

N° Série: ...../2016

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 Académique**

Présenté Par :

**BEN ACHOUR seifeddine  
MAAROUF mohamed hocine**

-THÈME-

---

*Développement Et Modélisation Des Corrélation  
Et D'équation D'état Cubique De Peng-Robinson Du Facteur  
De Compressibilité (Z) Du Gaz Naturel Algérien*

---

Soutenu le : 24 / 05 / 2016 devant la commission d'examen

**Jury:**

<b>Président:</b> KHELIFA Cherif	M.A.A	UKM, Ouargla
<b>Examineur:</b> DADA Saada	M.A.B	UKM, Ouargla
<b>Rapporteur:</b> SID ROUHOU hadj mohammed	M.A.A	UKM, Ouargla
<b>Co-encadreur:</b> CHABOUT mohammed seddik	M.A.B	UKM, Ouargla

*Année universitaire : 2015/2016*

**ملخص:** إن دراسة الخصائص PVT للغاز الطبيعي أمر بالغ الأهمية من أجل تطوير إنتاجه و إستغلاله، يعتبر المخبر المصدر الأول لمعطيات هذه الخصائص كما أنه يمكن حساب هذه المعطيات باستغلال معادلات الحالة و الارتباطات التجريبية بدرجة خطأ متفاوتة.

تعتمد هذه الدراسة على حساب معامل إنضغاطية الغاز بإستعمال ثلاث إرتباطات تجريبية و معادلة الحالة لبيبنغ روبينسون، و أيضا تكيف معاملات هذه الإرتباطات بما يتماشى مع الغاز الطبيعي الجزائري. وتستخدم في هذا البحث البيانات التجريبية من خمسة حقول مختلفة. و يتم إستخدام أدوات تكنولوجيا المعلومات: XLSTAT و MATLAB. الكلمات الدالة: عامل الإنضغاطية، الغاز الطبيعي، PVT.

**Résumé :** Les modèles thermodynamiques ont fait l'objet de nombreux travaux en vue d'accroître leurs précisions et d'étendre leur domaine d'utilisation. 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 de 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.

Cette étude est basée sur le calcul du facteur de compressibilité du gaz par trois corrélation empiriques et l'équation d'états de Peng Robinson, ainsi que la réactualisation des coefficients de ces corrélations avec ce qui correspond au mieux au gaz naturel algérien. On utilise des données expérimentales des cinq champs différents. Le travail est s'effectué à l'aide des outils informatiques ; XLSTAT et MATLAB.

Mots-clés: gaz naturel, facteur de compressibilité, PVT.

**Summary:** thermodynamic models have been many studies in order to increase their information and expand their field of use. The study of PVT properties of natural gas is essential for the development of its production and operation. The laboratory is considered the main source of data for these properties as it also is possible to calculate the data using the state equations and empirical correlations with varying margins of error. This study is based on the calculated compressibility factor of the gas by three empirical correlation and equation of Peng Robinson states, as well as the updating of the coefficients of these correlations with which corresponds best to the Algerian natural gas. Are used experimental data of five different fields. The work is to done using IT tools; And XLSTAT MATLAB.

Key words: natural gas, factor of compressibility, PVT.

## *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 fourni  
des 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 nous ont fait en acceptant de  
siéger à notre soutenance,*

*nous remercions tout les personnel de SONATRACH HASSI  
R'MEL*

*Nos vifs remerciements aussi à IBRAHIM ANOU*

*A tous ce qui furent à un moment ou à toute instante  
partie prenante de ce travail Nos vifs remerciements aussi  
à MASTAFA SALHI*

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

*HOCINE & SEIFEDDINE*

---

## SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Liste des tableaux.....	III
Liste des figures.....	V
Nomenclature.....	VI
Introduction .....	1
Chapitre I : Acquisition des données	
I.1 Les données caractéristiques des champs.....	3
I.1.1 Le champ Hassi R'Mel.....	3
I.1.2 Les données utilisées pour les autres champs.....	6
I.2 Les organigrammes de travail.....	9
I.2.1 L'organigramme de travail par les corrélations.....	9
I.2.2 L'organigramme de travail par l'équation d'état.....	10
Chapitre II : Résultats et discussions	
II.1 Les corrélations empiriques.....	13
II.1.1 La corrélation de Beggs et Brill.....	13
II.1.2 la corrélation de Papy.....	16
II.1.3 La corrélation de S.Robertson.....	19
II.2 Les corrélations empiriques modifiées.....	22
II.3 L'application des corrélations modifiées sur le champ de Hassi R'Mel.....	24
II.3.1 La corrélation modifiée de Beggs et Brill.....	24
II.3.2 La corrélation modifiée de Papy.....	27
II.3.3 La corrélation modifiée de S.Robertson.....	30
II.4 L'application de l'équation d'état de Peng Robinson.....	35



Conclusion et recommandation.....	39
REFERENCES.....	40
ANNEXE (A) Les corrélations et les équations.....	41
ANNEXE (B) Programme de calcul .....	45

---

## LISTES DES TABLEAUX :

Tableau I.1 ;	La variation de facteur de compressibilité Z avec la chute de pression.....	3
Tableau I.2 ;	variation de la masse molaire de la fraction C7+ avec la chute de pression.	4
Tableau I.3 ;	Variation de la composition de gaz avec la chute de pression de réservoir..	5
Tableau I.4 ;	composition molaire de gaz de séparateur.....	6
Tableau I.5 ;	La composition molaire de gaz de séparateur OUD-NOUMER.....	6
Tableau I.6 ;	La composition molaire de gaz de séparateur OHANT.....	7
Tableau I.7 ;	La composition molaire de gaz de séparateur pour BERKIN.....	7
Tableau I.8 ;	La composition molaire de gaz de séparateur pour STAHL.....	8
Tableau II.1 ;	la température et pression critique de constituants du gaz "Hassi R'Mel...	11
Tableau II.2 ;	le facteur acentrique des constituants.....	11
Tableau II.3 ;	la pression et la température critique de la fraction C7+ en fonction de leur compositions et la pression de réservoir (champ Hassi R'Mel).....	12
Tableau II.4 ;	les coefficients de la corrélation de Biggs et Brill.....	13
Tableau II.5 ;	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation de Beggs et Brill pour champ Hassi R'Mel.....	15
Tableau II.6 ;	les coefficients de la corrélation de PAPY.....	16
Tableau II.7 ;	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation de Papy pour champ Hassi R'Mel.....	18
Tableau II.8 ;	les coefficients de la corrélation de S.Robertson.....	19

---

Tableau II.9;	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation de S.Robertson pour champ Hassi R'Mel.....	20
Tableau II.10 :	les coefficients des corrélations modifiées.....	23
Tableau II.11 :	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Beggs et Brill pour champ Hassi R'Mel.....	25
Tableau II.12:	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Beggs et Brill pour $p < 2844,67$ psi (champ Hassi R'Mel).....	26
Tableau II.13 :	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Papy pour champ Hassi R'Mel.....	28
Tableau II.14 :	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Papy pour $P = 2844.67$ , (champ Hassi R'Mel).....	29
Tableau II.16 :	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de S.Robertson pour champ Hassi R'Mel.....	31
Tableau II.17 :	étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de S.Robertson pour $P = 2844.67$ , (champ Hassi R'Mel).....	32
Tableau II.18 :	étude statistique de facteur (Z) calculé par l'application de l'équation de Peng Robinson sur MATLAB (champ Hassi R'Mel).....	37

## LISTES DES FIGURES :

Figure II.1 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de Beggs et Brill (champ Hassi R'Mel).....	14
Figure II.2 :	Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de Beggs et Brill (champ Hassi R'Mel).....	16
Figure II.3 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de Papy (champ Hassi R'Mel).....	17
Figure II.4 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de S.Robertson (Champ Hassi R'Mel).....	19
Figure II.5 :	Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de S.Robertson. (Champ Hassi R'Mel) .....	21
Figure II.6 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Beggs et Brill (Champ Hassi R'Mel).....	24
Figure II.7 :	Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Beggs et Brill pour $P < 2844.67$ (Champ Hassi R'Mel).....	27
Figure II.8 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Papy (Champ Hassi R'Mel).....	27
Figure II.9 :	Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Papy pour $P < 2844.67$ (Champ Hassi R'Mel).....	30
Figure II.10 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée de S.Robertson (Champ Hassi R'Mel).....	30
Figure II.11 :	Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée S.Robertson pour $P < 2844.67$ (Champ Hassi R'Mel).....	33
Figure II.12 :	Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par l'application de l'équation d'état de Peng Robinson sur MATLAB (Champ Hassi R'Mel).....	35
Figure II.13 :	Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par l'équation d'états de Peng Robinson (Champ Hassi R'Mel).....	36



## NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité
T	température	°R
P	pression	psi
V	volume	m <sup>3</sup>
T <sub>c</sub>	température critique	°R
P <sub>c</sub>	pression critique	psi
T <sub>r</sub>	température réduite	°R
P <sub>r</sub>	pression réduite	psi
T <sub>pc</sub>	température pseudo-critique	°R
P <sub>pc</sub>	pression pseudo-critique	psi
T <sub>pr</sub>	température pseudo-réduit	°R
P <sub>pr</sub>	pression pseudo-réduit	psi
T <sub>b</sub>	température d'ébullition	°R
$\gamma$	densité du gaz	-
M	masse molaire	g/mol
Z	facteur de compressibilité	-
R	constant des gaz	psi-ft <sup>3</sup> / lb-mole-°R
$\omega$	facteur acentrique	-
y <sub>i</sub>	Fraction molaire de composant dans la phase vapeur.	%
a	paramètre de l'équation de Peng Robinson	-
b	paramètre de l'équation de Peng Robinson	-
$\alpha$	paramètre de l'équation de Peng Robinson	-
k <sub>ij</sub>	coefficient d'interaction binaire	-
E <sub>i</sub>	erreur	%



Er	erreur moyenne	%
Ea	erreur absolue	%
S	déviatiion standard	%





# *INTRODUCTION*



# INTRODUCTION

---

Le calcul des réserves dans un gisement de gaz ou de la détermination de son exécution exige une connaissance de ces propriétés PVT, qui peuvent être obtenues à partir des essais à l'échelle laboratoire en utilisant des échantillons représentatifs des fluides.

Pendant les 60 dernières années les ingénieurs sont rendu compte de l'importance de développer et d'employer des corrélations empiriques pour les propriétés PVT au lieu des données de laboratoire pour déterminer l'exécution nécessaire de réservoir de propriétés gaz (ou huile) et la conception d'équipement, pour cela des divers chercheurs ont essayé de développer des corrélations appropriées pour les propriétés fluides de prévision de réservoir avec des divers niveaux de succès.

Gaz est défini comme un fluide homogène de basse viscosité et de la densité, qui n'a pas de volume défini, mais se dilate pour remplir complètement le récipient dans lequel il est placé.

Les lois qui décrivent le comportement des gaz de réservoir en termes de pression  $P$ , de volume  $V$  et de température  $T$ , sont connues depuis de nombreuses années. Ces lois sont relativement simples pour un fluide hypothétique connu comme un gaz parfait. Cette partie passe en revue ces lois et comment ils peuvent être modifiés pour décrire le comportement de gaz de réservoir, qui peut s'écarter sensiblement de ces lois simples.

Les gaz naturels au stade final de leur exploitation peuvent être caractérisés essentiellement par trois propriétés : la densité, le pouvoir calorifique et la composition chimique.

La composition chimique d'un gaz indique la nature des composants hydrocarbures et autres constituant, et est utilisée pour les études de valorisation. Elle sert aussi à calculer certaines de ses propriétés en fonction de la pression et de la température (compressibilité, densité) et à définir les de son traitement lors de l'exploitation.

le propriété le plus important des gaz naturels qui interviennent dans l'évaluation des quantités renfermées dans les gisements, dans celle des volumes récupérables et de leur rythme d'exploitation ainsi que dans l'étude des conditions d'écoulement dans le réservoir et en surface est ; le facteur de compressibilité, qu'est calculé par l'intermédiaire des équations d'état comme l'équation d'état de Van der Waals (1873), l'équation d'état de Soave-Redlich-

# INTRODUCTION

---

Kwong (1972) et l'équation d'état de Peng Robinson (1976). Plutôt que d'avoir recours à l'expérience pour déterminer cette propriété, il est d'usage depuis longtemps de faire appel à des lois empiriques dont le domaine d'application et la précision satisfont aujourd'hui encore les besoins des études de réservoir et de production.

Beaucoup de chercheurs ont employé des résultats d'essai en laboratoire de PVT, et des données du champ, pour développer des corrélations générales et ajustés ces corrélations selon les limites de leur utilisations, dont le but d'estimer les propriétés des fluides du réservoir.

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 de gaz (the gas deviation factor), est une quantité non-dimensionnelle définie par ; le rapport de volume occupé par le gaz à une pression et température donnée sur le volume qu'il doit l'occuper quand il comporte comme un gaz parfait. Donc la valeur de  $Z = 1$  représente une condition de gaz idéale.

Ce qui précède s'applique aux mélanges gazeux constitués uniquement d'hydrocarbures. Or, il se trouve que les gaz naturels contiennent fréquemment d'autres composés tels que l'azote, l'anhydride carbonique, l'hélium et l'hydrogène sulfuré. Ces composés ont une influence plus ou moins importante sur la compressibilité des gaz naturels qui les contiennent.

L'objectif de ce travail est consisté de faire une modélisation sur le facteur de compressibilité  $Z$ , on appliquant les corrélations empiriques de Beggs-Brill (1986), Papy (1985) et S. Robertson sur le champ de Hassi R'Mel, et l'équation d'état cubique de Peng Robinson. On plus, ce travail comprend une tentative de développement de ces corrélations empiriques avec ce qui correspond au mieux au gaz naturel Algérien, utilisant les données de cinq champs différents.

Ce travail est effectuée à l'aide d'analyse statistique par XLSTAT, et l'utilisation de logiciel MATLAB 2013.



*CHPITRE .I*  
*AQUISITIONS DES DONNEES*



## **I.1 Les données caractéristiques des champs ;**

Les données utilisées dans cette d'étude ont été obtenues à partir de l'analyse expérimental de plusieurs échantillons provenant de différents type de gaz et puits des cinq champs de l'Algérie.

### **I.1.1 Champ Hassi R'Mel ;**

**Tableau I.1** ; La variation de facteur de compressibilité Z avec la chute de pression.

La pression (psi)	Z (expérimental)
4424,8	0,960
4267,0	0,949
3982,5	0,931
3698,0	0,916
3413,6	0,902
3129,1	0,890
2844,6	0,882
2560,2	0,878
2275,7	0,881
1991,2	0,887
1706,8	0,896
1422,3	0,908
1137,8	0,922
853,4	0,940
568,9	0,959

La température pour ce champ est toujours 90 °c.

