83	/	12,17	/	75,03	/	1215	/	37,333	/
	Y	0,79883	0,019	110,764	0,185	37,75	0,266	12,07	0,330	75,17	0,040	1212,72	0,049	37,299	0,019
	N	0,79898	/	110,560	/	37,65	/	12,11	/	75,14	/	1212,13	/	37,292	/
	Z	0,80508	0,019	110,515	0,184	37,26	0,269	11,93	0,334	75,40	0,027	1205,96	0,041	37,176	0,027
	N	0,80523	/	110,312	/	37,16	/	11,97	/	75,38	/	1205,46	/	37,166	/

		V _c	%E	T _c	%E	P _c	%E	V _A	%E	T _S	%E	T _{eb}	%E	n	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈ Aromatique C ₈	X	436	0,000	322,99	0,121	28,22	0,070	0,6300	0,000	25,55	0,157	133,28	0,000	1,44938	0,067
	N	436	/	323,38	/	28,20	/	0,6300	/	25,51	/	133,28	/	1,45035	/
	Y	434	0,000	323,51	0,117	28,38	0,071	0,6308	1,159	25,63	0,156	133,35	0,023	1,45051	0,066
	N	434	/	323,89	/	28,36	/	0,6309	/	25,59	/	133,32	/	1,45147	/
	Z	431	0,000	325,48	0,101	28,69	0,105	0,6383	0,000	25,84	0,116	133,91	0,015	1,45403	0,064
	N	431	/	325,81	/	28,66	/	0,6383	/	25,81	/	133,89	/	1,45496	/

Tableau VI - 7 Mélange d'une paraffine (C₈), d'un naphène (C₈) et d'un aromatique (100/3 - 100/3 - 100/3) %

		d	%E	M	%E	C _p	%E	T _v	%E	H _v	%E	H _c	%E	RM	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈ Aromatique C ₈	X	0,77570	0,010	112,216	0,193	40,10	0,175	12,86	0,541	73,65	0,014	1251,34	0,047	37,823	0,005
	N	0,77578	/	112	/	40,03	/	12,93	/	73,64	/	1250,75	/	37,825	/
	Y	0,77706	0,009	112,149	0,193	39,98	0,201	12,82	0,543	73,71	0,000	1249,53	0,046	37,795	0,003
	N	0,77713	/	111,933	/	39,90	/	12,89	/	73,71	/	1248,96	/	37,796	/
	Z	0,78351	0,010	111,953	0,192	39,53	0,177	12,71	0,548	73,88	0,000	1244,13	0,035	37,676	0,016
	N	0,78359	/	111,739	/	39,46	/	12,78	/	73,88	/	1243,70	/	37,670	/

		V _c	%E	T _c	%E	P _c	%E	V _A	%E	T _S	%E	T _{eb}	%E	n	%E
Paraffine C ₈ Naphène C ₈ Aromatique C ₈	X	455	0,000	317,19	0,151	26,19	0,038	0,6219	0,016	24,48	0,205	133,10	0,008	1,43598	0,072
	N	455	/	317,67	/	26,20	/	0,6220	/	24,43	/	133,11	/	1,43702	/
	Y	454	0,000	317,57	0,148	26,28	0,038	0,6230	0,032	24,54	0,204	133,16	0,008	1,43678	0,072
	N	454	/	318,04	/	26,29	/	0,6232	/	24,49	/	133,17	/	1,4781	/
	Z	451	0,000	319,54	0,134	26,47	0,000	0,6327	0,016	24,76	0,202	133,88	0,007	1,44024	0,016
	N	451	/	319,97	/	26,47	/	0,6328	/	24,71	/	133,89	/	1,44119	/

Tableau VI - 8 Mélange d'une paraffine (C₈), d'un naphène (C₈) et d'un aromatique (45 - 40 - 15) %

- Conclusion

L'utilisation des nomogrammes pour la détermination des propriétés physiques des mélanges est une méthode pratique et qui donne de bons résultats avec une bonne précision mise à part pour T_v dont on déduit que l'interpolation des fonctions $T_{eb} = f_1(T_v)$ et $d = f_2(T_v)$ à l'aide du polynôme de Newton est une approximation assez grossière.

Les mélanges qui sont représentés par les points se trouvant entre les points représentant les hydrocarbures purs sur les nomogrammes présentent des écarts assez importants par rapport aux valeurs calculées et cela en les comparant avec les résultats du chapitre "3" du fait que dans ce cas il y a cumulation de deux erreurs.

- Erreur d'interpolation

- Erreur de construction

Pour les points représentant les hydrocarbures purs l'erreur d'interpolation est nulle du fait que le polynôme de Newton passe par ces points.

VII Application pour une fraction pétrolière légère.

a) En considérant la fraction pétrolière comme un mélange complexe et en connaissant seulement une propriété (ex T_{max}) et la composition de la fraction en (P, N et A) on pourra déterminer les autres propriétés en utilisant les différents nomogrammes et les règles d'additivité des propriétés.

