

جمهورية الجـ زائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

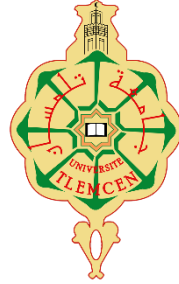
وزارة التـ عليم العالي والبيـ حث العـ امي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسـ ان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRES

Présentée pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Production

Par : YAGOUB Aida Aya & BELAREDJ Inesse

Sujet

Méthodes d'aide à la décision multicritères pour la prospection et l'exploration gazière et pétrolière

Soutenu publiquement, le 10/06/2024, devant le jury composé de :

Mme. HOUBAD Yamina	MCB	Université de Tlemcen	Présidente
Mme. KEDDARI Nassima	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme. ABDELLAOUI Wassila	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
M. BELKAID FAYCAL	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
M. KAHOUDJI HOUSSEYN AMIN	MCB	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Remerciements

D'abord, nous tenons à remercier Allah, notre créateur, pour nous avoir donné le courage, la santé, les moyens et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre chaleureuse gratitude envers notre encadrant **Belkaid Faycal**, et notre Co-encadrant **Kahouadji Housseyn Amin**, pour leur précieux encadrement, leurs conseils éclairés, leurs qualités humaines et leurs compétences de chercheuses. Leur patience nous a permis de mener à bien ce mémoire. Nous leur exprimons toute notre gratitude pour la confiance qu'elles nous ont accordée.

Nous souhaitons également remercier les membres du jury, [Noms des Membres du Jury], pour leur intérêt et leur acceptation d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives qui nous ont permis d'améliorer notre travail.

Nous remercions du fond du cœur notre famille pour leur soutien inconditionnel et leur patience tout au long de ces années d'études. Leur confiance et leurs encouragements ont été une source de motivation constante.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance envers nos amis et collègues de promotion pour leurs échanges intellectuels stimulants et leur camaraderie. Leur présence a considérablement enrichi notre expérience universitaire.

Enfin, nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements et notre respect à tous les professeurs et au personnel administratif de Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen – pour leur dévouement et leur aide précieuse. Leur contribution a grandement facilité notre parcours académique.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, nous adressons nos plus sincères remerciements.

Dédicaces

الاهداء

(وآخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين)

فالحمد لله حبا وشكرا وامتنانا على البدء والختام

من قال انا لها نالها وان أبت رغما عنها أتيت بها، وها أنا ارى مرحلتي الدراسية قد شارفت على الانتهاء، عانقت اليوم مجدا عظيما فعلتها بعد تعب ومشقة دامت سنين في سبيل الحلم، حملت في طياتها أمنيات الليالي، وأصبح عنائي اليوم للعين قررة، ها انا اليوم أقف على عتبة تخرجي أقطف ثمار تعبي وأرفع قبعتي بكل فخر، فاللهم لك الحمد قبل أن ترضى ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا وبكل حب أهدي ثمرة تخرجي ونجاحي

الى العزيز الذي أحمل اسمه بكل فخر، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل الى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، داعمي الاول في مسيرتي، سندي، قوتي وملأني بعد الله، وبكل اعتزاز أنا لهاذا الرجل ابنة، الى أبي الغالي حفظه الله

الى من جعل الله الجنة تحت قدميها، واحتضني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها، من كان الداعمة الأولى والأبديّة معلّمتي الأولى، أمي الغالية حفظها الله الى خيرة ايامي وصفوتها ومن بوجودهم أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها، الى ضلعي الثابت أماني أيامي أختي وأخواني (مروة، سعيد، محمد)

الى جدتي الحبيبة ٠٠ الراحلة الباقية في قلوبنا لطالما تمنيت ان تقر عينها برؤيتي في يوم كهذا فرحتي تنقصها وجودك نجاحي ينقصه فخرك رحمك الله يا روح روعي وجمعنا وياك في دار الخلود

الى زوجة عمي من فارقتنا مبكرا وتركت حبها في قلوبنا اسال الله ان يجمعنا وياك في جناته

الى جدتي وجدتي والدا امي وجدتي والد ابي أنتم الأصول لعائلتنا اسال الله ان يطيل اعماركم

الى من جمعتنا صلة الدم وجعل الله بيننا محبة غير مشروطة وجعلهم من أقرب الأحبة لقلبي من ولد حبهم في قلبي بالفطرة وأكدت الأيام حبهم بنات عماتي واعمامي وبنات خالتي وخالي

الى صديقة المواقف والسنين من تحلت بالإخاء وتميزت بالوفاء والعطاء رفيقتي في الحياة رقية

الى رفقاء قلبي وصديقات الايام المرة والحلوة...ضمد الروح أنيسات روعي وسرور عمري، الى من راهنو على نجاحي وتذكيري بمدى قوتي واستطاعتي، أخواتي التي أنجبتهم الأيام، رفيقات قلبي عابدة وآيات الى كل عائلتي الى الذين يبهجهم نجاحي وكل من كان عوننا وسندا في هذا الطريق لأصدقاء ورفقاء

السنين

ما سلكننا البدايات الا بتيسيره وما بلغنا النهايات الا بتوفيقه وما حققنا الغايات الا بفضلته فالحمد لله

ايناس

الاهداء

مهما كتبت من عبارات لن أجد اصدق من قول تعالى "قل اعملوا فيسرى الله عملكم ورسوله والمؤمنين"
إلهي لا يطيب الليل الا بشكرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك ولا تطيب اللحظات الا بذكرك ولا تطيب الآخرة
الا بعفوك ولا تطيب الجنة الا برويتك.

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا ماكنت لأفعل هذا لولا فضل الله فالحمد لله على البدء والختام.

انطوت صفحه من صفحات الحياة كان فيها الجد والاجتهاد زرعت فيها الدراسة والتعب لأحصد فيها التفوق
والنجاح بعد تعب وسهر وجهد ومعاناة وظروف دامت عمرا، لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون لم
يكن العلم قريبا ولا الطريق كان محفوا بالتسهيلات لكني فعلتها.

أهدي ثمرة نجاحي إلى:

من قال فيهما الله تعالى: " وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين احسانا."

إلى من أحمل اسمه إلى من تنحني أمامه سنين دراستي وتعبي في وصفه ترتجف الكلمات، إلى الجدار الذي
أستند عليه في تعبي وحزني إلى الكتف التي أضع عليها اثقالي واليد التي تربت علي في كل حين، إلى عزيزي
وحبيبي الذي أحبه بقدر هذا العالم وأكثر الوطن الذي أنتمي إليه والأرض التي تحتويني.. إلى أغلاهم على قلبي
وأقربهم إلي ابي.

الى من جعلت الجنة تحت قدميها المرأة التي ساندتي والهممتي لمواصله مسيرتي، الى ملاكي في الحياة، الى
من حرمت نفسها واعطتني ومن نبع حنانها سقتني، الى من سهلت الشدائد لي بدعائها الى حبيبة روعي الى
احن امرأة في الوجود امي.

الى من يفرحه نجاحي ويحزنه فشلي، الى من شد الله به عضدي فكان خير معي الى خيرة ايامي وصفوها ومن
بوجوده اكتسب قوة ومحبة لا حدود لها اخي.

الى جدتي وخالتي الحبيبة الراحلة الباقية في قلوبنا وبأيامنا وليالينا.

إلى رفاق الخطوات الأولى إلى من كانوا في السنوات العجاف سحابا ممطرا الى ملائكة رزقني الله بهن
لأعرف من خلالهن طعم الحياة الجميلة، تلك الملائكة التي غيرن مفاهيم الحب والصدافة والسند في حياتي
دواء روعي اخواتي ايناس، آيات، بسمة وزينب

الى من تسعد الروح بوجودهن صديقات الكفاح اخوات الدراسة عائشة، سهيلة، لطيفة، وهدى

الى جدتي الحبيبة وكل عائلتي الى الذين يبهجهم نجاحي وكل من كان عوننا وسندا في هذا الطريق

وفي الاخير لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق كان محفوا
بالتسهيلات لكني فعلتها ليس بجهدى واجتهادي إنما بتوفيقك وكرمك وفضلك، جعلتنا " وآخر دعواهم أن الحمد
لله رَبِّ الْعَالَمِينَ".

عايدة.

Sommaire

Introduction Générale	14
-----------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur le pétrole et le gaz

I.1	Introduction	16
I.2	Hydrocarbures	16
I.2.1	Définition des hydrocarbures	16
I.2.1.1	Formation des hydrocarbures	17
I.2.2	Définition du pétrole	18
I.2.2.1	Produits pétroliers.....	19
I.2.2.2	Comment se forme le Pétrole	19
I.2.2.3	Classification de pétrole	20
I.2.3	Définition du gaz naturel.....	21
I.2.3.1	Formation et Origine du Gaz Naturel	21
I.2.3.2	Les différents types de gaz naturels.....	23
I.3	Gisement pétrolière gazière	24
I.3.1.1	Formation d'un gisement.....	24
I.3.2	Caractéristique de gisement	25
I.4	La prospection de pétrole et gaz	26
I.4.1	Prospection géologique en surface	26
I.4.2	Prospection géophysique en profondeur	26
I.5	LE forage	28
I.5.1	Types de Forage	31
I.6	La récupération assistée.....	31
I.6.1	La production et la conservation du pétrole brut et u gaz	31
I.6.2	L'augmentation des quantités récupérées	32
I.7	Etat de l'art	32
I.7.1	Pétrole.....	32
I.7.2	Gaz naturels.....	33
I.7.3	Synthèse	34
I.8	Conclusion.....	34

Chapitre II : La prise de Décision Multicritère (MCDM)

II.1	Introduction	37
II.2	Concept de la décision.....	37
II.2.1	Notion sur la décision.....	37
II.2.2	Historique de l'aide à la décision	37
II.3	Classification des méthodes.....	38
II.3.1	Méthodes aggregation	38
II.3.2	Méthodes interactives.....	38
II.3.3	Méthodes de surclassement.....	38
II.4	La prise de décision multicritère	38
II.4.1	Définition de la matrice de décision.....	39
II.4.2	Terminologie de base	39
II.4.2.1	Critère.....	39
II.4.2.2	Alternative.....	39
II.4.2.3	Poids.....	39
II.4.3	Méthode générale des MCDM	39
II.4.3.1	Structure du problème	39
II.4.3.2	Application de la méthode recommandée	40
II.5	Catégories des méthodes de prise de décision multicritère	40
II.5.1	Les méthodes de la prise de décision multi-attributs MADM	40
II.5.2	Les méthodes de la prise de décision multi-objectifs MODM.....	41
II.6	Les méthodes d'aide à la décision multicritères	41
II.6.1	Analytic Hierarchy Process (AHP)	41
II.6.1.1	Les avantage	41
II.6.1.2	Les inconvénients	42
II.6.2	-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).....	42
II.6.2.1	Les avantages	42
II.6.2.2	Les inconvénients	43
II.6.3	Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MOORA).....	43
II.6.3.1	Les avantages	43
II.6.3.2	Les inconvénients	43
II.6.4	VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)	44
II.6.4.1	Les avantages	44
II.6.4.2	Les inconvénients	44
II.6.5	Simple Additive Weighting (SAW)	44
II.6.5.1	Les avantages	44
II.6.5.2	Les inconvénients	45

II.7	Etat de l'art et synthèse.....	45
II.7.1	Méthode AHP.....	45
II.7.2	Méthode TOPSIS	45
II.7.3	Méthode MOORA.....	46
II.7.4	Méthode VIKOR.....	46
II.7.5	Méthode SAW.....	47
II.7.6	Méthode FAHP	47
II.7.7	Méthode FTOPSIS :.....	48
II.7.8	Synthèse	48
II.8	Conclusion.....	48

Chapitre III : Sélection des puits de pétrole et de gaz à l'aide des MCDM's

III.1	Introduction	51
III.2	Présentation de Sonatrach.....	51
III.3	Présentation de la région de Haoud Berkaoui	52
III.4	Les critères.....	53
III.4.1	Porosité.....	53
III.4.2	Perméabilité.....	53
III.4.3	Saturation d'Eau.....	54
III.4.4	Volume d'argile.....	54
III.4.5	Température	54
III.4.6	Pression	54
III.5	Application de méthodes	54
III.5.1	AHP.....	55
III.5.2	TOPSIS.....	70
III.5.3	VIKOR	74
III.5.4	SAW	78
III.5.5	MOORA	81
III.5.6	MULTIMOORA	83
III.5.7	MOOSRA.....	84
III.5.8	Point de référence :.....	85
III.6	Interprétation des résultats :.....	86
III.7	Conclusion :.....	88

Chapitre IV : Sélection des puits de Pétrole et de gaz à l'aide des MCDM floue

IV.1	Introduction	91
IV.2	Méthode floue d'aide à la décision multicritère (Fuzzy MCDM)	91
IV.2.1	Structure du problème	91
IV.3	Comparaison entre les MCDM et MCDM floue	92
IV.4	Les méthodes d'aide à la décision multicritères floue	93
IV.4.1	Méthode Fuzzy AHP	93
IV.4.1.1	Les avantages	93
IV.4.1.2	Les inconvénients	93
IV.4.2	Fuzzy TOPSIS	93
IV.4.2.1	Les avantages :	94
IV.4.2.2	Les inconvénients :	94
IV.5	L'application des méthodes	94
IV.5.1	Fuzzy AHP	94
IV.5.1.1	AHP	97
IV.5.1.2	VIKOR	97
IV.5.1.3	SAW	98
IV.5.1.4	MOORA	98
IV.5.1.5	MOOSRA	99
IV.5.1.6	MULTIMOORA	99
IV.5.1.7	Point de Référence	99
IV.5.2	Fuzzy TOPSIS	100
IV.6	Interprétation des résultats :	108
IV.7	Conclusion	109
	Conclusion Générale et Perspectives	112
V.	Bibliographie	115

Liste des Figures

Chapitre I : Généralités sur le pétrole et le gaz

Figure I. 1: Formation de l'huile et du gaz	18
Figure I. 2: Formation du pétrole [3].....	20
Figure I. 3: Schéma de formation du gaz naturel	22
Figure I. 4: Type de gaz naturel	23
Figure I. 5: le processus de migration Primaire & Secondaire.....	25
Figure I. 6: Prospection géophysique sur terre (méthode sismique) [8].....	27
Figure I. 7: Prospection géophysique en mer (méthode sismique) [8].....	28
Figure I. 8: Tête de cimentation	29
Figure I. 9: Unité de cimentation.....	30
Figure I. 10: Tête de puits	30
Figure I. 11: Carotte	31

Chapitre II : La prise de Décision Multicritère (MCDM)

Figure II. 1: Structuration du problème [25]	40
Figure II. 2: Percentages of Articles Focusing on MODM and MADM. [25].....	41
Figure II. 3: structure AHP [45]	42

Liste des Tableaux

Chapitre III : Sélection des puits de pétrole et de gaz à l'aide des MCDM's

Tableau III. 1: Matrice de décision pour les méthodes.	55
Tableau III. 2: Échelle de Saaty de la méthode AHP.....	56
Tableau III. 3: Matrice de décision AHP.	57
Tableau III. 4 : Comparaison des alternatives par rapport à Porosité (\emptyset).....	57
Tableau III. 5 : Comparaison des alternatives par rapport à Perméabilité (K).....	58
Tableau III. 6 : Comparaison des alternatives par rapport à Saturation d'eau.....	59
Tableau III. 7 : Comparaison des alternatives par rapport à Volume d'Argile (Vsh).	60
Tableau III. 8 : comparaison des alternatives par rapport à Température (T).....	60
Tableau III. 9: Comparaison des alternatives par rapport à Pression (P).	61
Tableau III. 10: Comparaison entre les principaux critères avec les poids locaux(cas2). ...	62
Tableau III. 11: Matrice de comparaison normalisé entre les principaux critères avec les poids locaux (cas1).....	63
Tableau III. 12: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Porosité (\emptyset) (cas1).	63
Tableau III. 13: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Perméabilité (K) (cas1).	64
Tableau III. 14: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Saturation d'eau (Sw) (cas1).....	65
Tableau III. 15: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Volume d'Argile (Vsh) (cas1).....	66
Tableau III. 16: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Température (T) (cas1).	66
Tableau III. 17: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Pression (P) (cas1).	67
Tableau III. 18 : Matrice de comparaison normalisé entre les principaux critères avec les poids locaux (cas2).....	67
Tableau III. 19: Valeur de l'indice aléatoire IA.	68
Tableau III. 20: Valeur de l'indice aléatoire IA (AHP).	68
Tableau III. 21: agrégation des priorités (cas1).	69
Tableau III. 22: agrégation des priorités (cas2).	69
Tableau III. 23: classement des alternatives(cas1).....	70
Tableau III. 24: classement des alternatives(cas2).....	70
Tableau III. 25: Pondération de la matrice de décision normalisée(cas1).	72
Tableau III. 26: Pondération de la matrice de décision normalisée(cas2).	72
Tableau III. 27 : rapprochement relatif de chaque alternative avec la solution idéale (cas 1).73	73
Tableau III. 28: rapprochement relatif de chaque alternative avec la solution idéale (cas 2).73	73
Tableau III. 29: le classement des alternatives TOPSIS (cas1).	74
Tableau III. 30: le classement des alternatives TOPSIS (cas2).	74
Tableau III. 31: Calcul des distances des alternatives aux solutions idéales(cas1).	75
Tableau III. 32: Calcul des distances des alternatives aux solutions idéales(cas2).	75
Tableau III. 33: Calcul de l'indice Qi pour chaque alternative(cas1).....	76
Tableau III. 34: Calcul de l'indice Qi pour chaque alternative(cas2).....	77