**Tableau I.2** ; variation de la masse molaire de la fraction C7+ avec la chute de pression.

La pression (psi)	Masse molaire de C7+
4424,8	136,9
4267,0	135,2
3982,5	132,2
3698,0	129,2
3413,6	126,4
3129,1	123,8
2844,6	121,4
2560,2	119,1
2275,7	117,1
1991,2	115,4
1706,8	114
1422,3	113,1
1137,8	112,8
853,4	113,7
568,9	117,3

**Tableau I.3** ; Variation de la composition de gaz avec la chute de pression de réservoir.

RESERVOIR PRESSURE Kg/cm <sup>2</sup>	GAS PHASE COMPOSITION, MOL PERCENT											
	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>3</sub>	<i>iC</i> <sub>4</sub>	<i>nC</i> <sub>4</sub>	<i>iC</i> <sub>5</sub>	<i>nC</i> <sub>5</sub>	<i>C</i> <sub>6</sub>	<i>C</i> <sub>7+</sub>	<i>N</i> <sub>2</sub>	<i>CO</i> <sub>2</sub>	<i>He</i>
311	78,7	1,36	2,87	0,60	1,08	0,36	0,48	0,59	2,33	5,31	0,17	0,17
300	87,8	7,35	2,86	0,60	1,07	0,36	0,48	0,58	2,23	5,33	0,17	0,17
280	79,0	7,35	2,86	0,60	1,07	0,35	0,47	0,57	2,07	5,35	0,17	0,17
260	79,2	1,35	2,85	0,59	1,06	0,35	0,47	0,56	1,90	5,37	0,17	0,17
240	79,3	7,35	2,84	0,59	1,05	0,35	0,46	0,55	7,75	5,38	0,17	0,17
220	79,5	7,35	2,84	0,59	1,05	0,34	0,46	0,53	1,61	5,39	0,17	0,17
200	79,7	7,35	2,83	0,58	1,04	0,34	0,45	0,52	1,47	5,41	0,17	0,17
180	79,8	7,36	2,83	0,58	1,04	0,34	0,45	0,51	1,35	5,42	0,17	0,17
160	79,9	7,37	2,83	0,58	1,03	0,33	0,44	0,50	1,24	5,42	0,17	0,17
140	80,0	7,38	2,83	0,58	1,03	0,33	0,44	0,49	1,02	5,42	0,18	0,17
120	80,1	7,39	2,83	0,58	1,03	0,33	0,43	0,48	1,07	5,42	0,18	0,17
100	80,1	7,42	2,84	0,58	1,03	0,33	0,43	0,47	1,01	5,42	0,18	0,17
80	80,1	7,45	2,86	0,58	1,04	0,33	0,44	0,47	1,00	5,41	0,18	0,17
60	79,9	7,48	2,90	0,60	1,06	0,34	0,45	0,49	1,05	5,38	0,18	0,17
40	79,5	7,53	2,96	0,62	1,10	0,36	0,48	0,54	1,25	5,33	0,18	0,17

**Tableau I.4** ; composition molaire de gaz de séparateur.

Les constituants	La composition (%)
N2	5,257
CO2	0,229
C1	82,55
C2	7,63
C3	2,36
iC4	0,42
nC4	0,708
iC5	0,177
nC5	0,211
C6	0,194
C7	0,142
C8	0,064
C9	0,023
C10	0,009
C11	0,009
C12	0,01

### I.1.2 Les données utilisées pour les autres champs ;

**Tableau I.5** ; La composition molaire de gaz de séparateur OUD-NOUMER.

Les constituants	La composition (%)
N2	0,347
CO2	5,013
C1	82,043
C2	7,669
C3	2,603
iC4	0,453
nC4	0,742
iC5	0,278
nC5	0,205
C6	0,237
C7	0,129
C8	0,066
C9	0,02
C10	0,007
C11	0,004
C12	0,004

**Tableau I.6** ; La composition molaire de gaz de séparateur OHANT.

Les constituants	La composition (%)
N2	1,336
CO2	0,96
C1	81,25
C2	10,811
C3	4,24
iC4	0,407
nC4	0,732
iC5	0,12
nC5	0,086
C6	0,035
C7	0,016
C8	0,06
C9	0,001
C10	0,001
C11	0,001
C12	0,002

**Tableau I.7** ; La composition molaire de gaz de séparateur pour BERKIN.

Les constituants	La composition (%)
N2	0,488
CO2	0,576
C1	72,846
C2	14,543
C3	7,099
iC4	0,615
nC4	1,978
iC5	0,048
nC5	0,711
C6	0,375
C7	0,211
C8	0,087
C9	0,01
C10	0,0073
C11	0,001
C12	0,0001

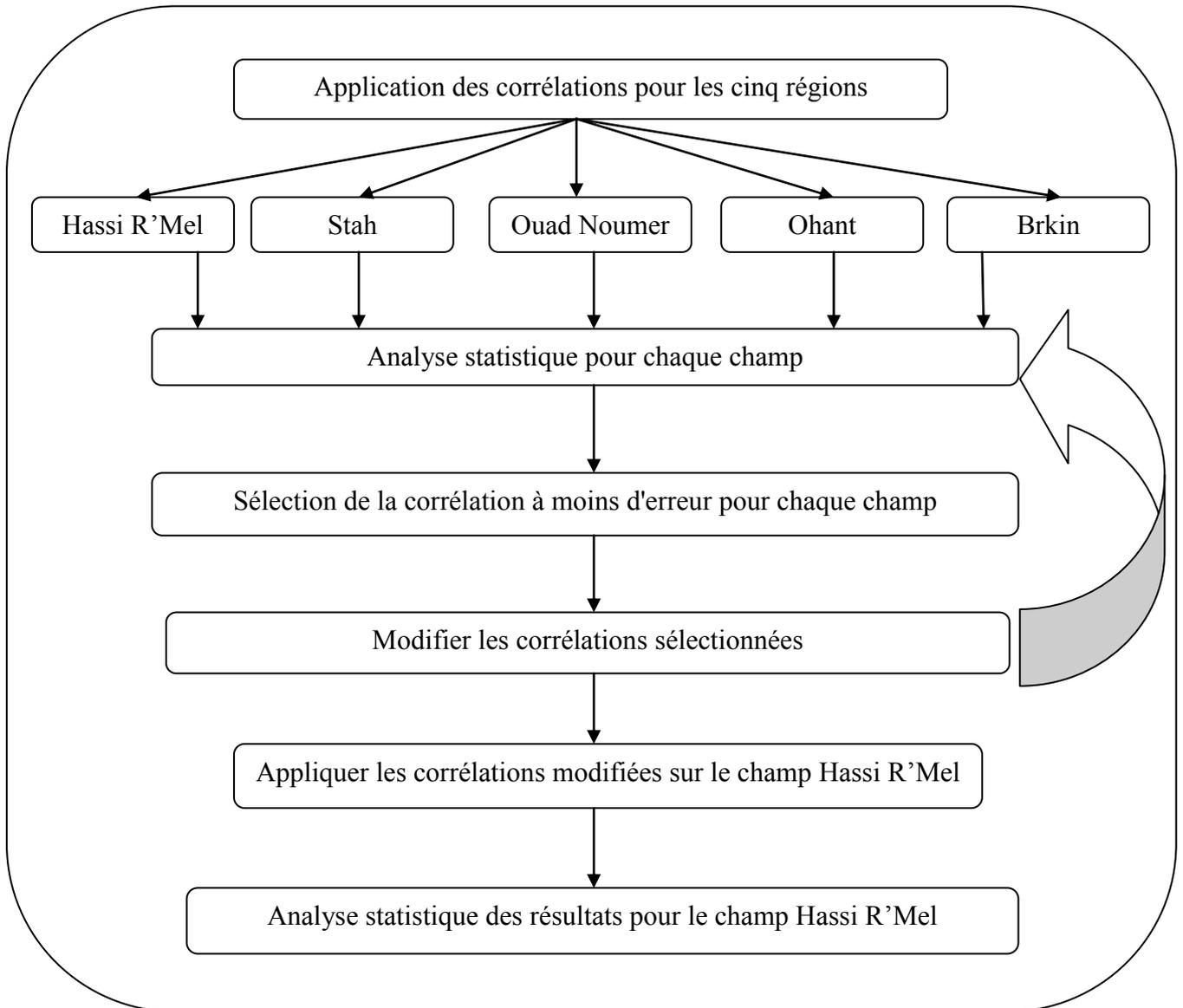
**Tableau I.8** ; La composition molaire de gaz de séparateur pour STAII.

Les constituants	La composition (%)
N2	0,346
CO2	4,972
C1	81,349
C2	7,617
C3	2,6
iC4	0,459
nC4	0,76
iC5	0,301
nC5	0,227
C6	0,32
C7	0,262
C8	0,146
C9	0,21
C10	0,139
C11	0,108
C12	0,18494

## I.2 Les organigrammes de travail ;

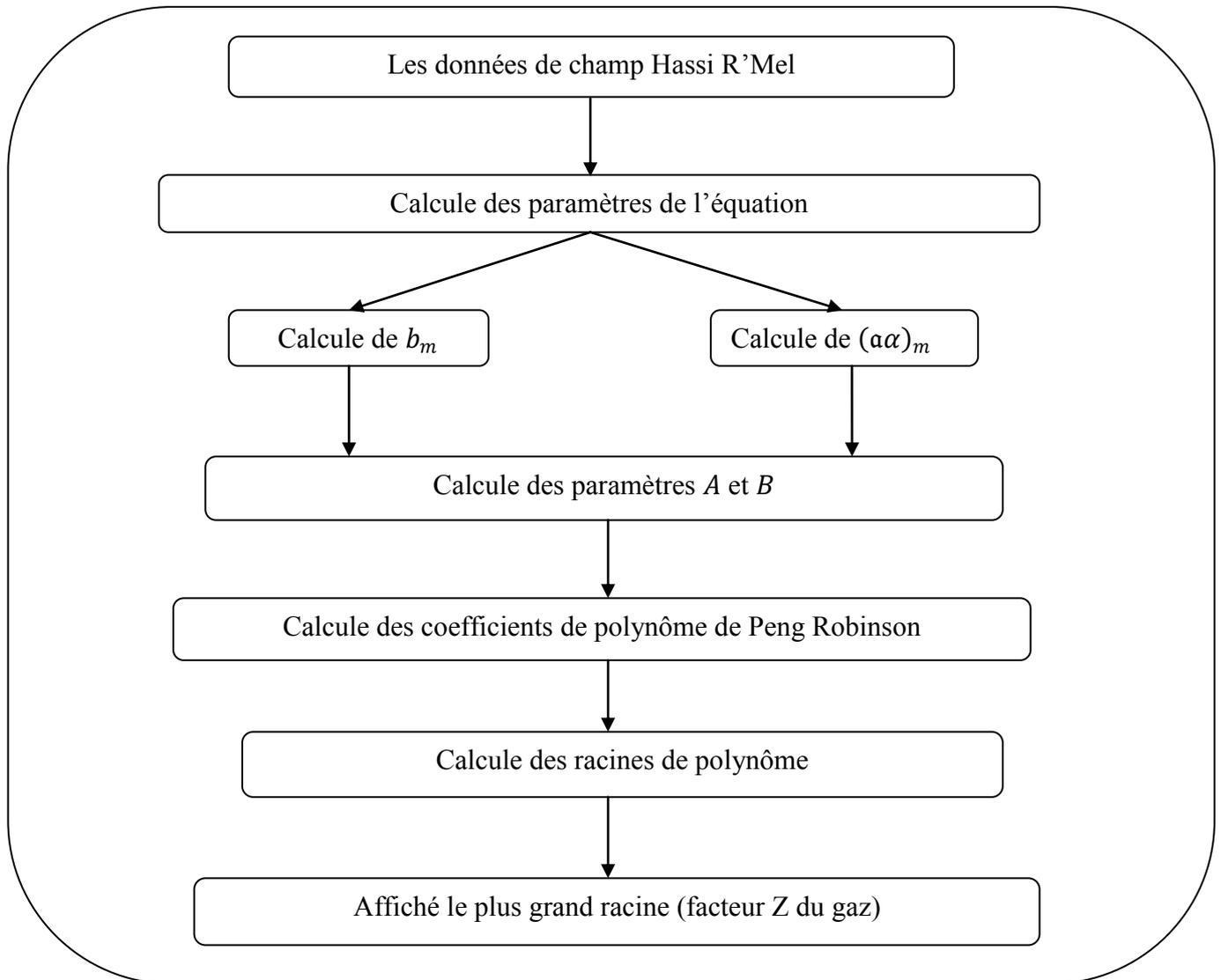
### I.2.1 L'organigramme de travail par les corrélations :

L'étude effectuée sur les corrélations se résume dans l'organigramme ci-dessous ;



**I.2.2 L'organigramme de travail par l'équation d'état ;**

²Le schéma ci-dessous représente l'organigramme de l'application de l'équation de Peng Robinson par MATLAB sur le champ Hassi R'Mel ;





*CHPITRE .II*  
*RESULTATS ET DICUTIONS*





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

**Tableau II.1** ; la température et pression critique de constituants du gaz "Hassi R'Mel".

Les constituants	$T_{ci}$ (R°)	$P_{ci}$ (psi)
$C_1$	343,08	667,75
$C_2$	549,72	707,79
$C_3$	665,64	616,27
$iC_4$	734,76	529,10
$nC_4$	765,36	550,71
$iC_5$	828,72	490,37
$nC_5$	845,46	488,63
$C_6$	913,32	436,85
$C_{7+}$	1031,56	356,99
$N_2$	227,34	492,98
$CO_2$	547,56	1070,67
$He$	9,34	32,90

La fraction  $C_{7+}$  est 2.23%.

**Tableau II.2** ; le facteur acentrique des constituants.

Les constituants	$\omega_i$
$C_1$	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
$C_{7+}$	0,4284
$N_2$	0,2250
$CO_2$	0,0400
$He$	-0,3900

La fraction  $C_{7+}$  est 2.23%.

La température critique, la pression critique et le facteur acentrique sont des propriétés physique, leur valeurs est constante pour chaque constituants du gaz.

Pour le heptane plus ; ces propriétés sont variable en fonction de la fraction molaire ( $C_{7+}$  %), la méthode du calcule de ces propriétés est indiquée dans l'annexe.