- Deux cas peuvent se présenter :

1^{er} cas : la fraction distille dans un intervalle étroit ex $4^{\circ}C$, dans ce cas on peut approximer T_{max} par T_{50} .

2^{ème} cas : la fraction distille dans un intervalle large, dans ce cas l'approximation est grossière d'où obligation de trouver T_{max} par utilisation d'abaques précédée d'une distillation A.S.T.M de la fraction considérée.

b) Détermination des principales propriétés des différentes familles d'hydrocarbures pour la fraction 17 issue d'une distillation "TBP" du pétrole OHANE ainsi que pour la coupe essence normale.

Les résultats sont donnés dans le tableau VII-1

Fraction		PROP	P _c	T _c	V _c	d	MM	HV	H _c	C _p	KM
fraction 17	NOM _P		25,7	281,5	462,5	0,689	107	73,75	1225	42,25	36,75
	NOM _N		29	307	395	0,698	104	75,25	1155	34,75	34,5
	NOM _A		40,25	320	318	0,771	92,5	85,75	945	25	31,5
Essence nismeale	NOM _P		27,8	258,5	485	0,6730	96	77	1100	38,25	33,25
	NOM _N		38,5	289,5	370	0,7695	91	76,3	1010	29	30,25
	NOM _A		44,75	298	322,5	0,8633	82,5	92,25	830	21	28

Tableau VII - 1

- c) Calcul des propriétés physico-chimiques pour la fraction 17 et la coupe "essence normale". En utilisant la composition trouvée par chacune des méthodes citées au début "partie théorique", on détermine les valeurs des propriétés par additivité puis on les compare aux valeurs expérimentales ou trouvées par abaques ou à l'aide de corrélations.

Les résultats sont donnés dans les tableaux VII-2 et VII-3.

- Conclusion.

- 1) En comparant les valeurs trouvées en utilisant les différentes méthodes aux valeurs expérimentales, on a pu déduire que la C.P.G et n.d.PA sont les meilleures méthodes pour la détermination des compositions des fractions pétrolières et à un degré moindre celle de Riazi-Daubert.
- 2) La corrélation (b) donne des résultats assez grossiers étant donné que dans la majorité des cas l'erreur dépasse 5%.
- 3) L'application pour les fractions lourdes est impossible à cause du fait que la T_{max} est extérieure aux domaines des

Tableau VII - 3

Fraction \ Prop	Pc	Tc	Vc	d	MM	HV	Hc	Cp	RM
EXP	35,2	275	—	0,7388	94	80,5	987,0	31,96	32,78
(NOM, ndPA)	35,88	278,67	404,78	0,7586	90,34	82,00	988,94	30,38	30,82
%E	1,932	1,335	—	2,680	3,894	1,863	0,197	4,944	5,979

Tableau VII - 2

Fraction \ Prop	Pc	Tc	Vc	d	MM	HV	Hc	Cp	RM
EXP	28	282	—	0,71985	110	75,08	1155,0	39,6	37,31
(NOM, CPG)	27,33	291,16	430,62	0,69244	105	74,41	1184,4	38,42	35,55
%E	2,393	3,248	—	3,808	4,545	0,892	2,545	2,980	4,717
(NOM, ndPA)	27,81	292,45	430,69	0,69792	105,02	75,09	1182,77	38,63	35,63
%E	0,679	3,706	—	3,046	4,527	0,013	2,404	2,449	4,503
(NOM; R-D)	27,63	293,71	428,60	0,69584	105,19	74,81	1185,03	38,44	35,56
%E	1,321	4,152	—	3,335	4,373	0,360	2,600	2,929	4,690
(NOM, Wn.a)	29,81	297,90	410,24	0,70902	103	76,72	1143,73	36,19	34,88
%E	6,464	5,638	—	1,504	6,364	2,184	0,976	8,611	6,513
(NOM, Wn.b)	32,75	326,35	475,09	0,79240	115,64	85,69	1291,78	42,26	39,57
%E	16,964	15,727	—	10,078	5,127	14,132	11,242	6,717	6,057
(NOM, Wn.c)	29,74	294,30	418,01	0,71055	103,01	76,92	1146,46	37,01	35,15
%E	6,214	4,362	—	1,292	6,355	2,451	0,739	6,540	5,789

38

VIII Le volume molaire pour les hydrocarbures purs et leurs mélanges.

On obtient le volume molaire par calcul en utilisant la formule suivante :

$$(VM)_{\text{cal}}^{20^\circ\text{C}} = 16,28 N_1 + 13,15 N_2 + 9,7 N_3 - 6,2 N_4 + 31,2$$

« Référence 10 »

Le volume molaire expérimental est donné par :

$$(VM)_{\text{exp}} = \frac{M_{\text{exp}}}{d_{\text{exp}}}$$

Soit n_c le nombre de carbones

VIII - 1 Volume molaire des n -paraffines.