Tableau III. 35: Classement des alternatives VIKOR (cas1).	77
Tableau III. 36: Classement des alternatives VIKOR (cas2).	77
Tableau III. 37: calcule de la matrice de décision normalisée SAW.	79
Tableau III. 38: calcule du score des alternatives (cas1).....	80
Tableau III. 39: calcule du score des alternatives (cas2)	80
Tableau III. 40: classement des alternatives SAW (cas1).....	80
Tableau III. 41:classement des alternatives SAW (cas2).....	81
Tableau III. 42:Agrégation des critères MOORA (cas1).	82
Tableau III. 43:Agrégation des critères MOORA (cas2).	82
Tableau III. 44: classement des alternatives MOORA (cas1).....	83
Tableau III. 45:classement des alternatives MOORA (cas2).....	83
Tableau III. 46 : classement des alternatives MULTIMOORA.	84
Tableau III. 47:classement des alternatives MOOSRA (cas1).....	85
Tableau III. 48 : classement des alternatives MOOSRA (cas2).....	85
Tableau III. 49:classement des alternatives Point de Référence(cas1).	86
Tableau III. 50 : classement des alternatives Point de Référence(cas2).	86
Tableau III. 51: classements des alternatives par rapport à tous les méthodes(cas1).	87
Tableau III. 52: classements des alternatives par rapport à tous les méthodes(cas2).	87

Chapitre IV : Sélection des puits de Pétrole et de gaz à l'aide des MCDM floue

Tableau IV. 1 : comparaison entre les MCDM et MCDM floue.....	93
Tableau IV. 2 : L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans FUZZY-AHP	95
Tableau IV. 3 : Matrice de décision FAHP.	95
Tableau IV. 4 : les moyennes géométriques.....	96
Tableau IV. 5 :Les poids flou des critères.	96
Tableau IV. 6 : les poids après la défuzzification.....	97
Tableau IV. 7 : les poids normalisés.....	97
Tableau IV. 8 : classement des alternatives AHP (FAHP).....	97
Tableau IV. 9 : classement des alternatives VIKOR(FAHP)	98
Tableau IV. 10 : classement des alternatives SAW(FAHP).....	98
Tableau IV. 11 : classement des alternatives MOORA(FAHP).....	98
Tableau IV. 12 : classement des alternatives MOOSRA(FAHP).....	99
Tableau IV. 13 : classement des alternatives MULTIMOORA(FAHP)	99
Tableau IV. 14 : classement des alternatives Point de Référence (FAHP)	99
Tableau IV. 15 : Conversion des nombres flous à partir des termes linguistiques pour la pondération des critères (FTOPSIS).....	100
Tableau IV. 16 : la matrice de décision du décideur 1.....	101
Tableau IV. 17 : la matrice de décision du décideur 2	102
Tableau IV. 18 : la matrice de décision du décideur 3	103
Tableau IV. 19 : la matrice de décision combiné	105
Tableau IV. 20 : la matrice normalisée et pondéré.....	107
Tableau IV. 21 : la Distance euclidienne globale positive et négative.....	107
Tableau IV. 22 : coefficient de proximité CC de chaque alternative	108
Tableau IV. 23 : classement des alternatives pour la méthode FTOPSIS	108
Tableau IV. 24 : classements des alternatives par rapport à toutes les méthodes.	109

Liste des abréviations

PIB	Produit intérieur brut
MCDM	La prise de décision multicritères
MADM	La prise de décision multi-attributs
MODM	La prise de décision multi-objectifs
AHP	Analytic Hierarchy Process
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
MOORA	Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis
SAW	Simple Additive Weighting
VIKOR	VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
MOOSRA	Multi-Objective Optimization by Simple Ratio Analysis
MULTIMOORA	Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis plus the Full Multiplicative

Form

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'industrie pétrolière et gazière revêt une importance cruciale tant au niveau mondial qu'en Algérie. Elle constitue une part importante du PIB et des exportations du pays. L'Algérie est l'un des principaux fournisseurs de gaz naturel en Europe. Ces combustibles fossiles représentent une grande partie de la consommation énergétique mondiale. Dans l'industrie pétrolière et gazière, le succès dépend en grande partie du choix d'un emplacement optimal pour un puits de forage. Cela détermine l'efficacité de l'extraction et l'optimisation des ressources.

Pour améliorer la sélection des sites à partir de la prospection et de l'exploration pétrolière et gazière, on a appliqué les méthodes d'aide à la décision multicritères MCDM. On prend en compte la complexité des critères géologiques et géophysiques, ainsi que les préférences des décideurs, dans le but d'assurer une exploitation efficace et durable des ressources énergétiques et d'éviter des pertes financières massives.

L'objectif de ce travail est d'appliquer la méthode d'aide à la décision multicritère dans le contexte de la prospection et de l'exploration gazière et pétrolière. Le but est d'examiner comment ces méthodes peuvent être utilisées de manière efficace pour mieux sélectionner le site d'extraction. Cela permet d'éviter les investissements coûteux dans des sites peu prometteurs, ce qui réduit les risques de pertes financières. Cela permet également d'évaluer de manière approfondie, d'allouer efficacement les ressources, de réduire les incertitudes et d'améliorer la rentabilité. L'objectif est de proposer une approche méthodologique robuste et efficace pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées et optimales tout au long du cycle de vie de ces projets.

Ce document présente une synthèse de notre travail et est structuré comme suit :

- Le premier chapitre vise à comprendre l'industrie pétrolière et gazière, de sa formation jusqu'à l'exploitation, en passant par la prospection géologique, géophysique et le forage.
- Le deuxième chapitre concernant les méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM) telles que AHP, TOPSIS, MOORA, VIKOR, SAW, MULTIMOORA et MOOSRA sont essentielles pour aider les décideurs à évaluer et classer des alternatives en fonction de plusieurs critères. Elles permettent de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de chaque méthode.
- Le troisième chapitre porte l'application des méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM) sur certaines alternatives représentées par des puits de pétrole et de gaz de la région de HAUD BERKAOUI, en se basant sur des critères géophysiques. À partir des résultats obtenus, nous décrivons l'interprétation des résultats de ces méthodes.
- Le quatrième chapitre explore l'application de la méthode Fuzzy AHP aux alternatives précédemment présentées, étape par étape, suivie d'une interprétation des résultats.

Chapitre I

Généralités sur le pétrole et le gaz

I.1 Introduction

Le pétrole et le gaz naturel sont des combustibles fossiles, formés à partir de ressources naturelles. Ils jouent un rôle central dans l'économie mondiale. La découverte du pétrole et du gaz a transformé le monde industriel.

Ce chapitre offre une vue générale du pétrole et du gaz naturel à travers les étapes clés de cette industrie : de la formation à leur récupération en passant par la prospection et le forage.

Ces derniers ont un processus de formation complexe : la matière organique (restes d'animaux, de plantes, etc.) est enfouie sous plusieurs couches sédimentaires à des profondeurs variant de 500 à 40000 mètres. Sous l'effet de la température et de la pression, elle se transforme en kérogène puis en hydrocarbures.

La prospection consiste à localiser une réserve de pétrole et de gaz. Il existe différentes techniques utilisées par les géologues et les géophysiciens pour confirmer la présence d'hydrocarbures.

Le forage consiste généralement à créer un puits à l'aide de techniques de plus en plus sophistiquées.

Enfin, la récupération concerne l'extraction efficace et économique du pétrole et du gaz, ainsi que des méthodes visant à augmenter le rendement.

Ce chapitre nous offre une compréhension des technologies utilisées dans l'industrie pétrolière et gazière.

I.2 Hydrocarbures

Les hydrocarbures sont essentiellement des composés chimiques, ils constituent la base des ressources d'énergie le pétrole et le gaz naturel.

I.2.1 Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbones (C) et d'hydrogènes (H). Le terme « hydrocarbure pétrolier » (HCP) est un terme générique qui désigne les mélanges de composés organiques présents dans des matières géologiques comme l'huile, le bitume et le charbon ou les dérivés de ces matières confirme [1]

_Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier. Ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts. Les hydrocarbures composant le pétrole peuvent être classés en trois familles :

- Les hydrocarbures paraffinés.
- Les hydrocarbures naphthéniques.
- Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures jouent un rôle central dans l'industrie pétrolière car ils constituent la principale du pétrole brut et du gaz naturel, ils sont également utilisés comme combustibles, matière première pour la création plastique et d'autre produit chimique et dans dumpers processus industriel.

I.2.1.1 Formation des hydrocarbures

Les hydrocarbures tels que le pétrole et le gaz naturel sont la transformation de la matière organique dans certaine profondeur de la terre. Ce processus nécessite une température et pression et dure du million d'années

a) Formation du kérogène :

La formation des hydrocarbures est l'aboutissement d'un long processus de sédimentation de la matière organique (plusieurs millions d'années).

- Sur notre planète des organismes vivants meurent en permanence. Ces organismes sont composés pour l'essentiel de carbone, hydrogène, oxygène et azote sous forme de molécules complexes.
- À la mort de ces organismes, les molécules complexes se décomposent en molécules plus simples (CO₂ par exemple) qui sont pour la plus grande partie recyclées rapidement par la biosphère.
- Les sédiments minéraux en formation contiennent donc une part plus ou moins forte de matière organique qui s'y trouve piégée.
- Dans le sédiment, la quantité d'oxygène libre est faible et rapidement consommée par l'oxydation d'une partie de la matière organique. On se retrouve donc rapidement dans un milieu dépourvu de O₂ libre appelé milieu anaérobie.
- Dans ce milieu, la transformation se fait grâce à l'action des bactéries anaérobies qui utilisent l'oxygène et l'azote contenus dans les molécules organiques, laissant ainsi le carbone et l'hydrogène qui peuvent alors se combiner pour former de nouvelles molécules : les hydrocarbures.
- Cette première transformation par les bactéries – transformation biochimique – conduit à la formation d'un composé solide appelé kérogène disséminé sous forme de petits filets dans le sédiment minéral appelé roche-mère.
- À ce stade, des atomes de carbone et d'hydrogène s'unissent afin de former une molécule simple, le méthane (CH₄). Ce gaz qui se forme dans les couches supérieures du sédiment est appelé méthane biochimique car il est le produit d'une dégradation biochimique.

b) Formation de l'huile et du gaz :

Par suite des mouvements très lents de la croûte terrestre, les sédiments s'enfoncent et la température ainsi que la pression ambiante augmentent.

- Le kérogène va alors subir une dégradation thermique – phénomène de pyrolyse – conduisant à l'apparition de molécules d'hydrocarbures de plus en plus complexes.
- Ce phénomène provoque également une expulsion d'eau et de CO₂ plus ou moins importante selon la quantité initiale d'oxygène.

- La roche-mère doit être suffisamment imperméable afin que le temps de séjour du kérogène soit suffisamment long pour que le phénomène de pyrolyse ait lieu.
- Les phénomènes conduisant à la transformation du kérogène vont dépendre des conditions de température et de pression et donc de la profondeur d'enfouissement.

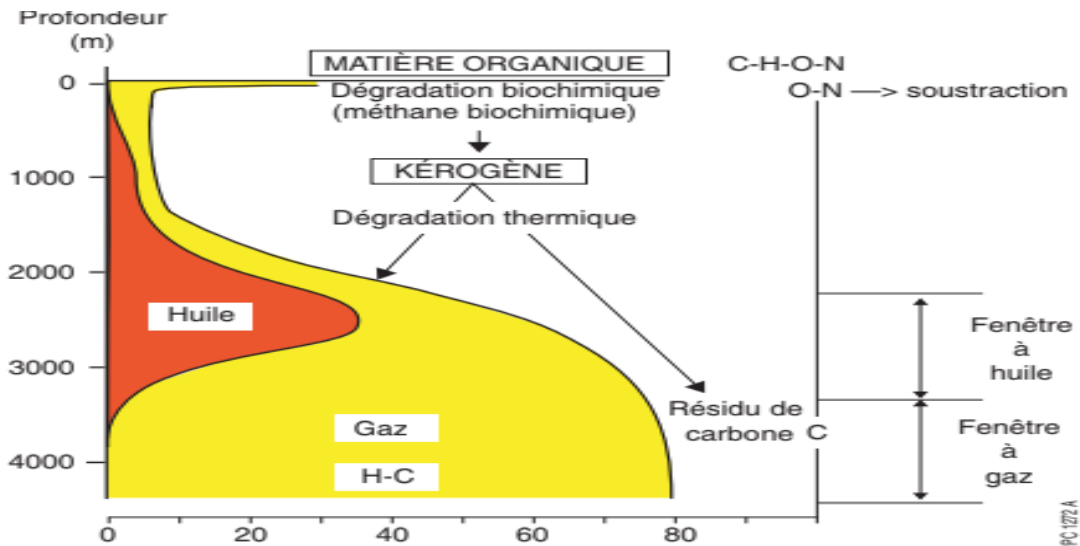


Figure I. 1: Formation de l'huile et du gaz.

- À partir de 1000 m la dégradation thermique prend le pas sur la dégradation biochimique.
- Entre 1000 et 2000 m le kérogène se transforme en huile (pétrole brut) pour l'essentiel, avec une petite partie de gaz.
- Entre 2000 et 3000 m, le kérogène produit un maximum d'huile. C'est la « fenêtre à huile ».
- Au-delà de 3000 m, la fraction de gaz devient plus forte car le phénomène de pyrolyse est plus important et conduit à une dégradation de l'huile produite. C'est la « fenêtre à gaz ».

I.2.2 Définition du pétrole

Le pétrole est une substance naturelle principalement liquide composée principalement d'hydrocarbures. Il est extrait du sous-sol terrestre et est une source importante d'énergie fossile. Le pétrole brut est un mélange complexe d'hydrocarbures liquides et gazeux, ainsi que de divers composés tels que le soufre, l'azote et l'oxygène.

Le processus de production de pétrole remonte à des millions d'années. Il commence lorsque des matières organiques comme des débris végétaux et des micro-organismes marins sont enfouis sous des couches de sédiments. Au fil du temps, la chaleur et la pression transforment ces matières en hydrocarbures, produisant ainsi du pétrole.

Le pétrole est une source d'énergie essentielle dans le monde moderne. Il est principalement utilisé pour produire des carburants tels que l'essence, le diesel et le kérosène. Il est également

utilisé dans la production de nombreux produits chimiques, plastiques et autres produits industriels.

Cependant, l'extraction et la combustion du pétrole ont des impacts environnementaux importants. Cela inclut les émissions de gaz à effet de serre et les risques de marées noires accidentelles.

I.2.2.1 Produits pétroliers

Le pétrole, également connu sous le nom d'or noir, est l'une des ressources naturelles les plus importantes au monde, et pour l'utilisation, l'industrie réalise un processus de raffinage qui nous a donné plusieurs produits :

- L'essence : parmi les produits pétroliers les plus utilisés, obtenus d'un processus de distillation de pétrole brut, il est principalement le carburant des voitures, des motos et des camions. [2]
- Le kérosène : produit pétrolier généralement utilisée carburant pour l'aviation et les chauffages. [2]
- Huiles lubrifiantes : Les huiles lubrifiantes sont des produits pétroliers utilisés pour réduire la friction et l'usure des moteurs, des machines et des équipements industriels. Ces huiles sont essentielles au fonctionnement des moteurs à combustion interne, des transmissions et autres composants mécaniques, car elles réduisent la friction entre les pièces mobiles et dissipent la chaleur générée pendant le fonctionnement [2]
- Asphalte : L'asphalte utilisé dans la construction des routes, des trottoirs et des toits est obtenu par distillation des composants les plus lourds du pétrole brut, ce qui le rend résistant à l'usure et aux intempéries [2]
- Goudron : Le goudron est un produit obtenu par distillation. Il est utilisé dans le pavage des routes, l'imperméabilisation des toitures, la protection du bois, les produits d'étanchéité et dans l'industrie chimique. Grace à sa viscosité et résistance. [2]
- Plastiques : Les plastiques sont des produits pétroliers omniprésents dans la vie moderne. Des emballages alimentaires aux appareils électroniques et aux produits de consommation, les plastiques sont essentiels dans diverses applications. [2]
- Autres produits pétrochimiques : Fibres synthétiques, Produits de soins personnels, Peintures.

I.2.2.2 Comment se forme le Pétrole

Le pétrole se forme lorsque des matières organiques présentes dans certaines roches, appelées roches-mères, se décomposent thermiquement. Ces matières organiques sont des restes fossilisés de végétaux aquatiques ou terrestres, de bactéries et d'animaux microscopiques qui s'accumulent au fond des océans, des lacs ou des deltas. Elles sont connues sous le nom de "kérogène" et se mêlent aux sédiments minéraux pour former la roche-mère, préservées dans des environnements sans oxygène.

Au fil de dizaines de millions d'années, de nouveaux sédiments continuent à s'accumuler, entraînant la roche-mère vers de grandes profondeurs. Généralement, entre 2 500 et 5 000 mètres de profondeur et sous l'effet des températures élevées, le kérogène subit une transformation thermique appelée "craquage thermique", qui le convertit en pétrole liquide accompagné de gaz. Au-delà de 5 000 mètres de profondeur, le pétrole subit à son tour une transformation en gaz, étant plus léger que par craquage.

