

N° Série...../2017

Université Kasdi Merbah Ouargla



*Faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables et des sciences de la terre et de
L'univers*

Département de production des hydrocarbures

MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option : Production Professionnelle

Présenté Par :

ACILA Abdellatif

GORI Abderrezzak

KERBOUCHE Khaled

-THÈME-

***PRÉDICTION DU FACTEUR DE COMPRESSIBILITE (Z) DU GAZ
NATUREL ALGERIEN EN APPLIQUANT DES ÉQUATIONS D'ÉTAT
AVEC MODIFICATION DES PARAMÈTRES DE L'ÉQUATION (α)
ÉTUDE DE CAS (Champ MLN)***

Soutenue le : 31 / 05 / 2017 devant la commission d'examen

Jury:

President: KHELIFA Cherif	M.A.A	UKM, Ouargla
Examineur: BELMILOUD Fatima Zohra	M.A.B	UKM, Ouargla
Rapporteur: SID ROUHOU Hadj Mohammed	M.A.A	UKM, Ouargla

Année universitaire: 2016/2017

Remerciement

*Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu de nos avoir
donné la force et le courage.*

*A la suite nous tenons à remercier vivement Mr. Sid Rouhou Hadj
Mohammed notre promoteur qui a fournides efforts énormes, par ses
informations ses conseils et ses
encouragements.*

*Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour
l'honneur qu'ils nos ont fait en acceptant de siéger a notre soutenance.*

Nous remercions tous les personnels du champ MLN

Nos vifs remerciements aussi à Lamine KEROUCHE

*A tous ce qui furent à un moment ou à toute instante partie prenante de
ce travail.*

*Nos vifs remerciements aussi nos plus chasteureux remerciements pour
tous ceux qui de prés et de loin ont contribué à la réalisation de cette
mémoire.*

ABDERREZZAK & KHALED & ABDELLATIF

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail.

*À ma chère **Mère** et mon cher **Père**.*

À mon grand-père et mon grand-mère

À mes sœurs.

À mes oncles et mes tantes.

*À toute La famille de **GORI**.*

À tous mes amis.

À mes collègues de l'université d'Ouargla.

GORI ABDERREZZAK

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail.

À ma très chère Mère et mon très cher Père,

À mes frères et mes sœurs.

À toute la famille de ACILA.

À tous mes amis.

À ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je

Réussisse dans mes études

*À ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus
difficiles de ma vie.*

À mes collègues de l'université d'Ouargla.

ACILA ABDELLATIF

DÉDICACE

Je dédie ce travail

À ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage

À qui je dois de l'amour et la reconnaissance.

*À ma très chère **Mère** et à mon cher **Père***

À ma sœur et mes frères

*À mon grand-père et mes oncles et mes tantes, et tous les
membres de ma belle-famille*

*À tous mes amis et mes collègues pour tous les moments de
joies et de peines qu'on a passés ensemble*

À tous mes enseignants durant ma formation d'étude

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

KERBOUCHE KHALED

Résumé :

L'étude des propriétés PVT de gaz naturel est essentielle pour le développement de son production et son exploitation. Le laboratoire est considéré comme la principale source des données, pour ces propriétés comme il est possible aussi de calculer ces données à l'aide des équations d'état et des corrélations empiriques avec des marges d'erreurs variables.

Ces travaux a pour objectif d'étudier expérimentalement un gaz naturel Algérien, en se concentrant sur le calcul du facteur de compressibilité, en utilisant les corrélations relatives pour calculer de ce facteur, tout en essayant de modifier ces dernières avec ce qui correspond au mieux avec le gaz naturel Algérien en se basant sur des outils statistiques et les données expérimentales.

Cette étude est basée sur le calcul du facteur de compressibilité du gaz par cinq équations d'état, ainsi que la réactualisation des paramètres de ces équations avec ce qui correspond au mieux au gaz naturel Algérien.

On utilise des données expérimentales, et le travail s'effectué à l'aide des logiciels informatiques : MATLAB et EXCEL.

Mots-clés : MATLAB, PVT, EXCEL.

ملخص:

إن دراسة الخصائص PVT للغاز الطبيعي أمر بالغ الأهمية من أجل تطوير إنتاجه واستغلاله. يعتبر المخبر المصدر الأول لمعطيات هذه الخصائص كما أنه يمكن حساب هذه المعطيات باستعمال معادلات الحالة والارتباطات التجريبية بدرجة خطأ متفاوتة.

جاءت هذه الدراسة لتشمل كل من دراسة تجريبية على الغاز الطبيعي الجزائري بالتركيز على حساب عامل الانضغاطية واستخدام الارتباطات الخاصة بحساب هذا العامل ومحاولة تحديثها بما يتناسب مع الغاز الطبيعي الجزائري وذلك بالاعتماد على أدوات إحصائية والمعطيات التجريبية.

تعتمد هذه الدراسة على حساب معامل انضغاطية الغاز الطبيعي باستعمال خمسة معادلات الحالة، وأيضاً تكييف عوامل هذه المعادلات بما يتماشى مع الغاز الطبيعي الجزائري.

وتستخدم في هذا البحث البيانات التجريبية، وبرامج الإعلام الآلي: MATLAB وEXCEL.

الكلمات الدالة: MATLAB، PVT، EXCEL.

Summary:

The study of properties PVT of natural gas is essential for the development of its production and its exploitation. The laboratory is regarded as the principal data source for these properties as it is possible also to calculate these data using the equations of state and empirical correlations with variable margins of error.

This work contains an experimental study of Algerian natural gas while concentrating on the calculation of the compressibility factor, by using the correlations relating to the calculation of this factor while trying to modify them in corresponds with the natural Algerian gas depending on statistical tools and experimental data.

This study is based on the calculated compressibility factor of the gas by five equations of state, as well as the updating of the parameters of these equations with which corresponds best to the Algerian natural gas.

We used experimental data, and the work is done by using these programs: MATLAB and EXCEL.

Key words: MATLAB, PVT, EXCEL.

**SOMMAIRE**

Sommaire.....	I
Liste des tableaux.....	III
Liste des figures.....	VI
Nomenclature.....	V
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : LES ÉQUATIONS D'ÉTAT (EOS)

I.1 Introduction.....	3
I.2 Les équations d'état (EOS).....	3
I.2.4 Van Der Waal's (VDW EOS) (1873).....	3
I.2.5 Soave Redlich Kwong (SRK EOS) (1972).....	4
I.2.1 Peng Robinsons (PR EOS) (1976).....	5
I.2.2 Patel -Teja (PT EOS) (1982).....	6
I.2.3 Nwankwo Princess (PN EOS) (2014).....	7
I.3 Extension aux mélanges avec des règles de mélange.....	9
I.4 Organigramme des équations d'état (EOS).....	10

CHAPITRE II : ACQUISITION DES DONNÉES

II.1 Introduction.....	11
II.2 Étude expérimentale.....	11
II.2.1 Donnée du Champ (MLN).....	11
II.2.2 Organigramme d'étude expérimentale.....	11
II.3 Vue de l'appareil utilisé dans laboratoire PVT (DTD).....	12
II.4 Les données caractéristiques du champ MLN.....	13
II.5 L'organigramme du travail.....	17

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Introduction.....	18
III.2 Résultats et discussions sans modification les équations.....	18
III.2.1 Van Der Waal's (VDW EOS) (1873).....	18



III.2.2 Soave-Redlich-Kwong (SRK EOS) (1972).....	23
III.2.3 Peng Robinsons (PR EOS) (1976).....	25
III.2.4 Patel-Teja (PT EOS) (1982).....	27
III.2.5 Nwankwo Princess (PN EOS) (2014).....	29
III.3 Résultats et discussions avec modification des équations.....	32
III.3.1 Van Der Waal's modifiée (VDW EOS) (1873).....	32
III.3.2 Soave-Redlich-Kwong modifiée (SRK EOS) (1972).....	34
III.3.3 Peng Robinsons modifiée (PR EOS) (1976).....	36
III.3.4 Patel-Teja modifiée (PT EOS) (1982).....	38
III.3.5 Nwankwo Princess modifiée (PN EOS) (2014).....	40
Conclusion et recommandation.....	43
Références bibliographiques.....	45
ANNEXE (A) Paramètres statistiques.....	46
ANNEXE (B) Exemple de calcul.....	47
ANNEXE (B) Programme de calcul.....	50



LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : La variation de facteur de compressibilité Z par rapport au temps.....	14
Tableau II.2 : La variation de la composition de gaz par rapport au temps.....	14
Tableau II.3 : La température et pression critique de constituants du gaz.....	15
Tableau II.4 : Le facteur acentrique des constituants.....	15
Tableau II.5 : Le coefficient d'interaction binaire.....	16
Tableau III.1: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de VDW.....	18
Tableau III.2: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de SRK.....	23
Tableau III.3: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de Peng Robinson.....	25
Tableau III.4: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de Patel et Teja.....	27
Tableau III.5: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de Nwankwo Princess.....	29
Tableau III.6 : Comparaison entre les R^2 et les erreurs absolue.....	31
Tableau III.7 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de VDW.....	32
Tableau III.8 : les valeurs des paramètres de Ω avant et après les modifications.....	33
Tableau III.9 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de SRK.....	34
Tableau III.10 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.....	35
Tableau III.11: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de PR.....	36
Tableau III.12 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.....	37
Tableau III.13 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de PT.....	38
Tableau III.14 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.....	39
Tableau III.15: Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de PN.....	40
Tableau III.16 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.....	41
Tableau III.17 : Comparaison entre les R^2 et les erreurs absolue.....	42



LISTE DES FIGURES

Figure II.1 : un cylindre d'échantillon T441.....	12
Figure II.2 : Une cellule PVT.....	12
Figure II.3 : Une pompe volumétrique à haute pression.....	13
Figure II.4 : L'appareil d'étude PVT et Un système vidéo à haute résolution.....	13
Figure III.1 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de VDW.....	22
Figure III.2 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par VDW.....	22
Figure III.3 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de SRK.....	24
Figure III.4 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par SRK.....	24
Figure III.5 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PR.....	26
Figure III.6 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PR.....	26
Figure III.7 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PT.....	28
Figure III.8 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PT.....	28
Figure III.9 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PN.....	30
Figure III.10 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PN.....	30
Figure III.11 : Comparaison entre les erreurs des équations.....	31
Figure III.12 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par VDW modifiée.....	33
Figure III.13 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par VDW modifié.....	33
Figure III.14 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par SRK modifiée.....	35
Figure III.15 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par SRK modifiée.....	35
Figure III.16 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par PR modifiée.....	37
Figure III.17 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PR modifiée.....	37
Figure III.18 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par PT modifiée.....	39
Figure III.19 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PT modifiée.....	39
Figure III.20 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par PN modifiée.....	41
Figure III.21 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PN modifiée.....	41
Figure III.22: Comparaison entre les erreurs des équations.....	42



NOMENCLATURE

<i>Symboles</i>	<i>Désignations</i>	<i>Unités</i>
P	Pression	Psig
T	Température	°C
V	Volume	Cm ³
Tc	Température critique	°R
Pc	Pression critique	Psig/ Psig
Tr	Température réduite	°R
Pr	Pression réduite	Psig/ Psig
Tpc	Température pseudo-critique	°R
Ppc	Pression pseudo-critique	Psig/ Psig
Tpr	Température pseudo-réduite	°R
Ppr	Pression pseudo-réduite	Psig/ Psig
d	Densité du gaz par rapport à l'air	-
M	Masse molaire	G/Mole
Z	Facteur de compressibilité du gaz	-
R	Constant des gaz	Psi-ft ³ / Lb-Mole-°R
ω	Facteur acentrique	-
γ_g	Spécifique gravité du gaz	-
Yi	Fraction molaire du composant i dans le mélange de gaz	%
kij	Coefficient d'interaction binaire	-
Ei	Erreur	%
Er	Erreur moyenne	%



Ea	Erreur absolue	%
S	Déviation standard	%
a	Terme de paramètre d'attraction des équations d'état	-
b	Covolume de van der Waal's, paramètre répulsif de terme	-
A	Constante sans dimensions (aP/R^2T^2)	-
B	Constante sans dimensions (bP/RT)	-
C	Constante sans dimensions (cP/RT)	-
α	Paramètre des équations d'état	
Ω	Paramètre d'équation Van Der Waal's	
EOS	Equation of state (équation d'état)	
PR	Peng Robinsons	
PT	Patel-Teja	
PN	Nwankwo Princess	
VDW	Van Der Waal's	
SRK	Soave Redlich Kwong	



INTRODUCTION

GÉNÉRALE





INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'entreprise nationale des hydrocarbures SONATRACH produit l'équivalent de 131 milliards de m³ de gaz naturel, dont 27 milliards de m³ ont été exportés via gazoduc et 28 millions de m³ sous forme de GNL via des méthaniers. Au moyen terme l'Algérie augmentera sa capacité de production pour atteindre les 151 milliards de m³ d'ici à 2019.

Il est donc devenu nécessaire de procéder à une estimation précise des réserves de gaz existants, de développer les méthodes de récupération du gaz de réservoir, d'augmenter les capacités de stockage et de transport et de multiplier les installations de traitement de ce gaz. Il est également nécessaire d'appliquer les normes de sécurité et de fabrication les plus rigoureuses dans le traitement et la compression du gaz, à titre d'exemple l'erreur de (21%) dans la valeur du facteur de compressibilité du gaz provoque une erreur environ de (9%) dans le volume de dosage de ce gaz, ce qui engendre une grande perte d'argent pour le fournisseur ou pour l'acheteur du gaz.

Le gaz naturel est un combustible qui provient dans les couches réservoirs de la terre, il est composé essentiellement de méthane (CH₄), il est incolore et inodore, c'est l'hydrocarbure le plus simple qu'il existe dans la nature. Le gaz naturel est une ressource fossile non renouvelable dont les réserves sont concentrées dans certaines zones géographiques. L'amélioration de ses conditions d'approvisionnement, de son transport et de son stockage joue un rôle stratégique pour son avenir dans le mix énergétique.

Généralement, Le gaz est défini comme un fluide homogène de basse viscosité et densité, qui n'a pas de volume défini, le gaz naturel est un mélange complexe de gaz hydrocarbure et non-hydrocarbure. Les gaz d'hydrocarbures qui se trouvent normalement dans un gaz naturel sont : le méthane (C₁H₄), l'éthane (C₂H₆), le propane (C₃H₈), le butane (C₄H₁₀) et le pentane (C₅H₁₂), et dans une proportion moindre d'hexane qui es une substance plus lourde. Les gaz non-hydrocarbures (c.-à-d., impuretés) incluent le dioxyde de carbone (CO₂), le sulfure d'hydrogène (H₂S), l'azote (N₂) et l'oxygène (O₂).

Les propriétés de Pression-volume-température (PVT) d'un gaz naturel peuvent être obtenues à partir des essais à l'échelle du laboratoire, en utilisant des échantillons représentatifs des gaz. Dans le meilleur des cas, les mesures du laboratoire des propriétés PVT sont la source primaire de données de PVT. En cas d'absence de mesures expérimentales de propriétés PVT, il est nécessaire d'utiliser la corrélation empirique ou l'équation d'état (EOS).



Beaucoup de chercheurs ont utilisés des résultats d'essai en laboratoire de PVT, et des données du champ, pour développer des corrélations générales et pour estimer les propriétés des fluides du réservoir. L'objectif principal sert à déterminer des équations d'état qui contiennent le facteur de compressibilité.

Le facteur de compressibilité (Z) est une mesure de la quantité de gaz dévier à l'état parfait, il est communément appelé le facteur de déviation du gaz (the gas deviation factor), c'est une quantité non-dimensionnelle définie par le rapport de volume occupé par le gaz à une pression et température donné sur le volume qu'il doit l'occupé quand il comporte comme un gaz parfait. Donc la valeur de $Z = 1$ représente une condition de gaz idéal.

L'objectif de ce travail est consisté de faire une modélisation sur le facteur de compressibilité (Z), en appliquant les équations d'état de van der Waal's (1873), Soave-Redlich-Kwong (1972), Peng Robinson (1976), Patel-Teja (1982) et Nwankwo Princess (2014), sur le champ de MLN. On plus, ce travail contient une tentative de développement de ces équations avec ce qui correspond au mieux au gaz naturel Algérien.

Ce travail s'effectués à l'aide d'analyse statistique par EXCEL, et d'utilisation de logiciel MATLAB 2013a.



CHAPITRE I
LES ÉQUATIONS D'ÉTAT





I.1 Introduction : [07]

Pendant des nombreuses années, la méthode la plus précise pour déterminer le facteur de compressibilité du gaz naturel a été la mesure directe dans laboratoire en utilisant les graphes (standing et Katz) de facteur de compressibilité (Z) pour les mélanges de gaz, mais avec l'évolution de la science des équations d'état et des corrélations ont été développées pour la détermination de ce facteur.

I.2 Les équations d'état (EOS) : [09]

I.2.1 Van Der Waal's (VDW EOS) (1873):

L'existence d'une équation simple, fermée et analytique décrivant l'état d'un matériau est limitée à un gaz idéal.

Des interactions différentes, chacune est modélisées séparément par différentes théories, dont la validité se limite à des conditions spécifiques de température, pression ou densité est nécessaire pour la modélisation de comportement de phase hors du domaine pour lequel des gaz idéaux existent.

L'équation de 'état présentée par Johannes Diderick Van Der Waal's est créditée comme la première tentative réussie de modélisation du comportement des gaz réels. Dans sa forme simple, l'équation d'état de Van Der Waals est indiqué comme suite :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v^2} \quad (\text{I. 1})$$

Avec,

$$a = 0.421875 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (\text{I. 2})$$

$$b = 0.125 \frac{RT_c}{P_c} \quad (\text{I. 3})$$

L'équation d'état de Van Der Waal's s'approche de la loi des gaz parfaits $Pv = nRT$ en tant que les valeurs des constantes (a et b approche à zéro).

Considérant que l'équation d'état de VDW est exprimée sous forme de pression explicite, le terme répulsif est $\frac{RT}{v-b}$ et le terme attractif est $\frac{a}{v^2}$.