**Tableau II.3** ; la pression et la température critique de la fraction C7+ en fonction de leur compositions et la pression de réservoir (champ Hassi R'Mel)

La pression de réservoir (psi)	La composition de la fraction C7+ (%)	Tc c7+ (R°)	Pc c7+ (psi)
4424,9	2,33	1096,4	314,1
4267,0	2,33	1090,8	317,8
3982,5	2,07	1080,9	324,4
3698,1	1,90	1071,0	330,9
3413,6	1,75	1061,7	337,1
3129,1	1,61	1053,1	342,8
2844,7	1,47	1045,1	348,0
2560,2	1,35	1037,5	353,0
2275,7	1,24	1030,9	357,4
1991,3	1,15	1025,3	361,1
1706,8	1,07	1020,6	364,2
1422,3	1,01	1017,7	366,2
1137,9	1,00	1016,7	366,8
853,4	1,05	1019,6	364,9
568,9	1,03	1031,6	357,0

## II.1 Les corrélations empiriques ;

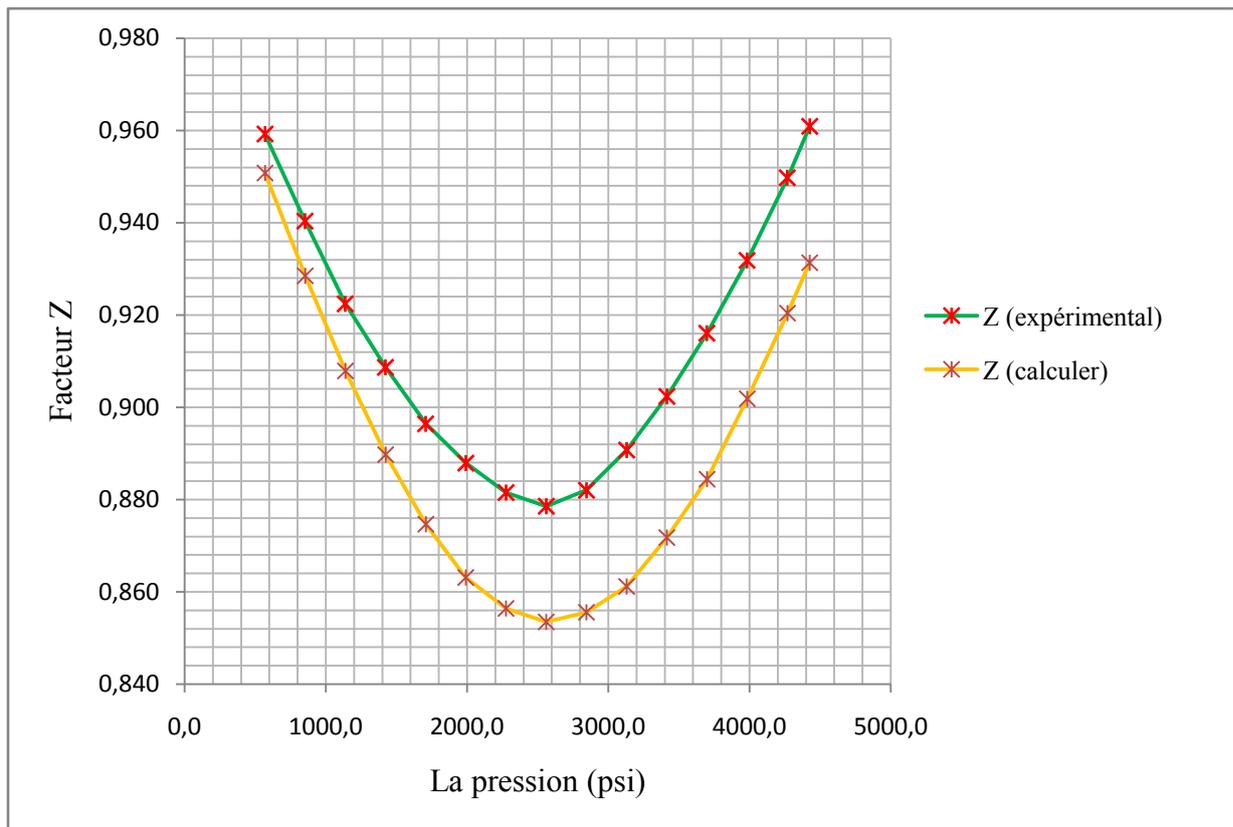
Le graphe du Standing-Katz est largement utilisé comme une source pratique de facteurs de compressibilité du gaz naturel. En conséquence, il y avait un besoin évident d'une simple description mathématique de cette carte. Plusieurs corrélations empiriques ont été développées pour calculer le facteur de compressibilité.

Dans cette partie, nous appliquons trois corrélations empiriques de facteur de compressibilité Z sont la corrélation de Beggs -Brill, la corrélation de Papy et la corrélation de S.Robertson.

### II.1.1 La corrélation de Beggs et Brill ;

**Tableau II.4** ; Les coefficients de la corrélation de Biggs et Brill.

Coefficient	Valeur
A1	1,39
A2	0,92
A3	0,36
A4	0,101
A5	0,62
A6	0,23
A7	0,066
A8	0,86
A9	0,037
A10	0,32
A11	0,132
A12	0,32
A13	0,3106
A14	0,49
A15	0,1824

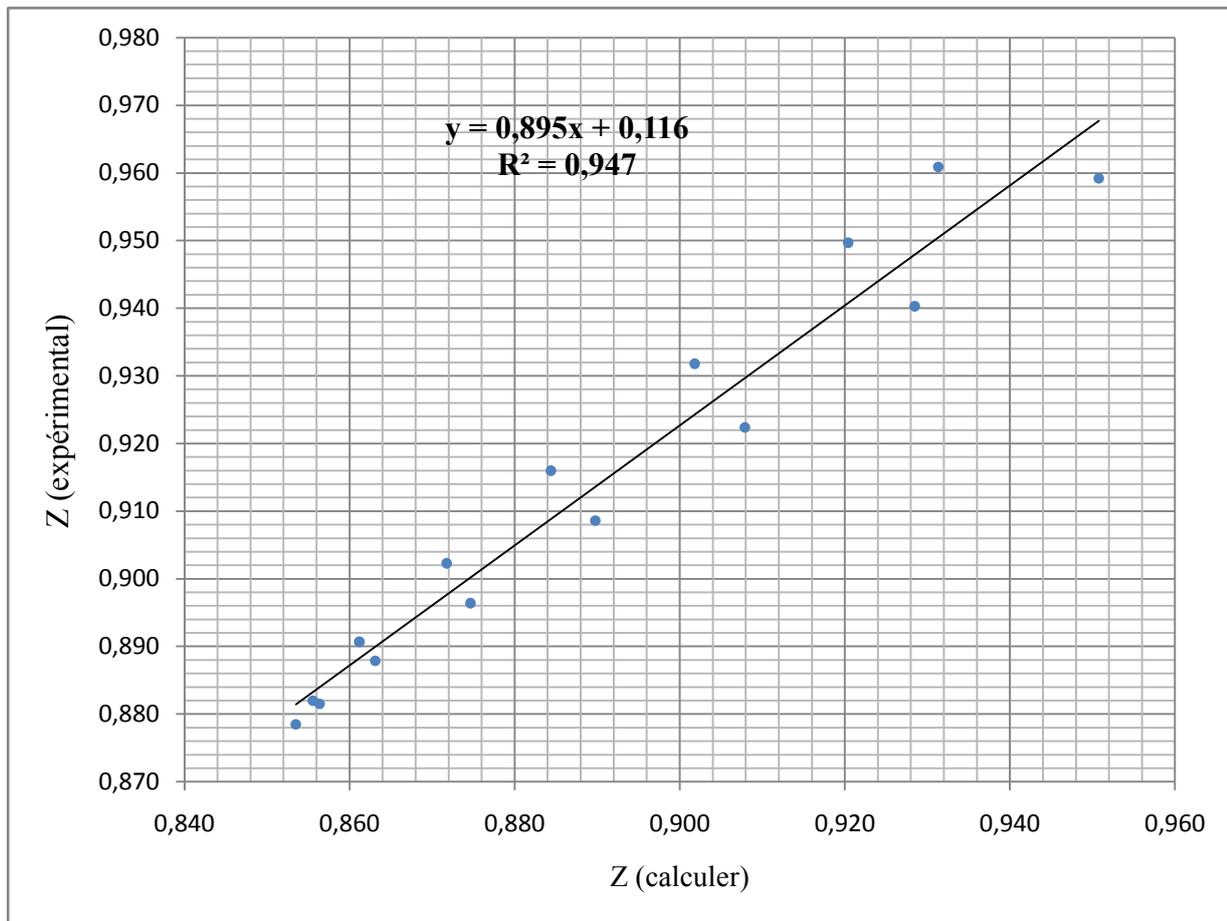


**Figure II.1** : comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de Beggs et Brill (champ Hassi R'Mel).

La similarité des courbes de Z expérimentale et Z calculé indique la fiabilité de la corrélation de Beggs-Brill dans la prédiction de Z sur le champ de Hassi R'Mel.

**Tableau II.5** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation de Beggs et Brill pour champ Hassi R'Mel.

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E max	E min	S
4424,9	0,93	0,96	3,08	3,08	9,46	2,61	2,6	3,45	0,88	0,8
4267	0,92	0,95	3,08	3,08	9,51					
3982,5	0,9	0,93	3,22	3,22	10,35					
3698,1	0,88	0,92	3,45	3,45	11,91					
3413,6	0,87	0,9	3,38	3,38	11,45					
3129,1	0,86	0,89	3,31	3,31	10,98					
2844,7	0,86	0,88	3	3	8,98					
2560,2	0,85	0,88	2,85	2,85	8,1					
2275,7	0,86	0,88	2,85	2,85	8,12					
1991,3	0,86	0,89	2,79	2,79	7,8					
1706,8	0,87	0,9	2,43	2,43	5,89					
1422,3	0,89	0,91	2,07	2,07	4,29					
1137,9	0,91	0,92	1,57	1,57	2,47					
853,4	0,93	0,94	1,26	1,26	1,58					
568,9	0,95	0,96	0,88	0,88	0,77					

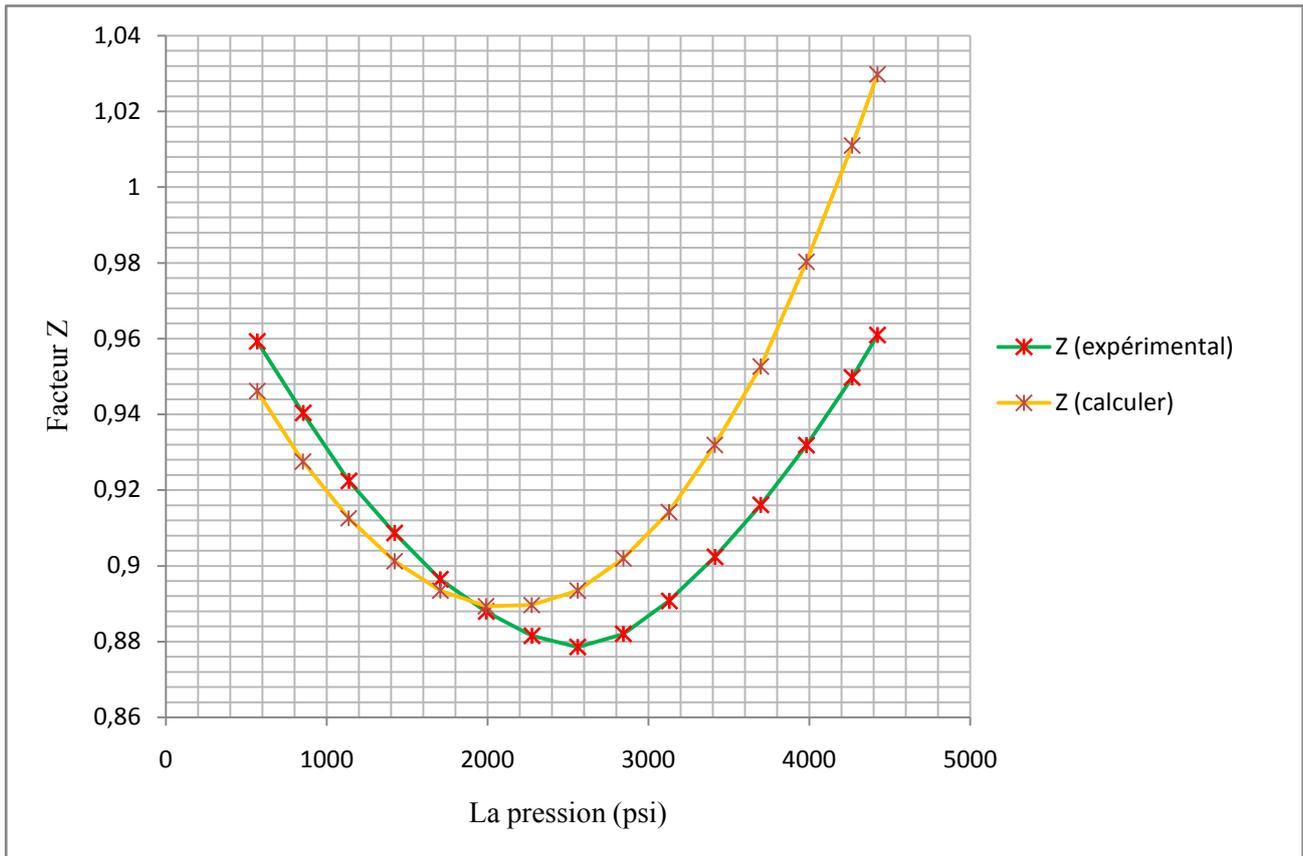


**Figure II.2** ; comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de Beggs et Brill (champ Hassi R'Mel).

### II.1.2 la corrélation de Papy ;

**Tableau II.6** ; les coefficients de la corrélation de PAPY.

Coefficient	Valeur
A1	3,35
A2	0,9813
A3	0,274
A4	0,8157



**Figure II.3** : comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de Papy (champ Hassi R'Mel).

La similarité des courbes de Z expérimentale et Z calculé indique la fiabilité de la corrélation de Papy dans la prédiction de Z sur le champ de Hassi R'Mel.