En raison de leur densité plus faible que celle de l'eau, le pétrole et le gaz remontent vers des couches de roches poreuses appelées roches réservoirs, où ils peuvent être piégés si ces couches sont recouvertes par des roches imperméables appelées roches couvertures.

En l'absence d'obstacles, ils peuvent remonter à la surface, formant ainsi les "suintements" de pétrole connus depuis l'Antiquité et décrits par Marco Polo. Par exemple, on peut observer ces suintements au Moyen-Orient, au Venezuela et même en France. Des sites tels que Le puy de la Poix dans l'Allier, connus des Romains, continuent de suinter activement depuis au moins 2 000 ans.

En ce qui concerne les émanations gazeuses, la plus célèbre est la Fontaine ardente au sud de Grenoble. Cette fontaine a été décrite par Saint Augustin dès le IV^e siècle et est classée parmi les sept merveilles du Dauphiné.

Lors de leur ascension vers la surface, les hydrocarbures peuvent rencontrer des failles ou des plis, formant des "pièges" où ils peuvent s'accumuler en quantité importante. Ces accumulations sont recherchées par les explorateurs pétroliers et, si elles sont suffisamment importantes, peuvent devenir des gisements exploitables [3]

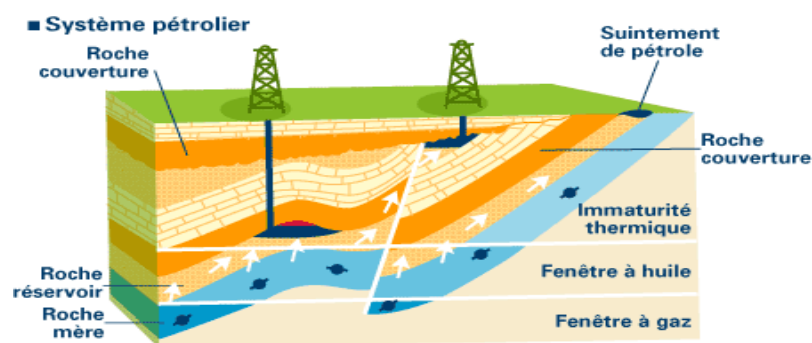


Figure I. 2: Formation du pétrole.

I.2.2.3 Classification de pétrole

Tout processus de formation est unique : un gisement de pétrole contient un mélange d'hydrocarbures qui le caractérise selon l'histoire géologique de la zone où il s'est développé.

La provenance géographique est donc un des critères de classification du pétrole (Golfe Persique, mer du Nord, Venezuela, Nigéria, etc.). Toutefois, pour établir des comparaisons entre différents sites, d'autres critères existent. Les plus importants sont les mesures de la viscosité et de la teneur en soufre du pétrole brut.

Selon la viscosité, quatre types de gisements sont définis (léger, moyen, lourd ou extra-lourd et bitume). Plus le pétrole brut est visqueux, plus il est « lourd » :

- **Les gisements de pétrole léger** : l'aspect du pétrole brut se rapproche de celui du gazole. Les gisements sahariens présentent cette caractéristique.
 - **Les gisements de pétrole moyen** : la viscosité du pétrole brut est intermédiaire entre le pétrole léger et le pétrole lourd. Il s'agit par exemple des gisements du Moyen-Orient.
 - **Les gisements de pétrole lourd ou extra-lourd** : le pétrole brut ne coule pratiquement pas à température ambiante. Les gisements d'Amérique du sud en sont un exemple.
 - **Les gisements de bitume** : le pétrole brut est très visqueux voire solide à température ambiante. Les principales réserves de ce type se trouvent au Canada.
 - Cette propriété est importante pour déterminer la rentabilité de l'exploitation. En effet, un pétrole peu visqueux ou léger est plus facile à extraire et à traiter qu'un pétrole lourd.
- [4]

I.2.3 Définition du gaz naturel

Le gaz naturel est un combustible fossile qui se trouve naturellement sous forme gazeuse dans les roches poreuses du sous-sol. Composé principalement de méthane (CH₄), ainsi que de propane (C₃H₈), de butane (C₄H₁₀), d'éthane (C₂H₆) et de pentane (C₅H₁₂), il est utilisé comme source d'énergie.

Le gaz naturel est formé par la sédimentation de matière organique qui remonte à plusieurs millions d'années. Cette matière organique, enfouie dans le sous-sol, se transforme en kérogène sous l'effet de la pression et de la température. Lorsque la température atteint entre 50 et 120°C, le kérogène se décompose, ce qui provoque la libération de deux hydrocarbures : le gaz naturel et le pétrole. Ces deux éléments se trouvent piégés dans une roche imperméable, formant un gisement. À des profondeurs comprises entre 1,5 et 3 km, le gaz et le pétrole se trouvent généralement dans les mêmes gisements.

Le gaz peut être classé en tant que gaz conventionnel ou non conventionnel, en fonction de la profondeur et du type de gisement. Cette classification dépend de la difficulté d'extraction et des techniques d'exploitation utilisées. Les gaz conventionnels sont facilement extraits des gisements qui sont facilement accessibles, tandis que les gaz non conventionnels sont plus difficiles à extraire. [5]

I.2.3.1 Formation et Origine du Gaz Naturel

Le gaz naturel n'apparaît pas du jour au lendemain. Il est le résultat de millions d'années de transformation de matière organique provenant des restes de plantes et d'animaux. Ce processus peut être décomposé en plusieurs étapes essentielles : [6]

- **Sédimentation** : Cette étape initiale commence avec l'accumulation de matière organique dans des environnements riches en sédiments, tels que les fonds marins ou les lacs. [6]

- **Enfouissement** : Avec le temps, de nouvelles couches de sédiments recouvrent cette matière organique, l'isole de l'oxygène et l'enfonce dans le sous-sol. [6]
- **Augmentation de la pression et de la température** : À mesure que la profondeur augmente, la température et la pression se mettent à monter, commençant la transformation de la matière organique en hydrocarbures. [6]
- **Diagenèse** : Première transformation chimique où les composés organiques se transforment en kérogène, une matière organique solide. [6]
- **Catagenèse** : Sous des températures et des pressions encore plus élevées, le kérogène se décompose pour former des hydrocarbures liquides et gazeux. [6]
- **Métagenèse** : Aux températures et pressions les plus élevées, les hydrocarbures liquides peuvent eux-mêmes se transformer en gaz. [6]
- **Migration** : Une fois formés, les hydrocarbures se déplacent vers la surface à travers les roches poreuses et perméables. [6]
- **Piégeage naturel** : Les hydrocarbures s'accumulent dans des formations géologiques appelées « pièges », où le gaz est retenu par une couche de roche imperméable. [6]

Schéma de formation du gaz naturel

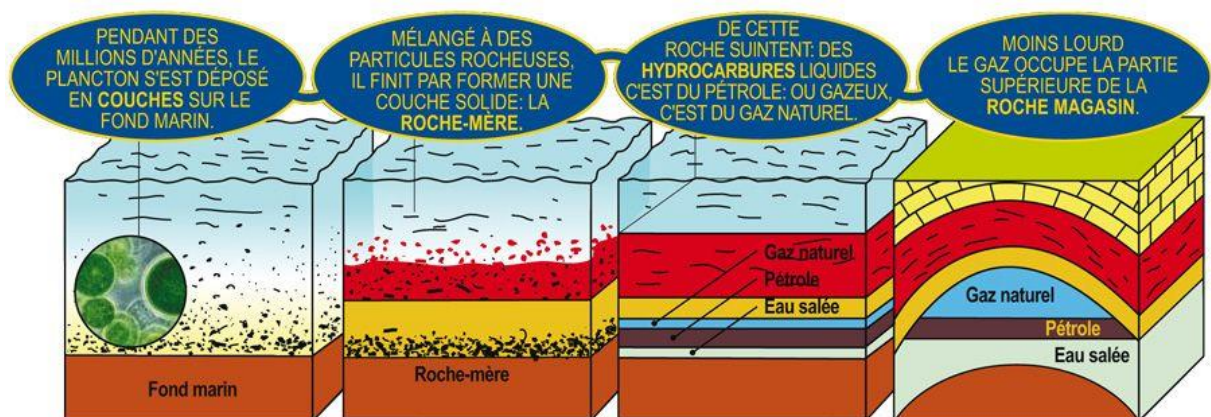


Figure I. 3: Schéma de formation du gaz naturel.

I.2.3.2 Les différents types de gaz naturels

En fonction de la profondeur et du type de gisement, le gaz peut être classé en tant que gaz conventionnel ou non conventionnel. La classification est basée sur la complexité de l'extraction et les méthodes d'exploitation employées. Les gaz classiques peuvent être facilement extraits des gisements facilement accessibles, tandis que les gaz non classiques sont plus complexes à extraire.

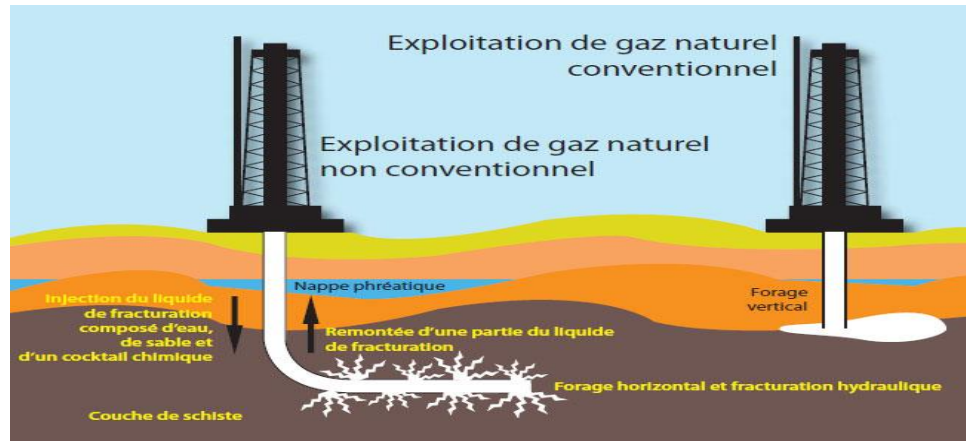


Figure I. 4: Type de gaz naturel.

- **Les gaz conventionnels**

Le gaz concentré dans les roches est naturellement piégé sous pression sous une couverture imperméable permettant l'existence d'un gisement.

Le gaz non associé est présent dans les gisements de pétrole mais il n'est pas mélangé à ce dernier.

Le gaz associé est présent en solution dans le pétrole et doit être séparé lors de l'extraction de ce dernier. Autrefois considéré comme un déchet, il est aujourd'hui, soit réinjecté dans les gisements de pétrole pour y maintenir la pression, soit valorisé. [7]

- **Le gaz naturel conventionnel non associé** : Ce gaz est la forme la plus exploitée. Il est issu de la pyrolyse du kérogène et extrait depuis une plateforme de forage. Son exploitation est donc plus facile puisqu'elle ne requiert aucun forage complexe. On le trouve aussi dans les gisements de pétrole, à la différence près qu'il ne se mélange pas avec [7].
- **Le gaz naturel conventionnel associé** : ici, c'est la pyrolyse du pétrole (lui-même issu de la pyrolyse du kérogène) qui permet d'obtenir un gaz naturel en le séparant lors de la phase de l'extraction. Il a longtemps été brûlé car considéré comme un déchet (au

détriment du pétrole) mais désormais, il est valorisé pour faire fonctionner le système de forage du pétrole [7].

- **Les gaz non conventionnels**

Ils représentent d'importantes réserves souterraines dont l'exploitation demeure complexe et coûteuse car ils sont retenus dans des poches fines et peu perméables.

- **Le gaz de réservoir compact** : est emprisonné dans des petits réservoirs souterrains difficiles d'accès. [7]
- **Le gaz de schiste** : est un gaz piégé dans une roche-mère très peu poreuse et très peu imperméable. [7]
- **Le gaz de houille** : Ce gaz reste emprisonné dans des gisements de charbon et contient beaucoup de méthane, ce qui en fait un gaz dangereux et peu exploité. [7]

I.3 Gisement pétrolière gazière

Pour que les hydrocarbures puissent être exploités, il est nécessaire que des quantités importantes d'huile ou de gaz soient stockées dans des zones de petite taille. Ces conditions se trouvent généralement dans les gisements.

I.3.1.1 Formation d'un gisement

Lors de la formation de l'huile et du gaz à partir du kérogène, les gouttelettes d'hydrocarbure se dispersent dans la roche-mère et ne pourraient pas être exploitées sans les phénomènes de migration et de concentration qui se produisent, voici le processus de migration :

- **Migration primaire** : Le pétrole brut est d'abord piégé dans une roche-mère compacte et imperméable. Par un mécanisme encore peu compris (probablement lié à une augmentation de pression lors de l'enfouissement de la roche-mère), l'eau, le pétrole et le gaz provenant du kérogène peuvent être libérés de leur formation d'origine et migrer éventuellement vers une roche-réservoir future.
- **Migration secondaire** : Le pétrole expulsé, qui est de faible densité et mélangé à de l'eau et du gaz dissous, a tendance à remonter à la surface de la Terre. Il s'échappe lentement à travers les couches sédimentaires perméables situées près de la roche-mère.

En général, il n'y a pas d'obstacle à la migration secondaire du pétrole. Finalement, le pétrole atteint les premiers mètres du sol, où il est dégradé en bitumes par des bactéries. Les combustibles fossiles produits à partir de cela sont appelés pétrole "lourd" ou "extra-lourd" ainsi que des sables bitumineux. Ils peuvent être utilisés comme indices de surface pour détecter la présence de pétrole dans un bassin sédimentaire lors de prospections réalisées par l'industrie pétrolière.

Parfois, la migration du pétrole brut vers la surface est bloquée par une formation géologique imperméable, telle qu'une couche de sel, appelée "roche-couverture" ou "roche imperméable".

Cela entraîne une accumulation de pétrole, d'eau et de gaz dans la couche perméable sous-jacente, créant ainsi une roche-réservoir en dessous de la roche-couverture. Dans ce réservoir poreux, le gaz s'accumule au-dessus du pétrole brut, qui, à son tour, se trouve au-dessus de l'eau en raison de leurs densités respectives (le gaz naturel est plus léger que le pétrole, lui-même plus léger que l'eau).

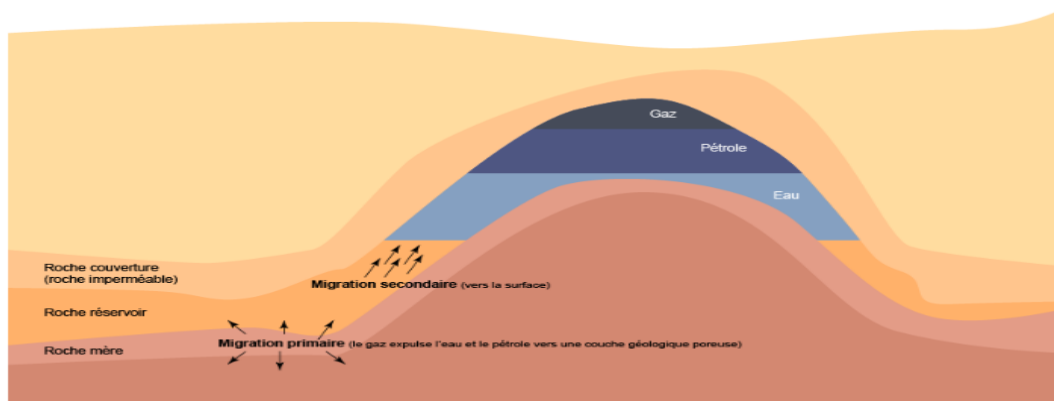


Figure I. 5: le processus de migration Primaire & Secondaire.

I.3.2 Caractéristique de gisement

Une roche-réservoir est caractérisée par plusieurs paramètres principaux qui vont déterminer sa potentialité à produire des hydrocarbures :

- **Nature des roches réservoirs :**

Est définie comme une roche où les hydrocarbures s'accumulent. Étant moins denses que l'eau, les hydrocarbures de la roche-mère migrent vers la surface à travers les couches de roches sédimentaires. Lors de cette migration, les hydrocarbures peuvent rencontrer une couche imperméable. Ils se retrouvent alors piégés sous ce "toit" (appelé roche-couverture), au sein d'une roche poreuse et perméable qui devient la roche-réservoir. Cette dernière a la capacité de contenir d'importantes quantités d'hydrocarbures, ce qui conduit à la formation de gisements de pétrole et/ou de gaz.

- **Porosité :** Rapport du volume de pores au volume total de la roche.
- **Perméabilité :** La perméabilité du réservoir représente la possibilité de drainer ces fluides vers le puits.
- **La température :** elle augmente environ de 30°C par kilomètre de profondeur donc le métamorphisme commence à partir de 7KM environ.
- **La pression :** elle augmente également avec la profondeur mais avec des valeurs discrètes par exemple : 1kbar à une profondeur de 4km, 5 kb à 15 km et 10 kb à 30 km pour une densité moyenne de la croûte de 2,5. La pression peut également augmenter du fait de contraintes dans les régions à forte activité tectonique ce qui peut engendrer la schistosité de la roche qui prend un aspect feuilleté.