Sadus (1994) a été le premier qui a souligné que la pression est une somme de deux composantes, la pression d'attraction et la pression de répulsion.

$$P = P_{\text{répulsion}} + P_{\text{attraction}} \quad (\text{I.4})$$

L'équation de Van Der Waal's peut être exprimée en terme de facteur de compressibilité Z, et la forme résultante est :

$$Z^3 - (1 + B)Z^2 + AZ - AB = 0 \quad (\text{I.5})$$

Où,

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (\text{I.6})$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (\text{I.7})$$

I.2.5 Soave Redlich Kwong (SRK EOS) (1972) :

L'équation empirique et algébrique de Soave Redlich et Kwong (1972) s'est révélée généralement plus précise que VDW EOS et l'équation de gaz idéale à des températures supérieures à la température critique. SRK EOS est démontré qu'en remplaçant le terme d'attraction du VDW EOS par un terme de température généralisé, l'équation d'état résultante peut considérablement améliorer la prédiction des propriétés volumétriques et physiques de gaz.

Soave Redlich Kwong ont proposés l'expression suivante :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a_c \alpha(T)}{v(v + b)} \quad (\text{I.8})$$

Avec,

$$a_c = 0.42747 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (\text{I.9})$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c} \quad (\text{I.10})$$

$$\alpha(T) = \left[1 + m \left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}} \right) \right]^2 \quad (\text{I.11})$$



Où,

$$m = 0.48508 + 1.55171 \omega - 0.1561 \omega^2 \quad (\text{I. 12})$$

Donc l'équation cubique de Soave Redlich Kwong (EOS) :

$$Z^3 - Z^2 + (A - B - B^2)Z - AB = 0 \quad (\text{I. 13})$$

Avec,

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (\text{I. 14})$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (\text{I. 15})$$

I.2.1 Peng Robinsons (PR EOS) (1976) :

Peng et Robinson (1976) ont mené une étude approfondie pour prédire le comportement des systèmes hydrocarbures naturels. Ils ont illustré la nécessité d'une amélioration de la capacité de l'équation d'état.

Pour créer un modèle amélioré, Peng et Robinson ont proposé l'expression suivante :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a_c \alpha(T)}{v(v + b) + b(v - b)} \quad (\text{I. 16})$$

Dans les conditions critiques, la résolution des paramètres a_c , b et α est :

$$a_c = 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (\text{I. 17})$$

$$b = 0.07780 \frac{RT_c}{P_c} \quad (\text{I. 18})$$

$$\alpha(T) = \left[1 + m \left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}} \right) \right]^2 \quad (\text{I. 19})$$

Où,

$$m = 0.37464 - 1.54226 \omega - 0.26992 \omega^2 \quad (\text{I. 20})$$



L'équation cubique de Peng Robinson :

$$Z^3 + (B - 1)Z^2 + (A - 3B^2 - 2B)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (I.21)$$

Avec,

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (I.22)$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (I.23)$$

I.2.2 Patel -Teja (PT EOS) (1982) :

L'équation d'état présentée par Patel et Teja permet un ajustement du facteur de compressibilité critique au lieu de prévoir une valeur fixe. Les auteurs ont traité le facteur de compressibilité apparente en tant qu'un paramètre réglable, qui dépend de la température.

La forme fonctionnelle de PT EOS est :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a_c \alpha(T)}{v(v + b) + c(v - b)} \quad (I.24)$$

Où, a_c , b et c sont données comme suite :

$$a_c = \Omega_a \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (I.25)$$

$$b = \Omega_b \frac{RT_c}{P_c} \quad (I.26)$$

$$c = \Omega_c \frac{RT_c}{P_c} \quad (I.27)$$

Où,

$$\Omega_c = 1 - 3\xi_c \quad (I.28)$$

$$\Omega_a = 3\xi_c^2 + 3(1 - 2\xi_c)\Omega_b + \Omega_b^2 + (1 - \xi_c)\Omega_b^3 \quad (I.29)$$

Et Ω_b est la plus petite racine positive de l'équation suivante :

$$\Omega_b^3 + (2 - 3\xi_c)\Omega_b^2 + 3\xi_c^2\Omega_b - \xi_c^3 = 0 \quad (I.30)$$



Patel et Teja ont trouvés que ξ_c peut être exprimés en terme de facteur acentrique ω comme suite :

$$\xi_c = \frac{1}{3(1 + q\omega)} \quad (I. 31)$$

Le paramètre q est défini comme suite :

$$q = 0.25989 - 0.0217 \omega + 0.00375 \omega^2 \quad (I. 32)$$

La valeur de α est obtenue par l'équation :

$$\alpha(T) = \left[1 + F \left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}} \right) \right]^2 \quad (I. 33)$$

$$F = 0.452413 + 1.30982 \omega - 0.295937 \omega^2 \quad (I. 34)$$

Patel et Teja (EOS) s'écrit sous la forme :

$$Z^3 + (C - 1)Z^2 + (A - B - C - 2BC - B^2)Z + (BC + B^2C - AB) = 0 \quad (I. 35)$$

Avec,

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (I. 36)$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (I. 37)$$

$$C = \frac{cP}{RT} \quad (I. 38)$$

I.2.3 Nwankwo Princess (PN EOS) (2014) :

Nwankwo Princess est crée et developpée et basée sur des méthodes semi-empiriques. Ce sont des méthodes basées en partie sur les dérivés analytiques et partiellement empiriques (c'est-à-dire extraire par des données expérimentales).

Le modèle de démarrage a été intuitivement raisonné pour être celui qui donnerait une importance particulière aux effets des points critiques, obtenus par les paramètres du facteur de compressibilité critique.



Environ 153 formes structurelles qui satisfont ces conditions ont été développées et chacune a testé avec des données empiriques pour vérifier leur performance. La seule forme qui minimise l'erreur considérablement, entre les valeurs prédites et déterminées expérimentalement a une forme définie ci-dessous.

La forme résultante qui a donné une minimisation optimale des erreurs dans la mesure des facteurs de compressibilité :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a_c \alpha(T)}{v(v + b) + c(v - b) + c(c - b)} \quad (\text{I. 39})$$

Cette équation est exprimée en terme de facteur de compressibilité :

$$Z^3 + (C - 1)Z^2 + (A - B - C - 3BC - B^2 + C^2)Z + (2BC + 2B^2C - BC^2 - C^2 - AB) = 0 \quad (\text{I. 40})$$

Où, les termes A, B et C ont les significations habituelles comme dans les autres EOS à trois paramètres tels que PT EOS.

Par exemple :

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (\text{I. 41})$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (\text{I. 42})$$

$$C = \frac{cP}{RT} \quad (\text{I. 43})$$



I.3 Extension aux mélanges avec des règles de mélange :

La plupart des équations d'état sont initialement développées pour des substances pures et ensuite étendues à des mélanges. Ceci est le plus souvent atteint en mélangeant des règles et en combinant des règles qui relient les propriétés des composants purs aux propriétés des mélanges.

Pour la plupart des équations cubiques, les règles de mélange de Van Der Waal's présentées ci-dessous s'appliquent aussi pour les équations (SRK, PR, PT et NEW EOS).

Les règles de mélange pour définir les paramètres (a , b et c) d'EOS, sont donnés par :

$$A = \frac{a_m P}{R^2 T^2} \quad (I. 44)$$

$$B = \frac{b_m P}{RT} \quad (I. 45)$$

$$C = \frac{c_m P}{RT} \quad (I. 46)$$

Avec,

$$a_m = \sum_i \sum_j [x_i x_j \sqrt{a_i a_j \alpha_i \alpha_j} (1 - k_{ij})] \quad (I. 47)$$

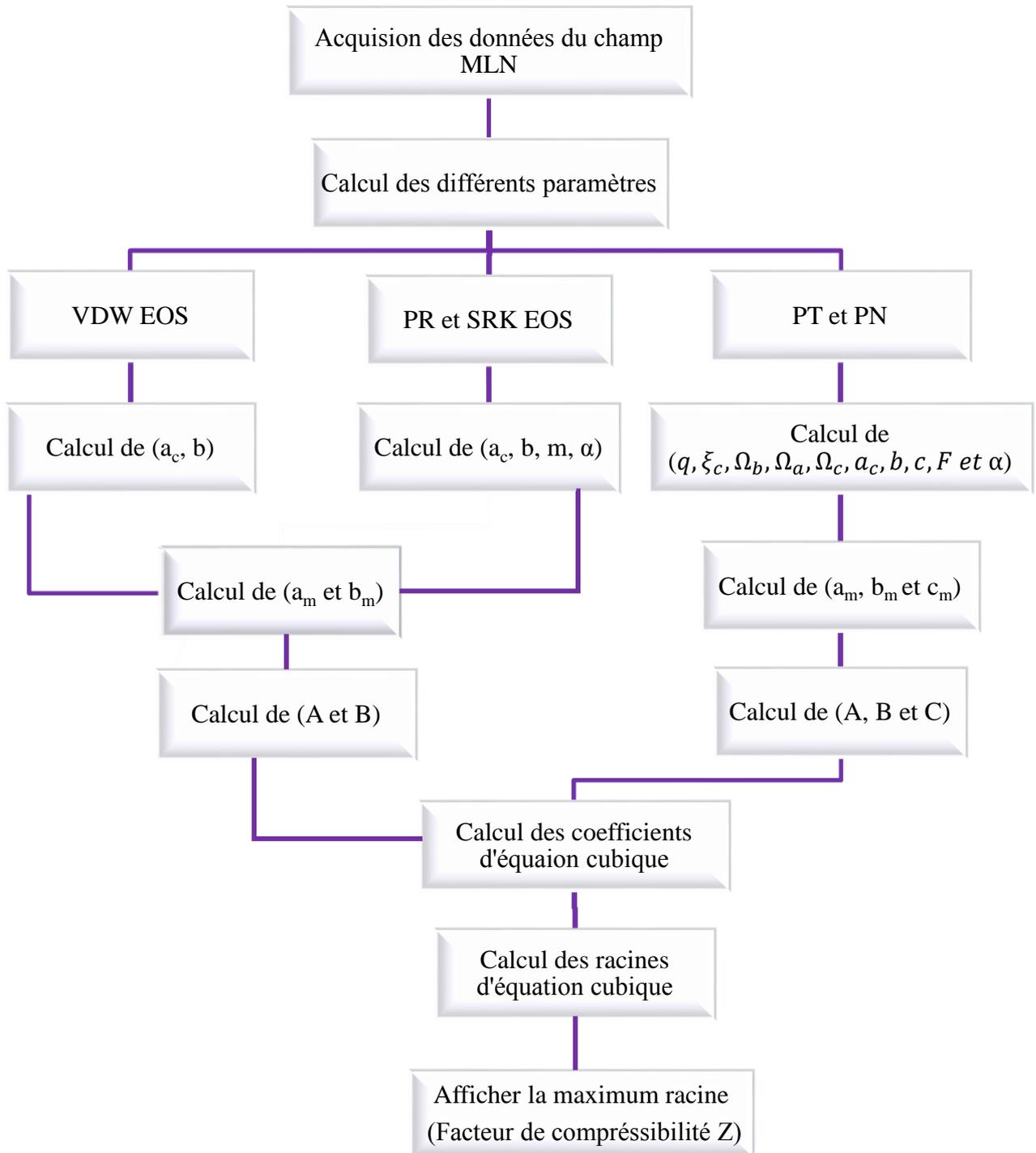
$$b_m = \sum_i [x_i b_i] \quad (I. 48)$$

$$c_m = \sum_i [x_i c_i] \quad (I. 49)$$



I.4 Organigramme des équations d'état (EOS) :

Les étapes du calcul Z sont résumées comme suite :





CHAPITRE II

AQUISITIONS DES DONNÉES





II.1 Introduction : [07]

Les mesures PVT de laboratoire fournissent les données primaires pour l'étude des propriétés des fluides d'hydrocarbures. Ces études touchent généralement tous les types de fluides de réservoir tels que le pétrole brut, les gaz associés, le gaz à condensat etc....

Les échantillons de fluides représentatifs récupérés des chantiers, sont ramenés au laboratoire aux conditions du champ (pression et température) avant d'être examinés, pour déterminer le comportement de la phase et les changements de composition du gaz.

II.2 Étude expérimentale :

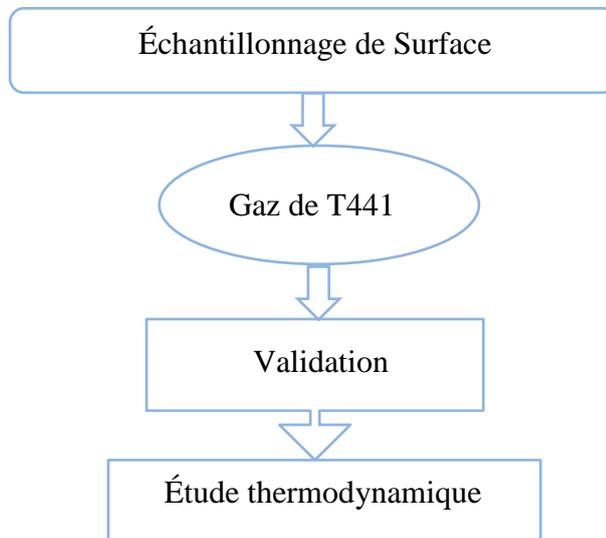
L'étude expérimentale est appliquée sur l'équipement de déshydratation T441.

II.2.1 Données du Champ (MLN) :

- Champ.....MLN.
- Type d'échantillonnage.....Surface.
- Type de fluide.....Gaz naturel.
- Pression de T441 (Psig).....537,654.
- Température de T441 (R°).....557,676.
- Le facteur de compressibilité moyen (Z).....0,9.

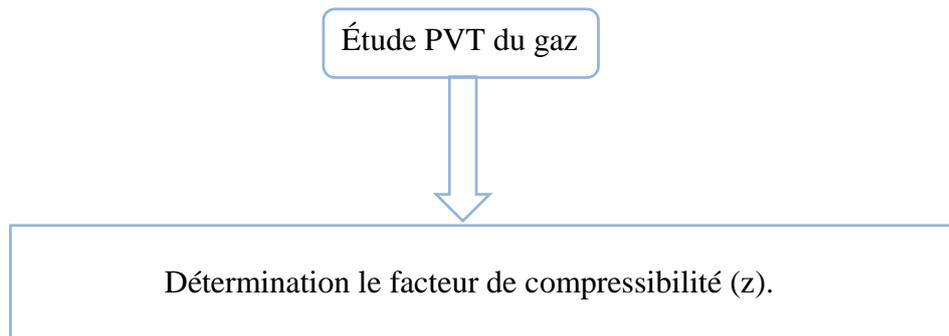
II.2.2 Organigramme d'étude expérimentale :

- ✓ 1^{ère} étape : Reconstitution du gaz naturel :





- ✓ 2^{ème} étape : Étude thermodynamique du gaz naturel :



II.3 Vue de l'appareil utilisé dans laboratoire PVT : [07]

L'appareil utilisé est un équipement fabriqué par l'entreprise Canadienne D.B.Robinson et Associates. Généralement l'appareil connecté aux plusieurs éléments dont les plus importants sont :

- Une étuve.
- un cylindre d'échantillon.
- Une cellule PVT.
- Un système vidéo à haute résolution.
- Une pompe volumétrique à haute pression.



Figure II.1 : un cylindre d'échantillon T441.

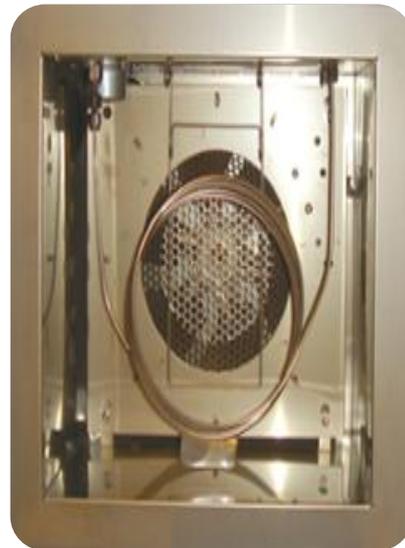


Figure II.2 : Une cellule PVT.



Figure II.3 : Une pompe volumétrique à haute pression.



Figure II.4 : L'appareil d'étude PVT et le système vidéo à haute résolution.

II.4 Les données caractéristiques du champ MLN :

Les données utilisées dans cette étude ont été obtenues à partir de l'analyse expérimentale de plusieurs échantillons de gaz du champ MLN de l'Algérie, par rapport au temps.



Tableau II.1 : La variation de facteur de compressibilité Z par rapport au temps.

La date	Z (Expérimentale)	La date	Z (Expérimentale)
18-août-16	0,9060	17-déc-16	0,9110
02-sept-16	0,9065	02-janv-17	0,9098
15-sept-16	0,9060	15-janv-17	0,9314
02-oct-16	0,9096	31-janv-17	0,9094
17-oct-16	0,9085	15-févr-17	0,9084
03-nov-16	0,9099	03-mars-17	0,9233
16-nov-16	0,9107	13-mars-17	0,9093
02-déc-16	0,9108		

La variation de facteur de compressibilité Z en fonction des paramètres thermodynamiques (Pression, température et volume).

Tableau II.2 : La variation de la composition de gaz par rapport au temps.

Date	COMPOSITION										
	O2	N2	CO2	C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	C6+
18 Aug-16	0,10	0,02	0,38	77,41	13,02	6,42	0,67	1,29	0,32	0,28	0,09
02 Sep-16	0,02	0,30	0,15	77,42	13,12	6,38	0,66	1,26	0,01	0,09	0,59
16 Sep-16	0,07	0,03	0,22	77,59	12,97	6,36	0,70	1,33	0,35	0,29	0,09
02 Oct-16	0,27	1,16	1,54	76,56	12,31	5,81	0,65	1,13	0,27	0,22	0,08
17 Oct-16	0,09	0,77	1,24	77,08	12,47	5,92	0,65	1,20	0,30	0,25	0,03
03 Nov-16	0,02	0,27	0,20	78,47	12,79	6,05	0,63	1,09	0,25	0,21	0,02
16 Nov-16	0,22	0,20	0,22	78,76	12,71	5,81	0,59	1,04	0,24	0,19	0,02
02 Dec-16	0,13	0,54	0,21	78,40	12,72	5,90	0,59	1,05	0,24	0,19	0,03
17 Dec-16	0,02	0,52	0,22	78,54	12,65	5,99	0,62	1,02	0,21	0,17	0,04
02 Jan-17	0,06	0,48	0,14	78,01	12,94	6,25	0,66	1,13	0,01	0,24	0,08
15 Jan-17	0,11	0,54	0,57	88,61	7,81	1,34	0,35	0,50	0,06	0,08	0,03
31 Jan-17	0,74	0,02	0,27	78,56	12,26	5,94	0,64	1,09	0,23	0,19	0,06
15 Feb-17	0,03	0,39	0,18	77,71	13,02	6,37	0,65	1,15	0,26	0,21	0,03
03 Mar-17	0,04	0,49	0,44	82,80	13,34	1,51	0,30	0,59	0,26	0,20	0,05
13 Mar-17	0,02	0,25	0,19	77,65	12,85	6,85	0,62	1,09	0,24	0,19	0,05



Tableau II.3 : La température et la pression critique des constituants du gaz. [05]

Compositions	Tci (R°)	Pci (Psi)
C1	343,08	667,755
C2	549,72	707,7854
C3	665,64	616,2665
iC4	734,76	529,0986
nC4	765,36	550,7093
iC5	828,72	490,3735
nC5	845,46	488,633
C6	913,32	436,8545
N2	227,34	492,9842
Co2	547,56	1070,671
O2	278,0658	731,3092

Les propriétés critiques des constituants du gaz sont constants et extraies par divers sources et des rapports d'analyse PVT.