On trace la courbe $(VM)_{\text{cal}} = f(n_c)$, on trouve une droite d'équation :

$$(VM)_p = 16,28 n_c + 31,2$$

C'est une fonction linéaire nous permettant de calculer le volume molaire d'un mélange de paraffines par additivité.

$$(VM)_{\text{mel}} = \frac{\sum X_i (VM)_i}{\sum X_i}$$

Les résultats sont donnés dans le tableau - 1

VIII - 2 Volume molaire pour les naphthènes.

Même travail que pour les paraffines, on trouve une droite d'équation :

$$(VM)_N = 16,28 n_c + 12,42$$

Pour un mélange de naphthènes on aura la

relation suivante : $(VM)_{\text{mel}} = \frac{\sum X_i (VM)_i}{\sum X_i}$

Les résultats sont donnés dans le tableau - 2

VIII - 3 Volume molaire pour les aromatiques.

Même travail que précédemment, on trouve une droite d'équation :

$$(VM)_A = 16,28 n_c - 6,18$$

Pour un mélange d'aromatiques on aura :

$$(VM)_{mél} = \frac{\sum X_i (VM)_i}{\sum X_i}$$

Les résultats sont donnés dans le tableau - 3

VIII - 4 Proposition de corrélations pour les mélanges d'hydrocarbures purs.

- a) Mélange équimolaire en P, N, A et ayant le même nombre de carbones.

$$(VM)_{mél} = \frac{1}{3} [(VM)_P + (VM)_N + (VM)_A]$$

$$(VM)_m = 16,28 n + 12,48$$

- b) Mélange quelconque avec le nombre de carbones différent.

x_P, x_N, x_A : Fractions molaires de P, N, A

n_C^P, n_C^N, n_C^A : nombre de carbones de P, N, A

$$(VM)_{mél} = 16,28 (x_P n_C^P + x_N n_C^N + x_A n_C^A) + 31,2 x_P + 12,42 x_N - 6,18 x_A$$

- c) Application de la dernière équation.

Exemple 1. mélange 40% C_9^P ; 35% C_6^N ; 25% C_{12}^A

Exemple 2. " 20% C_6^P ; 50% C_7^N ; 30% C_{10}^A

Les résultats sont donnés dans le tableau - 4

Remarque : Pour les fonctions organiques cette formule n'est pas applicable.

Corps purs	$(VM)_{cal} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$(VM)_{exp} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$\Delta (VM)$
n-pentane	112,60	115,22	2,62
n-hexane	128,88	130,69	1,81
n-heptane	145,16	146,55	1,39
n-octane	161,44	162,60	1,16
n-nonane	177,72	178,73	1,01

Tableau - 1

Corps purs	$(VM)_{cal} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$(VM)_{exp} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$\Delta (VM)$
cyclohexane	110,10	108,09	2,01
Methyl cyclohexane	126,38	127,62	1,24
Ethyl "	142,66	142,43	0,23
propyl "	158,94	159,21	0,27
Butyl "	175,22	171,48	3,74