- **Densité** : La densité est un élément de détermination du volume solide de l'échantillon
- **Saturation** : A partir d'une certaine profondeur, on peut considérer que les pores de la roche sont occupés par un fluide.
- **Mouillabilité** : affinité de la roche pour un fluide, caractérisé par l'angle de contact du fluide avec le solide

I.4 La prospection de pétrole et gaz

Les prospections pétrolières ou gazières visent à découvrir de nouveaux gisements de gaz naturel ou de pétrole, l'objectif de prospection est de localiser un gisement. L'exploration doit en vérifier l'existence et en évaluer l'importance et la qualité grâce à des forages dont l'emplacement est déterminé en associant géologie et géophysique. En cas de succès, ces deux phases en amont sont suivies par les phases d'exploitation, de transport, de traitement et de commercialisation.

I.4.1 Prospection géologique en surface

Les caractéristiques géologiques des gisements pétroliers variant en fonction de leur âge (de 5 à 400 millions d'années), de leur profondeur (de 1 à 10 km) et de leur thermique (la formation de l'huile se situant entre 60 et 150 °C).

Les géologues posent les questions suivantes afin d'identifier les régions potentiellement pétrolifères :

- Quelle est la nature des roches ?
- Ont-elles été soumises à des conditions favorables à la création d'hydrocarbures ?
- Ces hydrocarbures ont-ils pu migrer et être piégés par des couches imperméables ?

Les géologues dressent une carte du sous-sol à partir des informations obtenues en surface par examen des affleurements et dans les airs par photogéologie. Lorsqu'une zone favorable (prospect) est repérée par les géologues depuis la surface, c'est au tour des géophysiciens d'explorer le sous-sol. [8]

I.4.2 Prospection géophysique en profondeur

Les géophysiciens repèrent les gisements potentiels grâce à plusieurs méthodes :

- **La méthode gravimétrique** : est une technique de géophysique qui mesure les variations du champ gravitationnel terrestre. Ces variations peuvent révéler des informations sur la distribution des masses à l'intérieur de la Terre. Elle est utilisée pour détecter des structures géologiques comme des bassins sédimentaires, des failles, des dômes de sel, et des structures minéralisées.

La gravimétrie repose sur le fait que des roches de densités différentes produisent des variations mesurables dans le champ gravitationnel terrestre. En utilisant des gravimètres, qui sont des instruments extrêmement sensibles, on peut mesurer ces variations et les interpréter pour obtenir des informations sur la géologie sous-jacente

- La méthode électrique : en géophysique repose sur l'étude des propriétés électriques des roches et des sols. Elle comprend diverses techniques comme la résistivité électrique, l'induction électromagnétique, et les sondages électriques. Cette méthode mesure la résistivité électrique du sol en injectant un courant électrique dans le sol à l'aide d'électrodes et en mesurant la différence de potentiel. La résistivité varie en fonction de la composition du sol, de son taux d'humidité, de la porosité, et de la salinité
- La méthode sismique : La sismique d'exploration procède en émettant de puissantes vibrations, ou ondes sismiques, à travers le sol au moyen d'une explosion. On enregistre la façon dont les ondes sismiques sont renvoyées vers la surface par les roches du sous-sol. Les différents types de roches réfléchissent les ondes différemment, ce qui permet aux géologues d'établir une image précise de la structure du sous-sol.

Sur terre (onshore) : à partir d'un choc ou de vibrations sonores qui propagent des ondes dans le sous-sol, ils détectent par un réseau de géophones les échos réfléchis partiellement par les couches géologiques. Ils obtiennent une cartographie 2D de la structure des couches géologiques.

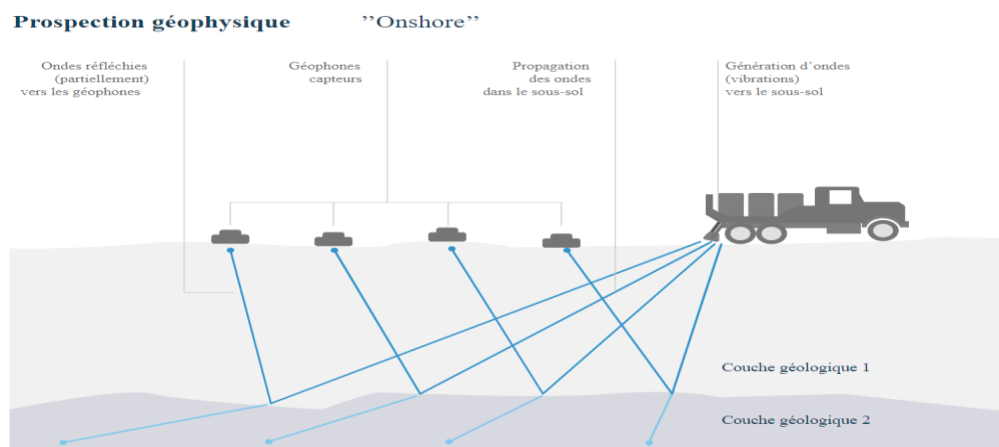


Figure I. 6: Prospection géophysique sur terre (méthode sismique).

En mer (offshore) : ils produisent l'onde sismique par air comprimé à haute pression et recueillent les échos sur des hydrophones flottants (flûtes), la couche d'eau étant considérée comme homogène.

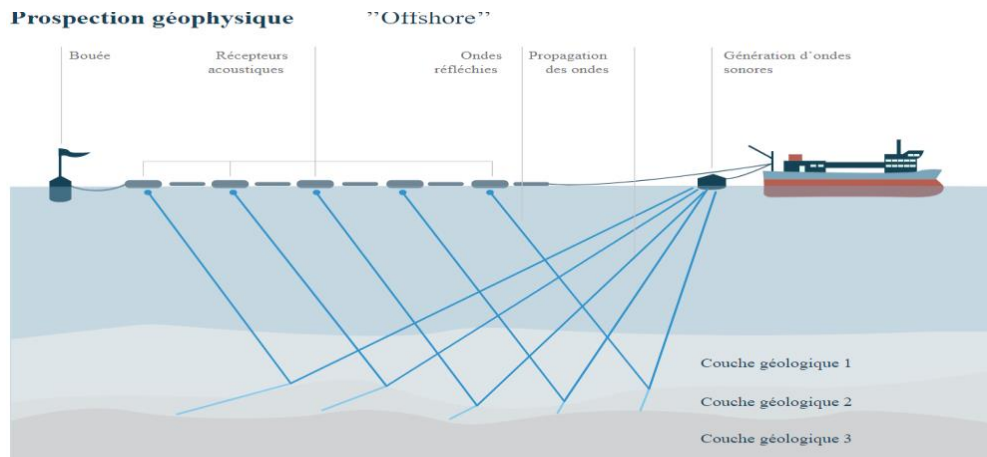


Figure I. 7: Prospection géophysique en mer (méthode sismique).

Lorsque les levés et les mesures indiquent la présence de formations ou de strates susceptibles de contenir du pétrole, on effectue des sondages d'exploration pour déterminer s'il y a ou non du pétrole ou du gaz et, dans l'affirmative, si celui-ci est extractible et exploitable en quantités commercialement viables [9].

I.5 LE forage

On appelle forage l'ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux. L'utilisation principale des forages est la reconnaissance et l'exploitation des gisements de pétrole ou de gaz naturelle.

- **Les techniques de forage**

Le processus de forage d'exploration implique la pénétration du sous-sol à l'aide d'un trépan et l'introduction de tiges vissées les unes aux autres. En utilisant une technologie très spécifique, il est possible de remonter des débris de roches et des échantillons d'hydrocarbures, ce qui permet de confirmer ou non la découverte du gisement et de fournir des indications supplémentaires sur l'exploitation potentielle des réservoirs. Pendant le forage, une série de mesures est effectuée pour affiner l'étude des réservoirs, portant notamment sur la composition des roches, les fluides souterrains et même la nature de la roche elle-même. Généralement, plusieurs forages d'appréciation sont réalisés sur un même site afin de délimiter précisément l'espace occupé par le gisement et de vérifier ses caractéristiques, ainsi que pour déterminer le meilleur emplacement pour les futurs puits de production. Toutes ces étapes sont cruciales pour évaluer l'exploitabilité du gisement et calculer sa rentabilité [10]

- **La boue de forage :**

La boue de forage est un liquide constitué d'eau ou de pétrole mélangé à de l'argile et à des additifs chimiques tels que le formaldéhyde, la chaux, l'hydrazide de sodium ou la baryte. On y ajoute souvent de la soude caustique pour ajuster le pH (acidité) et neutraliser les additifs ainsi que les liquides de complétion potentiellement dangereux. Injectée sous pression dans le puits depuis le réservoir mélangeur situé sur la plate-forme de forage, la boue descend à l'intérieur de

la tige de forage jusqu'au trépan, puis remonte entre la tige de forage et les parois du trou avant de revenir à la surface, où elle est filtrée et réutilisée.

La boue de forage remplit plusieurs fonctions essentielles : elle refroidit et lubrifie le trépan, assure la lubrification de la tige de forage et facilite l'évacuation des déblais. De plus, elle contribue à contrôler le flux remontant du puits en tapissant les parois du trou et en résistant à la pression exercée par les gaz, le pétrole ou l'eau rencontrée par le trépan. Des jets de boue sous pression peuvent également être injectés au fond du trou pour faciliter le forage [9]. Ses principales caractéristiques sont :

- **La masse volumique** : (appelée densité sur chantier), sert à alourdir la boue pour augmenter la pression hydrostatique dans le puits, et éviter ainsi l'intrusion d'un fluide ou le fluage des argiles.
- **La viscosité** : c'est la caractéristique qui permet à la boue de déplacer les déblais.
- **Le filtrat** : c'est l'eau qui pénètre dans la formation pour permettre le dépôt d'une couche de solides, appelée cake, qui "cimente" les parois du puits.
- **Le tubage et la cimentation** :

Le tubage est un tube en acier spécial épais qui constitue le revêtement du trou de forage. Il sert à empêcher l'éboulement des parois et à protéger les nappes phréatiques en évitant toute fuite de la boue qui remonte vers la surface pendant les opérations de forage. Le tubage est d'abord posé près de la surface pour guider la tige de forage. Il est alors fixé par cimentation ; un laitier de ciment est injecté dans la tige de forage et est refoulé vers le haut par l'espace compris entre le tubage et les parois du puits. Une fois le tubage de surface mis en place, des obturateurs anti éruption sont fixés au sommet du tubage, dans ce que l'on appelle une cheminée, Après la découverte de pétrole ou de gaz, le tubage est abaissé au fond du puits pour empêcher la remontée de la poussière, des roches, de l'eau salée et d'autres contaminants, tout en servant de conduit pour récupérer le pétrole brut et le gaz extrait [9].

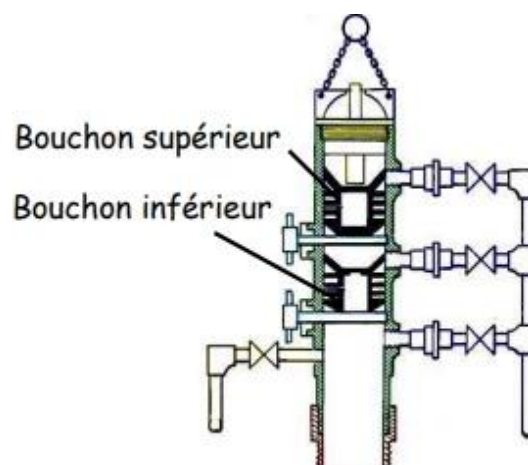


Figure I. 8: Tête de cimentation.



Figure I. 9: Unité de cimentation.

- **La tête de puits**

Une fois le tubage cimenté jusqu'à une certaine hauteur qui n'arrive pas jusqu'en surface (sauf pour la première colonne de tubage), la partie non cimentée doit être suspendue pour que les tubes ne s'écrasent pas. La tête de puits [well head] est un corps dans lequel le tubage est suspendu par des coins d'ancrage [casing hangers]

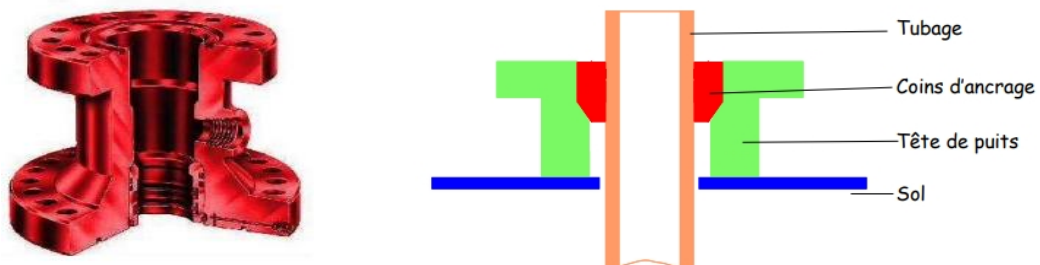


Figure I. 10: Tête de puits.

- **Le carottage**

L'analyse des déblais donne des informations intéressantes aussi bien pour le foreur que pour le producteur et le géologue. Mais, parfois, ces informations sont insuffisantes ou erronées, surtout s'il s'agit d'un réservoir intéressant. Pour cela, on prend un échantillon plus représentatif de ce réservoir, appelé « carotte », à l'aide d'un outil appelé « carottier ».



Figure I. 11: Carotte.

I.5.1 Types de Forage

Il existe trois principaux types de forage pétrolier en fonction des lieux de gisements et des objectifs :

- **Le forage vertical** : permet de forer le puits à l'aplomb vertical de la zone du gisement où le pétrole est susceptible d'être présent dans le sous-sol
- **Le forage dévié** : permet de forer plusieurs cibles depuis un même site de forage. Cela limite le nombre de sites en surface et permet d'utiliser les installations déjà existantes. [10]
- **Le forage horizontal** : permet l'atteinte de plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site et de maximiser la surface d'échange avec le réservoir, réduisant ainsi le nombre de forages nécessaires. [10]

I.6 La récupération assistée

Un gisement n'est pas un lac souterrain où il faut simplement puiser, mais une roche qui renferme du pétrole dans ses pores : ceux-ci étant assez petits (capillaires), l'extraction de ce liquide visqueux n'est pas facile en pratique. Par conséquent, l'exploitation d'un champ pétrolier se déroule en plusieurs phases. [11]

I.6.1 La production et la conservation du pétrole brut et u gaz

La production de pétrole est principalement un processus de transport de celui-ci par l'eau ou le gaz. Lors de la première exploration, la quasi-totalité du pétrole brut est sous pression. La pression naturelle diminue au fur et à mesure de l'extraction du pétrole et du gaz du réservoir, pendant les trois étapes de sa durée de vie :

Lors de la phase initiale, appelée production éruptive, le débit est influencé par la pression naturelle dans le réservoir, qui provient du gaz dissous dans le pétrole, du gaz sous pression au-dessus du pétrole et de la pression hydraulique de l'eau sous pression hydrodynamique.

La deuxième étape, la récupération assistée, implique l'injection de gaz sous pression dans le gisement lorsque la pression naturelle a diminué.

La production marginale est la troisième phase, où les puits ne produisent plus que par intermittence.

Autrefois, on comprenait mal les forces agissant sur la production de pétrole et de gaz. L'étude du comportement des réservoirs de pétrole et de gaz a commencé au début du XXe siècle, période à laquelle il fut découvert que l'injection d'eau dans un réservoir augmentait la production. A cette époque, l'industrie pétrolière récupérait entre 10 et 20% de la capacité d'un réservoir, alors que les taux de récupération les plus récents dépassent 60% avant que le puits ne devienne improductif. Si l'on s'efforce de régler le débit, c'est parce que plus le taux de production n'est élevé, plus la pression ne diminue rapidement dans le réservoir, ce qui réduit d'autant le volume total de pétrole susceptible d'être récupéré. [9].

I.6.2 L'augmentation des quantités récupérées

Il existe plusieurs méthodes pour augmenter la récupération de gaz et de pétrole pendant l'exploitation l'une de ces méthodes consiste à ouvrir par des moyens chimiques ou physiques des passages dans les couches pour permettre au pétrole et au gaz de se déplacer plus librement à travers les réservoirs jusqu'au puits au bien l'injection de l'eau et gaz dans le gisement, Elle comprend également des méthodes plus perfectionnées en vue d'extraire des quantités supplémentaires de produit des réservoirs épuisés, telle la récupération thermique, qui utilise la chaleur au lieu de l'eau ou du gaz pour chasser le reste de pétrole brut du réservoir [9].

- **L'acidification** : L'acidification est une méthode qui permet d'augmenter la production d'un puits en introduisant directement de l'acide dans un réservoir productif afin d'ouvrir des passages d'écoulement par réaction de produits chimiques avec les minéraux [9].
- **Le maintien de la pression** : Deux des techniques courantes de maintien de la pression sont l'injection d'eau et de gaz (air, azote, dioxyde de carbone et gaz naturel) dans les réservoirs où la pression naturelle est réduite ou insuffisante pour la production [9].
- **L'injection d'eau** : La méthode secondaire de récupération assistée la plus courante consiste à envoyer de l'eau dans un réservoir afin de chasser le pétrole vers les puits de production [9].
- **L'injection de vapeur** : L'injection de vapeur consiste à chauffer le pétrole brut pour réduire sa viscosité en injectant de la vapeur d'eau surchauffée dans la strate la plus profonde d'un réservoir relativement peu profond [9].