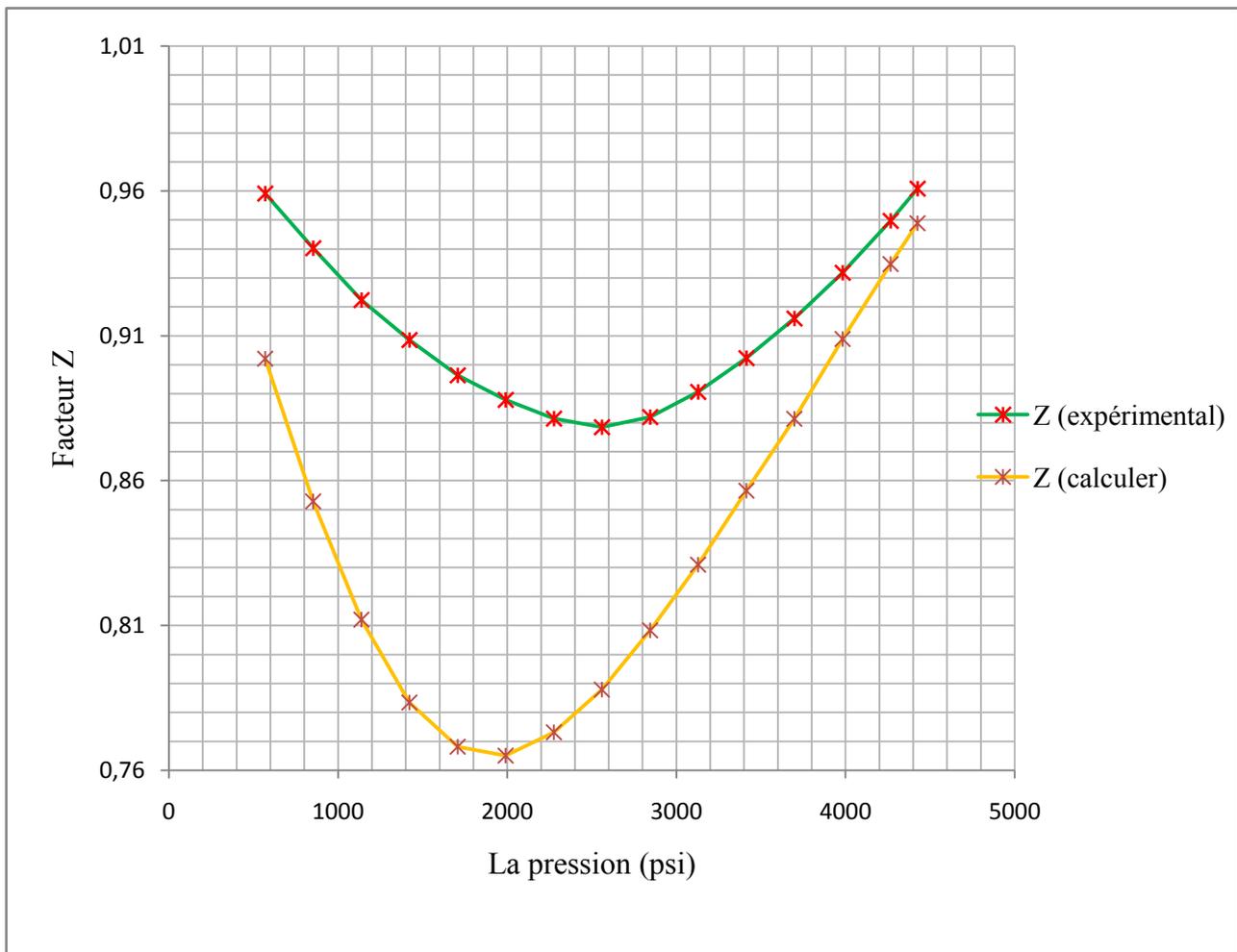
**Tableau II.7 :** étude statistique de facteur (Z) par la corrélation de Papy pour champ Hassi R'Mel.

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E max	E min	S
4424,88	1,03	0,96	-7,17	7,17	51,37	-1,92	2,58	7,17	0,16	2,74
4267,00	1,01	0,95	-6,45	6,45	41,64					
3982,54	0,98	0,93	-5,20	5,20	27,02					
3698,07	0,95	0,92	-4,00	4,00	15,98					
3413,60	0,93	0,90	-3,27	3,27	10,72					
3129,13	0,91	0,89	-2,63	2,63	6,93					
2844,67	0,90	0,88	-2,26	2,26	5,12					
2560,20	0,89	0,88	-1,70	1,70	2,88					
2275,73	0,89	0,88	-0,92	0,92	0,84					
1991,27	0,89	0,89	-0,16	0,16	0,02					
1706,80	0,89	0,90	0,33	0,33	0,11					
1422,33	0,90	0,91	0,81	0,81	0,66					
1137,87	0,91	0,92	1,07	1,07	1,15					
853,40	0,93	0,94	1,37	1,37	1,86					
568,93	0,95	0,96	1,36	1,36	1,85					

### II.1.3 La corrélation de S.Robertson ;

**Tableau II.8** ; les coefficients de la corrélation de S.robinson.

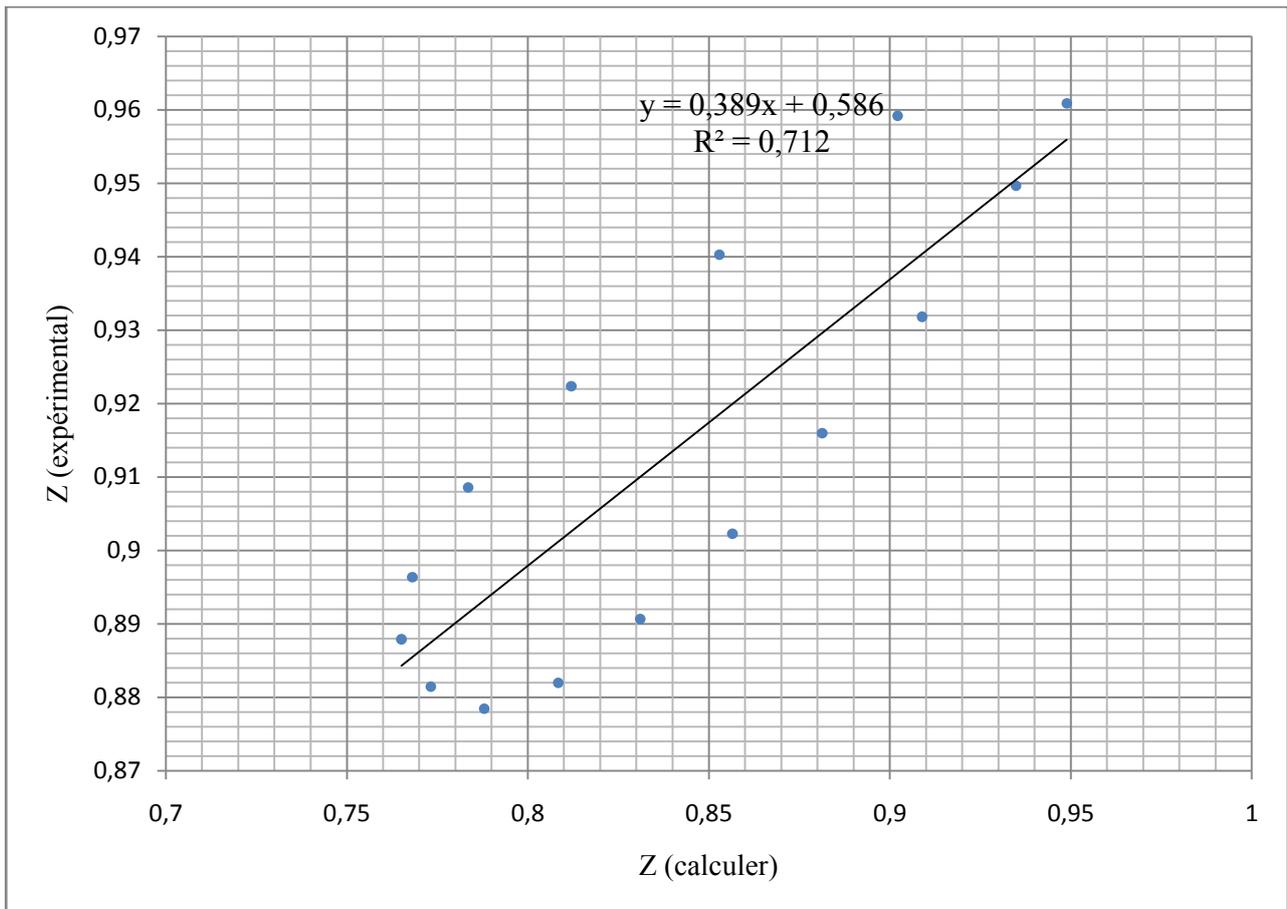
Coefficient	Valeur
A1	0,128
A2	0,638
A3	7,76
A4	14,75
A5	0,3
A6	0,441



**Figure II.4** : Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de S.Robertson (Champ Hassi R'Mel).

**Tableau II.9:** étude statistique de facteur (Z) par la corrélation de S.Robinson pour champ Hassi R'Mel.

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Er	E max	E min	S
4424,88	0,95	0,96	1,25	1,25	1,57	8,06	8,06	14,31	1,25	4,46
4267,00	0,93	0,95	1,57	1,57	2,46					
3982,54	0,91	0,93	2,46	2,46	6,05					
3698,07	0,88	0,92	3,78	3,78	14,30					
3413,60	0,86	0,90	5,07	5,07	25,69					
3129,13	0,83	0,89	6,70	6,70	44,92					
2844,67	0,81	0,88	8,35	8,35	69,70					
2560,20	0,79	0,88	10,31	10,31	106,31					
2275,73	0,77	0,88	12,29	12,29	151,15					
1991,27	0,77	0,89	13,83	13,83	191,28					
1706,80	0,77	0,90	14,31	14,31	204,82					
1422,33	0,78	0,91	13,78	13,78	189,79					
1137,87	0,81	0,92	11,97	11,97	143,21					
853,40	0,85	0,94	9,30	9,30	86,43					
568,93	0,90	0,96	5,95	5,95	35,45					



**Figure II.5** : Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation de S.Robertson. (Champ Hassi R'Mel).

L'analyse statistique des erreurs représentées dans les tableaux (II.5 et II.7) montre que la corrélation de Beggs-Brill (1986) et la corrélation de Papy(1985) surpassent la corrélation de S.Ronertson, tel que ;

- \* L'erreur absolue moyenne est d'ordre de 2.61% ( $R^2 = 0,947$ ) pour la corrélation de Beggs-Brill, et elle est d'ordre de 2.58% pour la corrélation de Papy. Les courbes de Z expérimentale et Z calculé sont quasiment confondues (figure II.1 et figure II.3).
- \* L'erreur absolue moyenne de la corrélation de S.Ronertson est d'ordre de 8.06% ( $R^2 = 0,712$ ), ce que justifiée incoordination des courbes de Z expérimentale et Z calculé (figure II.4).

## **II.2 Les corrélations empiriques modifiées ;**

Dans cette partie on essayer de développer les coefficients des corrélations à partir de l'utilisation des outils statistiques et des données expérimentales. Cette développement se fait par deux étapes ;

### Etape 1 :

On utilise les corrélations standards (du facteur  $z$ ) pour sélectionner la corrélation qui donne moins d'erreur des champs choisis.

### Etape 2 : Régression:

- \* Modifier la corrélation sélectionnée par des nouveaux coefficients adaptés aux données de chaque région choisie et recalculer les erreurs statistiques.
- \* On fait ces étapes pour chaque région; ensuite on regroupe tous les données des régions et on refait les calculs. Après tout ses calculs on teste les corrélations modifiées pour les données globales dans chaque région.

L'étude statistique se fait par la régression non linéaire au moyen du logiciel XLSTAT 2015.

Etape 3 : On recalcule les erreurs par les corrélations modifiées et on mention la corrélation modifiée qui donne moins d'erreurs moyennes relatives absolues.

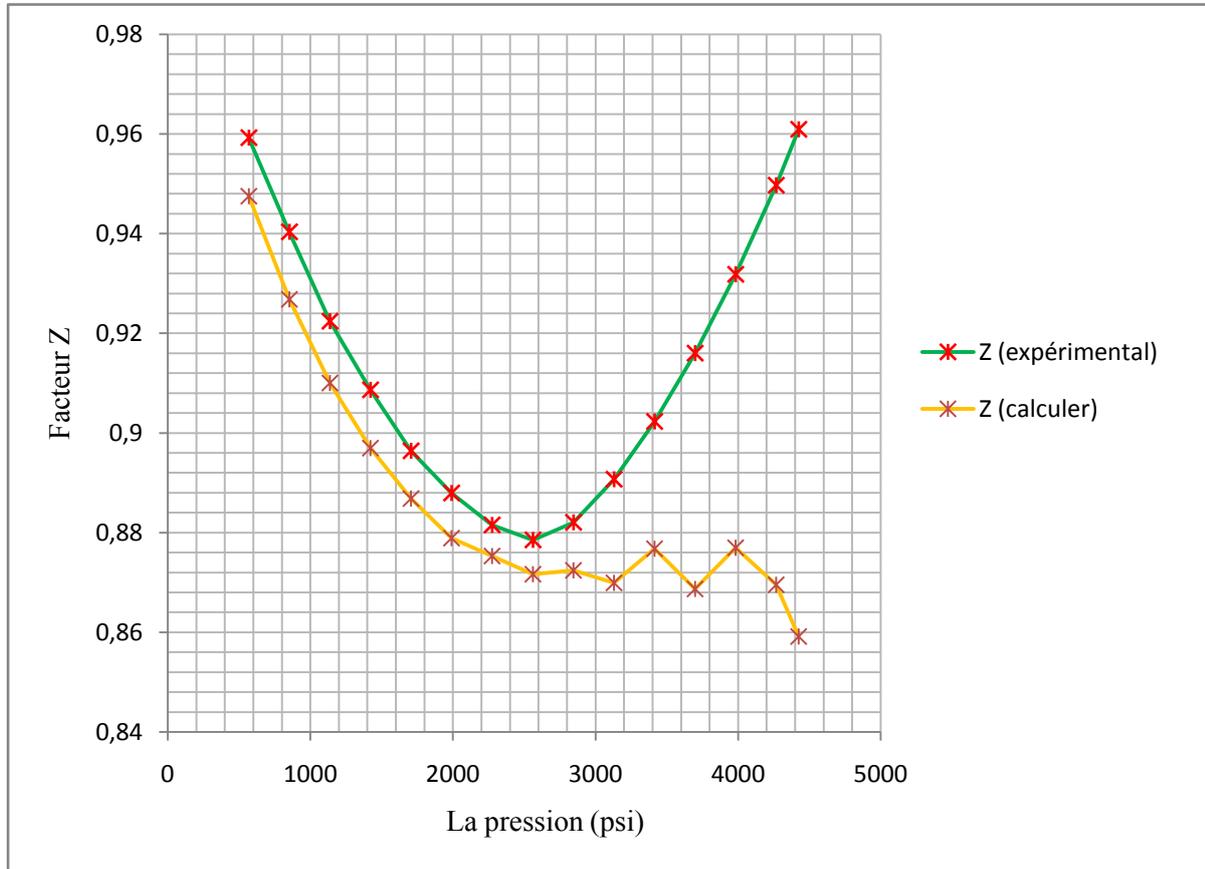
Les résultats de la modification des coefficients des corrélations se présentées dans le tableau suivant ;

**Tableau II.10** ; Les coefficients des corrélations modifiées.

Les coefficients des corrélations modifiées					
Beggs-Brill		papy		S.Robertson	
A1	-0,101	A1	2,042	A1	1238,012
A2	-9,626	A2	0,862	A2	0,355595
A3	-0,607	A3	0,005	A3	-9,306424
A4	0,69129	A4	-0,091	A4	-307,89
A5	0,01956			A5	-0,000000525
A6	-0,0268			A6	0,00000001
A7	0,08017				
A8	-4,0202				
A9	0,00576				
A10	0,32				
A11	-0,0537				
A12	-0,2811				
A13	0,75436				
A14	0,83527				
A15	0,336				