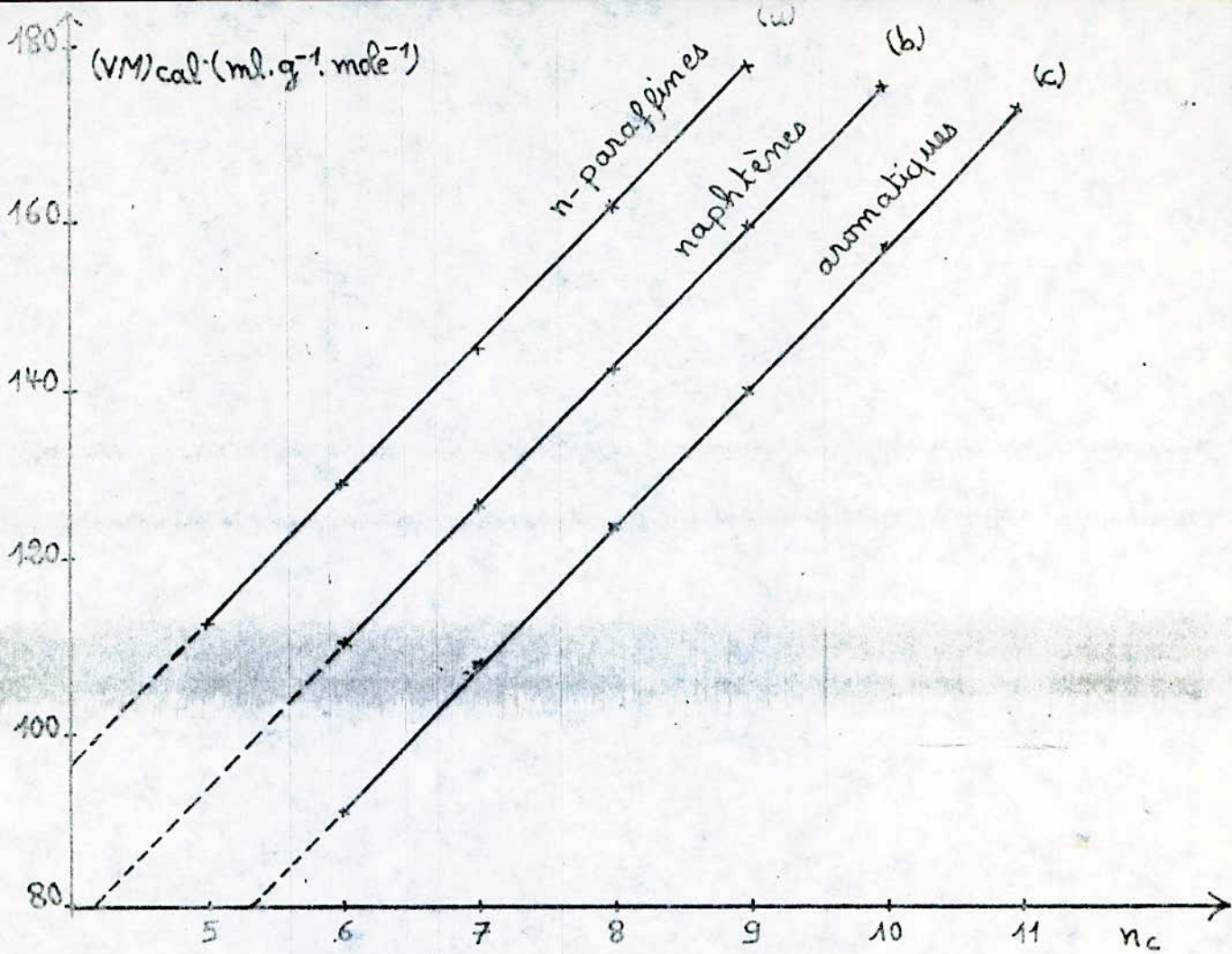
Tableau - 2

Corps purs	$(VM)_{cal} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$(VM)_{exp} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$\Delta (VM)$
Benzène	91,50	89,07	2,43
Toluène	107,78	106,40	1,38
Ethyl benzène	124,06	122,46	1,6
Propyl "	140,34	139,43	0,91
Butyl "	156,62	156,00	0,62
Pentyl "	172,90	172,50	0,40

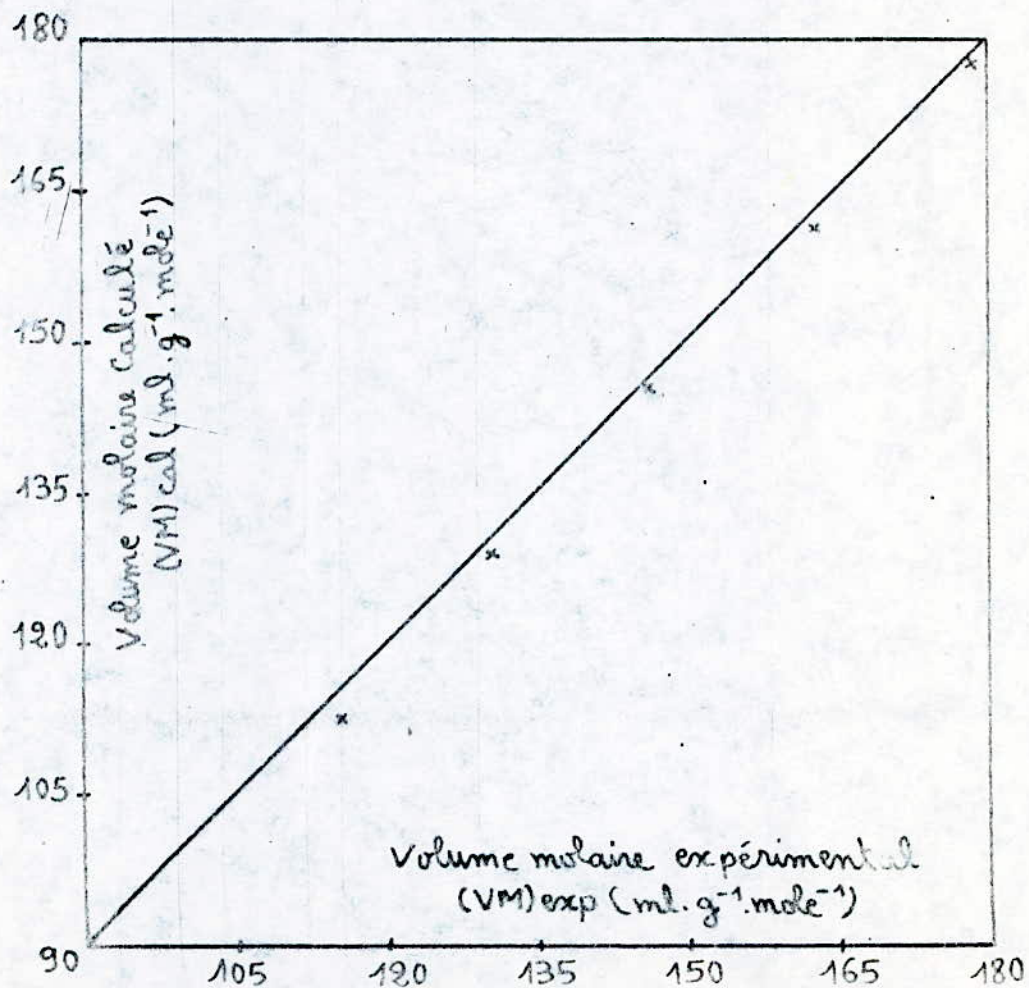
Tableau - 3

Mélanges	$(VM)_{cal} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$(VM)_{exp} (ml. g^{-1}. mole^{-1})$	$\Delta (VM)$
(I)	130,06	127,51	2,55
(II)	135,95	137,60	1,65