I.7 Etat de l'art

I.7.1 Pétrole

En 2018 ROBEI Sarra, SAOUDI Jaber, BOUGDAH Issam Dans le cadre de la mise en œuvre d'un plan de développement global au niveau de champ de Hassi R'Mel et dans le but d'activer ; améliorer la production et renforcer cette réserve suite à l'apparition de nombreux problèmes techniques, ce qui a conduit des faibles taux de production ainsi qu'un impact direct sur leur performance et son efficacité, cela nécessite une étude et une évaluation du système de production actuel. Cette étude s'articule autour de la modélisation et l'analyse de performances

des puits situés dans le champ sud de Hassi R'Mel à l'aide du logiciel PIPESIM avec une étude économique, où nous avons obtenu des résultats prometteurs qui sont réalisables pour atteindre les objectifs précédemment établis. [12]

KHEBBAZ AHMED, MESSAOUD Hocine, SENINA Saada. Dans le domaine pétrolier le forage demeure l'opération majeure pour l'exploitation du gisement de pétrole. La diminution du débit de la production d'un puits au cours du temps à cause de colmatage de la matrice par des dépôts de matières minérales et organiques ou d'une inversion de la mouillabilité de la roche réservoir permet de rechercher une solution à ce problème. Parmi ces techniques la fracturation hydraulique qui est l'objet de notre étude. Notre travail consiste à faire l'étude d'une opération de fracturation dont l'objectif est d'augmenter ou bien d'améliorer l'indice de productivité en augmentant la perméabilité nous avons fait une étude sur le puits OKS32 champ HAUD BERKAOUI (HBK), mémoire intitulée Fracturation hydraulique du puits OKS32 (Houd Berkoui- Ouargla) [13]

CHETTI Djamel Eddine, BELLAOUI Brahim, BOUCHAMA Farid, KHOULED Hicham. La modélisation intégrée (Puits-Réseau) consiste à collecter des données fournies par les différentes structures à partir du réservoir jusqu'aux bacs de stockages. Puis la création d'un modèle de puits qui consiste à l'étude individuelle de performance de puits ; la modélisation de réseau englobe à collecter des données nécessaires pour avoir une conception sur le réseau, puis, en intégrant ce modèle avec les modèles des puits pour obtenir un scénario d'optimisation de production. Mémoire intitulée Optimisation de production par la modélisation intégrée (puits – réseau) Cas d'étude - satellite W1A - [14]

Etant la première source d'énergie dans le monde et particulièrement en Algérie, les hydrocarbures occupent une large place dans l'économie mondiale pour cela Merakch Ismail en 2020 a évalué des paramètres pétro physiques des réservoirs Trias T2-A et Trias T1-B du périmètre Ghardaïa II- Bloc 420 A - bassin Oued Mya. [15]

Le champ Gassi El Agreb est parmi les gisements d'hydrocarbures en Algérie connu par la production des huiles, ce champ est situé à environ 100 Km Sud-Ouest de Hassi Messaoud. Alors Fenazi Bilel, Belayachi Siali, Brik Ramzi, Amer Kheira fait une étude concernant l'interprétation et analyses des paramètres pétro physiques à partir des diagraphies différées par l'utilisation de l'IP dans le champ du Gassi El Agreb. Les résultats de l'interprétation pétro physique obtenues ont permis de caractériser chacune des unités de réservoir séparément et de mettre en évidence que l'unité RaU3B est la plus prometteuse. [16]

I.7.2 Gaz naturels

En 1987 Zaccour, G. thèse examine le marché européen du gaz naturel et les échanges d'électricité entre réseaux, en utilisant la théorie des jeux. Des modèles dynamiques et des algorithmes sont proposés pour représenter ces marchés et calculer les équilibres. Des résultats numériques basés sur des données réelles sont fournis, ainsi que des schémas de prix pour égaliser les gains des réseaux coopérants. au thème intitulé Théorie des jeux et marchés énergétiques : marché européen du gaz naturel et échanges d'électricité (Doctoral dissertation, École des hautes études commerciales). [17]

En 2023 BENZAOU I Ikram, BENHADJI Rayan, DAHOU Mohamed El Amine / promoteur, BOUDOUAYA Amina / Co- promoteur travaille sur un thème d'Optimisation des paramètres du fonctionnement de la colonne d'absorption des gaz acide (contacteur). [18]

En 2018 GURMIT TAHAR, Ghebbache Mohammed lamine, Serraya Mohammed. L'économie algérienne repose sur les hydrocarbures notamment gaziers, Le gaz une énergie non renouvelable, sa fin est une obsession en Algérie La question de l'exploitation du gaz de schiste est apparue comme une solution à ce problème. Mais Le gaz de schiste reste un sujet sensible permanent au sein de nos sociétés. C'est une richesse répartie sur la quasi-totalité du globe, l'ensemble des pays est concerné par son exploitation. D'où une source de débat intense entre le désir permanent de certains du développement économique des états et la protection de l'environnement pour d'autres Dans ce travail, nous avons étudié la situation actuelle du gaz naturel et des gaz de schiste et montré les différences la plus importante entre eux, Et nous avons constaté qu'il ne pouvait pas ignorer les effets du gaz de schiste sur l'environnement surtout le problème des eaux souterraines par Algérie. [19]

I.7.3 Synthèse

L'industrie pétrolière gazière à un très grand impact économique, social et environnemental c'est pourquoi les chercheurs sont toujours intéressés par ce sujet. En résumé, la diversité et la profondeur des travaux de recherche sur le pétrole et le gaz témoignent de leur importance continue dans le paysage énergétique mondial.

I.8 Conclusion

Ce chapitre traite des généralités sur le pétrole et le gaz naturel, y compris leur cycle de formation jusqu'à leur récupération. Ces sources d'énergie jouent un rôle essentiel dans le monde économique et industriel. Une connaissance approfondie de ces ressources permet une exploitation plus durable.

Il comprend une étude des caractéristiques des réservoirs et la réalisation d'analyses géologiques et géophysiques détaillées, car cela peut optimiser les coûts d'extraction. Cela nous permet de minimiser les pertes financières et d'obtenir un rendement économique maximal.

Pour cela, nous avons choisi des méthodes d'aide à la décision multicritère pour résoudre le problème de sélection d'un puits par rapport à un autre, en prenant en compte les caractéristiques mentionnées précédemment. Ces méthodes permettent d'évaluer de manière systématique et objective les différentes options disponibles. Elles contribuent également à

une prise de décision plus transparente et justifiée.

Le chapitre suivant explorera en détail les méthodes multicritères d'aide à la décision (MCDM). Il expliquera leur application spécifique dans le contexte de la sélection des puits de pétrole et de gaz.

Chapitre II

La prise de Décision Multicritère (MCDM)

II.1 Introduction

Aujourd'hui, le monde devient de plus en plus complexe et il est de plus en plus difficile de prendre des décisions. Cela nécessite des approches structurées et efficaces pour aider les décideurs à choisir la meilleure option parmi plusieurs alternatives. Lorsque la décision implique des critères, nous utilisons des méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM).

Les MCDM se divisent en deux types principaux : les MADM, qui sont utilisées pour évaluer et classer des alternatives en fonction de plusieurs attributs, et les MODM, qui sont appliquées pour optimiser plusieurs objectifs simultanément.

Les méthodes d'aide à la décision multicritère (MADM) offrent différentes méthodes pour classer des alternatives à partir d'un ensemble de critères. Dans notre travail, nous avons sélectionné l'AHP, le TOPSIS, le MOORA, le VICOR, le SAW, le MULTIMOORA et le MOSRA, en démontrant leurs avantages et inconvénients.

II.2 Concept de la décision

II.2.1 Notion sur la décision

La décision est une action prise pour faire face à une difficulté ou répondre à un changement d'environnement. Une décision est le choix que des acteurs font parmi plusieurs actions possibles à un moment donné. Bien que la responsabilité finale d'une décision repose sur un individu clairement identifié, elle est souvent le résultat d'interactions entre plusieurs acteurs. [20]

II.2.2 Historique de l'aide à la décision

Le début de ce concept était mené par les officiers de la Royal Air Force britannique et de scientifiques civils de déterminer comment la technologie radar récemment développée pouvait être utilisée pour l'interception contrôlée des avions ennemis [21]. En 1951, Arrow publie son célèbre théorème de l'impossibilité, montrant qu'aucune procédure ne peut agréger les préférences d'individus rationnels, dans certaines conditions considérées comme naturelles (universalité, indépendance, respect de l'anonymat, absence de dictature), sans manquer d'un ordre complet. Ce théorème conclut donc la discussion lancée par les contributions de Borda et Condorcet au XVIIIe siècle, pour admettre qu'il est impossible d'avoir des préférences universelles et d'écrire une procédure pour les agréger. Cela ouvre également la voie à de nombreuses études sur la théorie du choix social. En 1953, Allais présente son célèbre paradoxe, qui montre comment les axiomes introduits par von Neumann et Morgenstern sous forme de conditions d'existence d'une fonction d'utilité (implicitement dans le but de prouver un comportement rationnel) sont systématiquement violés par le comportement réel. Des décideurs face à des situations de choix très simples. Ce questionnement empirique ouvre une autre voie de recherche, celle qui se présente dans le cadre des recherches sur les sciences cognitives [22].

Les années 50 et 60 ont été une période de nombreuses recherches, de cours universitaires et d'applications dans divers domaines. Les distributeurs d'eau, les chemins de fer et les compagnies aériennes étaient les principaux clients des études de recherche opérationnelle et d'aide à la décision. De plus, de nombreuses entreprises spécialisées dans l'aide à la décision ont vu le jour. Pendant cette période que commenceront à se développer les approches critique du paradigme dominant de la théorie de la décision. [22]

Pendant les années 70, une nouvelle approche de l'aide à la décision s'est développée sur la base des études menées par le Tavistock Institute et par Stafford Beer. En conclusion, il est essentiel de souligner que la recherche opérationnelle et la théorie de la décision ont connu une période de développement intense à la fin des années 60 et au début des années 70, tant sur le plan scientifique que professionnel. Cependant, cette croissance a également engendré l'émergence d'approches critiques envers le paradigme dominant. [22]

II.3 Classification des méthodes

On peut distinguer trois classes des méthodes multicritères :

II.3.1 Méthodes aggregation

Dans cette méthode les critères sont généralement conflictuels et unanimes. Donc pour cela, il faut définir une règle de décision qui permette de bâtir une relation de préférence ou de similarité sur l'ensemble des alternatives à partir de leurs vecteurs de performances. [23]

II.3.2 Méthodes interactives

Méthode itérative est une méthode dite de résolution des systèmes linéaires. Plus précisément, on peut dire qu'une méthode de résolution itérative d'un système linéaire cherche une suite de $x^*(k)$ $k \in \mathbb{N}$, où chaque itéré $x^*(k)$ est calculé à partir des itérés précédents, approchant de plus en plus de la solution cherchée du système. Donc, cette méthode essaie de résoudre le système par des itérations en cherchant la suite qui converge vers la solution.

$\mathbf{x}(k)$: Représente l'approximation de la solution après k itérations.

\mathbb{N} : Ensemble des indices d'itération, c'est-à-dire des entiers naturels k .

II.3.3 Méthodes de surclassement

Une méthode de surclassement est une relation binaire S définie dans A , où aSb (où (a, b) appartient à l'ensemble S). Les méthodes de surclassement sont utiles lorsque au moins un critère n'est pas quantitatif et qu'il est difficile de les coder sur une échelle commune. Toutes les techniques de la théorie de surclassement fonctionnent en deux étapes importantes :

- La première phase consiste à développer une relation de surclassement.
- La seconde phase consiste à utiliser cette relation de surclassement pour évaluer les solutions en fonction des objectifs de choix, de classement ou de classification.

II.4 La prise de décision multicritère

La prise de décision multicritères (MCDM) est une sous-discipline de la recherche opérationnelle. Elle évalue explicitement plusieurs critères contradictoires qui doivent être pris comme un ensemble afin de choisir entre les alternatives dans la prise de décision. Ce processus

peut être rationnel ou irrationnel, et d'autre part, il peut utiliser des hypothèses implicites ou explicites influencées par plusieurs facteurs. [24]

II.4.1 Définition de la matrice de décision

La matrice de décision est une représentation tabulaire utilisée dans les méthodes de prise de décision multicritère. Elle permet d'organiser les informations sur les alternatives et les critères, et de comparer les alternatives en fonction de plusieurs critères. En fournissant une vue d'ensemble structurée des options disponibles, elle facilite la prise de décision.

II.4.2 Terminologie de base

Pour avoir une compréhension complète du domaine des MCDM, il est essentiel de maîtriser la terminologie de base qui lui est associée.

II.4.2.1 Critère

Des caractéristiques ou des conditions spécifiques utilisées comme base pour évaluer ou juger quelque chose. Les critères permettent de comparer, sélectionner ou classer des éléments en fonction de leur conformité à ces normes.

II.4.2.2 Alternative

Une alternative est une possibilité ou une solution à considérer lorsqu'on doit prendre une décision. Les différentes options sont évaluées en fonction des critères préalablement définis.

II.4.2.3 Poids

Les poids sont des coefficients attribués à chaque critère pour refléter leur importance relative dans le processus de décision. Ils indiquent la priorité ou l'importance accordée par le décideur à chaque critère par rapport aux autres. Les poids peuvent être exprimés en pourcentage, en valeur numérique ou dans d'autres unités appropriées.

II.4.3 Méthode générale des MCDM

Les méthodes multicritères diffèrent l'une de l'autre mais elles ont tous le même processus décisionnel.

Ce dernier comporte :

II.4.3.1 Structure du problème

Dans cette étape il faut que le décideur prenne en compte ces points :

- Déterminer le problème.
- Dresser la liste des alternatives potentielles.
- L'identification des critères.



Figure II. 1: Structuration du problème. [25]

II.4.3.2 Application de la méthode recommandée

Après avoir terminé la première étape le décideur peut choisir une des méthodes adaptées à la solution du problème. Les méthodes multicritères diffèrent selon la façon de réaliser la dernière étape, c'est-à-dire la façon d'évaluer les solutions en fonction des critères retenus.

II.5 Catégories des méthodes de prise de décision multicritère

Pour explorer le domaine des méthodes multicritères, il est crucial de distinguer entre les deux catégories principales.

II.5.1 Les méthodes de la prise de décision multi-attributs

MADM

La méthode MADM est une approche utilisée dans la recherche opérationnelle pour évaluer plusieurs critères. Ces critères sont considérés comme attributs souvent conflictuels relative à chaque alternative. Chaque alternative est définie par un ensemble fini d'attribut [25]. La méthodologie de MADM est conçue pour les problèmes concernés par l'évaluation et le choix entre dissolutions discrètement définies [26]. On peut l'appliquer dans divers domaines et contexte.

Voici quelques exemples d'approche MADM :

- *Analytic Hierarchy Process (AHP).*
- *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).*
- *Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MOORA).*
- *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE).*
- *Simple Additive Weighting (SAW).*
- *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR).*
- *Analyse de la moyenne pondérée (WMA).*

II.5.2 Les méthodes de la prise de décision multi-objectifs

MODM

Dans la méthode MODM les critères sont définie par des objectifs, un objectif est le but à atteindre, fixé à l'avance par des concepteurs. Cette méthode est appliquée lorsque on veut choisir une solution parmi plusieurs présenté. La MODM s'occupe de la maximisation ou de la minimisation de plusieurs fonctions objectives [26].

Voici quelques exemples d'approche MODM :

- Programmation littéraire multi-objectifs (PLM).
 - Programmation par buts (Goal Programming).
 - Programmation dynamique multi-objectifs.
- Méthode de pondération des objectifs.

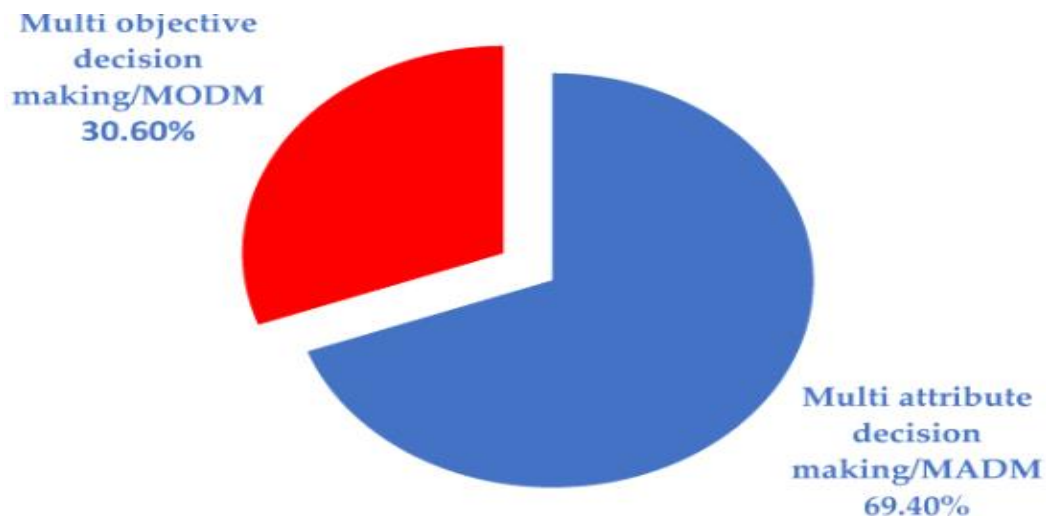


Figure II. 2: Percentages of Articles Focusing on MODM and MADM. [25]

II.6 Les méthodes d'aide à la décision multicritères

Parmi les nombreuses méthodes voici les plus connus et leurs avantages et inconvénients :

II.6.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) développée par Thomas Saaty, ce dernier le défini comme « un cadre intégré combinant des critères objectifs et nos objectifs avec des comparaisons bilatérales basées sur une échelle relative » [27]. Cette approche est l'une des MCDM la plus utilisée. Sa force réside dans sa facilité de compréhension en général [28]. Elle très utile quand le décideur trouve difficile de déterminer les poids des critères dans une autre méthode. [27]

II.6.1.1 Les avantage

- Flexible, intuitive et vérifie les incohérences.