Tableau II.4 : Le facteur acentrique des constituants. [05]

Les constituants	ω_i
C ₁	0,0115
C ₂	0,0995
C ₃	0,1523
iC ₄	0,1770
nC ₄	0,2002
iC ₅	0,2275
nC ₅	0,2515
C ₆ ⁺	0,3013
N ₂	0,2250
CO ₂	0,0400
O ₂	0,022

Le facteur acentrique est un nombre conceptuel, la loi des états correspondants définie précédemment ne s'applique strictement qu'aux constituants dont la molécule est sphérique.



Tableau II.5 : Le coefficient d'interaction binaire. [05]

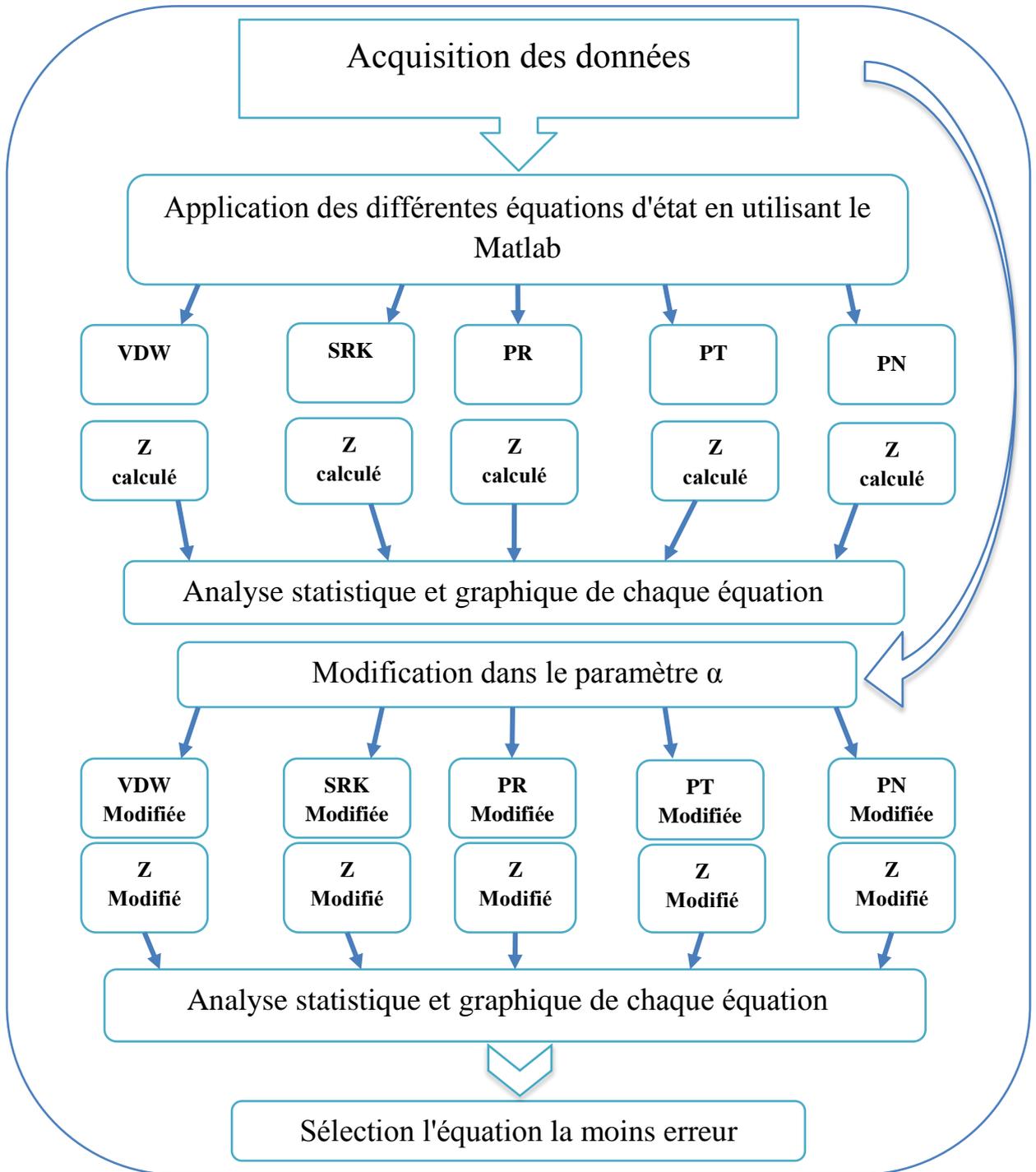
K_{ij}	C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	C6	N2	CO2	O2
C1	0	0,005	0,01	0,035	0,025	0,05	0,03	0,03	0,025	0,105	0
C2	0,005	0	0,005	0,005	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,13	0
C3	0,01	0,005	0	0	0	0,015	0,015	0,01	0,09	0,123	0
iC4	0,035	0,005	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,095	0,12	0
nC4	0,025	0,01	0	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0,095	0,115	0
iC5	0,05	0,02	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0,1	0,115	0
nC5	0,03	0,02	0,015	0,005	0,005	0	0	0	0,1	0,115	0
C6	0,03	0,02	0,01	0,005	0,005	0	0	0	0,11	0,115	0
N2	0,025	0,01	0,09	0,095	0,095	0,1	0,1	0,11	0	0	0
CO2	0,105	0,13	0,123	0,12	0,115	0,115	0,115	0,115	0	0	0
O2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le coefficient d'interaction entre les moléculaires c'est un propriété physique constant (non-dimensionnelle).



II.5 L'organigramme du travail :

L'étude est résumée dans l'organigramme ci-dessous :





CHAPITRE III
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS





III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous appliquons des équations d'état sur le gaz naturel Algérien, et améliorons les résultats du calcul par changement dans la formule de paramètre (α et Ω) à partir de l'utilisation des outils statistiques et des données expérimentales.

III.2 Résultats et discussions sans modification des équations :

III.2.1 Van Der Waal's (VDW EOS) (1873) :

Tableau III.1 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de VDW.

La date	Z (Exp)	Z (Cal)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,8886	1,9581	1,9581	0,0010	1,9265	1,9265	2,1800	1,6479	1,8629
02-sept	0,9065	0,8884	2,0374	2,0374	4,1509					
15-sept	0,9060	0,8885	1,9696	1,9696	3,8794					
02-oct	0,9096	0,8933	1,8247	1,8247	3,3295					
17-oct	0,9085	0,8921	1,8384	1,8384	3,3796					
03-nov	0,9099	0,8922	1,9839	1,9839	3,9357					
16-nov	0,9107	0,8936	1,9136	1,9136	3,6619					
02-déc	0,9108	0,8934	1,9476	1,9476	3,7932					
17-déc	0,9110	0,8934	1,9700	1,9700	3,8809					
02-janv	0,9098	0,8920	1,9955	1,9955	3,9821					
15-janv	0,9314	0,9163	1,6479	1,6479	2,7157					
31-janv	0,9094	0,8935	1,7795	1,7795	3,1667					
15-févr	0,9084	0,8907	1,9872	1,9872	3,9490					
03-mars	0,9233	0,9064	1,8645	1,8645	3,4764					
13-mars	0,9093	0,8899	2,1800	2,1800	4,7525					



Exemple: Comment calculer le facteur de compressibilité Z par Les commandes de MATLAB 2013a de Van Der Waal's (VDW EOS).

MATLAB 2013a

```
clc; clear all; close all;
```

```
%% Les Entrées
```

```
yi(1,:) = [0.7741 0.1302 0.0642 0.0067 0.0129 0.0032 0.0028 0.0009 0.0002 0.0038 0.0010];  
yi(2,:) = [0.7742 0.1312 0.0638 0.0066 0.0126 0.0001 0.0009 0.0059 0.0030 0.0015 0.0002];  
yi(3,:) = [0.7759 0.1297 0.0636 0.0070 0.0133 0.0035 0.0029 0.0009 0.0003 0.0022 0.0007];  
yi(4,:) = [0.7656 0.1231 0.0581 0.0065 0.0113 0.0027 0.0022 0.0008 0.0116 0.0154 0.0027];  
yi(5,:) = [0.7708 0.1247 0.0592 0.0065 0.0120 0.0030 0.0025 0.0003 0.0077 0.0124 0.0009];  
yi(6,:) = [0.7847 0.1279 0.0605 0.0063 0.0109 0.0025 0.0021 0.0002 0.0027 0.0020 0.0002];  
yi(7,:) = [0.7876 0.1271 0.0581 0.0059 0.0104 0.0024 0.0019 0.0002 0.0020 0.0022 0.0022];  
yi(8,:) = [0.7840 0.1272 0.0590 0.0059 0.0105 0.0024 0.0019 0.0003 0.0054 0.0021 0.0013];  
yi(9,:) = [0.7854 0.1265 0.0599 0.0062 0.0102 0.0021 0.0017 0.0004 0.0052 0.0022 0.0002];  
yi(10,:) = [0.7801 0.1294 0.0625 0.0066 0.0113 0.0001 0.0024 0.0008 0.0048 0.0014 0.0006];  
yi(11,:) = [0.8861 0.0781 0.0134 0.0035 0.0050 0.0006 0.0008 0.0003 0.0054 0.0057 0.0011];  
yi(12,:) = [0.7856 0.1226 0.0594 0.0064 0.0109 0.0023 0.0019 0.0006 0.0002 0.0027 0.0074];  
yi(13,:) = [0.7771 0.1302 0.0637 0.0065 0.0115 0.0026 0.0021 0.0003 0.0039 0.0018 0.0003];  
yi(14,:) = [0.8280 0.1334 0.0151 0.0030 0.0059 0.0026 0.0020 0.0005 0.0049 0.0044 0.0004];  
yi(15,:) = [0.7765 0.1285 0.0685 0.0062 0.0109 0.0024 0.0019 0.0005 0.0025 0.0019 0.0002];
```

```
%% Les Constants
```

```
[s,z] = size(yi);  
t = [1:s];  
T = 554.67;  
P = 536.63;  
R = 10.73;  
Tci = [343.08 549.72 665.64 734.76 765.36 828.72 845.46 913.32 227.34 547.56 278.0658];  
Pci = [667.754952 707.78544 616.266462 529.098624 550.709286 490.373478 488.633022 ...  
436.854456 492.984162 1070.670516 731.3092];  
Wi = [0.0115 0.0995 0.1523 0.177 0.2002 0.2275 0.2515 0.3013 0.225 0.04 0.022];
```



```
Kij = [0.000 0.005 0.010 0.035 0.025 0.050 0.030 0.030 0.025 0.105 0.000;...
       0.005 0.000 0.005 0.005 0.010 0.020 0.020 0.020 0.010 0.130 0.000;...
       0.010 0.005 0.000 0.000 0.000 0.015 0.015 0.010 0.090 0.123 0.000;...
       0.035 0.005 0.000 0.000 0.005 0.005 0.005 0.005 0.095 0.120 0.000;...
       0.025 0.010 0.000 0.005 0.000 0.005 0.005 0.005 0.095 0.115 0.000;...
       0.050 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
       0.030 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
       0.030 0.020 0.010 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.110 0.115 0.000;...
       0.025 0.010 0.090 0.095 0.095 0.100 0.100 0.110 0.000 0.000 0.000;...
       0.105 0.130 0.123 0.120 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.000 0.000;...
       0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000];
```

%% Les Calculs

```
for i=1:11
```

```
    aci(i) = 0.421875*(R*Tci(i))^2/Pci(i);
```

```
    bi(i) = 0.125*R*Tci(i)/Pci(i);
```

```
end
```

```
for ii=1:s
```

```
    xi = yi(ii,:);
```

```
    am = 0;
```

```
    for i=1:11
```

```
        for j=1:11
```

```
            am = am + (xi(i)*xi(j))*sqrt(aci(i)*aci(j))*(1-Kij(i,j));
```

```
        end
```

```
    end
```

```
    bm = 0;
```

```
    for i = 1:11
```

```
        bm = bm + (bi(i)*xi(i));
```

```
    end
```

```
A = am*P/(R*T)^2;
```



```
B = bm*P/(R*T);

C2 = -(1+B);
C3 = A;
C4 = -A*B;
coef = [1,C2,C3,C4];
Z(ii) = max(roots(coef));
coeff(ii,:) = coef;

end

%% L'Affichage
disp('les coefficients de Z : ')
disp(coef)
disp('Le Maximum des racines : ')
disp(Z)

%% Le Graphe
plot(t,Z, '-.rd')
xlabel('Le temps (j)')
ylabel('facteur de compressibilité Z')
title('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de temps')
grid on;
```

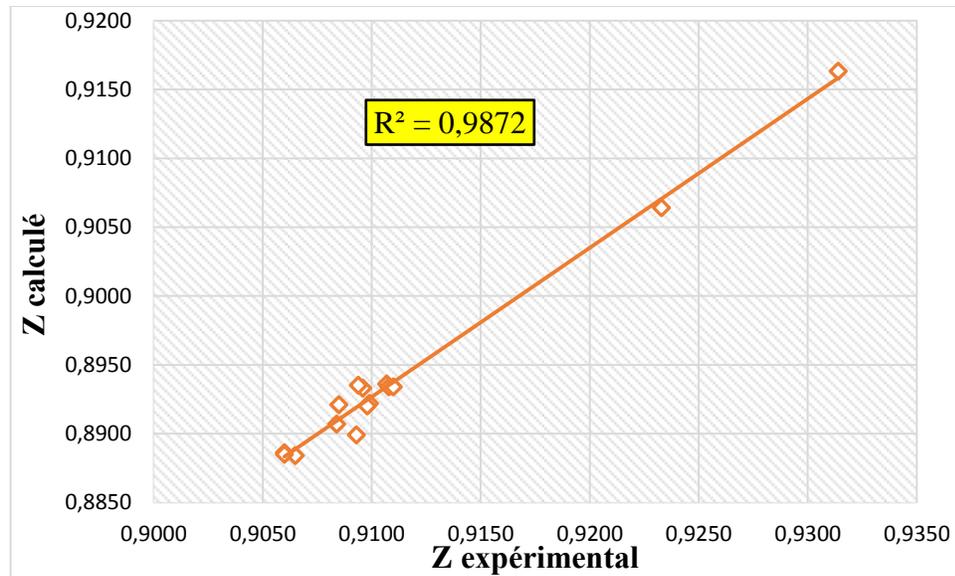


Figure III.1 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de VDW.

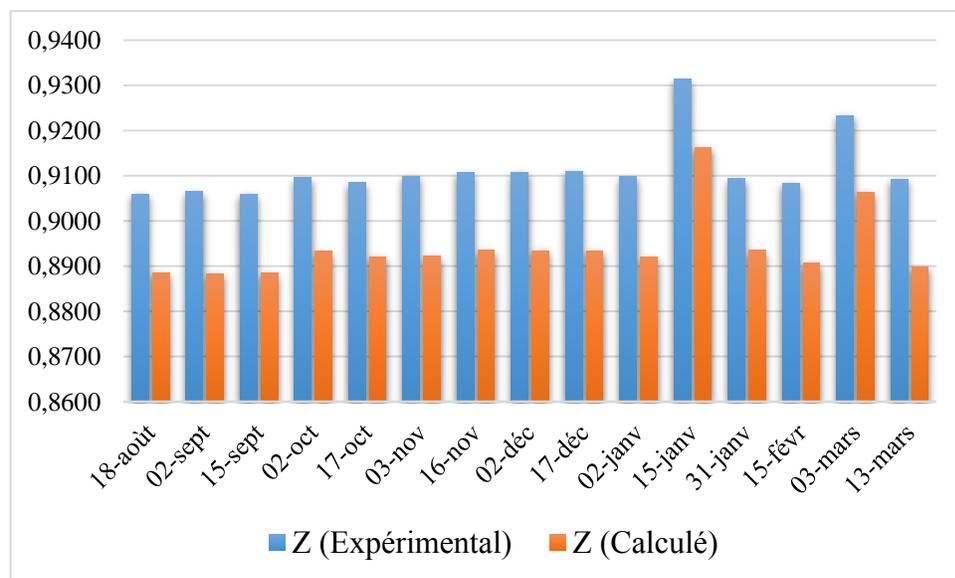


Figure III.2 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de VDW.

D'après la comparaison entre z expérimental et z calculé par l'équation de VDW, on remarque qu'il y a une erreur de 1.9265.



III.2.2 Soave-Redlich-Kwong (SRK EOS) (1972) :

Tableau III.2 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de SRK.