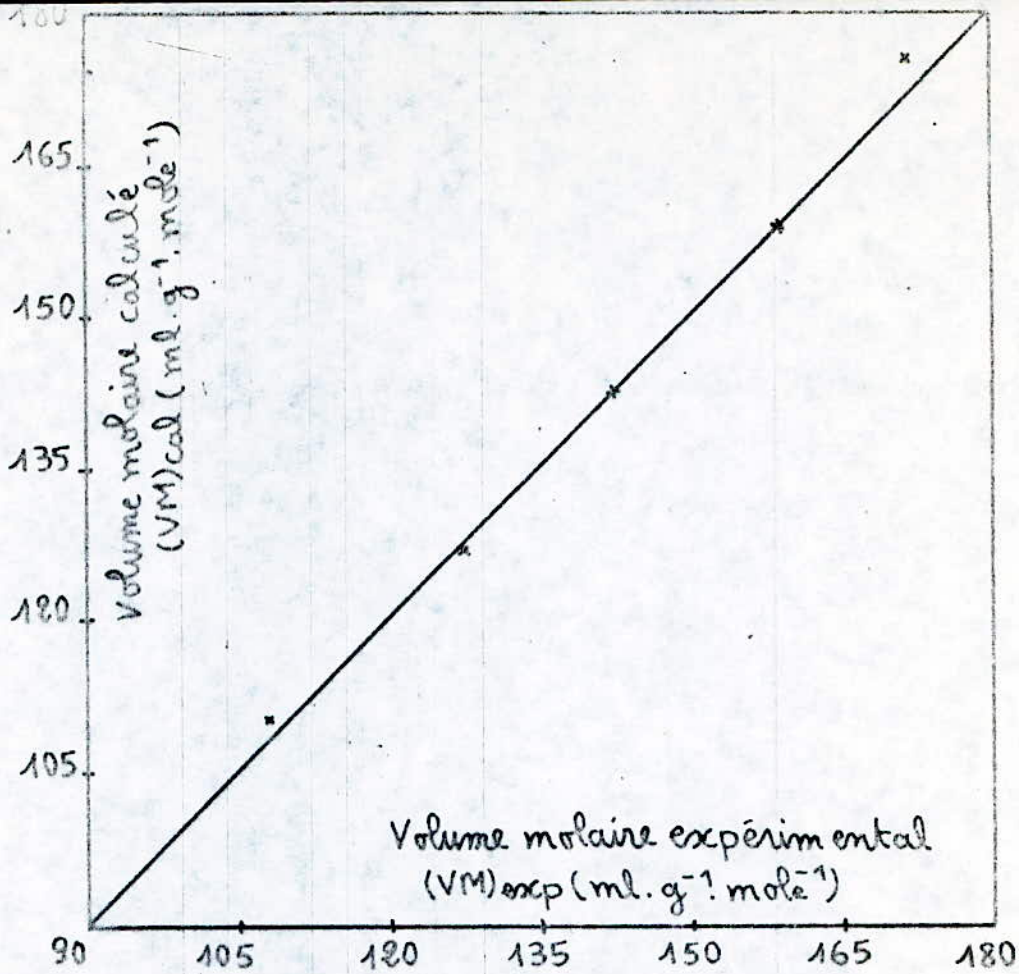
Tableau - 4



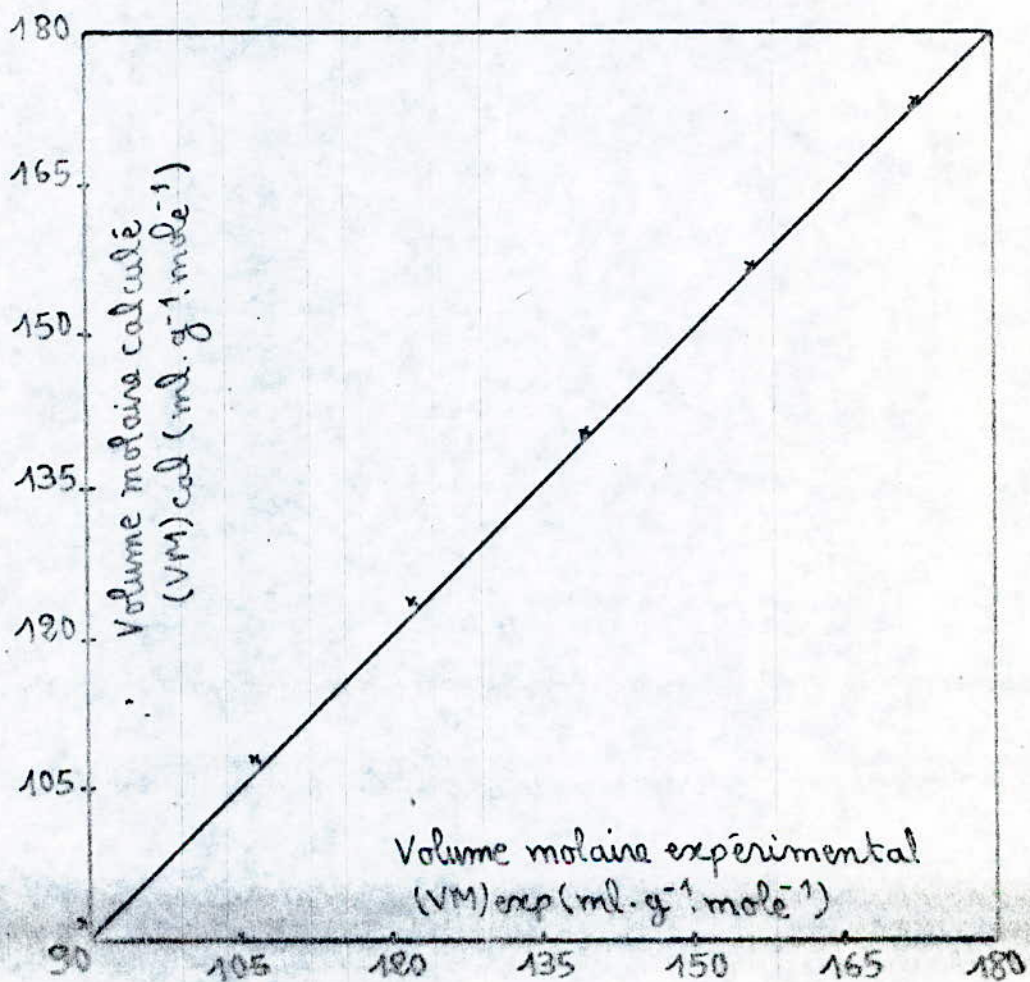
Courbe VIII - 1



Courbe VIII - 2 comparaison entre (VM) cal et (VM) exp pour les n-paraffines



Courbe VIII-3 Comparaison entre (VM)cal et (VM)exp pour les naphthènes



Courbe VIII-4 Comparaison entre (VM)cal et (VM)exp pour les aromatiques

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a consisté en la construction de nomogrammes pour les propriétés des hydrocarbures dont le point d'ébullition est inférieur à 200°C .

L'utilisation de ces nomogrammes permet de déterminer rapidement les propriétés physico-chimiques des mélanges et des fractions pétrolières légères en connaissant une seule propriété, les autres seront déduites des nomogrammes.

La comparaison avec les valeurs expérimentales donne des résultats satisfaisants.

Pour les fractions lourdes, vu l'impossibilité d'utiliser les nomogrammes construits du fait que la T_{max} est supérieure à 200°C , on suggère la construction des nomogrammes pour les propriétés des hydrocarbures de C_{15} à C_{20} pour les différentes familles en utilisant par exemple l'interpolation du polynôme de Newton ou toute autre interpolation.