- Comme le problème est construit dans une structure hiérarchique, l'importance de chaque élément devient claire.
- Neutralité dans le processus de prise de décision.

II.6.1.2 Les inconvénients

- Des irrégularités dans le classement sont observées.
- L'agrégation additive est employée, ce qui peut entraîner la perte d'informations importantes.
- Un nombre accru de comparaisons par paires est requis.

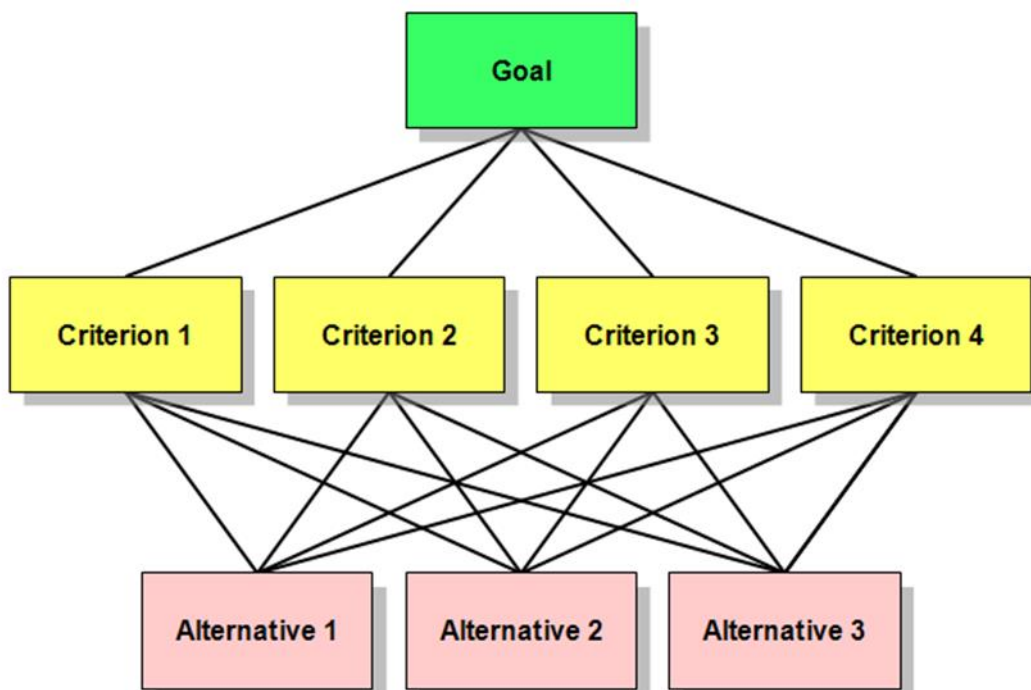


Figure II. 3: structure AHP.

II.6.2 -Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Développé par Hwang et Yoon en 198 [29], cette méthode d'agrégation compare un ensemble d'alternative. En effet, la méthode calcule la distance euclidienne entre chaque alternative idéale. La solution optimale doit avoir la distance la plus courte de la solution idéale (PIS), la mauvaise solution aura la distance la plus long de la solution idéale (NIS) [30].

II.6.2.1 Les avantages

- Facile à comprendre et à mettre en œuvre.
- Donne une solution unique.

- Peut être utilisée pour des problèmes multi-attributs.
- Sensible aux préférences du décideur.

II.6.2.2 Les inconvénients

- Sensibilité aux valeurs aberrantes.
- Nécessite une normalisation préalable des données.
- Ne prend pas en compte les interactions entre critères.
- Peut être influencée par le choix des poids attribués aux critères.

II.6.3 Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MOORA)

Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis a été développée par Mark Zeleny en 1982, est une technique d'aide à la décision multicritère permettant de classer des critères souhaitables et indésirables. Elle est principalement utilisée pour évaluer des attributs quantitatifs et constitue l'une des méthodes couramment utilisées pour résoudre des problèmes de décision complexes. Sa popularité tient en grande partie à sa rapidité de calcul [31].

Des méthodes différentes, connues sous le nom de MOORA, sont utilisées pour optimiser le contenu de la matrice de décision. La première méthode utilise un système de ratio tandis que la deuxième méthode utilise une approche de point de référence basée sur les rapports obtenus. En outre, l'approche MULTIMOORA (Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis plus the Full Multiplicative Form), qui se base sur la forme multiplicative complète, et l'approche MOOSRA (Multi-Objective Optimization by Simple Ratio Analysis), qui se concentre sur l'optimisation multi-objectif en analysant les ratios simples, seront également utilisées.

II.6.3.1 Les avantages

- MOORA est relativement simple à comprendre et à mettre en œuvre.
- Elle peut être utilisée dans une grande variété de domaines et de situations pour évaluer des alternatives.
- MOORA permet une personnalisation de l'analyse en fonction des besoins spécifiques.
- Elle est capable de générer rapidement des résultats.

II.6.3.2 Les inconvénients

- Les résultats de MOORA sont fortement influencés par la qualité des données utilisées
- Les poids choisis peuvent varier en fonction des préférences individuelles de l'utilisateur, ce qui peut avoir une influence significative sur les résultats.
- Les ratios utilisés peuvent être sensibles aux variations des valeurs des critères, ce qui rend les résultats instables et difficiles à interpréter dans certaines situations, notamment lorsque les valeurs des critères sont proches les unes des autres.

II.6.4 VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)

La méthode VIKOR a été développée par S. Opricovic et G.-H. Tzeng, et elle est originaire de la Serbie. Le terme VIKOR est un acronyme issu du serbe, signifiant "Optimisation multicritère et solution de compromis".

La méthode VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) permet de déterminer une liste de classement des compromis, la solution de compromis et les intervalles de stabilité des poids afin de maintenir la stabilité des préférences de la solution obtenue avec les poids initiaux. Cette méthode se concentre sur le classement et la sélection parmi un ensemble d'alternatives en prenant en compte des critères contradictoires. Elle introduit un indice de classement multicritère basé sur une mesure spécifique de la "proximité" par rapport à la solution "idéale" [32].

II.6.4.1 Les avantages

- La méthode VIKOR est facile à comprendre et à appliquer.
- Cette méthode permet de générer rapidement des résultats.
- VIKOR prend en compte les préférences et les poids des critères donnés par l'utilisateur
- Trouver un compromis entre différentes alternatives. Cela est réalisé en évaluant à la fois la proximité à la solution idéale et la distance à la solution anti-idéale.

II.6.4.2 Les inconvénients

- L'attribution des poids aux critères peut introduire une certaine subjectivité dans le processus et peut affecter les résultats.
- La qualité des données entrantes influence directement les résultats de VIKOR.
- Les résultats de VIKOR peuvent être sensibles aux variations des seuils de compromis choisis, ce qui affecte la stabilité des résultats.

II.6.5 Simple Additive Weighting (SAW)

La méthode SAW (Simple Additive Weighting), développée par Yoon et Hwang en 1981, a été présentée dans leur article intitulé "*Multiple Attribute Decision Making : An Introduction*". Depuis lors, elle est devenue l'une des techniques les plus utilisées dans le domaine de l'aide à la décision multicritère [33]. Et la base de la plupart des méthodes MADM. SAW est l'une des méthodes d'évaluation multicritères les plus couramment utilisées en pratique en raison de sa simplicité. Elle permet d'intégrer les valeurs et les poids des critères de manière claire, en fournissant une estimation unique de la valeur du critère. [34]

II.6.5.1 Les avantages

- L'approche est accessible même aux non-experts de l'analyse multicritère.
- Elle permet de prendre en compte de nombreux critères et de les pondérer en fonction de leur importance relative dans la décision.
- Les poids attribués à chaque critère sont clairement définis.

II.6.5.2 Les inconvénients

- Les résultats de la méthode SAW peuvent être sensibles aux poids attribués à chaque critère, ce qui pourrait entraîner des classements différents des alternatives.
- Il est important de noter que cette méthode suppose souvent l'indépendance des critères, ce qui n'est pas toujours le cas.
- La méthode SAW utilise une agrégation linéaire des critères, ce qui signifie qu'elle ne tient pas compte des interactions entre eux.

II.7 Etat de l'art et synthèse

II.7.1 Méthode AHP

La méthode AHP est considéré parmi les méthodes les plus anciennes et efficaces. Elle utilisé dans de nombreux domaines.

En 2007, Gülfem Işıklar et Gülçin Büyüközkan ont évaluée les options de téléphonie mobile en fonction de l'ordre des préférences des utilisateurs et les caractéristiques les plus souhaitables qui influencent le choix d'un téléphone mobile en utilisant la méthode AHP et la méthode TOPSIS. [35]

Durant la même année Subhajyoti Ray a utilisé la méthode AHP pour une étude qui consiste a aidé les étudiants en doctorat à choisir un encadrant à leur thèse. [36]

En 2010, Hambali, S. M. Sapuan, N. Ismail et Y. Nukman ont intégré la méthode AHP pour la bonne sélection des matériaux de poutre de pare-chocs automobile composite polymère. La sélection des matériaux est l'une des activités les plus importantes du processus de développement. Le mauvais choix de matériaux entraine la reproduction du produit. [37]

Le processus de chargement et de transport dans les mines à ciel ouvert repose principalement sur l'utilisation de camions et de pelles. Ces équipements sont les plus couramment utilisés et leur performance est étroitement liée et interdépendante. AROUFI Mohammed Essalih a réussi à optimiser ces performances en utilisant la méthode AHP et TOPSIS. (2022/2023) [38]

II.7.2 Méthode TOPSIS

L'utilisation de la méthode TOPSIS offre une approche efficace pour comparer et classer des alternatives en fonction de multiples critères. Cela permet de prendre des décisions éclairées dans divers contextes.

En 2007, AGHAJANI et M. OSANLOO ont appliqué la méthode AHP et TOPSIS dans le but de sélectionner les équipements de chargement-transport dans les mines à ciel ouvert. Les résultats de cette étude démontrent une réduction significative du temps de calcul et une précision accrue par rapport aux méthodes existantes. [39]

La Chine et l'Inde sont réputées pour être les meilleurs producteurs de textiles. C'est pourquoi Jayaram C Sasi et Dr. Abhijeet K Digalwar ont utilisé la méthode TOPSIS et AHP pour sélectionner les fournisseurs dans l'industrie textile entre ces deux pays. (2015) [40]

Le concept de développement durable doit être compris comme un phénomène multidimensionnel. Il vise à répondre aux besoins actuels tout en préservant les ressources pour les générations futures.

Adam P. Balcerzak et Michał Bernard Pietrzak ont appliqué la méthode TOPSIS pour analyser le développement durable dans l'union européenne des pays. (2016) [41]

Les avancées significatives dans le domaine des énergies renouvelables à travers le monde ont ouvert la voie vers un avenir durable et un environnement plus propre. Shafiqur Rehman, Salman A. Khan et Luai M. Alhems ont utilisé l'approche TOPSIS pour sélectionner de manière multicritère des éoliennes adaptées aux sites terrestres. (2020) [42]

II.7.3 Méthode MOORA

Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MOORA) est parmi les MCDM les plus utilisés ses dernières années pour sa facilité d'utilisation.

L'usinage par électroérosion par fil est un processus d'usinage polyvalent et non conventionnel utilisé pour façonner des matériaux conducteurs avec une grande précision. Il est particulièrement efficace pour découper des formes complexes et des profils variés.

En 2020, Himadri Majumder, Srimant Kumar Mishra, Anil R. Sahu, Anil Laxmanrao Bavche, Mahadev Valekar, et Bijaya Kumar Padaseti ont établi une recherche qui consiste à optimiser les paramètres d'usinage par électroérosion par fil en utilisant la méthode MOORA. [43]

En 2021, Sama Hamumantha Rao, Sripathi Kalvakolanu, et Chinmay Chakraborty ont intégré les techniques ARAS et MOORA pour mesurer la performance des banques du secteur privé en Inde [44]

II.7.4 Méthode VIKOR

VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) est utilisée dans divers domaines tels que la gestion, l'ingénierie et l'économie, elle offre une méthode systématique pour classer les alternatives en fonction de leur performance globale.

En 2014, Mirjana D. Mančev, à utiliser la méthode VIKOR pour analyser la qualité des services fournis dans les bibliothèques de l'Université de Niš en Serbie. Les bibliothèques sont classées d'après différents critères. [45]

Ibtissem CHOUBA a réalisé une thèse en 2021 qui aborde l'optimisation des activités d'un service d'urgences (SU) dans le but d'améliorer la qualité de service aux patients. Pour cela elle a devisé Les approches proposées en deux axes. Le premier axe consiste à optimiser les

ressources humaines et matérielles du SU à l'aide de diverses méthodes telles que la programmation mathématique, l'algorithme génétique et la méthode VIKOR. Et le deuxième axe vise se concentre sur l'estimation du temps d'attente des patients, en comparant des méthodes analytiques et une approche basée sur la simulation avec les réseaux de Petri. Cela pour améliorer le confort des patients en réduisant leur stress et en améliorant les flux de passage. [46]

En 2022, KHIDER Imane, et KEDDAR Marwa dans cette étude ont établi un classement de la rentabilité potentielle de projets pétroliers proposés par la SONATRACH. Pour cela elles ont travaillé avec les méthodes VIKOR, SAW, TOPSIS, et SMART.

II.7.5 Méthode SAW

La technique SAW est largement utilisée comme méthode d'aide à la décision multicritère pour sa facilité d'utilisation dans tous les domaines et sans la nécessité d'être experts en analyse multicritère.

Le Cloud Véhiculaire (CV) est un nouveau paradigme qui permet d'exploiter les ressources Cloud dans les réseaux véhiculaires. En 2016 DJERADI Sarah et ABDELHAFIDI Fatima ont étudié plusieurs protocoles pour offrir et consommer des services dans le Cloud véhiculaire. Elles ont également proposé une amélioration du protocole DCCS-VC (Discovering and Consuming Cloud Services in Vehicular Cloud). Cette amélioration implique la sélection du meilleur service Cloud pour répondre à la demande du consommateur en utilisant une technique basée sur la logique floue. Enfin, elles ont comparé les résultats de simulation obtenus avec la technique de logique floue à ceux obtenus avec la méthode paramétrable SAW. [47]

Lors des premières étapes de la conception architecturale, il est rare d'utiliser des outils d'analyse pour évaluer les différentes options de projets. Cependant, il est important de noter que ces décisions initiales ont un impact significatif sur la performance énergétique et le confort environnemental du bâtiment. Par conséquent, il est essentiel de disposer d'une méthode d'aide à la décision permettant de choisir la meilleure solution architecturale en termes de consommation d'énergie. Donc en 2018 Saoudi Sara et AyecheAsma ont décidé d'appliquer la méthode SAW pour une optimisation des choix architecturaux durables, (application sur les équipements touristiques). [26]

La décision de choisir l'emplacement d'une installation de centrales solaires est d'une importance capitale pour les projets à grande échelle en raison de nombreux aspects différents. C'est pourquoi Ben Mahcen Med Islam et Mezabia Med Ali ont utilisé les méthodes AHP, BWM, TOPSIS et SAW pour sélectionner le site optimal d'une centrale solaire. Cette recherche a été établie en 2022 [28]

II.7.6 Méthode FAHP

Fuzzy AHP est une extension de la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) qui utilise des concepts de logique floue pour la prise de décision multicritère. Cette méthode est largement utilisée dans différents domaines.

En 2022, Ramkumar Yadav et Hae Hyoung Lee ont intégré les deux méthodes Fuzzy AHP et Fuzzy TOPSIS pour classement et sélection des matériaux composites de restauration dentaire. [48]

En 2016 Multazam, T, Putri, R. I, Pujiantara, M, Priyadi, A, et Hery, P. M ont appliqué Fuzzy AHP pour la Sélection du site du parc éolien dans la zone de Nganjuk. [49]

II.7.7 Méthode FTOPSIS :

La méthode Fuzzy TOPSIS est largement utilisée dans de nombreux domaines en raison de sa capacité à prendre en compte l'incertitude et la subjectivité lors de processus de prise de décision multicritère.

La sélection de l'emplacement de l'entrepôt est un problème de décision multicritère comprenant à la fois des critères quantitatifs et qualitatifs. Maysam Ashrafzadeh, Farimah Mokhatab Rafiei, Naser Mollaverdi Isfahani et Zahra Zare ont appliqué la méthode Fuzzy TOPSIS pour la sélection d'emplacement des entrepôts. [50]

II.7.8 Synthèse

L'état de l'art démontre que les MCDM (Méthodes de prise de décision multicritères) sont largement utilisées dans divers domaines, tels que la gestion des opérations, la planification urbaine, la gestion environnementale, la finance, la santé, et bien d'autres encore. Leur utilisation est motivée par la nécessité de prendre des décisions éclairées, reposant sur des données quantitatives et qualitatives, dans le but de maximiser les avantages et de minimiser les risques.