La date	Z (Exp)	Z (Cal)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,8968	1,0259	1,0259	0,0356	0,8373	0,8373	1,1795	0,1075	0,8356
02-sept	0,9065	0,8966	1,1042	1,1042	1,2192					
15-sept	0,9060	0,8967	1,0371	1,0371	1,0757					
02-oct	0,9096	0,9027	0,7644	0,7644	0,5843					
17-oct	0,9085	0,9013	0,7988	0,7988	0,6382					
03-nov	0,9099	0,9016	0,9206	0,9206	0,8475					
16-nov	0,9107	0,9032	0,8304	0,8304	0,6895					
02-déc	0,9108	0,9032	0,8415	0,8415	0,7080					
17-déc	0,9110	0,9031	0,8748	0,8748	0,7652					
02-janv	0,9098	0,9015	0,9207	0,9207	0,8477					
15-janv	0,9314	0,9304	0,1075	0,1075	0,0116					
31-janv	0,9094	0,9029	0,7199	0,7199	0,5183					
15-févr	0,9084	0,8998	0,9558	0,9558	0,9135					
03-mars	0,9233	0,9189	0,4788	0,4788	0,2293					
13-mars	0,9093	0,8987	1,1795	1,1795	1,3912					

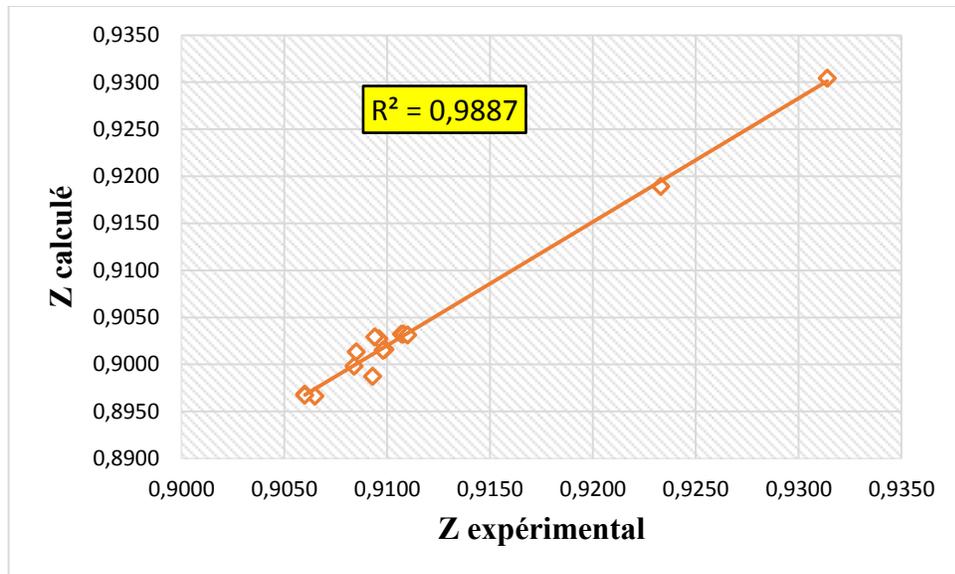


Figure III.3 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de SRK.

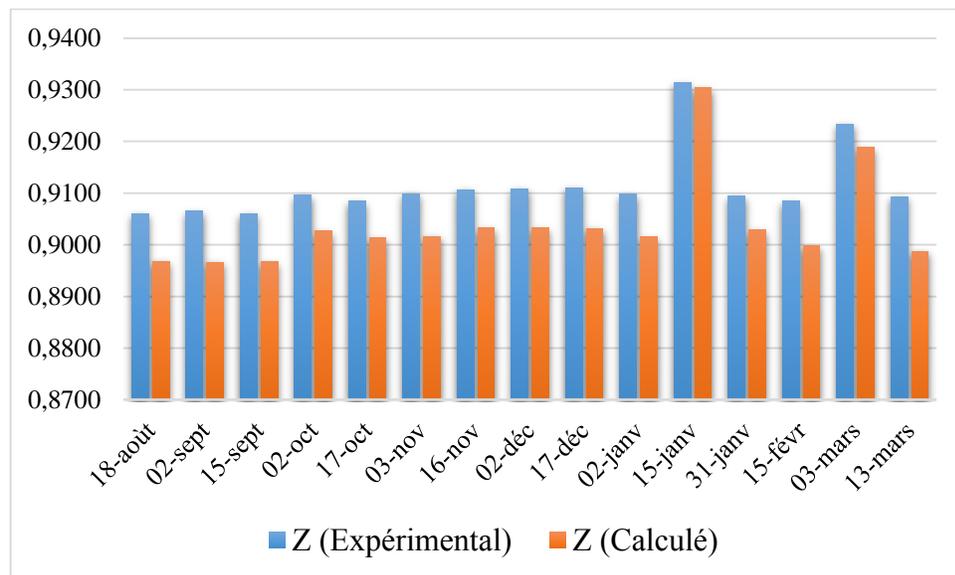


Figure III.4 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de SRK.

D'après la comparaison entre z expérimental et z calculé par l'équation de SRK, on remarque qu'il y a une erreur de 0,8373.



III.2.3 Peng Robinsons (PR EOS) (1976) :

Tableau III.3 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de Peng Robinson.

La date	Z Exp	Z Cal	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,906	0,8773	3,2714	3,2714	0,0598	3,0269	3,0269	3,4236	2,0489	0,3343
02-sept	0,9065	0,8770	3,3637	3,3637	0,1135					
15-sept	0,906	0,8771	3,2949	3,2949	0,0719					
02-oct	0,9096	0,8835	2,9542	2,9542	0,0053					
17-oct	0,9085	0,8820	3,0045	3,0045	0,0005					
03-nov	0,9099	0,8823	3,1282	3,1282	0,0103					
16-nov	0,9107	0,8839	3,0320	3,0320	0,0000					
02-déc	0,9108	0,8839	3,0433	3,0433	0,0003					
17-déc	0,911	0,8839	3,0660	3,0660	0,0015					
02-janv	0,9098	0,8821	3,1402	3,1402	0,0128					
15-janv	0,9314	0,9127	2,0489	2,0489	0,9565					
31-janv	0,9094	0,8837	2,9082	2,9082	0,0141					
15-févr	0,9084	0,8803	3,1921	3,1921	0,0273					
03-mars	0,9233	0,9005	2,5319	2,5319	0,2450					
13-mars	0,9093	0,8792	3,4236	3,4236	0,1574					

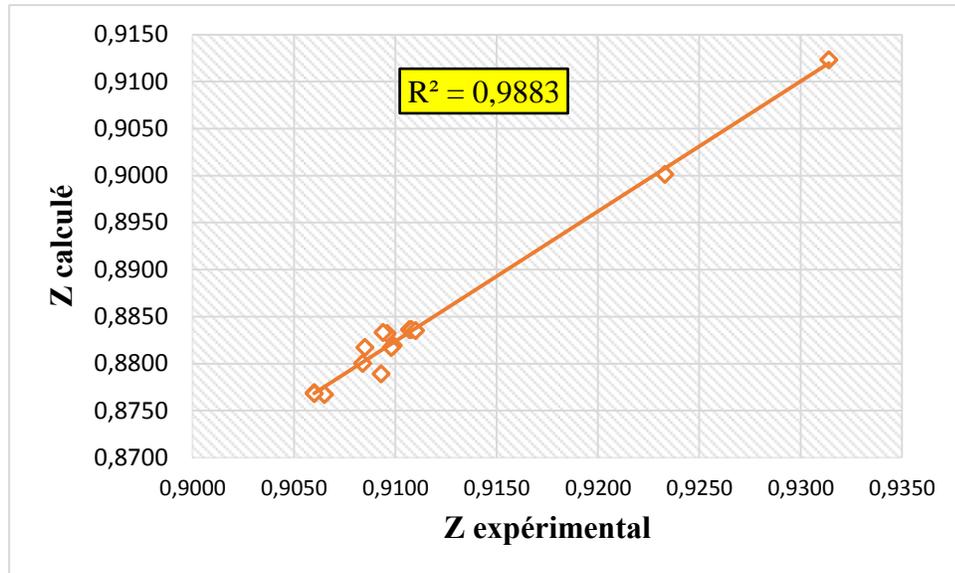


Figure III.5 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PR.

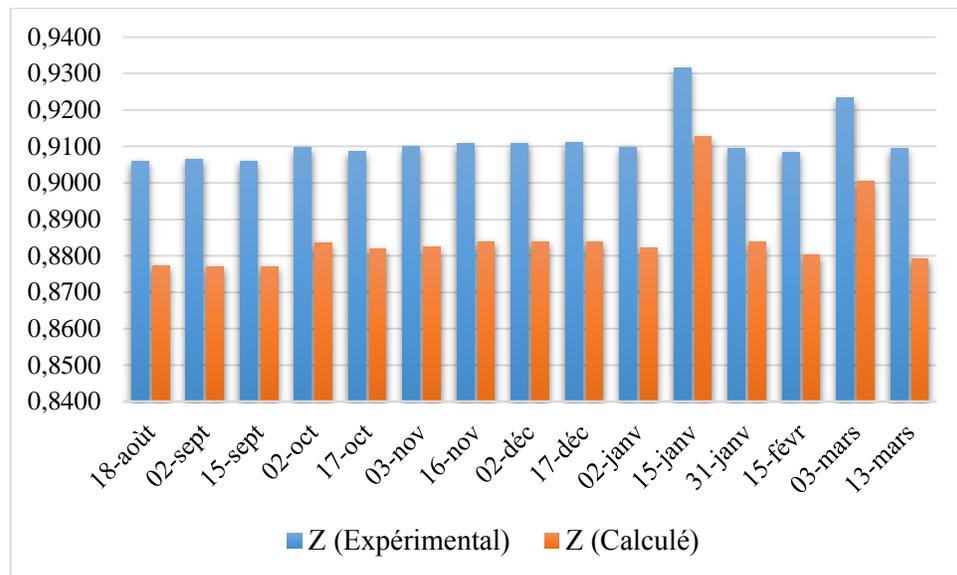


Figure III.6 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PR.

D'après la comparaison entre la Z expérimental et Z calculé par l'équation de PR, on remarque qu'il existe une erreur important de 3.0269.



III.2.4 Patel-Teja (PT EOS) (1982) :

Tableau III.4 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de Patel et Teja.

La date	Z (Exp)	Z (Cal)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,8987	0,8123	0,8123	0,0122	0,7019	0,7019	0,9997	0,2152	0,6936
02-sept	0,9065	0,8986	0,8791	0,8791	0,7729					
15-sept	0,9060	0,8985	0,8347	0,8347	0,6968					
02-oct	0,9096	0,9041	0,6083	0,6083	0,3701					
17-oct	0,9085	0,9027	0,6425	0,6425	0,4128					
03-nov	0,9099	0,9030	0,7641	0,7641	0,5839					
16-nov	0,9107	0,9044	0,6966	0,6966	0,4852					
02-déc	0,9108	0,9044	0,7077	0,7077	0,5008					
17-déc	0,9110	0,9044	0,7298	0,7298	0,5326					
02-janv	0,9098	0,9028	0,7754	0,7754	0,6012					
15-janv	0,9314	0,9294	0,2152	0,2152	0,0463					
31-janv	0,9094	0,9042	0,5751	0,5751	0,3307					
15-févr	0,9084	0,9013	0,7878	0,7878	0,6206					
03-mars	0,9233	0,9187	0,5007	0,5007	0,2507					
13-mars	0,9093	0,9003	0,9997	0,9997	0,9993					

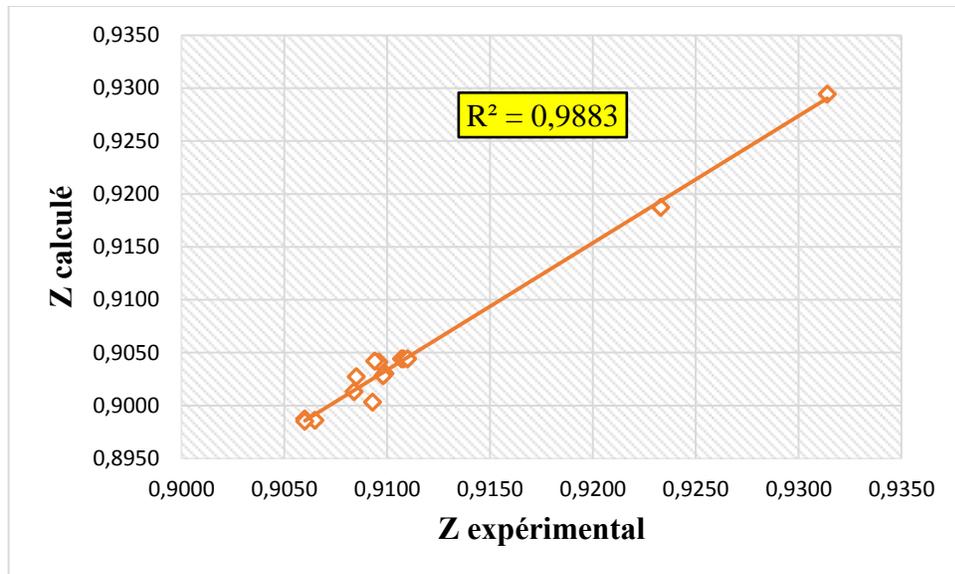


Figure III.7 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PT.

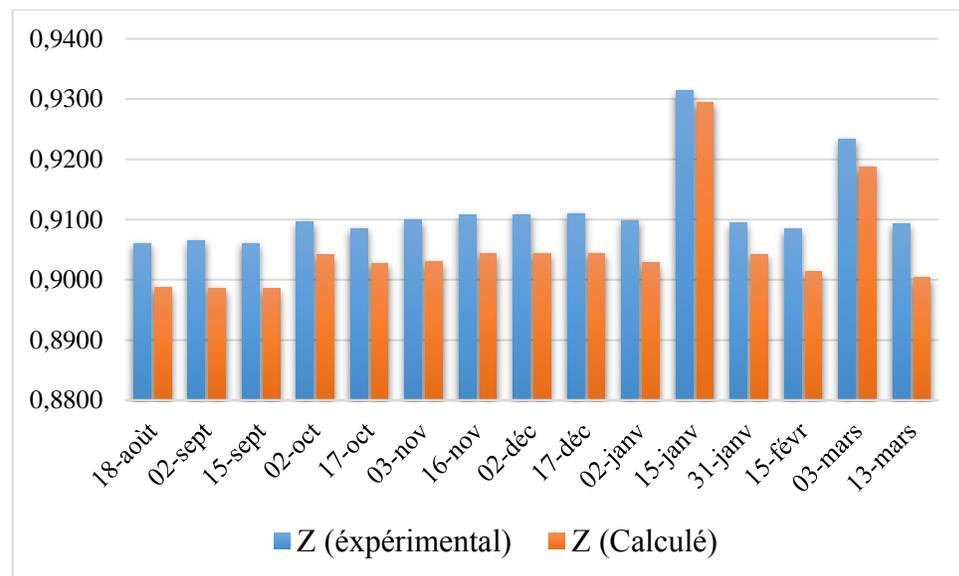


Figure III.8 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PT.

D'après la comparaison entre le Z expérimental et Z calculé par l'équation de PT, on remarque qu'il existe une erreur faible de 0.7019.



III.2.5 Nwankwo Princess (PN EOS) (2014) :

Tableau III.5 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation de PN.

La date	Z (Exp)	Z (Cal)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,8986	0,8235	0,8235	0,0132	0,7086	0,7086	0,9997	0,2152	0,6998
02-sept	0,9065	0,8985	0,8904	0,8904	0,7928					
15-sept	0,9060	0,8985	0,8347	0,8347	0,6968					
02-oct	0,9096	0,9040	0,6195	0,6195	0,3837					
17-oct	0,9085	0,9027	0,6425	0,6425	0,4128					
03-nov	0,9099	0,9029	0,7753	0,7753	0,6011					
16-nov	0,9107	0,9043	0,7077	0,7077	0,5009					
02-déc	0,9108	0,9043	0,7188	0,7188	0,5167					
17-déc	0,9110	0,9043	0,7409	0,7409	0,5489					
02-janv	0,9098	0,9028	0,7754	0,7754	0,6012					
15-janv	0,9314	0,9294	0,2152	0,2152	0,0463					
31-janv	0,9094	0,9041	0,5862	0,5862	0,3437					
15-févr	0,9084	0,9012	0,7989	0,7989	0,6383					
03-mars	0,9233	0,9187	0,5007	0,5007	0,2507					
13-mars	0,9093	0,9003	0,9997	0,9997	0,9993					

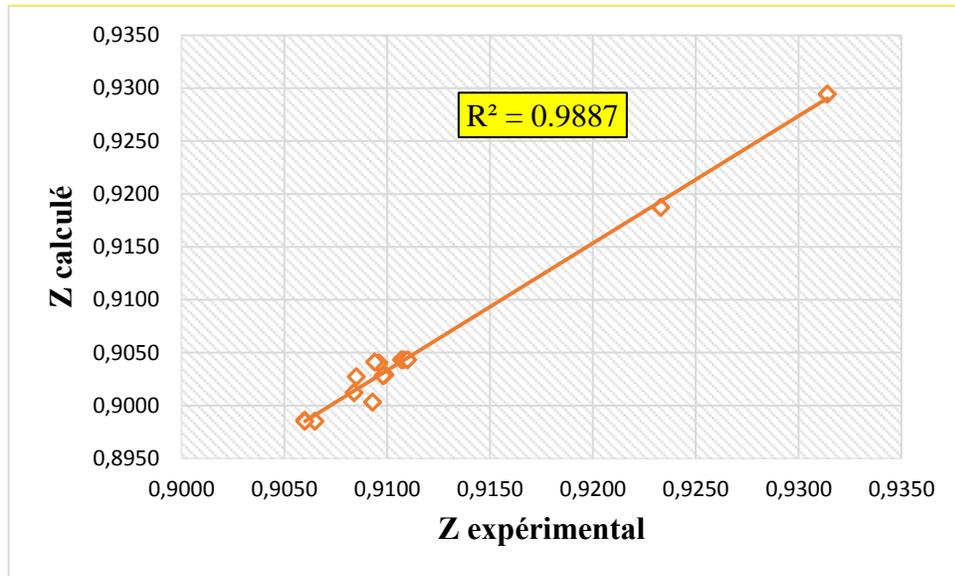


Figure III.9 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PN.

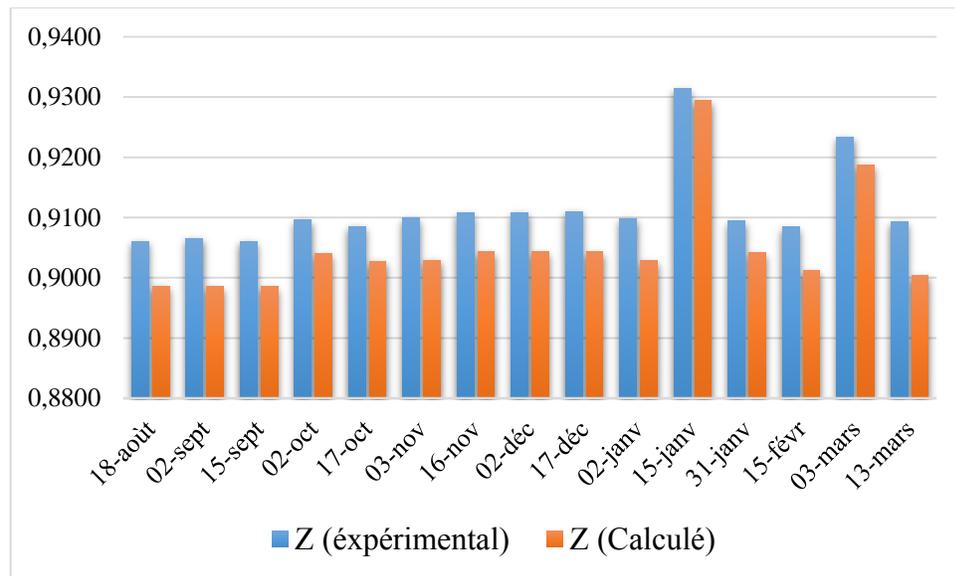


Figure III.10 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par l'équation de PN.