Pour les fractions pétrolières moyennes : même travail que précédemment pour les hydrocarbures de C_{10} à C_{15} . Ainsi on aura pratiquement balayé tout l'intervalle de distillation du pétrole brut.

Pour les fonctions non monotones on suggérera l'interpolation d'une fonction de la propriété non monotone, exemple $T_{\text{eb}} = f(T_v)$ non monotone,

on va essayer par exemple $T_{\text{eb}} = \phi[f(T_v)]$ avec

ϕ : fonction Log ou toute autre fonction.

ANNEXE

A) Nomogrammes des propriétés physico-chimiques des naphthènes

1^{er} Série d'équations:

$$Teb = f_1(Pc) = f_2(Tc) = f_3(Vc) = f_4(d) = f_5(HV) = f_6(TV)$$

$$L = 22 \text{ cm} ; m = 0,176 ; a = -13,08$$

Echelles: « Série (N1) »

Echelle Teb: $x = 1 \text{ cm} ; y = -13,08 + 0,176 Teb$

// Pc: $x = 3,7 \text{ cm} ; z = -13,08 + 0,176 f_1(Pc)$

// Tc: $x = 6,4 \text{ cm} ; y = -13,08 + 0,176 f_2(Tc)$

// Vc: $x = 9,1 \text{ cm} ; z = -13,08 + 0,176 f_3(Vc)$

// d: $x = 11,8 \text{ cm} ; y = -13,08 + 0,176 f_4(d)$

// HV: $x = 14,5 \text{ cm} ; z = -13,08 + 0,176 f_5(HV)$

// TV: $x = 17,2 \text{ cm} ; y = -13,08 + 0,176 f_6(TV)$

2^e Série d'équations:

$$Cp = f_1(Hc) = f_2(RM) = f_3(MM) = f_4(Teb) = f_5(Ts) = f_6(n) = f_7(VA) = f_8(Cg)$$

$$L = 22 \text{ cm} ; m = 0,898 ; a = -21,45$$

* Echelles « Série (N2-1) »