Les MCDM offrent une gamme variée de méthodes. L'importance des MCDM réside dans leur capacité à fournir une structure analytique pour structurer et résoudre des problèmes complexes, permettant ainsi de prendre des décisions plus robustes.

II.8 Conclusion

Ce chapitre explore diverses méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM) utilisées pour résoudre des problèmes complexes impliquant plusieurs critères et alternatives. Il souligne l'importance continue de la recherche et de l'application des MCDM dans différents domaines, offrant ainsi des outils puissants pour relever les défis de la prise de décision dans un monde complexe et incertain. Les méthodes discutées incluent, entre autres, l'AHP, le TOPSIS, le VIKOR, le SAW, le MOORA, le MULTIMOORA, le MOSTRA et le FUZZY AHP, chacune ayant ses propres avantages et limitations.

Le chapitre suivant se concentre sur la sélection des puits de pétrole et de gaz à l'aide de méthodes d'aide à la décision multicritère. Il présente des études de cas détaillées et des analyses comparatives pour démontrer l'efficacité de ces méthodes dans un contexte pratique. L'objectif est de montrer comment ces outils peuvent être utilisés pour optimiser les décisions et améliorer les résultats économiques et opérationnels dans l'industrie pétrolière et gazière.

Chapitre III

**Sélection des puits de
pétrole et de gaz à l'aide des
MCDM's**

III.1 Introduction

L'application des méthodes multicritères d'aide à la décision (MCDM) s'impose comme une approche simple et efficace dans le cas de prise de décision, car on applique ces méthodes dans le cas où l'on a plusieurs alternatives qui contiennent des critères variés. Ce chapitre vise à explorer comment appliquer des MCDM pour la sélection de l'alternative en se basant sur une série de critères bien définis.

La première partie de ce chapitre abordera l'entreprise SONATRACH et la région HAOUD BERKAOUI, d'où nous avons obtenu les données utilisées pour les alternatives (des puits pétroliers gaziers) et leurs critères (perméabilité, porosité, température, pression, saturation d'eau et volume d'argile ...).

La deuxième partie du chapitre se concentre sur l'application des MCDM sur les alternatives. Nous avons inclus plusieurs méthodes et nous les avons bien détaillées étape par étape, en illustrant les tableaux de calcul d'Excel pour la compréhension.

En fin de compte, après avoir appliqué les MCDM aux alternatives, nous rédigerons une interprétation des résultats après avoir analysé les données. Cette partie clarifie les avantages et les objectifs de chaque méthode, ainsi qu'une comparaison entre elles à partir des résultats obtenus.

III.2 Présentation de Sonatrach

« Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures ») est une entreprise pétrolière et gazière algérienne. Créée le 31 décembre 1963. C'est un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine. Sonatrach est classée première entreprise d'Afrique.

Le groupe pétrolier et gazier Sonatrach intervient dans l'exploration et la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Sonatrach se développe également dans les activités de pétrochimie, de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer et d'exploitation minière.

Basée en Algérie, Sonatrach est active dans plusieurs régions du monde :

L'entreprise emploie 41 204 salariés (120 000 avec ses filiales), génère 30 % du PNB de l'Algérie. Sonatrach est une compagnie nationale algérienne d'envergure internationale, et la clé de voûte de l'économie algérienne.

En 2005, sa production est de 232,3 millions de TEP, dont 11,7 % (24 millions de TEP) pour le marché intérieur.

En 2009, son chiffre d'affaires s'élevait à 77 milliards de dollars. Elle devance la filiale sud-africaine de l'assureur Old Mutual, classée deuxième⁶². Sonatrach est le 12e groupe pétrolier

au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le Bassin méditerranéen, le 4^e exportateur de GNL, le 3^e exportateur de GPL et le 5^e exportateur de gaz naturel.

III.3 Présentation de la région de Haoud Berkaoui

Sur la route RN 42, dite des pétrolières, reliant GHARDAIA à HASSI MESSAOUD et à 35 Km de OUARGLA un carrefour indique la présence d'un champ pétrolier. Il s'agit de la région HAUD BERKAOUI.

La région de Haoud-Berkaoui est l'un des grands secteurs pétroliers algériens, elle est composée essentiellement de trois champs principaux (Berkaoui, Benkahla, Guellala) et des petites structures de la périphérie. Les champs de Haoud-Berkaoui sont répartis sur une superficie de 6300km², dont les principaux sont :

- **HAUD-BERKAOUI**

Le gisement de Haoud-Berkaoui s'étend sur une superficie de 175 Km² avec une élévation de 220 m par rapport au niveau de la mère. Il a été découvert en mars 1965 par la CFPA (compagnie française du pétrole algérien) avec le forage OK#101 situé au sommet de la structure.

Ce gisement a été mis en production en janvier 1967 dont les réserves ont été de 136.4 millions STM³ d'huile. La profondeur moyenne est de 3550 m. Actuellement le soutirage de l'huile se fait naturellement (déplétion naturelle) et artificiellement (gaz-lift), tout en citant que la pression de gisement est maintenue par l'injection d'eau (dans certaines zones).

- **CHAMP DE BENKAHLA**

Le gisement de Benkahla s'étend sur une superficie de 72 Km², élevée de 209 m par rapport au niveau de la mère. Il a été découvert en novembre 1966 par la même compagnie française par le forage OKP#24. Benkahla a été mis en production en 02 mai 1967 dont les réserves sont d'environ 86.8 millions STM³ d'huile. La profondeur moyenne est de 3550 m. Il produit par sa propre énergie de gisement aidé par le maintien de pression et le gaz-lift.

- **CHAMP DE GUELLALA**

Le gisement de Guellala à une surface de 35 Km² avec une élévation par rapport au niveau de la mère de 198 m. Il a été découvert à la date de 28 octobre 1969 par le forage GLA#01. Il a été mis en production en février 1973 dont les réserves sont de 99 millions STM³ d'huile. La profondeur moyenne est de 3500 m. Sa production est assurée comme Berkaoui et Benkahla.

- **LA PERIPHERIE**

Elle est composée de plus de 10 patates. La production de quelques puits se fait par une déplétion naturelle et d'autres sont activés par le gaz-lift. Parmi ces petits champs on a : N'goussa / Drâa Tamra / Guellala Nord-Est / Haniet El Beida / Mokh El Kabech / Boukhazana ...etc.

III.4 Les critères

III.4.1 Porosité

Φ , exprimée en%, et définie comme étant l'ensembles des pores (vides) reliées ou non entre eux, contenues dans une roche. Elle correspond au rapport du volume de pores au volume total de la roche

$$PHI = VP / VT = (VT - VS) / VT = 1 - (VS / VT)$$

- VT = Volume total de l'échantillon (Surface * Hauteur)
- VP = Volume poreux (espaces occupés par les fluides entre les grains)
- VS = Volume solide de l'échantillon (Volume total – Volume poreux)

$\Phi < 5\%$ = Faible porosité

$5\% < \Phi < 10\%$ = Porosité médiocre

$10\% < \Phi < 20\%$ = Porosité moyenne.

$20\% < \Phi < 30\%$ = Bonne porosité

$\Phi > 30\%$ = Porosité excellente

III.4.2 Perméabilité

La perméabilité absolue d'une roche est l'aptitude de cette roche à laisser circuler à travers ses pores, un fluide dont elle est saturée.

- La loi de Darcy permet de calculer la perméabilité. La loi de Darcy permet de quantifier le débit liquide dans une conduite. Elle définit le lien entre les caractéristiques de l'effluent et son environnement, c'est à dire les définitions géométriques du domaine d'écoulement.

- Les tests sont faits sur un échantillon extrait des carottes extraites du réservoir.

- En fait, des échantillons différents sont extraits et analysés pour vérifier l'évolution de la perméabilité à l'intérieur des différents niveaux producteurs.

- Chaque échantillon sera positionné dans une cellule de test après avoir été correctement nettoyé et débarrassé des fluides initiaux présents.

- Cet échantillon a un diamètre et une longueur précise.

- Cet échantillon va subir un delta P déterminée ($P_1 - P_2$) et on va mesurer le débit d'un fluide connu à travers cet échantillon.

Classes de perméabilité est :

- Très faible si elle est inférieure à 1mD.
- Faible si elle est comprise entre 1mD et 10mD.
- Médiocre si elle est comprise entre 10mD et 50mD.
- Moyenne si elle est comprise entre 50mD et 200mD.
- Bonne si elle est comprise entre 200mD et 500mD.

- Excellente si elle est supérieure à 1D.

III.4.3 Saturation d'Eau

A partir d'une certaine profondeur, on peut considérer que les pores de la roche sont occupés par un fluide.

- Généralement c'est de l'eau douce ou salée, mais parfois ce sont des hydrocarbures liquides ou gazeux ou d'autres gaz (CO₂, H₂S, ...) qui vont remplir en partie ces pores
- $S_w = V_w / V_p$ (Volume d'eau exprimé en CC sur le volume de pore exprimé en CC)
- S_{wi} : Volume d'eau non déplaçable ou irréductible

III.4.4 Volume d'argile

Dans les réservoirs argileux, la présence d'argiles affecte de nombreux paramètres. Par conséquent, il est nécessaire de corriger les effets de l'argile afin d'estimer au mieux ces paramètres. Par exemple, la présence d'argile dans la roche réservoir affecte la porosité et la perméabilité. Pour corriger la porosité, il est essentiel d'éliminer tous les vides remplis par l'argile, de manière à obtenir une porosité significative. De plus, le volume d'argile est utilisé dans le calcul des différentes saturations et est considéré comme un indicateur de la qualité du réservoir. En général, les réservoirs présentant une faible teneur en argile sont considérés comme meilleurs. Il existe plusieurs méthodes pour estimer le volume d'argile, la plus couramment utilisée étant le log (gamma ray GR). Cependant, il existe d'autres méthodes pour calculer ce paramètre. [51] [52]

III.4.5 Température

La température du réservoir de pétrole et de gaz elle affecte directement la viscosité et leur capacité à migrer à travers les roches poreuses du réservoir vers les puits de production. La température du réservoir est un facteur déterminant dans la conception des techniques de récupération assistée du pétrole et du gaz. Des températures plus élevées peuvent nécessiter l'utilisation de méthodes spéciales, telles que l'injection de vapeur ou de gaz, pour augmenter la pression et la température du réservoir. Cela facilite l'extraction des hydrocarbures.

III.4.6 Pression

La pression du réservoir influe sur la conception et la sélection des puits de production. Les puits doivent être conçus pour résister à la pression et aux conditions du réservoir afin d'optimiser la production et la durée de vie du puits. La pression du réservoir permet d'évaluer le potentiel de production du gisement. Une pression élevée peut indiquer un réservoir prometteur avec un bon potentiel de production, tandis qu'une pression basse peut signaler des défis potentiels en matière de récupération des hydrocarbures.

III.5 Application de méthodes

- L'objectif de ce travail est d'appliquer les méthodes d'aide à la décision multicritères pour une meilleure sélection des sites de prospection et d'exploration pétrolière et gazière, afin de réduire les risques financiers et améliorer la rentabilité des projets

Dans cette partie, nous discuterons des étapes de travail nécessaires pour parvenir à un résultat final concernant les résultats des méthodes appliquées.

Pour l'application des méthodes, nous avons choisi de travailler avec deux cas.

Dans le premier cas, nous avons pris des poids différents pour chaque critère, et nous les avons appliqués à toutes les autres méthodes.

Dans le deuxième cas, nous avons supposé que les poids des critères soient égaux.

Puits	Paramètres du Réservoir					
	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)
	(%)	(md)	(%)	(%)	(°C)	(kgf/cm ²)
OKJ03	10,9	18,3	29,5	10,9	100,47	343
OKN116	11	59	34	28	100,23	303,97
OKJ311	7,7	34,2	26,35	4,47	99	259,73
OKN660	10,3	166	26	15	101	271,28
OKS51	11,21	18,3	26,82	6,87	100,47	428,5
OKS52	11	15,8	37,7	17,8	100,53	462,79
NGSP1(QH)	6,2	4,7	20,8	9,9	120,52	465,85
NGSP1(RDI)	12,4	13,9	23,6	21	109,55	562,94
BKP2	2,28	0,53	17	11	119,2	492
NGSP2	9,4	9,17	43,9	30,8	110,3	325
Objectif	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX

Tableau III. 1: Matrice de décision pour les méthodes.

Les données représentées dans ce tableau sont le fruit de notre stage effectué à Haoud Berkaoui .

III.5.1 AHP

Le principe de l'Analytic Hierarchy Process (AHP) repose sur une approche hiérarchique pour la prise de décision multicritère. Il consiste à décomposer un problème complexe en une série de niveaux hiérarchisés comprenant des objectifs, des critères et des alternatives

Méthodologie :

La méthode AHP peut être présentée en 6 étapes :

Etape 1 : Construire la structure hiérarchique

Pour commencer il est nécessaire d'identifier l'objectif, les critères, les sous critères et les alternatives cela pour définir la structure hiérarchique du problème. Il peut y avoir plus de niveaux supplémentaires ajoutés. Cependant, la hiérarchie doit être d'au moins trois niveaux.

Etape 2 : Construire les matrices de décisions

La deuxième étape consiste à calculer la priorité de chaque critère par rapport à l'objectif et la priorité de chaque alternative par rapport à un critère spécifique. Alors la formation d'une matrice d'évaluation par paires sera établie afin d'évaluer l'importance de chaque facteur. Les décideurs utilisent les valeurs numériques indiquées dans l'échelle de Saaty pour évaluer chaque comparaison par paires. La matrice de comparaison doit être structurée comme suit :

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{Avec } x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ \frac{1}{x_{ji}} & \text{si } x_{ij} = x_{ji} \end{cases}$$

Degré d'importance	Définition	Explication
1	Également important.	Deux éléments contribuent également à l'objectif.
3	Légèrement plus important.	L'expérience et le jugement favorisent faiblement un objet sur un autre.
5	Fortement plus important.	L'expérience et le jugement favorisent fortement un objet sur un autre.
7	Très fortement plus important élément par rapport à un autre.	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Absolument plus important.	Les preuves en faveur d'un élément par rapport à un autre est aussi convaincantes que possible.
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations.

Tableau III. 2: Échelle de Saaty de la méthode AHP.

Cas 1 :

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)
Porosité (Ø)	1	3	2	0,5	0,2	0,166666667
Perméabilité (K)	0,333333333	1	0,5	0,25	0,25	0,2
Saturation d'Eau (Sw)	0,5	2	1	0,333333333	0,166666667	0,111111111

Volume d'Argile (Vsh)	2	4	3	1	2	0,25
Température (T)	5	4	6	0,5	1	0,333333333
Pression (P)	6	5	9	4	3	1
	14,83333333	19	21,5	6,583333333	6,616666667	2,061111111

Tableau III. 3: Matrice de décision AHP.

Porosité (Ø)	OK J03	OKN 116	OKJ31 1	OKN66 0	OKS 51	OK S52	NG SP1 (QH)	NGSP1 (RDI)	BK P2	NGS P2
OKJ03	1	1	3	1	0,5	1	4	0,5	8	2
OKN1 16	1	1	3	1	0,5	1	4	0,5	8	2
OKJ31 1	0,333333333	0,333333333	1	0,333333333	0,25	0,333333333	2	0,25	6	0,5
OKN6 60	1	1	3	1	0,5	1	4	0,5	8	2
OKS51	2	2	4	2	1	2	5	1	9	3
OKS52	1	1	3	1	0,5	1	4	0,5	8	2
NGSP1 (QH)	0,25	0,25	0,5	0,25	0,2	0,25	1	0,2	5	0,333333333
NGSP1 (RDI)	2	2	4	2	1	2	5	1	9	3
BKP2	0,125	0,125	0,166666667	0,125	0,111111111	0,125	0,2	0,111111111	1	0,142857143
NGSP2	0,5	0,5	2	0,5	0,333333333	0,5	3	0,333333333	7	1
	9,208333333	9,208333333	23,66666667	9,208333333	4,894444444	9,208333333	32,2	4,894444444	69	15,97619048

Tableau III. 4 : Comparaison des alternatives par rapport à Porosité (Ø).

Perméabilité (K)	OK J03	OKN 116	OKJ31 1	OKN66 0	OKS 51	OK S52	NG SP1 (QH)	NGSP1 (RDI)	BK P2	NGS P2
-------------------------	---------------	----------------	----------------	----------------	---------------	---------------	--------------------	--------------------	--------------	---------------

OKJ03	1	0,333 3333 33	0,5	0,125	1	1	1	1	2	1
OKN1 16	3	1	2	0,16666 6667	3	3	3	3	4	3
OKJ31 1	2	0,5	1	0,14285 7143	2	2	2	2	3	2
OKN6 60	8	6	7	1	8	8	8	8	9	8
OKS51	1	0,333 3333 33	0,5	0,125	1	1	1	1	2	1
OKS52	1	0,333 3333 33	0,5	0,125	1	1	1	1	2	1
NGSP1 (QH)	1	0,333 3333 33	0,5	0,125	1	1	1	1	2	1
NGSP1 (RDI)	1	0,333 3333 33	0,5	0,125	1	1	1	1	2	1
BKP2	0,5	0,25	0,33333 3333	0,11111 1111	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5
NGSP2	1	0,333 3333 33	0,5	0,125	1	1	1	1	2	1
	19,5	9,75	13,3333 3333	2,17063 4921	19,5	19,5	19,5	19,5	29	19,5

Tableau III. 5 : Comparaison des alternatives par rapport à Perméabilité (K).