Cette analyse indique qu'il y a une erreur de 0.7086.

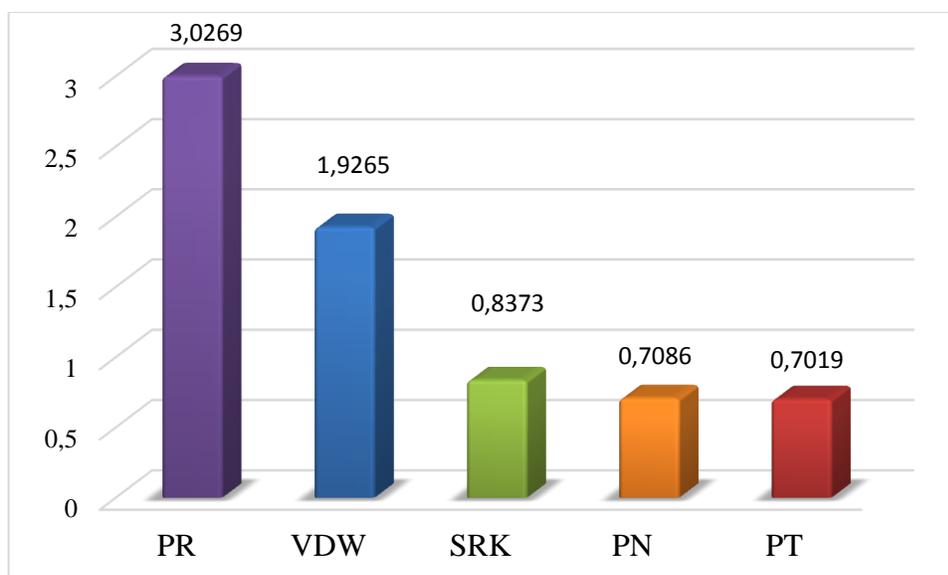


Figure III.11 : Comparaison entre les erreurs des équations.

Tableau III.6 : Comparaison entre les R^2 et les erreurs absolues.

L'équation d'état	Ea	R^2
PR	3,0269%	0.9883
VDR	1.9265%	0.9872
SRK	0.8373%	0.9887
PN	0.7086%	0.9887
PT	0.7019%	0.9883

Après l'étude et l'analyse statistique primaire (avant les modifications) des résultats des différentes équations d'état (VDR, SRK, PR, PT et PN), on remarque que :

L'erreur absolue moyenne minimum a été donnée par l'équation de Patel et Teja ($E_a = 0.7019\%$), et l'erreur absolue moyenne maximum a été calculé par l'équation de Peng Robinson ($E_a = 3.0672\%$).

Quand on compare entre les erreurs absolues moyennes présenté dans le Tableau III.6, on peut dire qu'ils sont proches, à cause de l'efficacité de notre programmation (Excel et MATLAB).



III.4 Résultats et discussions avec modification des équations :

III.4.1 Van Der Waal's modifiée (VDW EOS) (1873) :

Tableau III.7 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de VDW.

La date	Z (Exp)	Z (mod)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,9061	-0,0110	0,0110	0,0043	0,0546	0,0854	0,2315	0,0000	0,1073
02-sept	0,9065	0,9060	0,0552	0,0552	0,0030					
15-sept	0,9060	0,9060	0,0000	0,0000	0,0000					
02-oct	0,9096	0,9101	-0,0549	0,0549	0,0030					
17-oct	0,9085	0,9091	-0,0660	0,0660	0,0044					
03-nov	0,9099	0,9092	0,0770	0,0770	0,0059					
16-nov	0,9107	0,9103	0,0439	0,0439	0,0019					
02-déc	0,9108	0,9103	0,0549	0,0549	0,0030					
17-déc	0,9110	0,9102	0,0879	0,0879	0,0077					
02-janv	0,9098	0,9090	0,0880	0,0880	0,0077					
15-janv	0,9314	0,9300	0,1505	0,1505	0,0227					
31-janv	0,9094	0,9103	-0,0989	0,0989	0,0098					
15-févr	0,9084	0,9079	0,0551	0,0551	0,0030					
03-mars	0,9233	0,9214	0,2062	0,2062	0,0425					
13-mars	0,9093	0,9072	0,2315	0,2315	0,0536					

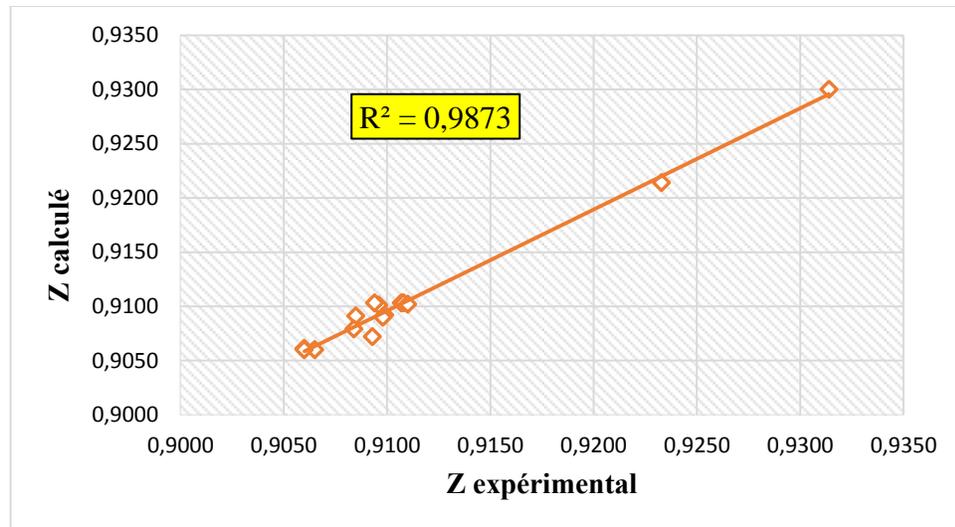


Figure III.12 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par VDW modifiée.

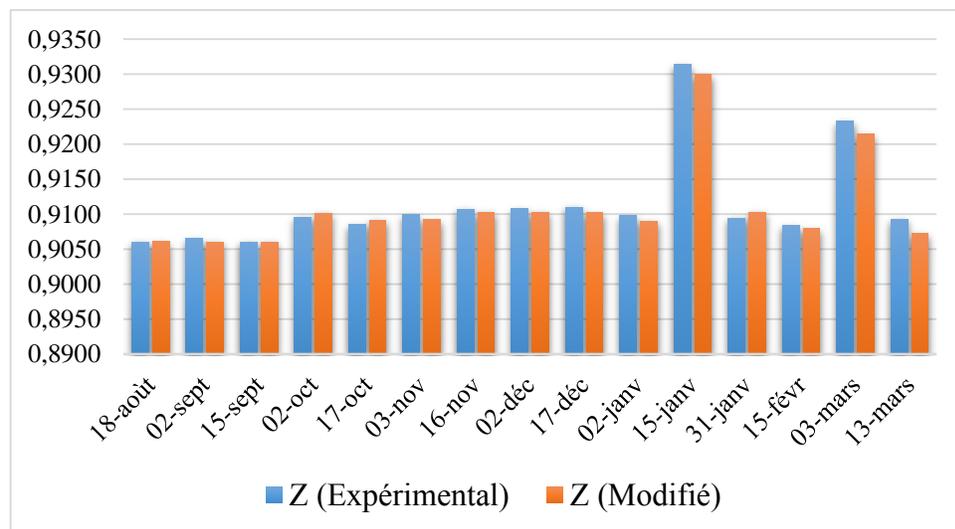


Figure III.13 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par VDW modifiée.

On a fait les modifications dans les formules de a_c et b de VDW (EOS) comme suite :

Tableau III.8 : les valeurs des paramètres de Ω avant et après les modifications.

le paramètre	Avant les modifications	Après les modifications
Ω_a	0.421875	0.390
Ω_b	0.1250	0.1275



III.4.2 Soave-Redlich-Kwong modifiée (SRK EOS) (1972):

Tableau III.9 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de SRK.

La date	Z (Exp)	Z (mod)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,9060	0,0000	0,0000	0,0099	-0,0993	0,1346	0,6507	0,0000	0,2149
02-sept	0,9065	0,9060	0,0552	0,0552	0,0030					
15-sept	0,9060	0,9059	0,0110	0,0110	0,0001					
02-oct	0,9096	0,9108	-0,1318	0,1318	0,0174					
17-oct	0,9085	0,9096	-0,1209	0,1209	0,0146					
03-nov	0,9099	0,9102	-0,0330	0,0330	0,0011					
16-nov	0,9107	0,9117	-0,1097	0,1097	0,0120					
02-déc	0,9108	0,9115	-0,0768	0,0768	0,0059					
17-déc	0,9110	0,9115	-0,0549	0,0549	0,0030					
02-janv	0,9098	0,9099	-0,0110	0,0110	0,0001					
15-janv	0,9314	0,9375	-0,6507	0,6507	0,4234					
31-janv	0,9094	0,9116	-0,2413	0,2413	0,0582					
15-févr	0,9084	0,9084	0,0000	0,0000	0,0000					
03-mars	0,9233	0,9263	-0,3239	0,3239	0,1049					
13-mars	0,9093	0,9075	0,1983	0,1983	0,0393					

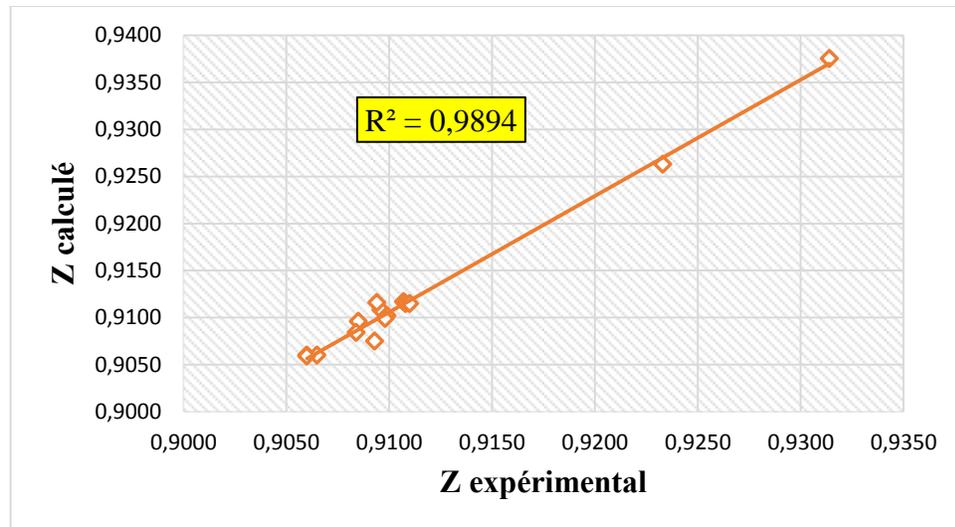


Figure III.14 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par SRK modifiée.

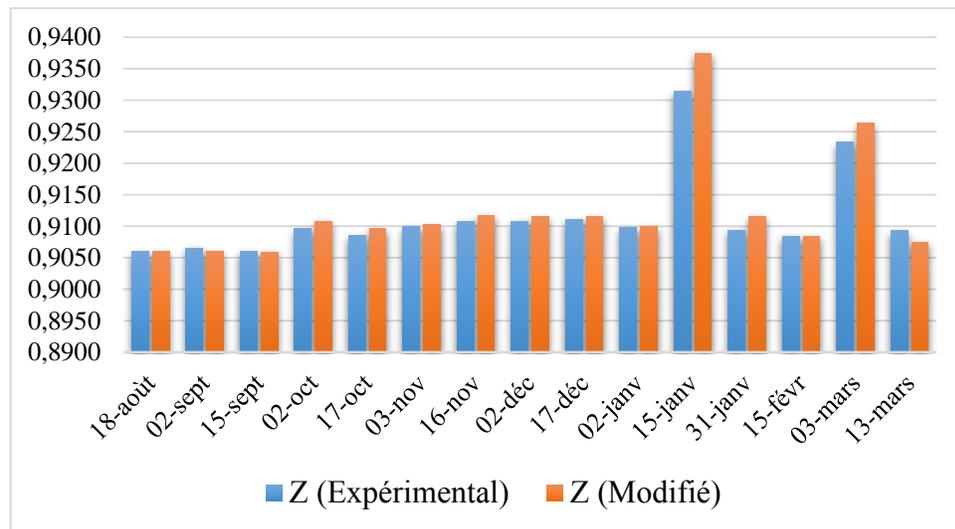


Figure III.15 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par SRK modifiée.

On a fait les modifications dans la formule de α de SRK (EOS) comme suite :

Tableau III.10 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.

le paramètre	Avant les modifications	Après les modifications
A	-0.1561	- 2.882
B	1.55171	0.010
C	0.48508	0.6105



III.4.3 Peng Robinsons modifiée (PR EOS) (1976) :

Tableau III.11 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de Peng Robinson.

La date	Z (Exp)	Z (mod)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,906	0,9056	0,0442	0,0442	0,0243	-0,1117	0,1691	0,8516	0,011	0,2482
02-sept	0,9065	0,9056	0,0994	0,0994	0,0446					
15-sept	0,906	0,9056	0,0442	0,0442	0,0243					
02-oct	0,9096	0,9107	-0,1208	0,1208	0,0001					
17-oct	0,9085	0,9095	-0,11	0,11	0					
03-nov	0,9099	0,9102	-0,033	0,033	0,0062					
16-nov	0,9107	0,9118	-0,1206	0,1206	0,0001					
02-déc	0,9108	0,9116	-0,0878	0,0878	0,0006					
17-déc	0,911	0,9116	-0,0658	0,0658	0,0021					
02-janv	0,9098	0,9099	-0,011	0,011	0,0101					
15-janv	0,9314	0,9394	-0,8516	0,8516	0,5475					
31-janv	0,9094	0,9117	-0,2523	0,2523	0,0198					
15-févr	0,9084	0,9082	0,022	0,022	0,0179					
03-mars	0,9233	0,9275	-0,4528	0,4528	0,1164					
13-mars	0,9093	0,9073	0,2204	0,2204	0,1103					

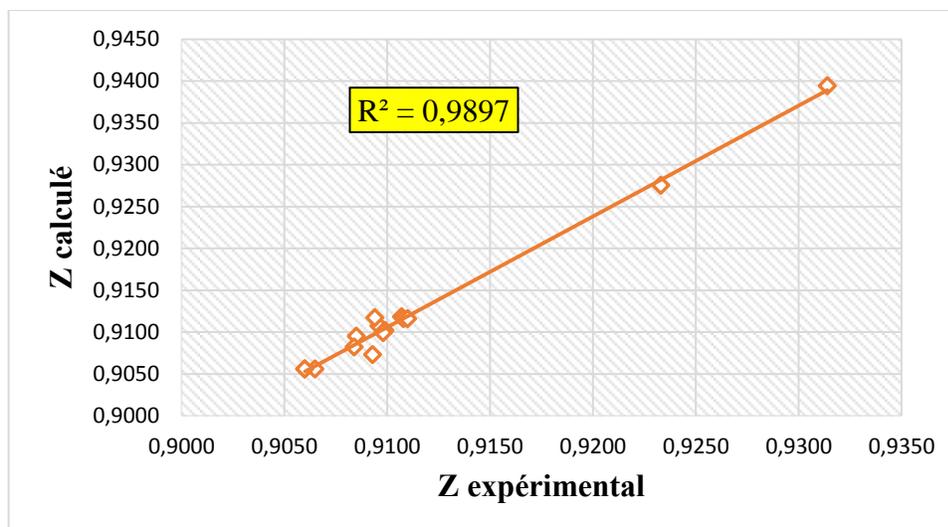


Figure III.16 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par Peng Robinson modifiée.

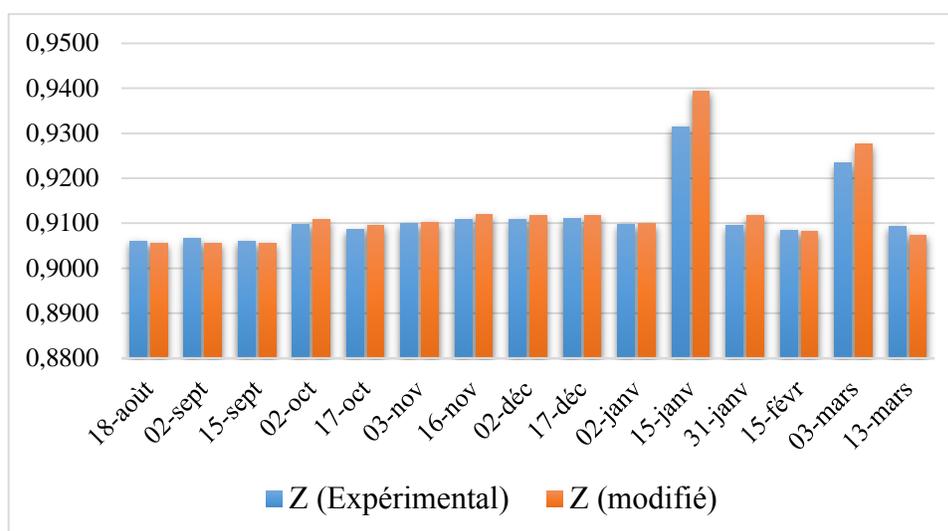


Figure III.17 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PR modifiée.

On a fait les modifications dans la formule de α de PR (EOS) comme suite :

Tableau III.12 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.

le paramètre	Avant les modifications	Après les modifications
A	-0.2699	- 3.178
B	1.54226	0.03
C	0.3796	0.798



III.4.4 Patel-Teja modifiée (PT EOS) (1982) :

Tableau III.13 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de Patel et Teja.