### II.3 L'application des corrélations modifiées sur le champ de Hassi R'Mel ;

#### II.3.1 La corrélation modifiée de Beggs et Brill ;



**Figure II.6** : Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Beggs et Brill (Champ Hassi R'Mel).

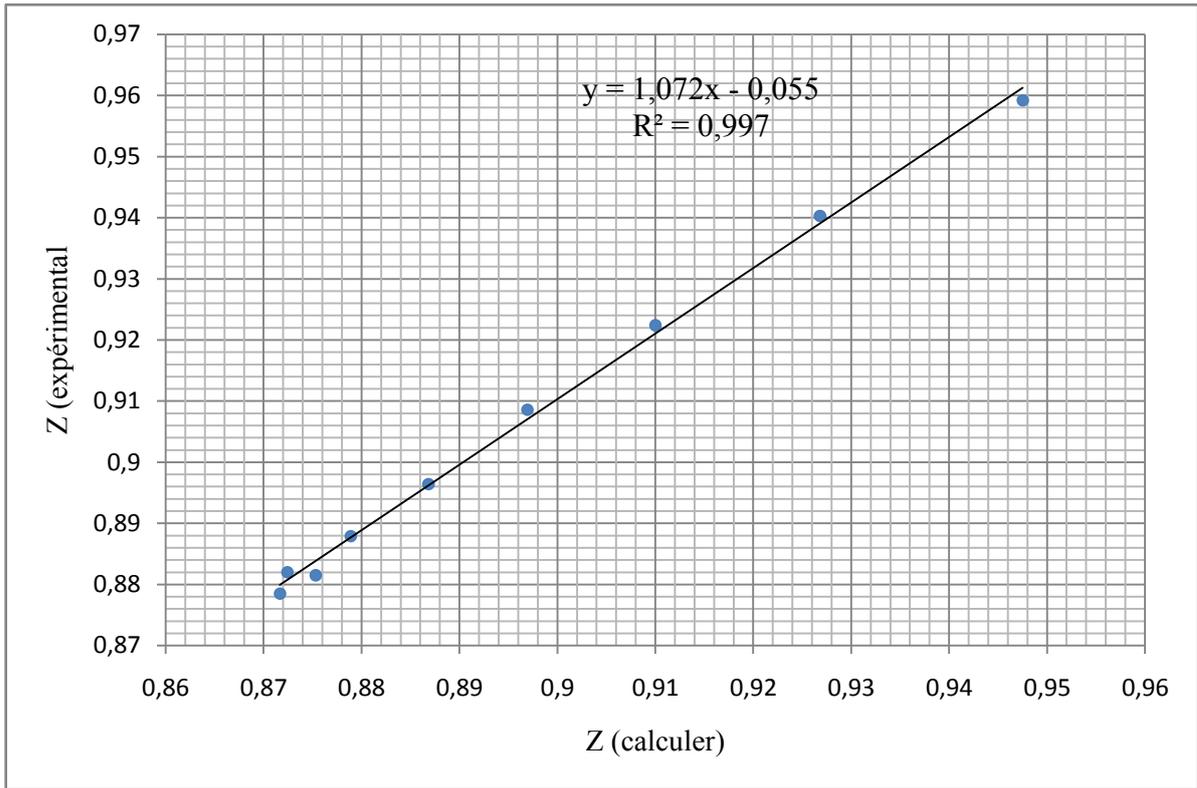
Les courbes de Z expérimentale et Z calculés sont partiellement confondues. On remarque une grande discordance à partir de la pression 2844 psi.

**Tableau II.11** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Beggs et Brill pour champ Hassi R'Mel.

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E max	E min	S
4424,88	0,86	0,96	10,59	10,59	57,41	3,01	3,01	10,59	0,70	2,98
4267,00	0,87	0,95	8,44	8,44	29,49					
3982,54	0,88	0,93	5,88	5,88	8,26					
3698,07	0,87	0,92	5,16	5,16	4,62					
3413,60	0,88	0,90	2,83	2,83	0,03					
3129,13	0,87	0,89	2,34	2,34	0,46					
2844,67	0,87	0,88	1,09	1,09	3,71					
2560,20	0,87	0,88	0,78	0,78	4,99					
2275,73	0,88	0,88	0,70	0,70	5,34					
1991,27	0,88	0,89	1,01	1,01	3,99					
1706,80	0,89	0,90	1,07	1,07	3,78					
1422,33	0,90	0,91	1,28	1,28	2,98					
1137,87	0,91	0,92	1,34	1,34	2,78					
853,40	0,93	0,94	1,44	1,44	2,48					
568,93	0,95	0,96	1,22	1,22	3,21					

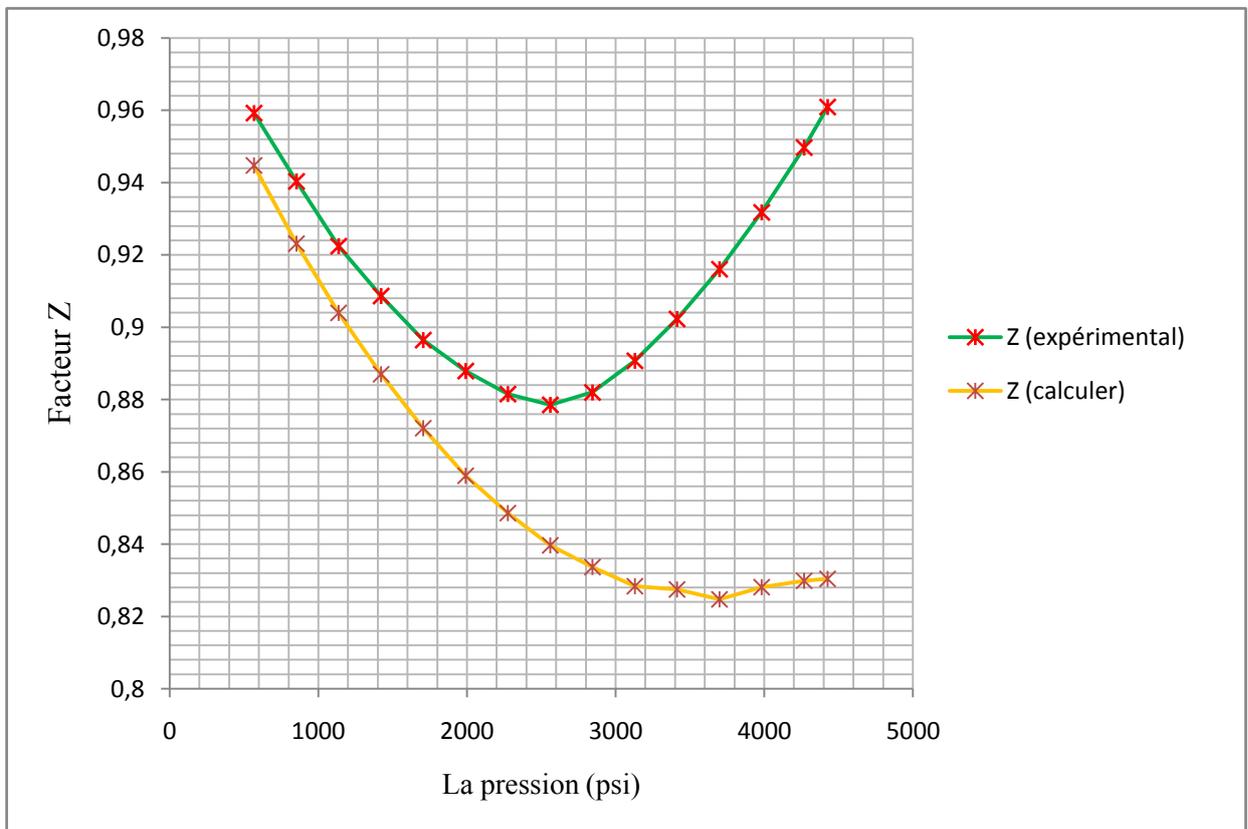
**Tableau II.12** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Beggs et Brill pour  $P \leq 2844.67$ , (champ Hassi R<sup>1</sup>MeI).

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E max	E min	S
2844,67	0,87	0,88	1,09	1,09	0,18	0,66	0,66	1,44	0,70	0,39
2560,20	0,87	0,88	0,78	0,78	0,01					
2275,73	0,88	0,88	0,70	0,70	0,00					
1991,27	0,88	0,89	1,01	1,01	0,12					
1706,80	0,89	0,90	1,07	1,07	0,16					
1422,33	0,90	0,91	1,28	1,28	0,39					
1137,87	0,91	0,92	1,34	1,34	0,47					
853,40	0,93	0,94	1,44	1,44	0,60					
568,93	0,95	0,96	1,22	1,22	0,31					



**Figure II.7** ; Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Beggs et Brill pour  $P \leq 2844.67$  (Champ Hassi R'Mel).

**II.3.2 La corrélation modifiée de Papy :**



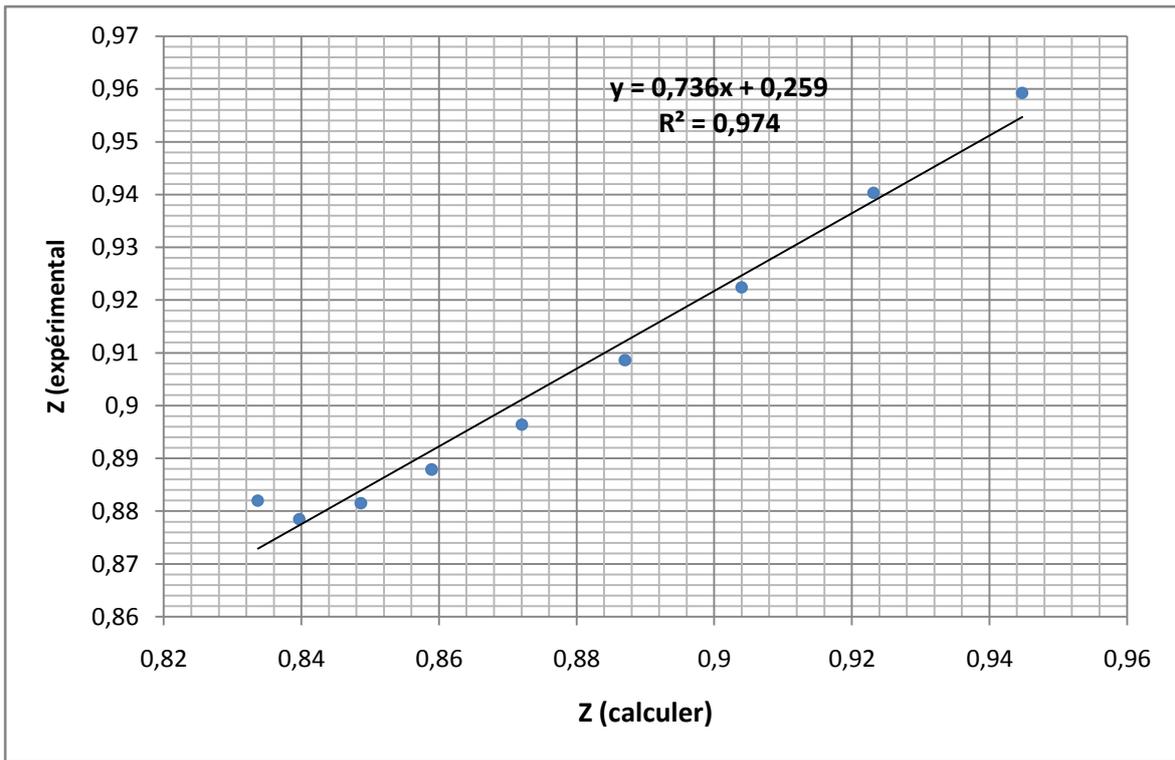
**Figure II.8** : Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Papy (Champ Hassi R'Mel).

**Tableau II.13** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Papy pour champ Hassi R'Mel.

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E Max	E min	S
4424,90	0,83	0,96	13,58	13,58	184,35	5,99	5,99	13,58	1,51	4,02
4267,00	0,83	0,95	12,61	12,61	159,04					
3982,50	0,83	0,93	11,12	11,12	123,69					
3698,10	0,83	0,92	9,96	9,96	99,14					
3413,60	0,83	0,90	8,29	8,29	68,65					
3129,10	0,83	0,89	6,99	6,99	48,89					
2844,70	0,83	0,88	5,48	5,48	30,02					
2560,20	0,84	0,88	4,42	4,42	19,51					
2275,70	0,85	0,88	3,73	3,73	13,88					
1991,30	0,86	0,89	3,26	3,26	10,64					
1706,80	0,87	0,90	2,72	2,72	7,37					
1422,30	0,89	0,91	2,37	2,37	5,63					
1137,90	0,90	0,92	2,00	2,00	3,99					
853,40	0,92	0,94	1,83	1,83	3,33					
568,90	0,95	0,96	1,51	1,51	2,27					

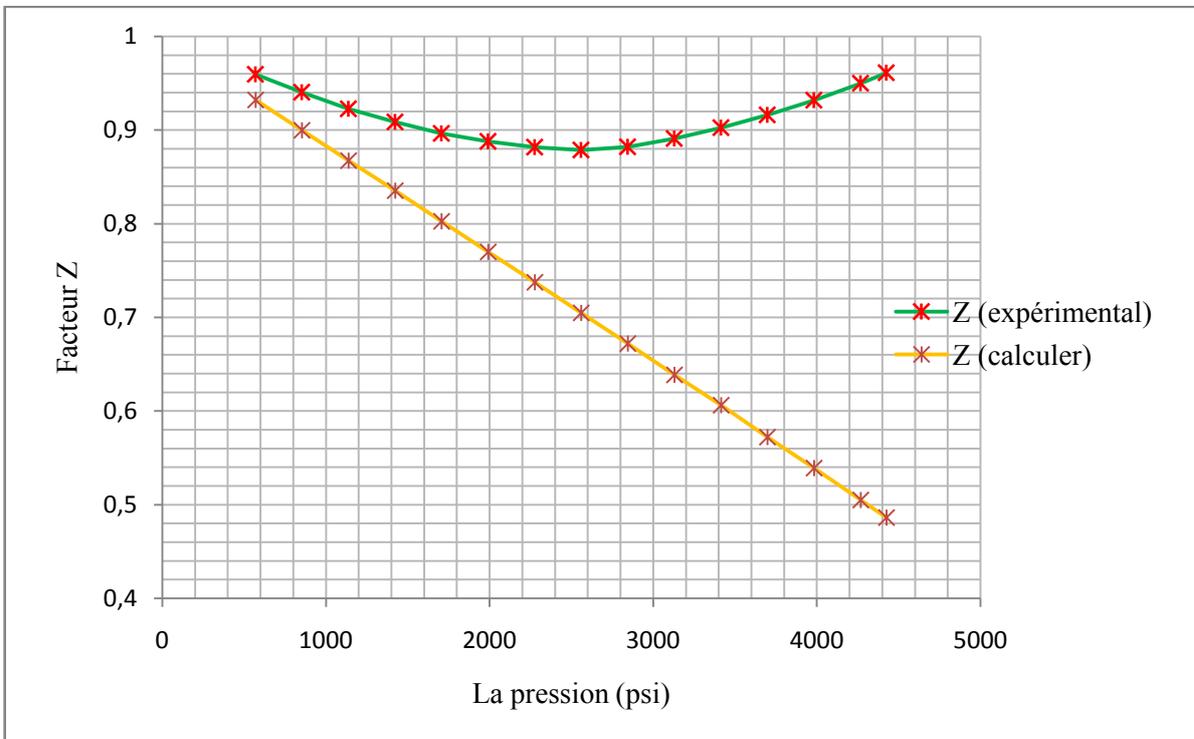
**Tableau II.14** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de Papy pour  $P \leq 2844.67$ , (champ Hassi R'Mel).