Echelle Cp: $x = 1 \text{ cm} ; y = -21,45 + 0,898 Cp$

// Hc: $x = 5 \text{ cm} ; z = -21,45 + 0,898 f_1(Hc)$

// RM: $x = 9 \text{ cm} ; y = -21,45 + 0,898 f_2(RM)$

// MM: $x = 13 \text{ cm} ; z = -21,45 + 0,898 f_3(MM)$

// Teb: $x = 17 \text{ cm} ; y = -21,45 + 0,898 f_4(Teb)$

* Echelles « Série (N2-2) »

Echelle Teb: $x = 1 \text{ cm} ; y = -21,45 + 0,898 f_4(Teb)$

// Ts: $x = 5 \text{ cm} ; z = -21,45 + 0,898 f_5(Ts)$

// n: $x = 9 \text{ cm} ; y = -21,45 + 0,898 f_6(n)$

// VA: $x = 13 \text{ cm} ; z = -21,45 + 0,898 f_7(VA)$

// Cg: $x = 17 \text{ cm} ; y = -21,45 + 0,898 f_8(Cg)$

B) Nomogrammes des propriétés physico-chimiques des aromatiques:

1^{er} Série d'équations:

$$Teb = f_1(Pc) = f_2(Tc) = f_3(Vc) = f_4(MM) = f_5(HV) = f_6(TV)$$

$$L = 22 \text{ cm} ; m = 0,21 ; a = -15,59$$

Echelles « Série (A1) »

Echelle Teb: $x = 1 \text{ cm} ; y = -15,59 + 0,21 Teb$

// Pc: $x = 3,7 \text{ cm} ; z = -15,59 + 0,21 f_1(Pc)$

// Tc: $x = 6,4 \text{ cm} ; y = -15,59 + 0,21 f_2(Tc)$

// Vc: $x = 9,1 \text{ cm} ; z = -15,59 + 0,21 f_3(Vc)$

// MM: $x = 11,8 \text{ cm} ; y = -15,59 + 0,21 f_4(MM)$

// HV: $x = 14,5 \text{ cm} ; z = -15,59 + 0,21 f_5(HV)$

// TV: $x = 17,2 \text{ cm} ; y = -15,59 + 0,21 f_6(TV)$

2° Serie d'equations :

$$C_p = f_1(Hc) = f_2(RM) = f_3(Teb) = f_4(TS) = f_5(VA) = f_6(Cg)$$

$$L = 22\text{cm}; m = 0,88; a = -14,84$$

* Echelles << Serie (A-2-1) >>

$$\text{Echelle } C_p: x = 1\text{cm}; y = -14,84 + 0,88 C_p$$

$$\text{'' } Hc: x = 6\text{cm}; z = -14,84 + 0,88 f_1(Hc)$$

$$\text{'' } RM: x = 11\text{cm}; y = -14,84 + 0,88 f_2(RM)$$

$$\text{'' } Teb: x = 16\text{cm}; z = -14,84 + 0,88 f_3(Teb)$$

* Echelles << Serie (A-2-2) >>

$$\text{Echelle } Teb: x = 1\text{cm}; z = -14,84 + 0,88 f_3(Teb)$$

$$TS: x = 6\text{cm}; y = -14,84 + 0,88 f_4(TS)$$

$$VA: x = 11\text{cm}; z = -14,84 + 0,88 f_5(VA)$$

$$C_g: x = 16\text{cm}; y = -14,84 + 0,88 f_6(C_g)$$

3° Serie d'equations:

$$d = f_1(Pc) \quad \text{et } n = f_2(Pc) \quad \ll \text{Serie (A3)} \gg$$

$$\textcircled{1} d = f_1(Pc)$$

$$L = 22\text{cm}, m = -1100; a = 963,5$$

Echelles:

$$\text{Echelle } d: x = 1\text{cm}; y = 963,5 - 1100 d$$

$$\text{'' } Pc: x = 6\text{cm}; z = 963,5 - 1100 f_1(Pc)$$

$$\textcircled{2} n = f_2(Pc)$$

$$L = 22\text{cm}; m = -1100; a = 1651$$

Echelles:

$$\text{Echelle } n: x = 1\text{cm}; y = 1651 - 1100 n$$

$$\text{Echelle } Pc: x = 6\text{cm}; z = 1651 - 1100 f_2(Pc)$$

- Tableaux de conversion des fractions massiques et volumiques en fractions molaires.

Ci-dessous les tableaux donnant les valeurs des fractions massiques et volumiques en fractions molaires pour les mélanges de deux hydrocarbures de mêmes familles et de familles différentes.