La date	Z (Exp)	Z (mod)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,9061	-0,0110	0,0110	0,0023	-0,0591	0,0929	0,4063	0,0110	0,1427
02-sept	0,9065	0,9062	0,0331	0,0331	0,0011					
15-sept	0,9060	0,9061	-0,0110	0,0110	0,0001					
02-oct	0,9096	0,9106	-0,1098	0,1098	0,0121					
17-oct	0,9085	0,9095	-0,1100	0,1100	0,0121					
03-nov	0,9099	0,9100	-0,0110	0,0110	0,0001					
16-nov	0,9107	0,9113	-0,0658	0,0658	0,0043					
02-déc	0,9108	0,9112	-0,0439	0,0439	0,0019					
17-déc	0,9110	0,9111	-0,0110	0,0110	0,0001					
02-janv	0,9098	0,9097	0,0110	0,0110	0,0001					
15-janv	0,9314	0,9352	-0,4063	0,4063	0,1651					
31-janv	0,9094	0,9113	-0,2085	0,2085	0,0435					
15-févr	0,9084	0,9083	0,0110	0,0110	0,0001					
03-mars	0,9233	0,9247	-0,1514	0,1514	0,0229					
13-mars	0,9093	0,9075	0,1983	0,1983	0,0393					

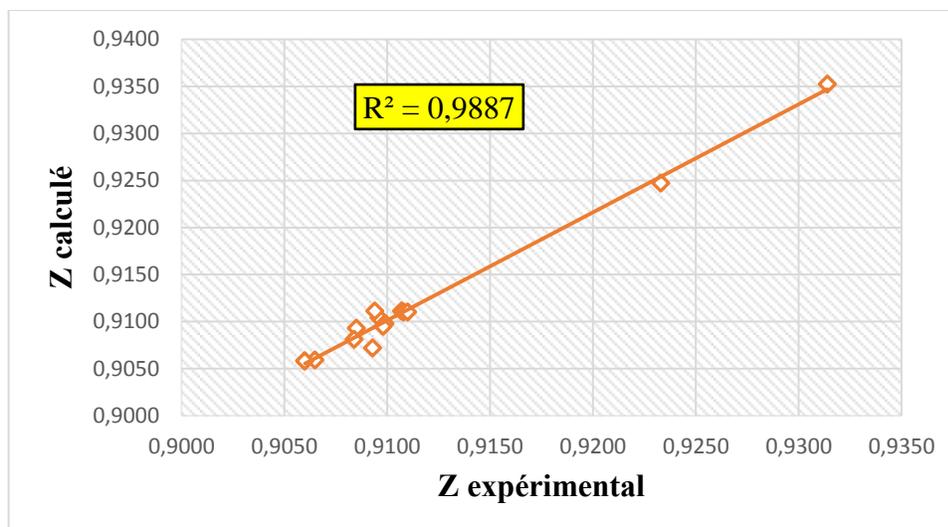


Figure III.18 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par PT modifiée.

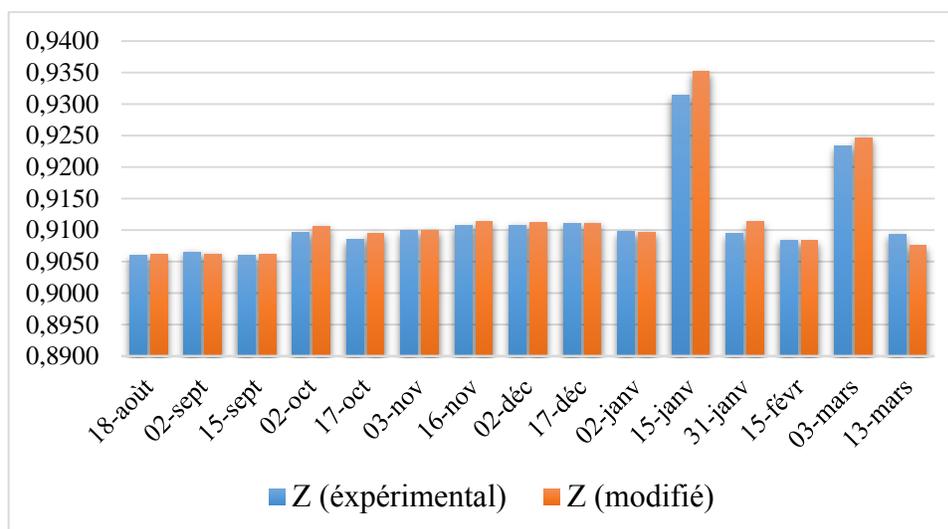


Figure III.19 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PT modifiée.

On a fait les modifications dans la formule de α de PT (EOS) comme suite :

Tableau III.14 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.

le paramètre	Avant les modifications	Après les modifications
A	-0.295937	- 3.50
B	1.30982	0.009
C	0.452413	0.554



III.4.5 Nwankwo Princess modifiée (PN EOS) (2014) :

Tableau III.15 : Étude statistique de facteur (Z) par l'équation modifiée de PN.

La date	Z (Exp)	Z (mod)	Ei	Ei	(Ei-Er) ²	Er	Ea	E max	E min	S
18-août	0,9060	0,9060	0,0000	0,0000	0,0031	-0,0560	0,0972	0,4383	0,0000	0,1511
02-sept	0,9065	0,9060	0,0552	0,0552	0,0030					
15-sept	0,9060	0,9059	0,0110	0,0110	0,0001					
02-oct	0,9096	0,9106	-0,1098	0,1098	0,0121					
17-oct	0,9085	0,9095	-0,1100	0,1100	0,0121					
03-nov	0,9099	0,9099	0,0000	0,0000	0,0000					
16-nov	0,9107	0,9113	-0,0658	0,0658	0,0043					
02-déc	0,9108	0,9112	-0,0439	0,0439	0,0019					
17-déc	0,9110	0,9111	-0,0110	0,0110	0,0001					
02-janv	0,9098	0,9097	0,0110	0,0110	0,0001					
15-janv	0,9314	0,9355	-0,4383	0,4383	0,1921					
31-janv	0,9094	0,9112	-0,1975	0,1975	0,0390					
15-févr	0,9084	0,9082	0,0220	0,0220	0,0005					
03-mars	0,9233	0,9249	-0,1730	0,1730	0,0299					
13-mars	0,9093	0,9074	0,2094	0,2094	0,0438					

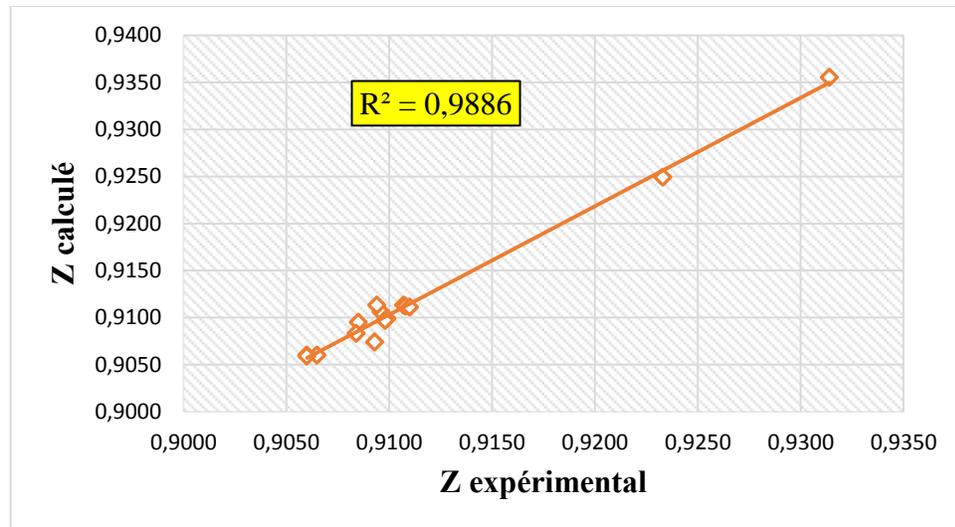


Figure III.20 : L'écart entre Z expérimental et Z calculé par PN modifiée.

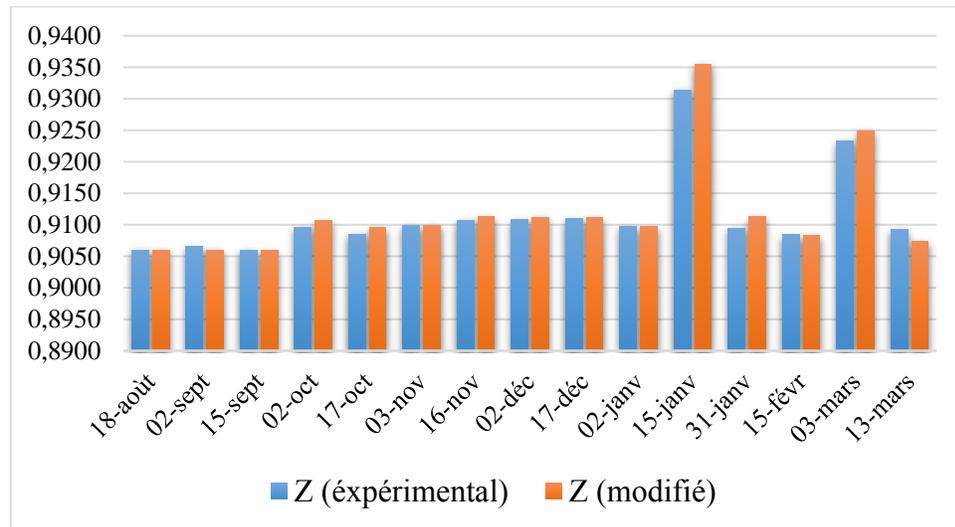


Figure III.21 : La différence entre Z expérimental et Z calculé par PN modifiée.

On a fait les modifications dans la formule de α de PN comme suite :

Tableau III.16 : les valeurs des paramètres de α avant et après les modifications.

le paramètre	Avant les modifications	Après les modifications
A	-0.295937	- 2.20
B	1.30982	0.105
C	0.452413	0.558

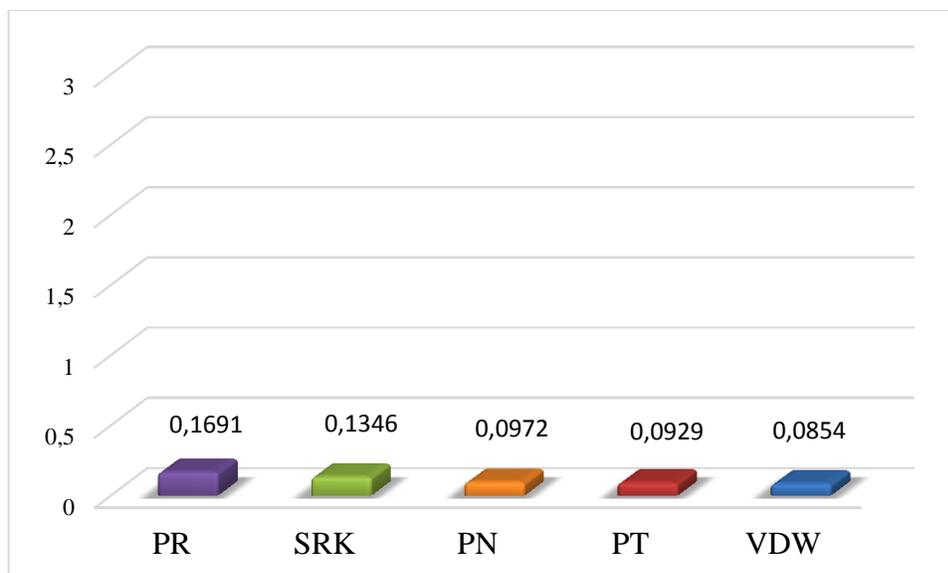


Figure III.22 : Comparaison entre les erreurs des équations.

Tableau III.17 : Comparaison entre les R^2 et les erreurs absolue.

L'équation d'état	Ea	R^2
PR modifiée	0.1691%	0.9897
SRK modifiée	0.1346%	0.9894
PN modifiée	0.0972%	0.9886
PT modifié	0.0929%	0.9887
VDR modifié	0.0854%	0.9873

Après les modifications qu'on a fait dans les différentes équations d'état (VDR, SRK, PR, PT et PN), on remarque que :

L'erreur absolue moyenne minimum a été donné par l'équation de Van Der Waal's modifiée ($E_a = 0.0854\%$), et l'erreur absolue moyenne maximum a été calculé par l'équation de Peng Robinson modifié ($E_a = 0.1691\%$).

L'analyse statistique des résultats des équations d'état modifiés a montré une fiabilité très importante, et les erreurs absolues moyennes résultantes sont négligeables, même l'optimisation et la diminution des erreurs absolues moyennes est effective et remarquable.



CONCLUSION

ET

RECOMMENDATION





CONCLUSION

Le gaz naturel joue un rôle énergétique intéressant, l'importance de ses réserves et ses avantages sur le plan économique et environnemental favorisent son exploitation.

Le gaz naturel à sa sortie des puits n'est pas directement utilisé avant qu'il subit une étude de PVT nécessaire pour déterminer ses caractéristiques telles que le facteur de compressibilité.

Le facteur de compressibilité Z est un paramètre très important dans le calcul de l'ingénierie thermodynamique, et pour cette raison on a basé dans ce travail sur :

- ✓ L'étude thermodynamique (PVT) d'un échantillon de gaz naturel algérien.
- ✓ L'application des équations d'état les plus célèbres telles que : VDW, SRK, PR, PT et New EOS.
- ✓ La modification des paramètres de ces équations, à l'objectif d'être le facteur de compressibilité modifié plus proche au facteur de compressibilité expérimental.
- ✓ L'analyse statistique et graphique des résultats des équations d'état avant et après les modifications.

Nous avons montré à travers des calculs simples comment on peut profiter les avantages des capacités numériques et graphiques de MATLAB et EXCEL pour effectuer l'estimation des propriétés de facteur de compressibilité, et les équations d'état de trois paramètres rendent très propices.

La méthode suivi dans cette étude est universelle et peut être largement utilisée pour d'autres fluides hydrocarbures.



RECOMMANDATION

En fin de ce travail, on veut faire quelques recommandations pour les prochaines études sur la thermodynamique :

- ✓ La base de données doit être plus large et actuels.
- ✓ Il faut appliquer les équations d'état les plus célèbres et les plus récentes.
- ✓ Elargir cette étude par d'autres régions et faire un échantillonnage selon le type de réservoir.
- ✓ L'étude peut être appliquée sur d'autres propriétés de PVT telles que la densité, la viscosité et le facteur de volume de formation.



RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES





RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Ahmed, Tarek H. Hydrocarbon phase behavior. Vol. 7. Gulf Pub Co, 1989.
- [02] Ahmed, Tarek. Reservoir engineering handbook. Gulf Professional Publishing, 2006.
- [03] Ahmed, T. "Equations of state and PVT analysis: applications for improved reservoir modeling. 2007, Houston, Tex." Gulf Publ. XI.
- [04] Ahmed, Tarek, and Paul McKinney. Advanced reservoir engineering. Gulf Professional Publishing, 2011.
- [05] Ben Achour, Seif Eddine. Maarouf, Mohamed Hocine, "Développement et modélisation des corrélations et d'équation d'état cubique de Peng-Robinson du facteur de compressibilité (Z) du gaz naturel Algérien". Mémoire master option Kasdi Merbah Ouargla, 2016.
- [06] Gravier, J. F. Propriétés des fluides de gisements. Vol. 2. Editions Technip, 1986.
- [07] Hadjadj, Mohamed Fodil. Hadjoudj, Abdelhak Med Amin, "Evaluation Des Corrélations Du Facteur De Compressibilité (Z) Du Gaz Naturel Pour Des Réservoirs Du Gaz Algérien". Mémoire master option, Kasdi Merbah Ouargla, 2014.
- [08] Nasri, Zakia, and Housam Binous. "Applications of the Peng–Robinson equation of state using MATLAB." Chemical Engineering Education 43.2 (2009): 1-10.
- [09] Nwankwo, Princess C. "A new equation of state for better liquid density prediction of natural gas systems." (2014).
- [10] Peng-Robinson equation." Fluid Phase Equilibria 105.1 (1995): 49-59.
- [11] Rojey, Alexandre, and Bernard Durand. Gaz naturel (Le). Editions OPHRYS, 1994.
- Mahdi, Walid, and Walid Hadji. Simulation thermodynamique du mélange eau/Glycol. MS thesis. 2014.
- [12] Soave, Giorgio. "Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state." Chemical Engineering Science 27.6 (1972): 1197-1203.
- [13] Sid Rouhou, Hadj Mohammed, "Etude Empirique Et Corrélative Des Propriétés Pvt Du Pétrole Algérien". Mémoire magister option. Génie pétrolière Ouargla, 2011.
- [14] Saffari, Hamid, and Alireza Zahedi. "A new alpha-function for the Peng-Robinson equation of state: application to natural gas." Chinese Journal of Chemical Engineering 21.10 (2013): 1155-1161.
- [15] Trebble, M. A., and P. R. Bishnoi. "Development of a new four-parameter cubic equation of state." Fluid Phase Equilibria 35.1-3 (1987): 1-18.
- [16] Twu, Chorn H., John E. Coon, and John R. Cunningham. "A new generalized alpha function for a cubic equation of state Part 1.