Pression (Psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E Max	E min	S
2844,70	0,83	0,88	5,48	5,48	62,51	1,82	1,82	5,48	1,51	8,08
2560,20	0,84	0,88	4,42	4,42	80,42					
2275,70	0,85	0,88	3,73	3,73	93,29					
1991,30	0,86	0,89	3,26	3,26	102,47					
1706,80	0,87	0,90	2,72	2,72	113,85					
1422,30	0,89	0,91	2,37	2,37	121,27					
1137,90	0,90	0,92	2,00	2,00	129,67					
853,40	0,92	0,94	1,83	1,83	133,63					
568,90	0,95	0,96	1,51	1,51	141,09					



**Figure II.9** ; Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée Papy pour  $P \leq 2844.67$  (Champ Hassi R'Mel).

**II.3.3 La corrélation modifiée de S.Robertson ;**



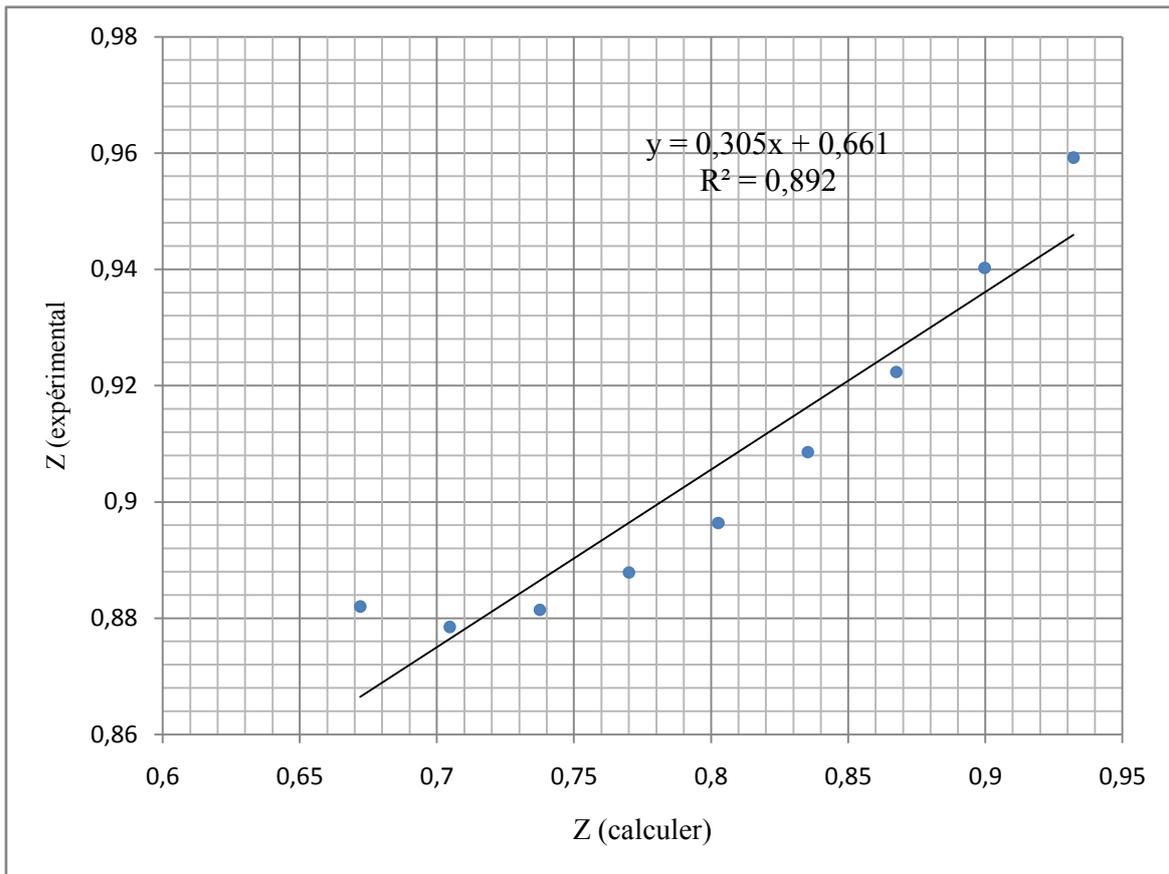
**Figure II.10** : Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée de S.Robertson (Champ Hassi R'Mel).

**Tableau II.15** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de S.Robertson pour champ Hassi R'Mel.

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E max	E min	S
4424,90	0,49	0,96	49,41	49,41	2441,48	22,79	22,79	49,41	2,82	15,37
4267,00	0,51	0,95	46,81	46,81	2190,78					
3982,50	0,54	0,93	42,16	42,16	1777,15					
3698,10	0,57	0,92	37,53	37,53	1408,65					
3413,60	0,61	0,90	32,80	32,80	1076,13					
3129,10	0,64	0,89	28,29	28,29	800,51					
2844,70	0,67	0,88	23,82	23,82	567,19					
2560,20	0,71	0,88	19,80	19,80	391,86					
2275,70	0,74	0,88	16,34	16,34	266,95					
1991,30	0,77	0,89	13,28	13,28	176,44					
1422,30	0,84	0,91	8,08	8,08	65,35					
1137,90	0,87	0,92	5,95	5,95	35,45					
853,40	0,90	0,94	4,31	4,31	18,58					
568,90	0,93	0,96	2,82	2,82	7,97					

**Tableau II.16** : étude statistique de facteur (Z) par la corrélation modifiée de S.Robertson pour  $P \leq 2844.67$ , (champ Hassi R'Mel).

Pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er) <sup>2</sup>	Er	Ea	E Max	E min	S
2844,70	0,67	0,88	23,82	23,82	283,07	6,99	6,99	23,82	2,82	6,39
2560,20	0,71	0,88	19,80	19,80	163,95					
2275,70	0,74	0,88	16,34	16,34	87,38					
1991,30	0,77	0,89	13,28	13,28	39,59					
1706,80	0,80	0,90	10,46	10,46	12,03					
1422,30	0,84	0,91	8,08	8,08	1,20					
1137,90	0,87	0,92	5,95	5,95	1,07					
853,40	0,90	0,94	4,31	4,31	7,18					
568,90	0,93	0,96	2,82	2,82	17,38					



**Figure II.11** ; Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par la corrélation modifiée S.Robertson pour  $P \leq 2844.67$  (Champ Hassi R'Mel).

Après l'application des corrélations modifiées sur le champ Hassi R'Mel, on a effectué une étude statistique sur les résultats des calculs, cette analyse statistique montre que :

- pour la corrélation modifiée de Beggs-Brill, l'erreur absolue moyenne est d'ordre de 3.01% (Tableau II.11).
- pour la corrélation modifiée de Papy, l'erreur absolue moyenne est d'ordre de 5.99% (Tableau II.13).
- pour la corrélation modifiée de S.Robertson, l'erreur absolue moyenne est d'ordre de 22.79% (Tableau II.15).

D'après ces résultats, on constate que ; les valeurs de Z calculés par les corrélations modifiées et les valeurs de Z expérimentales sont partiellement incoordonnés. Alors ; les coefficients modifiées des trois corrélations ne sont pas adoptés pour tous le domaine de pression étudiée.

La comparaison graphique représenté dans les figures II.6, II.8 et II.10 montre que : Pour les pressions inférieure à la pression 2844 psi, les courbes des  $Z$  expérimentales et  $Z$  calculés sont confondues, cette correspondance des courbes de  $Z$  expérimentale et  $Z$  calculé est très remarquable pour la corrélation modifiée de Beggs-Brill et pour la corrélation modifiée de Papy.

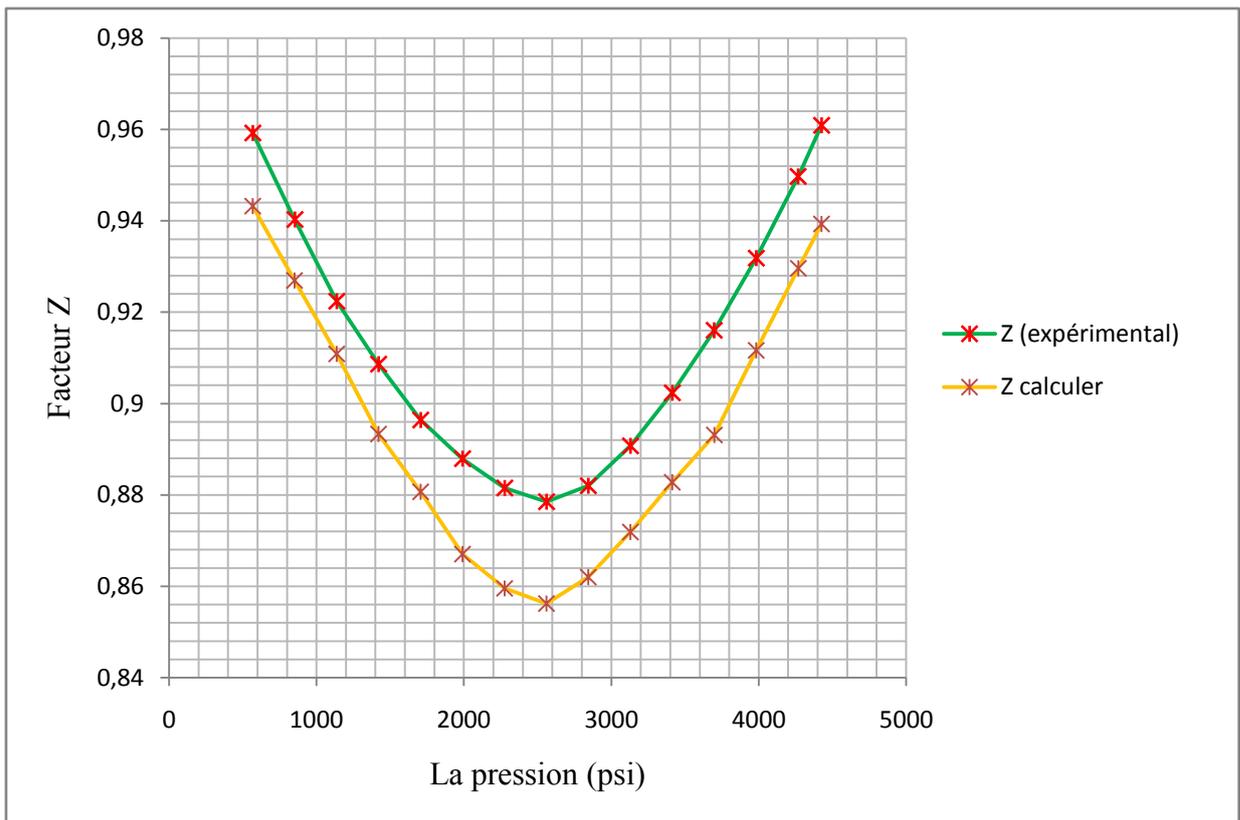
Une autre étude statistique a été effectuée sur les valeurs de  $Z$  correspondant aux pressions inférieures à la pression 2844 psi, et elle montre que ;

- L'erreur absolue moyenne est d'ordre de 0.66% (Tableau II.12), et  $R^2=0.997$  (figure II.7) pour la corrélation modifiée de Beggs-Brill, ce qui signifie que les coefficients de cette corrélation sont très adoptés pour le gaz de Hassi R'Mel avec une condition de pression ( $p < 2844$ psi).
- L'erreur absolue moyenne est d'ordre de 1.82% (Tableau II.14) et  $R^2=0.974$  (figure II.9) pour la corrélation modifiée de Papy, ce qui signifie que les coefficients modifiés de cette corrélation sont adoptés pour les pressions inférieures à la pression 2844 psi.
- L'erreur absolue moyenne est d'ordre de 6.99% (Tableau II.16) et  $R^2=0.892$  (figure II.11) pour la corrélation modifiée de S.Robertson, autrement dit ; l'erreur pour la corrélation modifiée de S.Robertson est plus grande que les autres corrélations, donc ; les coefficients modifiés de cette corrélation ne sont pas acceptables sur tout le domaine de pression étudiée.

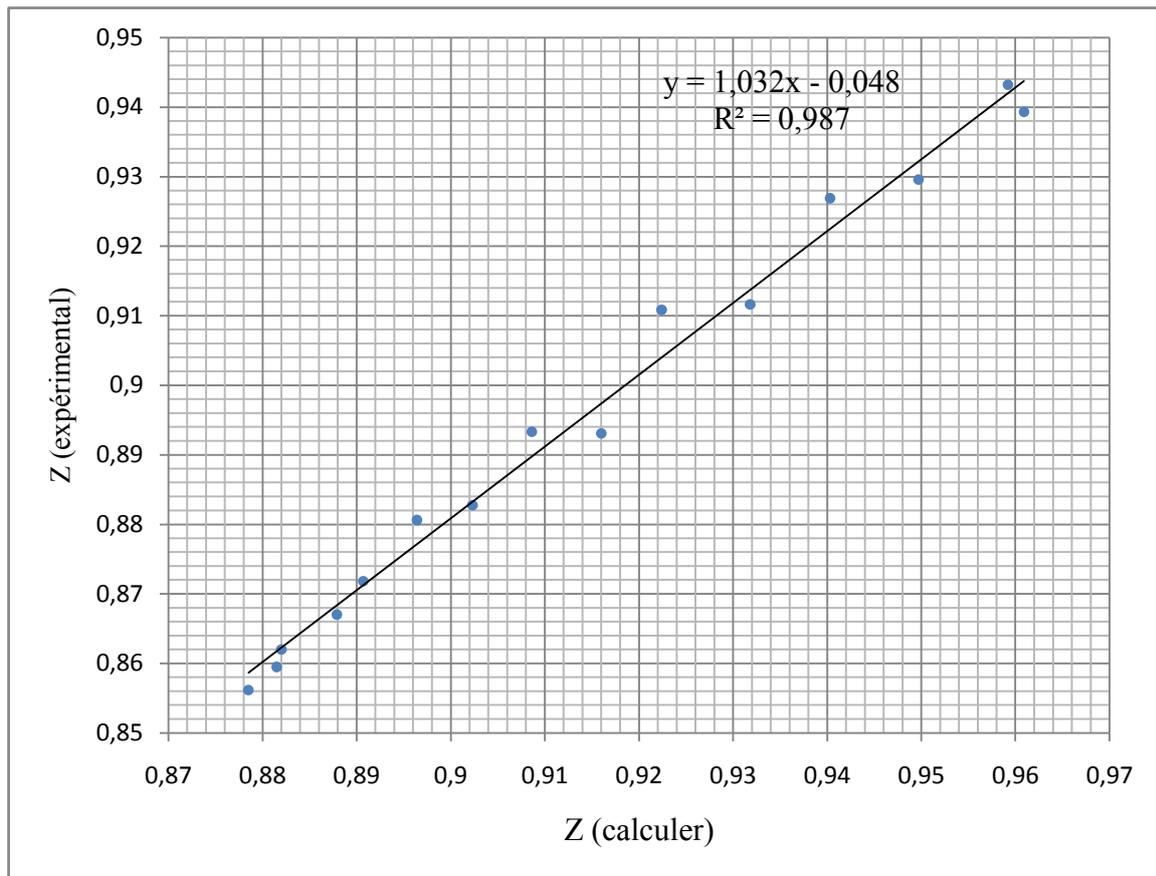
## II.4 Application de l'équation de Peng Robinson par MATLAB

Pour la prédiction des comportements de système d'hydrocarbure naturel ; Peng et Robinson (1976) effectuons une étude complète concernons l'évaluation de l'utilisation de l'équation d'état de Soave-Redlich-Kwong, ils sont amélioré l'équation d'état de façon qu'elle est capable de déterminé la densité des liquides et autres propriétés de fluide, particulièrement dans les régions voisines au domaine critique. Donc est une base pour la création d'une meilleur modèle. L'équation d'état de Peng-Robinson peut être écrire sous la forme polynômial indiquée dans l'annexe.