	A convertir	Converti en X
Paraffines C7-C8	(50-50) Y	(53,27-46,73)
	(50-50) Z	(52,59-47,41)
	(25-75) Y	(27,54-72,46)
	(25-75) Z	(26,98-73,02)
	(75-25) Y	(77,38-22,62)
	(75-25) Z	(76,89-23,11)
Aromatiques C8-C9	(50-50) Y	(53,10-46,90)
	(50-50) Z	(53,24-46,76)
	(25-75) Y	(27,40-72,60)
	(25-75) Z	(27,51-72,49)
	(75-25) Y	(77,25-22,75)
	(75-25) Z	(77,35-22,65)

	A convertir	Converti en X
Naphènes C8-C9	(50-50) Y	(52,94-47,06)
	(50-50) Z	(52,46-47,54)
	(25-75) Y	(27,27-72,73)
	(25-75) Z	(26,89-73,11)
	(75-25) Y	(77,14-22,86)
	(75-25) Z	(77,35-22,65)
Paraffine C8 Naphène C8	(50-50) Y	(49,55-50,45)
	(50-50) Z	(45,85-54,15)
	(25-75) Y	(24,67-75,33)
	(25-75) Z	(21,60-78,40)
	(75-25) Y	(74,66-25,34)
	(75-25) Z	(71,26-28,74)

- Tableaux de conversion des données massiques et volumiques en données molaires pour les mélanges de trois hydrocarbures.

MELANGE	A convertir	Converti en X
Paraffines C ₇ - C ₈ - C ₉	(100/3 - 100/3 - 100/3) Y	(37,61 - 33,00 - 29,39)
	(100/3 - 100/3 - 100/3) Z	(36,73 - 33,12 - 30,15)
	(45 - 40 - 15) Y	(49,01 - 38,22 - 12,77)
	(45 - 40 - 15) Z	(48,19) - 38,63 - 13,18)
Naphthènes C ₈ - C ₉ - C ₁₀	(100/3 - 100/3 - 100/3) Y	(37,19 - 33,06 - 29,75)
	(100/3 - 100/3 - 100/3) Z	(36,64 - 33,21 - 30,15)
	(45 - 40 - 15) Y	(48,62 - 38,41 - 12,97)
	(45 - 40 - 15) Z	(48,08 - 38,73 - 13,19)
Aromatiques C ₈ - C ₉ - C ₁₀	(100/3 - 100/3 - 100/3) Y	(37,39 - 33,03 - 29,58)
	(100/3 - 100/3 - 100/3) Z	(37,54 - 32,98 - 29,48)
	(45 - 40 - 15) Y	(48,81 - 38,32 - 12,87)
	(45 - 40 - 15) Z	(48,96 - 38,23 - 12,81)
Paraffine C ₈ Naphthène C ₈ Aromatique C ₈	(100/3 - 100/3 - 100/3) Y	(32,32 - 32,90 - 34,78)
	(100/3 - 100/3 - 100/3) Z	(28,26 - 34,19 - 37,55)
	(45 - 40 - 15) Y	(44,18 - 39,98 - 15,84)
	(45 - 40 - 15) Z	(39,71 - 42,70 - 17,59)

BIBLIOGRAPHIE

1 - S.E. CHITOUR

Corrélations sur le pétrole brut et les fractions
pétrolières. O.P.U. 1983

2 - G. KHOVANSKI

Elements de nomographie, Ed MIR, MOSCOU. 1976

3 - PERRY and CHILTON

Chemical Engineers Handbook, Ed Mac Graw Hill,
New York. 1984

4 - DEAN

Langes Handbook of chemistry, Ed Mac Graw Hill,
New York. 1985

5 - NICHOLAS P. CHOPEY, Editor

Handbook of chemical Engineering calculations,
Ed Mac Graw Hill New York 1984

6 - M. KARAPETIANTZ

Thermodynamique chimique, Ed MIR, MOSCOU. 1975

7 - V. PROSKOURIAKOV et A. DRABKINE

La chimie du pétrole et du gaz, Ed MIR, MOSCOU. 1981

8 - J. PERRET et P. WUTHIER

Pétrole brut et fractions pétrolières, Ed Technip, PARIS. 1972

9 - R. P. Walsh and J. V. Mortimer

Gas liquid - chromatographs can be used to
estimate some inspection tests (HYDROCARBON -
PROCESSING) September 1971

10 - S.S KURTZ, JR AND ALBERT SANKIN

Calculation of molecular volumes of hydrocarbons.
Industrial and engineering chemistry, Vol. 46 N° 10
October 1954

11 - Projet de fin d'études de M. MEDJDOUB. Janvier 1986
proposé par S.E. CHITOUR

12 - Projet de fin d'études de O. DERMOUNE. Janvier 1985
proposé par S.E. CHITOUR

13 - Projet de fin d'études de Y. BERRAH. Juin 1985
proposé par S.E. CHITOUR

14 - Projet de fin d'études de DJABALI et ATBA.
Juin 1984

Proposé par S.E. CHITOUR