ANNEXE





I. Erreur en pourcent :

I.1 L'erreur en (%) :

$$E_i = \frac{Z_{\text{Expérimental}} - Z_{\text{Calculé}}}{Z_{\text{Calculé}}} \times 100 \quad (\text{A.1})$$

I.2 L'erreur absolue en (%) :

$$|E_i| \quad (\text{A.2})$$

II. Erreur moyenne :

II.1 L'erreur moyenne :

$$E_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (\text{A.3})$$

II.2 L'erreur moyenne absolue :

$$E_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i| \quad (\text{A.4})$$

III. La maximum erreur absolue :

$$E_{\text{max}} = \max |E_i| \quad (\text{A.5})$$

IV. La minimum erreur absolue :

$$E_{\text{min}} = \min |E_i| \quad (\text{A.6})$$

V. La déviation standard :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (E_i - E_r)^2} \quad (\text{A.7})$$

VI. La pression réduite:

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad (\text{A.8})$$

VII. La température réduite :

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (\text{A.9})$$



Print Date: Mon Mar 13 15:55:45 2017 Page 1 of 1
 Title :
 Run File : c:\star\data\2013\gt441 t1 13-03-2017.run
 Method File : c:\docume~1\algeria\locals~1\temp\~gasnat19oct2012.tmp
 Sample ID : GT441 T1 13-03-2017
 Injection Date: 3/13/2017 10:36 AM Calculation Date: 3/13/2017 1:21 PM
 Operator : Laboratory Detector Type: 3800 (10 Volts)
 Workstation: Bus Address : 44
 Instrument : Varian Star #1 Sample Rate : 10.00 Hz
 Channel : Middle = FID Run Time : 34.965 min
 ** Star Chromatography Workstation Version 6.00 ** 00709-20C8-C69-20A5 **
 Run Mode : Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: External Standard

Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes
1	C1	85.7357	3.787	0.007	4136354	BV	1.2	
2	C2	14.0866	4.164	0.008	1410850	VB	1.2	C
3	C3	6.8514	6.037	0.031	1034693	BB	2.2	C
4	i-C4	0.6840	12.972	-0.052	127255	BB	3.8	C
5	n-C4	1.1939	13.868	0.015	237305	BB	3.9	C
6		0.0000	20.007	0.000	1335	BV	3.2	
7	i-C5	0.2638	20.235	0.020	55386	VB	3.2	C
8	n-C5	0.2124	20.824	0.007	53678	BB	3.1	C
9		0.0000	25.228	0.000	1382	BV	2.8	
10		0.0000	25.315	0.000	11446	VV	3.1	
11		0.0000	25.403	0.000	6000	VV	3.5	
12	C6+	0.0545	25.915	0.250	15355	PB	3.1	C
Totals:		109.0823		0.286	7091039			

Status Codes:
 C - Out of calibration range
 Total Unidentified Counts : 20162 counts
 Detected Peaks: 16 Rejected Peaks: 4 Identified Peaks: 8
 Multiplier: 1 Divisor: 1 Unidentified Peak Factor: 0
 Baseline Offset: 2 microVolts LSB: 1 microVolts
 Noise (used): 13 microVolts - monitored before this run
 Manual injection
 Calib. out of range; No Recovery Action Specified

Print Date: Mon Mar 13 15:56:21 2017 Page 1 of 1
 Title :
 Run File : c:\star\data\2013\gt441 t1 13-03-2017.run
 Method File : c:\docume~1\algeria\locals~1\temp\~gasnat19oct2012.tmp
 Sample ID : GT441 T1 13-03-2017
 Injection Date: 3/13/2017 10:36 AM Calculation Date: 3/13/2017 1:54 PM
 Operator : Laboratory Detector Type: 3800 (10 Volts)
 Workstation: Bus Address : 44
 Instrument : Varian Star #1 Sample Rate : 10.00 Hz
 Channel : Front = TCD Run Time : 34.965 min
 ** Star Chromatography Workstation Version 6.00 ** 00709-20C8-C69-20A5 **
 Run Mode : Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: External Standard

Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes
1	CO2	0.2082	2.828	-0.006	41067	BB	6.8	U
2	O2	0.0256	10.208	0.000	6871	VB	6.8	U
3	N2	0.2703	10.848	0.004	71746	BB	15.8	U
Totals:		0.5041		-0.002	119684			

Status Codes:
 U - User-defined peak endpoint(s)
 Total Unidentified Counts : 0 counts
 Detected Peaks: 4 Rejected Peaks: 1 Identified Peaks: 3
 Multiplier: 1 Divisor: 1 Unidentified Peak Factor: 0
 Baseline Offset: -60 microVolts LSB: 1 microVolts
 Noise (used): 10 microVolts - monitored before this run
 Manual injection

Figure 1 : La Chromatographie d'un échantillon de T441 de champ MLN.



Tableau B.1 : La chromatographie des échantillons de T441 de champ MLN.

Date	COMPOSITION												MWg/mol	Sp.Gr
	O2	N2	CO2	C1	C2	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	C6+	TOTAL%		
05-Jun-16	0,02	0,34	0,18	77,82	13,09	6,34	0,67	1,27	0,01	0,26	0,00	100	20,72	0,7175
19-Jun-16	0,29	0,09	0,20	77,29	13,19	6,43	0,65	1,25	0,31	0,28	0,02	100	20,95	0,7254
30-Jun-16	0,54	0,10	0,30	76,99	12,99	6,40	0,68	1,33	0,33	0,28	0,06	100	21,07	0,7298
2-Aug-16	0,28	0,08	0,15	74,06	14,10	8,02	0,76	1,77	0,39	0,36	0,03	100	21,87	0,7578
18-Aug-16	0,10	0,02	0,38	77,41	13,02	6,42	0,67	1,29	0,32	0,28	0,09	100	21,02	0,7279
02-Sep-16	0,02	0,30	0,15	77,42	13,12	6,38	0,66	1,26	0,01	0,09	0,59	100	20,98	0,7267
16-Sep-16	0,07	0,03	0,22	77,59	12,97	6,36	0,70	1,33	0,35	0,29	0,09	100	21,00	0,7272
02-Oct-16	0,27	1,16	1,54	76,56	12,31	5,81	0,65	1,13	0,27	0,22	0,08	100	21,09	0,7302
17-Oct-16	0,09	0,77	1,24	77,08	12,47	5,92	0,65	1,20	0,30	0,25	0,03	100	21,01	0,7277
03-Nov-16	0,02	0,27	0,20	78,47	12,79	6,05	0,63	1,09	0,25	0,21	0,02	100	20,62	0,7141
16-Nov-16	0,22	0,20	0,22	78,76	12,71	5,81	0,59	1,04	0,24	0,19	0,02	100	20,52	0,7106
02-Dec-16	0,13	0,54	0,21	78,40	12,72	5,90	0,59	1,05	0,24	0,19	0,03	100	20,58	0,7125
17-Dec-16	0,02	0,52	0,22	78,54	12,65	5,99	0,62	1,02	0,21	0,17	0,04	100	20,55	0,7118
02-Jan-17	0,06	0,48	0,14	78,01	12,94	6,25	0,66	1,13	0,01	0,24	0,08	100	20,66	0,7155
15-Jan-17	0,11	0,54	0,57	88,61	7,81	1,34	0,35	0,50	0,06	0,08	0,03	100	18,21	0,6301
31-Jan-17	0,74	0,02	0,27	78,56	12,26	5,94	0,64	1,09	0,23	0,19	0,06	100	20,63	0,7144
15-Feb-17	0,03	0,39	0,18	77,71	13,02	6,37	0,65	1,15	0,26	0,21	0,03	100	20,80	0,7204
03-Mar-17	0,04	0,49	0,44	82,80	13,34	1,51	0,30	0,59	0,26	0,20	0,05	100	19,18	0,6640
13-Mar-17	0,02	0,25	0,19	77,65	12,85	6,85	0,62	1,09	0,24	0,19	0,05	100	20,68	0,7163

Tableau B.2 : représente le résultat de calcul (13 mars 2016).

Wi	ai	bi	mi	Qi
0,0115	9279,346	0,428902	0,39234	0,795869
0,0995	22476,32	0,648365	0,525423	0,992415
0,1523	37848,96	0,901675	0,603265	1,104758
0,177	53715,3	1,15928	0,639164	1,171399
0,2002	55995,46	1,160173	0,672582	1,20659
0,2275	73727,98	1,410783	0,711534	1,272002
0,2515	77009,97	1,444407	0,745445	1,299617
0,3013	100520,1	1,745282	0,814819	1,387912
0,225	5519,026	0,384966	0,707984	0,358922
0,04	14741,82	0,426929	0,435899	0,991981
0,022	5565,93	0,317414	0,408439	0,688908



Tableau B.3 : représente le résultat de calcul a_m (13mars 2016).

C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	C6	N2	CO2	O2	
4452,9	1274,3	925,35	100,15	184,34	46,59	38,91	12,088	7,24	13,72	0,826	7056,36
1274,3	368,32	267,48	29,70	53,83	13,40	11,31	3,512	2,11	3,84	0,238	2027,99
925,35	267,48	196,20	21,78	39,69	10,14	8,29	2,590	1,42	2,82	0,173	1475,94
100,15	29,70	21,78	2,42	3,41	1,14	0,93	0,289	0,16	0,31	0,019	160,30
184,34	53,83	39,69	4,54	8,03	2,07	1,69	0,526	0,29	0,58	0,035	295,61
46,59	13,82	10,14	1,14	2,07	-0,46	0,44	0,137	0,07	0,15	0,009	74,12
38,91	11,31	8,29	0,93	1,69	0,44	0,36	0,112	0,06	0,12	0,007	62,24
12,09	3,51	2,59	0,29	0,53	0,14	0,11	0,035	0,02	0,04	0,002	19,35
7,24	2,11	1,42	0,16	0,29	0,07	0,06	0,018	0,01	0,03	0,001	11,41
13,72	3,84	2,82	0,31	0,58	0,15	0,12	0,038	0,03	0,05	0,003	21,66
0,83	0,24	0,17	0,02	0,04	0,01	0,01	0,002	0,00	0,00	0,000	1,32
											$a_m=11206,3$

Tableau B.4 : représente le résultat de calcul b_m (13 mars 2016).

$b_i \cdot Y_i$
0,333042
0,083315
0,061765
0,007188
0,012646
0,003386
0,002744
0,000873
0,000962
0,000811
6,35E-05
$b_m = 0,507$



C. Le programme de MATLAB 2013a :

```

Les commandes de MATLAB pour appliquer Van Der Waal's (VDW EOS)
clc; clear all; close all;

%% Les Entrées
yi(1,:) = [0.7741 0.1302 0.0642 0.0067 0.0129 0.0032 0.0028 0.0009 0.0002 0.0038 0.0010];
yi(2,:) = [0.7742 0.1312 0.0638 0.0066 0.0126 0.0001 0.0009 0.0059 0.0030 0.0015 0.0002];
yi(3,:) = [0.7759 0.1297 0.0636 0.0070 0.0133 0.0035 0.0029 0.0009 0.0003 0.0022 0.0007];
yi(4,:) = [0.7656 0.1231 0.0581 0.0065 0.0113 0.0027 0.0022 0.0008 0.0116 0.0154 0.0027];
yi(5,:) = [0.7708 0.1247 0.0592 0.0065 0.0120 0.0030 0.0025 0.0003 0.0077 0.0124 0.0009];
yi(6,:) = [0.7847 0.1279 0.0605 0.0063 0.0109 0.0025 0.0021 0.0002 0.0027 0.0020 0.0002];
yi(7,:) = [0.7876 0.1271 0.0581 0.0059 0.0104 0.0024 0.0019 0.0002 0.0020 0.0022 0.0022];
yi(8,:) = [0.7840 0.1272 0.0590 0.0059 0.0105 0.0024 0.0019 0.0003 0.0054 0.0021 0.0013];
yi(9,:) = [0.7854 0.1265 0.0599 0.0062 0.0102 0.0021 0.0017 0.0004 0.0052 0.0022 0.0002];
yi(10,:) = [0.7801 0.1294 0.0625 0.0066 0.0113 0.0001 0.0024 0.0008 0.0048 0.0014 0.0006];
yi(11,:) = [0.8861 0.0781 0.0134 0.0035 0.0050 0.0006 0.0008 0.0003 0.0054 0.0057 0.0011];
yi(12,:) = [0.7856 0.1226 0.0594 0.0064 0.0109 0.0023 0.0019 0.0006 0.0002 0.0027 0.0074];
yi(13,:) = [0.7771 0.1302 0.0637 0.0065 0.0115 0.0026 0.0021 0.0003 0.0039 0.0018 0.0003];
yi(14,:) = [0.8280 0.1334 0.0151 0.0030 0.0059 0.0026 0.0020 0.0005 0.0049 0.0044 0.0004];
yi(15,:) = [0.7765 0.1285 0.0685 0.0062 0.0109 0.0024 0.0019 0.0005 0.0025 0.0019 0.0002];

%% Les Constants
[s,z] = size(yi);
t = [1:s];
T = 554.67;
P = 536.63;
R = 10.73;
Tci = [343.08 549.72 665.64 734.76 765.36 828.72 845.46 913.32 227.34 547.56 278.0658];
Pci = [667.754952 707.78544 616.266462 529.098624 550.709286 490.373478 488.633022 ...
436.854456 492.984162 1070.670516 731.3092];
Wi = [0.0115 0.0995 0.1523 0.177 0.2002 0.2275 0.2515 0.3013 0.225 0.04 0.022];
Kij = [0.000 0.005 0.010 0.035 0.025 0.050 0.030 0.030 0.025 0.105 0.000;...
0.005 0.000 0.005 0.005 0.010 0.020 0.020 0.020 0.010 0.130 0.000;...
0.010 0.005 0.000 0.000 0.000 0.015 0.015 0.010 0.090 0.123 0.000;...
0.035 0.005 0.000 0.000 0.005 0.005 0.005 0.005 0.095 0.120 0.000;...
0.025 0.010 0.000 0.005 0.000 0.005 0.005 0.005 0.095 0.115 0.000;...
0.050 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
0.030 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
0.030 0.020 0.010 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.110 0.115 0.000;...
0.025 0.010 0.090 0.095 0.095 0.100 0.100 0.110 0.000 0.000 0.000;...
0.105 0.130 0.123 0.120 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.000 0.000;...
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000];

%% Les Calculs
for i=1:11
    aci(i) = 0.421875*(R*Tci(i))^2/Pci(i);
    bi(i) = 0.125*R*Tci(i)/Pci(i);
end

for ii=1:s
    xi = yi(ii,:);
    am = 0;
    for i=1:11
        for j=1:11
            am = am + (xi(i)*xi(j))*sqrt(aci(i)*aci(j))*(1-Kij(i,j));
        end
    end
end

```



```

bm = 0;
for i = 1:11
    bm = bm + (bi(i)*xi(i));
end

A = am*P/(R*T)^2;
B = bm*P/(R*T);

C2 = -(1+B);
C3 = A;
C4 = -A*B;

coef = [1,C2,C3,C4];
Z(ii) = max(roots(coef));
coeff(ii,:) = coef;
end

%% L'Affichage
disp('les coefficients de Z : ')
disp(coeff)
disp('Le Maximum des racines : ')
disp(Z)

%% Le Graphe
plot(t,Z, '-.rd')
xlabel('Le temps (j)')
ylabel('facteur de compressibilité Z')
title('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de temps')
grid on;

```

Les commandes de MATLAB pour appliquer Soave Redlich Kwong (SRK EOS)

```

clc; clear all; close all;

%% Les Entrées
yi(1,:) = [0.7741 0.1302 0.0642 0.0067 0.0129 0.0032 0.0028 0.0009 0.0002 0.0038 0.0010];
yi(2,:) = [0.7742 0.1312 0.0638 0.0066 0.0126 0.0001 0.0009 0.0059 0.0030 0.0015 0.0002];
yi(3,:) = [0.7759 0.1297 0.0636 0.0070 0.0133 0.0035 0.0029 0.0009 0.0003 0.0022 0.0007];
yi(4,:) = [0.7656 0.1231 0.0581 0.0065 0.0113 0.0027 0.0022 0.0008 0.0116 0.0154 0.0027];
yi(5,:) = [0.7708 0.1247 0.0592 0.0065 0.0120 0.0030 0.0025 0.0003 0.0077 0.0124 0.0009];
yi(6,:) = [0.7847 0.1279 0.0605 0.0063 0.0109 0.0025 0.0021 0.0002 0.0027 0.0020 0.0002];
yi(7,:) = [0.7876 0.1271 0.0581 0.0059 0.0104 0.0024 0.0019 0.0002 0.0020 0.0022 0.0022];
yi(8,:) = [0.7840 0.1272 0.0590 0.0059 0.0105 0.0024 0.0019 0.0003 0.0054 0.0021 0.0013];
yi(9,:) = [0.7854 0.1265 0.0599 0.0062 0.0102 0.0021 0.0017 0.0004 0.0052 0.0022 0.0002];
yi(10,:) = [0.7801 0.1294 0.0625 0.0066 0.0113 0.0001 0.0024 0.0008 0.0048 0.0014 0.0006];
yi(11,:) = [0.8861 0.0781 0.0134 0.0035 0.0050 0.0006 0.0008 0.0003 0.0054 0.0057 0.0011];
yi(12,:) = [0.7856 0.1226 0.0594 0.0064 0.0109 0.0023 0.0019 0.0006 0.0002 0.0027 0.0074];
yi(13,:) = [0.7771 0.1302 0.0637 0.0065 0.0115 0.0026 0.0021 0.0003 0.0039 0.0018 0.0003];
yi(14,:) = [0.8280 0.1334 0.0151 0.0030 0.0059 0.0026 0.0020 0.0005 0.0049 0.0044 0.0004];
yi(15,:) = [0.7765 0.1285 0.0685 0.0062 0.0109 0.0024 0.0019 0.0005 0.0025 0.0019 0.0002];

%% Les Constants
[s,z] = size(yi);
t = [1:s];
T = 554.67;
P = 536.63;
R = 10.73;
Tci = [343.08 549.72 665.64 734.76 765.36 828.72 845.46 913.32 227.34 547.56 278.0658];
Pci = [667.754952 707.78544 616.266462 529.098624 550.709286 490.373478 488.633022 ...
436.854456 492.984162 1070.670516 731.3092];

```



```

Wi = [0.0115 0.0995 0.1523 0.177 0.2002 0.2275 0.2515 0.3013 0.225 0.04 0.022];
Kij = [0.000 0.005 0.010 0.035 0.025 0.050 0.030 0.030 0.025 0.105 0.000;...
       0.005 0.000 0.005 0.005 0.010 0.020 0.020 0.020 0.010 0.130 0.000;...
       0.010 0.005 0.000 0.000 0.000 0.015 0.015 0.010 0.090 0.123 0.000;...
       0.035 0.005 0.000 0.000 0.005 0.005 0.005 0.005 0.095 0.120 0.000;...
       0.025 0.010 0.000 0.005 0.000 0.005 0.005 0.005 0.095 0.115 0.000;...
       0.050 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
       0.030 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
       0.030 0.020 0.010 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.110 0.115 0.000;...
       0.025 0.010 0.090 0.095 0.095 0.100 0.100 0.110 0.000 0.000 0.000;...
       0.105 0.130 0.123 0.120 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.000 0.000;...
       0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000];

%% Les Calculs
for i=1:11
    aci(i) = 0.42747*(R*Tci(i))^2/Pci(i);
    bi(i) = 0.08664*R*Tci(i)/Pci(i);
    mi = 0.48508+1.55171*Wi(i)-0.1561*Wi(i)^2;
    alphai(i) = (1+mi*(1-sqrt(T/Tci(i))))^2;
end

for ii=1:s
    xi = yi(ii,:);
    am = 0;
    for i=1:11
        for j=1:11
            am = am + (xi(i)*xi(j))*sqrt(aci(i)*alphai(i)*aci(j)*alphai(j))*(1-Kij(i,j));
        end
    end

    bm = 0;
    for i = 1:11
        bm = bm + (bi(i)*xi(i));
    end

    A = am*P/(R*T)^2;
    B = bm*P/(R*T);

    C3 = A-B-B^2;
    C4 = -A*B;

    coef = [1,-1,C3,C4];
    Z(ii) = max(roots(coef));
    coeff(ii,:) = coef;
end

%% L'Affichage
disp('les coefficients de Z : ')
disp(coeff)
disp('Le Maximum des racines : ')
disp(Z)

%% Le Graphe
plot(t,Z, '-.rd')
xlabel('Le temps (j)')
ylabel('facteur de compressibilité Z')
title('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de temps')
grid on;