On applique l'équation d'état de Peng Robinson sur le champ Hassi R'Mel à l'aide d'un programme MATLAB qui permette de calculer les racines de polynôme de l'équation pour chaque pression, puis nous effectuons une analyse statistique sur les résultats de calcules.



**Figure II.12 :** Comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par l'application de l'équation d'état de Peng Robinson sur MATLAB (Champ Hassi R'Mel).



**Figure II.13** : Comparaison entre Z expérimental et Z calculé par l'équation d'états de Peng Robinson (Champ Hassi R'Mel).

**Tableau II.17 :** étude statistique de facteur (Z) calculé par l'application de l'équation de Peng Robinson sur MATLAB (champ Hassi R'Mel).

La pression (psi)	Z calculer	Z expérimental	Ei	Ei	(Ei-Er)^2	Er	Ea	E Max	E min	S
4424,90	0,94	0,96	2,25	2,25	5,05	2,05	2,05	2,54	1,25	2,09
4267,00	0,93	0,95	2,12	2,12	4,50					
3982,50	0,91	0,93	2,17	2,17	4,69					
3698,10	0,89	0,92	2,50	2,50	6,27					
3413,60	0,88	0,90	2,17	2,17	4,71					
3129,10	0,87	0,89	2,12	2,12	4,49					
2844,70	0,86	0,88	2,27	2,27	5,15					
2560,20	0,86	0,88	2,54	2,54	6,47					
2275,70	0,86	0,88	2,50	2,50	6,24					
1991,30	0,87	0,89	2,35	2,35	5,54					
1706,80	0,88	0,90	1,76	1,76	3,11					
1422,30	0,89	0,91	1,69	1,69	2,84					
1137,90	0,91	0,92	1,25	1,25	1,57					
853,40	0,93	0,94	1,43	1,43	2,04					
568,90	0,94	0,96	1,67	1,67	2,78					

La figure II.12 représente la comparaison graphique entre Z expérimental et Z calculé par l'application de l'équation d'état de Peng Robinson sur MATLAB, cette comparaison montre une correspondance entre les deux courbes.

Analyse statistique montre que : L'erreur absolue moyenne est d'ordre de 2.05% (Tableau II.16), et  $R^2=0.987$  (figure II.13), ce qui signifie que l'équation d'état de Peng Robinson est le moyen le plus précise et le plus fiable dans le calcul de facteur de compressibilité Z. et le bénéfice de l'utilisation de logiciel MATLA dans la prédiction des valeurs de Z est de minimiser le temps de prédiction et maximiser la réhabilité et la flexibilité sélectionnés.



*ANNEXE*



- \* La pression et la température réduite ;

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad T_r = \frac{T}{T_c} \quad (1)$$

- \* La pression et la température pseudo-critique ;

$$P_{pc} = \sum_{i=1}^n y_i P_{Ci} \quad T_{pc} = \sum_{i=1}^n y_i T_{Ci} \quad (2)$$

- \* La pression et la température pseudo-réduite ;

$$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} \quad T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} \quad (3)$$

- \* La corrélation de Beggs et Brill ;

$$Z = A + (1 - A) \cdot e^{-B} + C \cdot P_{pr}^D \quad (4)$$

$$A = A1 * (T_{pr} - A2)^{A3} - (A4 \cdot T_{pr}) - A5$$

$$B = (A6 - A7 \cdot T_{pr}) \cdot P_{pr} + \left( \frac{A8}{T_{pr} - A9} - A10 \right) \cdot P_{pr}^2 + \left( \frac{A12}{T_{pr} - 1} \right) \cdot P_{pr}^6 \cdot 10^{-3}$$

$$C = A13 - A14 \cdot \log(T_{pr})$$

$$D = 10^{(A15 - A16 \cdot T_{pr} + A16 \cdot T_{pr}^2)}$$

- \* La corrélation de Papy ;

$$Z = 1 - \left( A1 \cdot \frac{P_{pr}}{10^{(A2 \cdot T_{pr})}} \right) + \left( A3 \cdot \frac{P_{pr}^2}{10^{(A4 \cdot T_{pr})}} \right) \quad (5)$$

- \* La corrélation de S.Robertson

$$Z = 1 + A1 \cdot T_{pr}^{A2} \cdot \left( \frac{P_{pr}}{T_{pr}^2} - (T_{pr} - A3 + \frac{A4}{T_{pr}}) \right) \cdot \left( 1 - \text{Exp} \left( - (A5 \frac{P_{pr}}{T_{pr}} + A6 \cdot \left( \frac{P_{pr}}{T_{pr}} \right)^2) \right) \right) \quad (6)$$

- \* L'équation d'état de Peng Robinson ;

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a\alpha(T)}{V(V + b) + b(V - b)} \quad (7)$$

- La forme polynômiale de l'équation ;

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 2B - 3B^2)Z + (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (8)$$

- Les paramètres de l'équation ;

$$a = \Omega_a \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad \text{et} \quad b = \Omega_b \frac{RT_c}{P_c}$$

$$\Omega_a = 0.45724$$

$$\Omega_b = 0.07780$$

$$\alpha(T) = [1 + m(1 - \sqrt{T_r})]^2$$

$$m = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 \quad \text{Pour ; } \omega \leq 0.49$$

$$m = 0.379642 + 1.48503\omega - 0.164423\omega^2 + 0.016666\omega^3 \quad \text{Pour ; } \omega > 0.49$$

$$A = \frac{(\alpha\alpha)P}{(RT)^2} \quad \text{et} \quad B = \frac{bP}{RT}$$

$$(\alpha\alpha)_m = \sum_i \sum_j [y_i y_j \sqrt{\alpha_i \alpha_j} (1 - k_{ij})]$$

$$b_m = \sum_i [y_i b_i]$$

- \* Les corrélations utilisées pour calculer les propriétés de la fraction ( $C_{7+}$ ) sont présentés ci-dessous ;

- Le poids moléculaire (molecular weight,  $MW$ );

$$MW_{C_{7+}} = 94.6858 + 18.08590741 * C_{7+\%} \quad \text{Tel que ; } 0.96 \leq C_{7+\%} \leq 2.63$$

La densité (specific gravity,  $\gamma$ );

$$\gamma_{C_{7+}} = \frac{0.886319 * MW_{C_{7+}}}{23.159523 + MW_{C_{7+}}} \quad \text{pour } 110 \leq MW_{C_{7+}} \leq 181.8$$

$$\gamma_{C_{7+}} = \frac{1.0006487 * MW_{C_{7+}}}{49.5976278 + MW_{C_{7+}}} \quad \text{pour } 181.8 \leq MW_{C_{7+}} \leq 266$$

- Température critique ( $T_c$  en  $F^\circ$ );

$$T_c \text{ pour } C_{7+} = 183.5701090 + 3.31047248 * MW_{C_{7+}}$$

- Pression critique ( $P_c$  en psi);  $P_c$  pour  $C_{7+} = 613.7122893 - 2.18863619 * MW_{C_{7+}}$

- La température d'ébullition (boiling point temperature,  $T_b$  en  $^\circ R$ ); est calculé à partir de la méthode de Rowe 1978;  $T_b$  pour  $C_{7+} = 0.0004347(T_c)_{C_{7+}}^2 + 265$

- Le facteur acentrique ; est calculé à partir de la corrélation de Watansiri-Owens-Starling 1985 ;

$$w_{C_{7+}} = \left\{ \begin{array}{l} 5.12316667 \times 10^{-4} T_b + 0.281826667 \left( \frac{T_b}{M} \right) \\ + \frac{382.904}{M} + 0.074691 \times 10^{-5} \left( \frac{T_b}{\gamma} \right)^2 \\ -0.12027778 \times 10^{-4} (T_b M) + 0.001261 (\gamma M) \\ + 0.1265 \times 10^{-4} (M)^2 + 0.2016 \times 10^{-4} (\gamma) (M)^2 \\ -66.29959 \frac{(T_b)^{1/3}}{M} - 0.0025452 \frac{(T_b)^{2/3}}{\gamma^2} \end{array} \right\} \left[ \frac{5T_b}{9M} \right]$$

- Le coefficient d'interaction binaire ( $k_{i,C_{7+}}$ );

- Pour  $i = C_n$  tel que  $n = 1, 2 \dots 6$ ,

le coefficient d'interaction binaire est calculé par les deux étapes suivantes ;

Calcule du coefficient d'interaction binaire entre le méthane et heptanes-plus à partir de l'équation suivante ( $T$  en °R);

$$k_{C_1, C_{7+}} = 0.00189T - 1.167059$$

Calcule du coefficient d'interaction binaire entre les composants plus lourds que le méthane ( $C_2, C_3$ , ect) et le hêptane-plus par la méthode de Thomassen, and Fredenslund (1989);

$$k_{C_n, C_{7+}} = 0.8k_{C_{(n-1)}, C_{7+}}$$

- Pour le cas où l'indice ( $i$ ) représente les composants nonhydrocarbure, tel que ; le Nitrogène ( $N_2$ ), Dioxyde de Carbone ( $CO_2$ ) et le Hélium ( $He$ ), le coefficient d'interaction binaire est calculé à partir de la corrélation généralisé de Nikos et Al,(1986):

$$k'_{i,j} = \partial_2 T_{r,j}^2 + \partial_1 T_{r,j} + \partial_0$$

Pour le Nitrogène ;

$$\partial_0 = 0.1751787 - 0.7043 \log(w_j) - 0.862066 [\log(w_j)]^2$$

$$\partial_1 = -0.584474 + 1.328 \log(w_j) + 2.035767 [\log(w_j)]^2$$

$$\partial_2 = 2.257079 + 7.869765 \log(w_j) + 13.50466 [\log(w_j)]^2 + 8.3864 [\log(w_j)]^3$$

La corrélation de correction est (La pression en psi);  $k_{i,j} = k'_{i,j} (1.04 - 4.2 \times 10^{-5} P)$

Pour le Dioxyde de carbone ;

$$\partial_0 = 0.4025636 + 0.1748927 \log(w_j)$$

$$\partial_1 = -0.94812 - 0.6009864 \log(w_j)$$

$$\partial_2 = 0.741843368 + 0.441775 \log(w_j)$$

La corrélation de correction est;  $k_{i,j} = k'_{i,j} (1.044269 - 4.375 \times 10^{-5}P)$

\* L'erreur en pourcent ;

$$E_i = \frac{Z \text{ expérimentale} - Z \text{ calculé}}{Z \text{ expérimentale}} \times 100$$

\* L'erreur absolue en pourcent =  $|E_i|$

\* L'erreur moyenne ;  $E_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$

\* L'erreur moyenne absolue ;  $E_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i|$

\* L'erreur absolue maximum ;  $E_{max} = \max_i |E_i|$

\* L'erreur absolue minimum ;  $E_{min} = \min_i |E_i|$

\* La déviation standard ;  $S = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (E_i - E_r)^2}$

Le programme sur MATLAB:

```

clc; clear all; close all;
%pour pression 1
Yi = [0.7868 0.0736 0.0287 0.006 0.0108 0.0036 0.0048 0.0059 0.0233 0.0531 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 201495.3687 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha_i = [0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.499767 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.4289015370000 0.6483645070000 0.9016753510000 1.1592795970000
1.1601728030000 1.4107828310000 1.4444069550000 1.745281628000000 2.914166455
0.3849658520000 0.4269285420000 0.2369901510000];
Kij=U=[0,0.005,0.01,0.035,0.0250,0.05,0.03,0.03,0.0683773,0.025,0.105,0.02;0.005,0,0.005,
0.005,0.01,0.02,0.02,0.02,0.05470184,0.01,0.13,0.001;0.01,0.005,0,0,0,0.015,0.015,0.01,0.04
3761472,0.09,0.123,0.05;0.035,0.005,0,0,0.0050,0.005,0.005,0.0050,0.0350091780,0.09500,0
.12,0.042;0.0250,0.010,0,0.005,0,0.005,0.005,0.035009178,0.095,0.1150,0.0420;0.05,0.02,0.
015,0.005,0.0050,0,0,0,0.028007342,0.1,0.115,0.3;0.030,0.02,0.015,0.005,0.0050,0,0,0,0.028
007342,0.1,0.115,0.3;0.03,0.02,0.01,0.005,0.005,0,0,0,0.0224058740,0.11,0.115,0.3;0.06837
73,0.05470184,0.043761472,0.035009178,0.035009178,0.0280073420,0.028007342,0.02240
5874,0,0.0995107580,0.0941702070,0.091499931;0.025,0.010,0.09,0.095,0.095,0.1,0.1,0.11,
0.099510758,0,0,0;0.105,0.13,0.123,0.12,0.1150,0.1150,0.115,0.1150,0.094170207,0,0,0;0.0
2,0.001,0.05,0.042,0.042,0.30,0.3,0.3,0.091499931,0,0,0];
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i, j)= (Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha_i(i)*alpha_i(j))*(1-Kij(i, j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p1= 4424.881074 ;
A = sum(d)*p1/(10.73*653.67)^2;
B= sum(bm)*p1/(10.73*653.67);
C2 = -(1-B)-0.32;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.035;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.035;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z1 = max(roots(coef(1,:)));
Z1

```

```

disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 2
Yi = [0.7868 0.0736 0.0287 0.006 0.0107 0.0036 0.0048 0.0058 0.0223 0.0533 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 197097.4022 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.494967634 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.4289015370000 0.6483645070000 0.9016753510000 1.15927959700
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.74528162800
2.865266778 0.3849658520000 0.4269285420000 0.23699015100];
Kij =U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j))*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p2 = 4267.002;
A = sum(d)*p2/(10.73*653.67)^2;
B = (sum(bm)*p2/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.3;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.032;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.032;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z2 = max(roots(coef(1,:)));
Z2
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 3
Yi = [0.7879 0.0735 0.0286 0.006 0.0107 0.0035 0.0047 0.0057 0.0207 0.0535 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 189607.4841 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.486426027 0.257533 0.920896 8.840285];

```

```

bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.781709777 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij=U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpai(i)*alpai(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p3 = 3982.5352;
A = sum(d)*p3/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p3/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.27;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.025;
C4 = ((A*B)-(B^2)-(B^3))-0.025;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z3 = max(roots(coef(1,:)));
Z3
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 4
Yi = [0.7916 0.0735 0.0285 0.0059 0.0106 0.0035 0.0047 0.0056 0.019 0.0537 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 182446.1476 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpai = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.477790863 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.701468343 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i, j)= (Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpai(i)*alpai(j))*(1-Kij(i, j)));
end;
end;