```


Les commandes de MATLAB pour appliquer Peng Robinson (PR EOS)

```

clc; clear all; close all;

%% Les Entrées
yi(1,:) = [0.7741 0.1302 0.0642 0.0067 0.0129 0.0032 0.0028 0.0009 0.0002 0.0038 0.0010];
yi(2,:) = [0.7742 0.1312 0.0638 0.0066 0.0126 0.0001 0.0009 0.0059 0.0030 0.0015 0.0002];
yi(3,:) = [0.7759 0.1297 0.0636 0.0070 0.0133 0.0035 0.0029 0.0009 0.0003 0.0022 0.0007];
yi(4,:) = [0.7656 0.1231 0.0581 0.0065 0.0113 0.0027 0.0022 0.0008 0.0116 0.0154 0.0027];
yi(5,:) = [0.7708 0.1247 0.0592 0.0065 0.0120 0.0030 0.0025 0.0003 0.0077 0.0124 0.0009];
yi(6,:) = [0.7847 0.1279 0.0605 0.0063 0.0109 0.0025 0.0021 0.0002 0.0027 0.0020 0.0002];
yi(7,:) = [0.7876 0.1271 0.0581 0.0059 0.0104 0.0024 0.0019 0.0002 0.0020 0.0022 0.0022];
yi(8,:) = [0.7840 0.1272 0.0590 0.0059 0.0105 0.0024 0.0019 0.0003 0.0054 0.0021 0.0013];
yi(9,:) = [0.7854 0.1265 0.0599 0.0062 0.0102 0.0021 0.0017 0.0004 0.0052 0.0022 0.0002];
yi(10,:) = [0.7801 0.1294 0.0625 0.0066 0.0113 0.0001 0.0024 0.0008 0.0048 0.0014 0.0006];
yi(11,:) = [0.8861 0.0781 0.0134 0.0035 0.0050 0.0006 0.0008 0.0003 0.0054 0.0057 0.0011];
yi(12,:) = [0.7856 0.1226 0.0594 0.0064 0.0109 0.0023 0.0019 0.0006 0.0002 0.0027 0.0074];
yi(13,:) = [0.7771 0.1302 0.0637 0.0065 0.0115 0.0026 0.0021 0.0003 0.0039 0.0018 0.0003];
yi(14,:) = [0.8280 0.1334 0.0151 0.0030 0.0059 0.0026 0.0020 0.0005 0.0049 0.0044 0.0004];
yi(15,:) = [0.7765 0.1285 0.0685 0.0062 0.0109 0.0024 0.0019 0.0005 0.0025 0.0019 0.0002];

%% Les constants
[s,z] = size(yi);
t = [1:s];
T = 554.67;
P = 536.63;
R = 10.73;
Tci = [343.08 549.72 665.64 734.76 765.36 828.72 845.46 913.32 227.34 547.56 278.0658];
Pci = [667.754952 707.78544 616.266462 529.098624 550.709286 490.373478 488.633022 ...
436.854456 492.984162 1070.670516 731.3092];
Wi = [0.0115 0.0995 0.1523 0.177 0.2002 0.2275 0.2515 0.3013 0.225 0.04 0.022];
Kij = [0.000 0.005 0.010 0.035 0.025 0.050 0.030 0.030 0.025 0.105 0.000; ...
0.005 0.000 0.005 0.005 0.010 0.020 0.020 0.020 0.010 0.130 0.000; ...
0.010 0.005 0.000 0.000 0.000 0.015 0.015 0.010 0.090 0.123 0.000; ...
0.035 0.005 0.000 0.000 0.005 0.005 0.005 0.005 0.095 0.120 0.000; ...
0.025 0.010 0.000 0.005 0.000 0.005 0.005 0.005 0.095 0.115 0.000; ...
0.050 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000; ...
0.030 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000; ...
0.030 0.020 0.010 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.110 0.115 0.000; ...
0.025 0.010 0.090 0.095 0.095 0.100 0.100 0.110 0.000 0.000 0.000; ...
0.105 0.130 0.123 0.120 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.000 0.000; ...
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000];

%% Les Calculs
for i=1:11
    aci(i) = 0.45724*(R*Tci(i))^2/Pci(i);
    bi(i) = 0.07780*R*Tci(i)/Pci(i);
    mi = 0.3796+1.54226*Wi(i)-0.2699*Wi(i)^2;
    alphai(i) = (1+mi*(1-sqrt(T/Tci(i))))^2;
end

for ii=1:s
    xi = yi(ii,:);
    am = 0;
    for i=1:11
        for j=1:11
            am = am + (xi(i)*xi(j))*sqrt(aci(i)*alphai(i)*aci(j)*alphai(j))*(1-Kij(i,j));
        end
    end
end

bm = 0;

```



```

for i = 1:11
    bm = bm + (bi(i)*xi(i));
end

A = am*P/(R*T)^2;
B = bm*P/(R*T);

C2 = B-1;
C3 = A-2*B-3*B^2;
C4 = -A*B+B^2+B^3;

coef = [1,C2,C3,C4];
Z(ii) = max(roots(coef));
coeff(ii,:) = coef;
end

%% L'Affichage
disp('Les coefficients de Z : ')
disp(coeff)
disp('Le Maximum des racines : ')
disp(Z)

%% Le Graphe
plot(t,Z, '-rd')
xlabel('Le temps (j)')
ylabel('facteur de compressibilité Z')
title('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de temps')
grid on;

```

Les commandes de MATLAB pour appliquer Patel Teja (PT EOS)

```

clc; clear all; close all;

%% Les Entrées
yi(1,:) = [0.7741 0.1302 0.0642 0.0067 0.0129 0.0032 0.0028 0.0009 0.0002 0.0038 0.0010];
yi(2,:) = [0.7742 0.1312 0.0638 0.0066 0.0126 0.0001 0.0009 0.0059 0.0030 0.0015 0.0002];
yi(3,:) = [0.7759 0.1297 0.0636 0.0070 0.0133 0.0035 0.0029 0.0009 0.0003 0.0022 0.0007];
yi(4,:) = [0.7656 0.1231 0.0581 0.0065 0.0113 0.0027 0.0022 0.0008 0.0116 0.0154 0.0027];
yi(5,:) = [0.7708 0.1247 0.0592 0.0065 0.0120 0.0030 0.0025 0.0003 0.0077 0.0124 0.0009];
yi(6,:) = [0.7847 0.1279 0.0605 0.0063 0.0109 0.0025 0.0021 0.0002 0.0027 0.0020 0.0002];
yi(7,:) = [0.7876 0.1271 0.0581 0.0059 0.0104 0.0024 0.0019 0.0002 0.0020 0.0022 0.0022];
yi(8,:) = [0.7840 0.1272 0.0590 0.0059 0.0105 0.0024 0.0019 0.0003 0.0054 0.0021 0.0013];
yi(9,:) = [0.7854 0.1265 0.0599 0.0062 0.0102 0.0021 0.0017 0.0004 0.0052 0.0022 0.0002];
yi(10,:) = [0.7801 0.1294 0.0625 0.0066 0.0113 0.0001 0.0024 0.0008 0.0048 0.0014 0.0006];
yi(11,:) = [0.8861 0.0781 0.0134 0.0035 0.0050 0.0006 0.0008 0.0003 0.0054 0.0057 0.0011];
yi(12,:) = [0.7856 0.1226 0.0594 0.0064 0.0109 0.0023 0.0019 0.0006 0.0002 0.0027 0.0074];
yi(13,:) = [0.7771 0.1302 0.0637 0.0065 0.0115 0.0026 0.0021 0.0003 0.0039 0.0018 0.0003];
yi(14,:) = [0.8280 0.1334 0.0151 0.0030 0.0059 0.0026 0.0020 0.0005 0.0049 0.0044 0.0004];
yi(15,:) = [0.7765 0.1285 0.0685 0.0062 0.0109 0.0024 0.0019 0.0005 0.0025 0.0019 0.0002];

%% Les Constants
[s,z] = size(yi);
t = [1:s];
T = 554.67;
P = 536.63;
R = 10.73;
Tci = [343.08 549.72 665.64 734.76 765.36 828.72 845.46 913.32 227.34 547.56 278.0658];
Pci = [667.754952 707.78544 616.266462 529.098624 550.709286 490.373478 488.633022 ...
436.854456 492.984162 1070.670516 731.3092];
Wi = [0.0115 0.0995 0.1523 0.177 0.2002 0.2275 0.2515 0.3013 0.225 0.04 0.022];

```



```

Kij = [0.000 0.005 0.010 0.035 0.025 0.050 0.030 0.030 0.025 0.105 0.000;...
0.005 0.000 0.005 0.005 0.010 0.020 0.020 0.020 0.010 0.130 0.000;...
0.010 0.005 0.000 0.000 0.000 0.015 0.015 0.010 0.090 0.123 0.000;...
0.035 0.005 0.000 0.000 0.005 0.005 0.005 0.005 0.095 0.120 0.000;...
0.025 0.010 0.000 0.005 0.000 0.005 0.005 0.005 0.095 0.115 0.000;...
0.050 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
0.030 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
0.030 0.020 0.010 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.110 0.115 0.000;...
0.025 0.010 0.090 0.095 0.095 0.100 0.100 0.110 0.000 0.000 0.000;...
0.105 0.130 0.123 0.120 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.000 0.000;...
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000];

%% Les Calculs
for i=1:11
    q = 0.00375*Wi(i)^2-0.0217*Wi(i)+0.25989;
    Ec = 1/(3*(1+q*Wi(i)));
    d2 = 2-3*Ec;
    d3 = 3*Ec^2;
    d4 = -Ec^3;
    k = [1,d2,d3,d4];
    omigab = roots(k);
    mx = max(omigab);
    for ii = 1:length(omigab)
        if imag(omigab(ii))~=0
            omigab(ii)=mx;
        end
    end
    omigab = min(omigab);
    omigaa = 3*Ec^2+3*(1-2*Ec)*omigab+omigab^2+(1-Ec)*omigab^3;
    omigac = 1-3*Ec;
    aci(i) = omigaa*(R*Tci(i))^2/Pci(i);
    bi(i) = omigab*R*Tci(i)/Pci(i);
    ci(i) = omigac*R*Tci(i)/Pci(i);
    fi = 0.452413+1.30982*Wi(i)-0.295937*Wi(i)^2;
    alphas(i) = (1+fi*(1-sqrt(T/Tci(i))))^2;
end

for ii=1:s
    xi = yi(ii,:);

    am = 0;
    for i=1:11
        for j=1:11
            am = am + (xi(i)*xi(j))*sqrt(aci(i)*alphas(i)*aci(j)*alphas(j))*(1-Kij(i,j));
        end
    end

    bm = 0;
    for i = 1:11
        bm = bm + (bi(i)*xi(i));
    end

    cm = 0;
    for i = 1:11
        cm = cm + (ci(i)*xi(i));
    end

    A = am*P/(R*T)^2;
    B = bm*P/(R*T);
    C = cm*P/(R*T);

```



```

C2 = C-1;
C3 = A-B-C-2*B*C-B^2;
C4 = B*C+B^2*C-A*B;

coef = [1,C2,C3,C4];
Z(ii) = max(roots(coef));
coeff(ii,:) = coef;
end

%% L'Affichage
disp('les coefficients de Z : ')
disp(coeff)
disp('Le Maximum des racines : ')
disp(Z)

%% Le Graphe
plot(t,Z, '--rp')
xlabel('Le temps (j)')
ylabel('facteur de compressibilité Z')
title('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de la Pression')
grid on;

```

Les commandes de MATLAB pour appliquer PN

```

clc; clear all; close all;

%% Les Entrées
yi(1,:) = [0.7741 0.1302 0.0642 0.0067 0.0129 0.0032 0.0028 0.0009 0.0002 0.0038 0.0010];
yi(2,:) = [0.7742 0.1312 0.0638 0.0066 0.0126 0.0001 0.0009 0.0059 0.0030 0.0015 0.0002];
yi(3,:) = [0.7759 0.1297 0.0636 0.0070 0.0133 0.0035 0.0029 0.0009 0.0003 0.0022 0.0007];
yi(4,:) = [0.7656 0.1231 0.0581 0.0065 0.0113 0.0027 0.0022 0.0008 0.0116 0.0154 0.0027];
yi(5,:) = [0.7708 0.1247 0.0592 0.0065 0.0120 0.0030 0.0025 0.0003 0.0077 0.0124 0.0009];
yi(6,:) = [0.7847 0.1279 0.0605 0.0063 0.0109 0.0025 0.0021 0.0002 0.0027 0.0020 0.0002];
yi(7,:) = [0.7876 0.1271 0.0581 0.0059 0.0104 0.0024 0.0019 0.0002 0.0020 0.0022 0.0022];
yi(8,:) = [0.7840 0.1272 0.0590 0.0059 0.0105 0.0024 0.0019 0.0003 0.0054 0.0021 0.0013];
yi(9,:) = [0.7854 0.1265 0.0599 0.0062 0.0102 0.0021 0.0017 0.0004 0.0052 0.0022 0.0002];
yi(10,:) = [0.7801 0.1294 0.0625 0.0066 0.0113 0.0001 0.0024 0.0008 0.0048 0.0014 0.0006];
yi(11,:) = [0.8861 0.0781 0.0134 0.0035 0.0050 0.0006 0.0008 0.0003 0.0054 0.0057 0.0011];
yi(12,:) = [0.7856 0.1226 0.0594 0.0064 0.0109 0.0023 0.0019 0.0006 0.0002 0.0027 0.0074];
yi(13,:) = [0.7771 0.1302 0.0637 0.0065 0.0115 0.0026 0.0021 0.0003 0.0039 0.0018 0.0003];
yi(14,:) = [0.8280 0.1334 0.0151 0.0030 0.0059 0.0026 0.0020 0.0005 0.0049 0.0044 0.0004];
yi(15,:) = [0.7765 0.1285 0.0685 0.0062 0.0109 0.0024 0.0019 0.0005 0.0025 0.0019 0.0002];

%% Les Constants
[s,z] = size(yi);
t = [1:s];
T = 554.67;
P = 536.63;
R = 10.73;
Tci = [343.08 549.72 665.64 734.76 765.36 828.72 845.46 913.32 227.34 547.56 278.0658];
Pci = [667.754952 707.78544 616.266462 529.098624 550.709286 490.373478 488.633022 ...
436.854456 492.984162 1070.670516 731.3092];
Wi = [0.0115 0.0995 0.1523 0.177 0.2002 0.2275 0.2515 0.3013 0.225 0.04 0.022];
Kij = [0.000 0.005 0.010 0.035 0.025 0.050 0.030 0.030 0.025 0.105 0.000;...
0.005 0.000 0.005 0.005 0.010 0.020 0.020 0.020 0.010 0.130 0.000;...
0.010 0.005 0.000 0.000 0.000 0.015 0.015 0.010 0.090 0.123 0.000;...
0.035 0.005 0.000 0.000 0.005 0.005 0.005 0.005 0.095 0.120 0.000;...
0.025 0.010 0.000 0.005 0.000 0.005 0.005 0.005 0.095 0.115 0.000;...
0.050 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...

```



```

0.030 0.020 0.015 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.100 0.115 0.000;...
0.030 0.020 0.010 0.005 0.005 0.000 0.000 0.000 0.110 0.115 0.000;...
0.025 0.010 0.090 0.095 0.095 0.100 0.100 0.110 0.000 0.000 0.000;...
0.105 0.130 0.123 0.120 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.000 0.000;...
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000];

%% Les Calculs
for i=1:11
    q = 0.00375*Wi(i)^2-0.0217*Wi(i)+0.25989;
    Ec = 1/(3*(1+q*Wi(i)));
    d2 = 2-3*Ec;
    d3 = 3*Ec^2;
    d4 = -Ec^3;
    k = [1,d2,d3,d4];
    omigab = roots(k);
    mx = max(omigab);
    for ii = 1:length(omigab)
        if imag(omigab(ii))~=0
            omigab(ii)=mx;
        end
    end
    omigab = min(omigab);
    omigaa = 3*Ec^2+3*(1-2*Ec)*omigab+omigab^2+(1-Ec)*omigab^3;
    omigac = 1-3*Ec;
    aci(i) = omigaa*(R*Tci(i))^2/Pci(i);
    bi(i) = omigab*R*Tci(i)/Pci(i);
    ci(i) = omigac*R*Tci(i)/Pci(i);
    fi = 0.452413+1.30982*Wi(i)-0.295937*Wi(i)^2;
    alphi(i) = (1+fi*(1-sqrt(T/Tci(i))))^2;
end

for ii=1:s
    xi = yi(ii,:);
    am = 0;
    for i=1:11
        for j=1:11
            am = am + (xi(i)*xi(j))*sqrt(aci(i)*alphi(i)*aci(j)*alphi(j))*(1-Kij(i,j));
        end
    end

    bm = 0;
    for i = 1:11
        bm = bm + (bi(i)*xi(i));
    end

    cm = 0;
    for i = 1:11
        cm = cm + (ci(i)*xi(i));
    end

    A = am*P/(R*T)^2;
    B = bm*P/(R*T);
    C = cm*P/(R*T);

    C2 = C-1;
    C3 = A-B-C-3*B*C-B^2+C^2;
    C4 = 2*B*C+2*B^2*C-B*C^2-C^2-A*B;

    coef = [1,C2,C3,C4];

```



```
Z(ii) = max(roots(coef));  
coeff(ii,:) = coef;  
end  
  
%% L'Affichage  
disp('les coefficients de Z : ')  
disp(coeff)  
disp('Le Maximum des racines : ')  
disp(Z)  
  
%% Le Graphe  
plot(t,Z, '--rp')  
xlabel('Le temps (j)')  
ylabel('facteur de compressibilité Z')  
title('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de la Pression')  
grid on;
```