```

```

bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p4 = 3698.0684;
A = sum(d)*p4/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p4/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.24;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.019;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.019;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z4 = max(roots(coef(1,:)));
Z4
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 5
Yi = [0.7934 0.0735 0.0284 0.0059 0.0105 0.0034 0.0046 0.005 0.0175 0.0538 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 176041.7481 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.494967634 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.629396789 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij=U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')

```

```

p5 = 3413.6016;
A = sum(d)*p5/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p5/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.2;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.019;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.019;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z5 = max(roots(coef(1,:)));
Z5
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 6
Yi = [0.795 0.0735 0.0284 0.0059 0.0105 0.0034 0.0046 0.0053 0.0161 0.0539 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 170323.4935 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha_i = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.486426027 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.564780788 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij =U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha_i(i)*alpha_i(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p6 = 3129.1348;
A = sum(d)*p6/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p6/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.168;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.017;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.017;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z6 = max(roots(coef(1,:)));

```

Z6

disp('les coefficients de Z :')

coef

% pour pression 7

$$Y_i = [0.7965 \ 0.0735 \ 0.0283 \ 0.0058 \ 0.0104 \ 0.0034 \ 0.0045 \ 0.0052 \ 0.0147 \ 0.0541 \ 0.0017 \ 0.0017];$$

$$a_i = [9279.345505 \ 22476.31506 \ 37848.95998 \ 53715.30412 \ 55995.45557 \ 73727.97859 \ 77009.97407 \ 100520.0801 \ 165230.9763 \ 5519.025546 \ 14741.82483 \ 139.5858882];$$

$$\alpha_i = [0.723832 \ 0.907203 \ 1.010927 \ 1.073919 \ 1.104621 \ 1.165538 \ 1.18806 \ 1.266719 \ 1.477790863 \ 0.257533 \ 0.920896 \ 8.840285];$$

$$b_i = [0.428901537000000 \ 0.648364507000000 \ 0.901675351000000 \ 1.159279597000000 \ 1.160172803000000 \ 1.410782831000000 \ 1.444406955000000 \ 1.745281628000000 \ 2.507010793 \ 0.384965852000000 \ 0.426928542000000 \ 0.236990151000000];$$

Kij = U

S = zeros(12, 12);

for i=1:12

for j = 1:12

$$S(i,j) = (Y_i(i) * Y_i(j) * \sqrt{a_i(i) * a_i(j) * \alpha_i(i) * \alpha_i(j)}) * (1 - K_{ij}(i,j));$$

end;

end;

bm = zeros(1, 12);

for i = 1:12

$$b_m(i) = b_m(i) + (b_i(i) * Y_i(i));$$

end;

d = sum(S, 1)';

o = sum(bm);

disp('la somme Totale est :')

sommeTotale= sum(d)

sum(d);

disp('la somme des bm')

p7 = 2844.668;

$$A = \text{sum}(d) * p7 / (10.73 * 653.67)^2;$$

$$B = (\text{sum}(b_m) * p7 / (10.73 * 653.67));$$

$$C2 = -(1-B) - 0.139;$$

$$C3 = (A - 2 * B - 3 * (B^2)) - 0.0128;$$

$$C4 = (A * B - (B^2) - (B^3)) - 0.0128;$$

%calcul des coefficients

coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];

disp('Le Maximum des racines')

Z7 = max(roots(coef(1,:)));

Z7

disp('les coefficients de Z :')

coef

% pour pression 8

$$Y_i = [0.798 \ 0.0736 \ 0.0283 \ 0.0058 \ 0.0104 \ 0.0034 \ 0.0045 \ 0.0051 \ 0.0135 \ 0.0542 \ 0.0017 \ 0.0017];$$

$$a_i = [9279.345505 \ 22476.31506 \ 37848.95998 \ 53715.30412 \ 55995.45557 \ 73727.97859 \ 77009.97407 \ 100520.0801 \ 160510.5092 \ 5519.025546 \ 14741.82483 \ 139.5858882];$$

$$\alpha_i = [0.723832 \ 0.907203 \ 1.010927 \ 1.073919 \ 1.104621 \ 1.165538 \ 1.18806 \ 1.266719 \ 1.494967634 \ 0.257533 \ 0.920896 \ 8.840285];$$

```

bi = [0.428901537000000  0.648364507000000  0.901675351000000  1.159279597000000
1.160172803000000  1.410782831000000  1.444406955000000  1.745281628000000
2.453260975 0.384965852000000  0.426928542000000  0.236990151000000];
Kij=U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpai(i)*alpai(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p8 = 2560.2012;
A = sum(d)*p8/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p8/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.11;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.011;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.011;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z8 = max(roots(coef(1,:)));
Z8
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 9
Yi = [0.7992 0.0737 0.0283 0.0058 0.0103 0.0033 0.0044 0.005 0.0124 0.0542 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 156527.7172 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpai = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.486426027 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000  0.648364507000000  0.901675351000000  1.159279597000000
1.160172803000000  1.410782831000000  1.444406955000000  1.745281628000000
2.407752664 0.384965852000000  0.426928542000000  0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpai(i)*alpai(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;

```

```

bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p9 = 2275.7344
A = sum(d)*p9/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p9/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.09;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.008;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.008;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z9 = max(roots(coef(1,:)));
Z9
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 10
Yi = [0.8002 0.0739 0.0283 0.0058 0.0103 0.0033 0.0044 0.0049 0.0115 0.0542 0.0018
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 153228.3027 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.477790863 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.36993797 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')

```

```

p10 = 1991.2676;
A = sum(d)*p10/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p10/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.07;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.007;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.007;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z10 = max(roots(coef(1,:)));
Z10
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 11
Yi = [0.8009 0.0739 0.0283 0.0058 0.0103 0.0033 0.0043 0.0048 0.0107 0.0542 0.0018
0.0017];

ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 150568.6305 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha_i = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.494967634 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.339376589 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha_i(i)*alpha_i(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p11 = 1706.8008;
A = sum(d)*p11/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p11/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.056;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.0057;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.0057;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')

```

```

Z11 = max(roots(coef(1,:)));
Z11
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 12
Yi = [0.8012 0.0742 0.0284 0.0058 0.0103 0.0033 0.0043 0.0047 0.0101 0.0542 0.0018
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 148885.6071 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.486426027 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.32000007 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];

Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1,12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p12 = 1422.334;
A = sum(d)*p12/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p12/(10.73*653.67));
C2 = (-1+B)-0.04;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.005;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.005;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z12 = max(roots(coef(1,:)));
Z12
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 13
Yi = [0.8008 0.0745 0.0286 0.0058 0.0104 0.0033 0.0044 0.0047 0.01 0.0541 0.0018 0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 148329.1821 5519.025546 14741.82483 139.5858882];

```

```

alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.477790863 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.313587472 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p13 = 1137.8672;
A = sum(d)*p13/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p13/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.03;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.004;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.004;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z13 = max(roots(coef(1,:)));
Z13
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 14
Yi = [0.7991 0.0748 0.029 0.006 0.0106 0.0034 0.0045 0.0049 0.0105 0.0538 0.0018 0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 150005.3189 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.494967634 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.332894503 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j)));
end;

```

```

end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);
disp('la somme des bm')
p14 = 853.4004;
A = sum(d)*p14/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p14/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.02;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.002;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.003;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z14 = max(roots(coef(1,:)));
Z14
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% pour pression 15
Yi = [0.7948 0.0753 0.0296 0.0062 0.011 0.0036 0.0048 0.0054 0.0125 0.0533 0.0017
0.0017];
ai = [9279.345505 22476.31506 37848.95998 53715.30412 55995.45557 73727.97859
77009.97407 100520.0801 156921.0193 5519.025546 14741.82483 139.5858882];
alpha = [ 0.723832 0.907203 1.010927 1.073919 1.104621 1.165538 1.18806 1.266719
1.486426027 0.257533 0.920896 8.840285];
bi = [0.428901537000000 0.648364507000000 0.901675351000000 1.159279597000000
1.160172803000000 1.410782831000000 1.444406955000000 1.745281628000000
2.412253274 0.384965852000000 0.426928542000000 0.236990151000000];
Kij = U
S = zeros(12, 12);
for i=1:12
for j = 1:12
S(i,j)=(Yi(i)*Yi(j)*sqrt(ai(i)*ai(j)*alpha(i)*alpha(j))*(1-Kij(i,j)));
end;
end;
bm = zeros(1, 12);
for i = 1:12
bm(i) = bm(i) + (bi(i)*Yi(i));
end;
d = sum(S, 1)';
o = sum(bm);
disp('la somme Totale est : ')
sommeTotale= sum(d)
sum(d);

```

```

disp('la somme des bm')
p15 = 568.9336;
A = sum(d)*p15/(10.73*653.67)^2;
B= (sum(bm)*p15/(10.73*653.67));
C2 = -(1-B)-0.01;
C3 = (A-2*B-3*(B^2))-0.001;
C4 = (A*B-(B^2)-(B^3))-0.001;
%calcul des coefficients
coef = [ones(1,1),C2,C3,C4];
disp('Le Maximum des racines')
Z15 = max(roots(coef(1,:)));
Z15
disp('les coefficients de Z : ')
coef
% présentations graphique de « Z »
Z = [ Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 Z6 Z7 Z8 Z9 Z10 Z11 Z12 Z13 Z14 Z15 ];
p = [4424.881074 4267.002 3982.5352 3698.0684 3413.6016 3129.1348 2844.668
2560.2012 2275.7344 1991.2676 1706.8008 1422.334 1137.8672 853.4004 568.9336 ];
plot(p,Z, '--rp')
xlabel ('La pression')
ylabel ('facteur de compressibilité Z')
title ('Changement de Facteur de compressibilité en fonction de la Pression')
grid on;

```



*CONCLUSION ET  
RECOMMANDATIONS*



## CONCLUSION ET RECOMANDATION

---

Ce présent travail sert à identifier le facteur de compressibilité du gaz, et le modéliser par trois corrélations standards utilisées dans le secteur pétrolier. Il vise également à évaluer l'exactitude de ces corrélations pour leur applicabilité dans le domaine de prédiction de facteur de compressibilité du gaz Algérien, ainsi que la réactualisation des coefficients de ces corrélations avec ce qui correspond au mieux au gaz naturel algérien. Cette modélisation comporte aussi l'application de l'équation d'état de Peng Robinson par MATLAB. Pour cette raison, l'étude a été divisée comme suit:

- On applique la corrélation empiriques standard de Beggs-Brill, Papy et S.Robertson avec une étude statistique pour découvrir les limites de leur utilisation sur le champ de Hassi R'Mel.
- On modifié les coefficients des trois corrélations avec ce qui conforme le gaz Algérien, et nous appliquons ces corrélations modifiées sur le champ Hassi R'Mel, cette application est accompagnée par une analyse statistique des résultats.
- Dans la troisième étape la prédiction des valeurs de  $Z$  est effectuée par la programmation de l'équation d'état cubique de Peng Robinson sur logiciel MATLAB.

D'après cette étude, on a conclue :

- La corrélation original de Beggs-Brill est le plus fiable dans la prédiction des valeurs de  $Z$  pour le champ de Hassi R'Mel, par contre la corrélation de S.Robertson qu'elle donne un écart notable.
- Les corrélations modifiées de Beggs-Brill et Papy sont très convenables dans la prédiction de  $Z$  pour des pressions inférieures à la pression 2844 psi.
- l'équation d'état cubique Peng-Robinson est la plus fiable parmi les autres équations d'états qui nous avons choisis dans notre étude et pour cela elle est largement utilisée dans l'industrie, particulièrement pour le raffinage et la simulation des réservoirs.

## CONCLUSION ET RECOMANDATION

---

D'Après ses résultats, il est opportun de recommander pour les travaux futurs :

- L'étude devrait être entreprise sur d'autres propriétés de PVT telles que la viscosité et le facteur de volume de formation.
- La base des données doit être plus large et plus précise.
- Elargir cette étude à d'autres régions et faire un classement selon le type de réservoir.
- Valider les résultats obtenir des corrélations modifiées par des données des autres champs.
- Utiliser des autres équations d'état pour déterminer le facteur compressibilité et comparer les résultats.



## *REFERENCES*



## REFERENCES

---

- 1/ BEATTIE. BRIDGEMAN . J. Am. Chem. Soc. vol.49, 1927: vol.50, 1928.
- 2/ C.K. EILERTS, H.A. CARLSON, N.B. MULLENS . Effect of added nitrogen on compressibility of natural gas. World oil, 1948.
- 3/ D.B. ROBINSON, C.A. MACRYGEORGOS,G.W. GOVIER . the volumetric behavior of natural gases conveniently accuracy containing hydrogen sulfide and carbon dioxide, Trans. AIME. Vol. 219, p.54, 1960.
- 4/ D.L. Katz Handbook of natural gas engineering, MacGraw – Hill Book Cy, N.Y., 1959.
- 5/ J.W. AMYX.D.M. BASS. R.L WHITING . Petroleum reservoir engineering . physical properties McGraw.Hill, 1980.
- 6/ HADJADJ mohamed fodil, HADJOU DJ abdelhak Med amin, EVALUATION DES CORRELATIONS DU FACTEUR DE COMPRESSIBILITE (Z) DU GAZ NATUREL POUR DES RESERVOIRS DU GAZ ALGERIEN, Ouargla 2014.
- 7/ H.H. REAMER. A.H. OLDS, B.H. SAGE. W.N. LACEY . Methane-carbone dioxide system in the gaseous region . Ind Eng Chem, vol.36 n°1, 88, 1944.
- 8/ H.H. REAMER. B.H. SAGE, W.N. LACEY. Volumetric and phase behavior of the methane-hydrogen sulfide system. Ind. Eng. Chem., n°4, 976, 1951.
- 9/ M.B STANDING, D.L. Katz Density of natural gases. Trans. AIME. Vol,1942.
- 8/ Rapport des analyses PVT de réservoir de Hassi R'Mel. DeGolayer and MacNaughton 08/07/1983.
- 9/ Sid Rouhou Hadj Mohammed, ' étude empirique et corrélative des propriétés pvt du pétrole algérien. mémoire magister' option . Génie pétrolière Ouargla 2011.
- 10/ Tarek Ahmed. "advanced reservoir engineering". ©2005, Elsevier inc.
- 11/ Tarek Ahmed. "equations of state and pvt analysis: applications for improved reservoir modeling". ©2007 by gulf publishing company, houston, texas. reservoir fluid properties, By René MIGNOT.
- 12/ Tarek Ahmed. "hydrocarbon phase behavior". vol.7 ©1989 by gulf publishing company, houston, texas.

## REFERENCES

---

13/ Tarek Ahmed. "reservoir engineering handbook". second edition. ©2000 by gulf publishing company, houston, texas.

14/ PHASE BEHAVIOR, by CURTIS H. WHITSON AND MICHAEL R. BRULÉ.