Satura tion d'Eau (Sw)	OK J03	OKN 116	OKJ31 1	OKN66 0	OKS 51	OK S52	NG SP1 (QH)	NGSP1 (RDI)	BK P2	NGS P2
OKJ03	1	0,333 3333 33	2	2	2	0,25	3	3	5	0,2
OKN1 16	3	1	4	4	4	0,5	5	5	7	0,333 3333 33
OKJ31 1	0,5	0,25	1	1	1	0,2	2	2	4	0,166 6666 67
OKN6 60	0,5	0,25	1	1	1	0,2	2	2	4	0,166 6666 67
OKS51	0,5	0,25	1	1	1	0,2	2	2	4	0,166 6666 67

OKS52	4	2	5	5	5	1	6	6	8	0,5
NGSP1 (QH)	0,33 333 333 3	0,2	0,5	0,5	0,5	0,16 666 666 7	1	1	3	0,142 8571 43
NGSP1 (RDI)	0,33 333 333 3	0,2	0,5	0,5	0,5	0,16 666 666 7	1	1	3	0,142 8571 43
BKP2	0,2	0,142 8571 43	0,25	0,25	0,25	0,12 5	0,33 333 333 3	0,33333 3333	1	0,111 1111 11
NGSP2	5	3	6	6	6	2	7	7	9	1
	15,3 666 666 7	7,626 1904 76	21,25	21,25	21,25	4,80 833 333 3	29,3 333 333 3	29,3333 3333	48	2,930 1587 3

Tableau III. 6 : Comparaison des alternatives par rapport à Saturation d'eau.

Volum e d'Argil e (Vsh)	OK J03	OKN 116	OKJ31 1	OKN66 0	OKS 51	OK S52	NG SP1 (QH)	NGSP1 (RDI)	BK P2	NGS P2
OKJ03	1	7	0,3333 33333	3	0,5	4	1	5	1	7
OKN1 16	0,14 285 714 3	1	0,1111 11111	0,2	0,125	0,2 5	0,14 285 714 3	0,33333 3333	0,14 285 714 3	1
OKJ31 1	3	9	1	5	2	6	3	7	3	9
OKN6 60	0,33 333 333 3	5	0,2	1	0,25	2	0,33 333 333 3	3	0,33 333 333 3	5
OKS51	2	8	0,5	4	1	5	2	6	2	8
OKS52	0,25	4	0,1666 66667	0,5	0,2	1	0,25	2	0,25	4
NGSP1 (QH)	1	7	0,3333 33333	3	0,5	4	1	5	1	7
NGSP1 (RDI)	0,2	3	0,1428 57143	0,33333 3333	0,166 6666 67	0,5	0,2	1	0,2	3
BKP2	1	7	0,3333 33333	3	0,5	4	1	5	1	7
NGSP2	0,14 285	1	0,1111 11111	0,2	0,125	0,2 5	0,14 285	0,33333 3333	0,14 285	1

	714 3						714 3		714 3	
	9,06 904 761 9	52	3,2317 46032	20,2333 3333	5,366 6666 67	27	9,06 904 761 9	34,6666 6667	9,06 904 761 9	52

Tableau III. 7 : Comparaison des alternatives par rapport à Volume d'Argile (Vsh).

Température (T)	OK J03	OKN 116	OKJ31 1	OKN66 0	OKS 51	OK S52	NG SP1 (QH)	NGSP1 (RDI)	BK P2	NGS P2
OKJ03	1	1	2	1	1	1	0,12 5	0,25	0,12 5	0,2
OKN1 16	1	1	2	1	1	1	0,12 5	0,25	0,12 5	0,2
OKJ31 1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,11 1111 111	0,2	0,11 111 111 1	0,166 6666 67
OKN6 60	1	1	2	1	1	1	0,12 5	0,25	0,12 5	0,2
OKS51	1	1	2	1	1	1	0,12 5	0,25	0,12 5	0,2
OKS52	1	1	2	1	1	1	0,12 5	0,25	0,12 5	0,2
NGSP1 (QH)	8	8	9	8	8	8	1	5	1	4
NGSP1 (RDI)	4	4	5	4	4	4	0,2	1	0,2	0,5
BKP2	8	8	9	8	8	8	1	5	1	4
NGSP2	5	5	6	5	5	5	0,25	2	0,25	1
	30,5	30,5	40	30,5	30,5	30,5	3,18 6111 111	14,45	3,18 611 111 1	10,66 6666 67

Tableau III. 8 : comparaison des alternatives par rapport à Température (T).

Pression (P)	OK J03	OKN 116	OKJ31 1	OKN66 0	OKS 51	OK S52	NG SP1 (QH)	NGSP1 (RDI)	BK P2	NGS P2
OKJ03	1	2	4	3	0,333 3333 33	0,25	0,25	0,16666 6667	0,2	2
OKN1 16	0,5	1	3	2	0,25	0,2	0,2	0,14285 7143	0,16 666	1

									666 7	
OKJ31 1	0,25	0,333 3333 33	1	0,5	0,166 6666 67	0,14 285 714 3	0,14 285 714 3	0,11111 1111	0,12 5	0,333 3333 33
OKN6 60	0,33 333 333 3	0,5	2	1	0,2	0,16 666 666 7	0,16 666 666 7	0,125	0,14 285 714 3	0,5
OKS51	3	4	6	5	1	0,5	0,5	0,25	0,33 333 333 3	4
OKS52	4	5	7	6	2	1	1	0,33333 3333	0,5	5
NGSP1 (QH)	4	5	7	6	2	1	1	0,33333 3333	0,5	5
NGSP1 (RDI)	6	7	9	8	4	3	3	1	2	7
BKP2	5	6	8	7	3	2	2	0,5	1	6
NGSP2	0,5	1	3	2	0,25	0,2	0,2	0,14285 7143	0,16 666 666 7	1
	24,5 833 333 3	31,83 3333 33	50	40,5	13,2	8,45 952 381	8,45 952 381	3,10515 873	5,13 452 381	31,83 3333 33

Tableau III. 9: Comparaison des alternatives par rapport à Pression (P).

Cas 2 :

La différence entre les deux cas est dans la première matrice.

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)
Porosité (Ø)	1	1	1	1	1	1
Perméabilité (K)	1	1	1	1	1	1
Saturation d'Eau (Sw)	1	1	1	1	1	1
Volume d'Argile (Vsh)	1	1	1	1	1	1
Température (T)	1	1	1	1	1	1
Pression (P)	1	1	1	1	1	1

	6	6	6	6	6	6
--	---	---	---	---	---	---

Tableau III. 10: Comparaison entre les principaux critères avec les poids locaux(cas2).

Etape 3 : Construire la matrice de décision normalisée

La matrice normalisée est construite de la matrice A parti de la formule suivante :

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

$$M = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{pmatrix}$$

Après avoir construire la matrice normalisée il est important de calculer le poids des critères et les poids de ces critères dans chaque alternative. Cela peut être calculé en utilisant l'équation ci-dessous :

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n} \quad \text{avec} \quad \sum_{i=1}^n W_i$$

W_i : Le poids d'un critère spécifique dans la matrice M.

n = le nombre des éléments comparés

Cas 1

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)	Wj
Porosité (Ø)	0,0674 1573	0,15789 4737	0,09302325 6	0,07594936 7	0,03022 67	0,0808 62534	0,0842 28721
Perméabilité (K)	0,0224 7191	0,05263 1579	0,02325581 4	0,03797468 4	0,03778 3375	0,0970 3504	0,0451 92067
Saturation d'Eau (Sw)	0,0337 07865	0,10526 3158	0,04651162 8	0,05063291 1	0,02518 8917	0,0539 08356	0,0525 35473
Volume d'Argile (Vsh)	0,1348 31461	0,21052 6316	0,13953488 4	0,15189873 4	0,30226 7003	0,1212 93801	0,1767 25366
Température (T)	0,3370 78652	0,21052 6316	0,27906976 7	0,07594936 7	0,15113 3501	0,1617 25067	0,2025 80445
Pression (P)	0,4044 94382	0,26315 7895	0,41860465 1	0,60759493 7	0,45340 0504	0,4851 75202	0,4387 37928

Tableau III. 11: Matrice de comparaison normalisé entre les principaux critères avec les poids locaux (cas1).

Porosité (Ø)	OKJ 03	OK N11 6	OK J31 1	OK N66 0	OK S51	OKS 52	NGS P1(Q H)	NGS P1(R DI)	BK P2	NG SP2	Wj
OKJ03	0,10 8597 285	0,10 8597 285	0,12 676 056	0,10 859 729	0,10 215 664	0,10 8597 285	0,12 4223 602	0,102 1566 4	0,11 594 203	0,12 518 629	0,11 308 149
OKN116	0,10 8597 285	0,10 8597 285	0,12 676 056	0,10 859 729	0,10 215 664	0,10 8597 285	0,12 4223 602	0,102 1566 4	0,11 594 203	0,12 518 629	0,11 308 149
OKJ311	0,03 6199 095	0,03 6199 095	0,04 225 352	0,03 619 91	0,05 107 832	0,03 6199 095	0,06 2111 801	0,051 0783 2	0,08 695 652	0,03 129 657	0,04 695 714
OKN660	0,10 8597 285	0,10 8597 285	0,12 676 056	0,10 859 729	0,10 215 664	0,10 8597 285	0,12 4223 602	0,102 1566 4	0,11 594 203	0,12 518 629	0,11 308 149
OKS51	0,21 7194 57	0,21 7194 57	0,16 901 408	0,21 719 457	0,20 431 328	0,21 7194 57	0,15 5279 503	0,204 3132 8	0,13 043 478	0,18 777 943	0,19 199 126
OKS52	0,10 8597 285	0,10 8597 285	0,12 676 056	0,10 859 729	0,10 215 664	0,10 8597 285	0,12 4223 602	0,102 1566 4	0,11 594 203	0,12 518 629	0,11 308 149
NGSP1(QH)	0,02 7149 321	0,02 7149 321	0,02 112 676	0,02 714 932	0,04 086 266	0,02 7149 321	0,03 1055 901	0,040 8626 56	0,07 246 377	0,02 086 438	0,03 358 334
NGSP1(RDI)	0,21 7194 57	0,21 7194 57	0,16 901 408	0,21 719 457	0,20 431 328	0,21 7194 57	0,15 5279 503	0,204 3132 8	0,13 043 478	0,18 777 943	0,19 199 126
BKP2	0,01 3574 661	0,01 3574 661	0,00 704 225	0,01 357 466	0,02 270 148	0,01 3574 661	0,00 6211 18	0,022 7014 76	0,01 449 275	0,00 894 188	0,01 363 897
NGSP2	0,05 4298 643	0,05 4298 643	0,08 450 704	0,05 429 864	0,06 810 443	0,05 4298 643	0,09 3167 702	0,068 1044 27	0,10 144 928	0,06 259 314	0,06 951 206

Tableau III. 12: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Porosité (Ø) (cas1).

Perméabilité (K)	OKJ 03	OK N11 6	OK J31 1	OK N66 0	OK S51	OKS 52	NGS P1(Q H)	NGS P1(R DI)	BK P2	NG SP2	Wj
OKJ03	0,05 1282 051	0,03 4188 034	0,0 375	0,05 758 684	0,05 128 205	0,05 1282 051	0,051 2820 51	0,051 2820 51	0,06 896 552	0,05 128 205	0,05 059 327
OKN116	0,15 3846 154	0,10 2564 103	0,1 5	0,07 678 245	0,15 384 615	0,15 3846 154	0,153 8461 54	0,153 8461 54	0,13 793 103	0,15 384 615	0,13 903 545

OKJ311	0,10 2564 103	0,05 1282 051	0,0 75	0,06 581 353	0,10 256 41	0,10 2564 103	0,102 5641 03	0,102 5641 03	0,10 344 828	0,10 256 41	0,09 109 285
OKN660	0,41 0256 41	0,61 5384 615	0,5 25	0,46 069 47	0,41 025 641	0,41 0256 41	0,410 2564 1	0,410 2564 1	0,31 034 483	0,41 025 641	0,43 729 626
OKS51	0,05 1282 051	0,03 4188 034	0,0 375	0,05 758 684	0,05 128 205	0,05 1282 051	0,051 2820 51	0,051 2820 51	0,06 896 552	0,05 128 205	0,05 059 327
OKS52	0,05 1282 051	0,03 4188 034	0,0 375	0,05 758 684	0,05 128 205	0,05 1282 051	0,051 2820 51	0,051 2820 51	0,06 896 552	0,05 128 205	0,05 059 327
NGSP1(QH)	0,05 1282 051	0,03 4188 034	0,0 375	0,05 758 684	0,05 128 205	0,05 1282 051	0,051 2820 51	0,051 2820 51	0,06 896 552	0,05 128 205	0,05 059 327
NGSP1(RDI)	0,05 1282 051	0,03 4188 034	0,0 375	0,05 758 684	0,05 128 205	0,05 1282 051	0,051 2820 51	0,051 2820 51	0,06 896 552	0,05 128 205	0,05 059 327
BKP2	0,02 5641 026	0,02 5641 026	0,0 25	0,05 118 83	0,02 564 103	0,02 5641 026	0,025 6410 26	0,025 6410 26	0,03 448 276	0,02 564 103	0,02 901 582
NGSP2	0,05 1282 051	0,03 4188 034	0,0 375	0,05 758 684	0,05 128 205	0,05 1282 051	0,051 2820 51	0,051 2820 51	0,06 896 552	0,05 128 205	0,05 059 327

Tableau III. 13: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Perméabilité (K) (cas1).

Saturati on d'Eau (Sw)	OKJ 03	OK N11 6	OK J31 1	OK N66 0	OK S51	OKS 52	NGS P1(Q H)	NGS P1(R DI)	BK P2	NG SP2	Wj
OKJ03	0,06 5075 922	0,04 3709 023	0,09 411 765	0,09 411 765	0,09 411 765	0,05 1993 068	0,10 2272 727	0,102 2727 27	0,10 416 667	0,06 825 569	0,08 200 988
OKN116	0,19 5227 766	0,13 1127 068	0,18 823 529	0,18 823 529	0,18 823 529	0,10 3986 135	0,17 0454 545	0,170 4545 45	0,14 583 333	0,11 375 948	0,15 955 488
OKJ311	0,03 2537 961	0,03 2781 767	0,04 705 882	0,04 705 882	0,04 705 882	0,04 1594 454	0,06 8181 818	0,068 1818 18	0,08 333 333	0,05 687 974	0,05 246 674
OKN660	0,03 2537 961	0,03 2781 767	0,04 705 882	0,04 705 882	0,04 705 882	0,04 1594 454	0,06 8181 818	0,068 1818 18	0,08 333 333	0,05 687 974	0,05 246 674
OKS51	0,03 2537 961	0,03 2781 767	0,04 705 882	0,04 705 882	0,04 705 882	0,04 1594 454	0,06 8181 818	0,068 1818 18	0,08 333 333	0,05 687 974	0,05 246 674
OKS52	0,26 0303 688	0,26 2254 137	0,23 529 412	0,23 529 412	0,23 529 412	0,20 7972 27	0,20 4545 455	0,204 5454 55	0,16 666 667	0,17 063 922	0,21 828 092

NGSP1(QH)	0,02 1691 974	0,02 6225 414	0,02 352 941	0,02 352 941	0,02 352 941	0,03 4662 045	0,03 4090 909	0,034 0909 09	0,06 25	0,04 875 406	0,03 326 035
NGSP1(RDI)	0,02 1691 974	0,02 6225 414	0,02 352 941	0,02 352 941	0,02 352 941	0,03 4662 045	0,03 4090 909	0,034 0909 09	0,06 25	0,04 875 406	0,03 326 035
BKP2	0,01 3015 184	0,01 8732 438	0,01 176 471	0,01 176 471	0,01 176 471	0,02 5996 534	0,01 1363 636	0,011 3636 36	0,02 083 333	0,03 791 983	0,01 745 187
NGSP2	0,32 5379 61	0,39 3381 205	0,28 235 294	0,28 235 294	0,28 235 294	0,41 5944 541	0,23 8636 364	0,238 6363 64	0,18 75	0,34 127 844	0,29 878 153

Tableau III. 14: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Saturation d'eau (Sw) (cas1)

Volume d'Argile (Vsh)	OKJ 03	OKN 116	OKJ 311	OK N66 0	OK S51	OKS 52	NGS P1(Q H)	NGS P1(R DI)	BKP 2	NG SP2	Wj
OKJ03	0,11 0265 161	0,13 4615 385	0,10 314 342	0,14 827 018	0,09 316 77	0,14 8148 148	0,11 0265 161	0,144 2307 69	0,11 026 516	0,13 461 538	0,12 369 865
OKN116	0,01 5752 166	0,01 9230 769	0,03 438 114	0,00 988 468	0,02 329 193	0,00 9259 259	0,01 5752 166	0,009 6153 85	0,01 575 217	0,01 923 077	0,01 721 504
OKJ311	0,33 0795 484	0,17 3076 923	0,30 943 026	0,24 711 697	0,37 267 081	0,22 2222 222	0,33 0795 484	0,201 9230 77	0,33 079 548	0,17 307 692	0,26 919 036
OKN660	0,03 6755 054	0,09 6153 846	0,06 188 605	0,04 942 339	0,04 658 385	0,07 4074 074	0,03 6755 054	0,086 5384 62	0,03 675 505	0,09 615 385	0,06 210 787
OKS51	0,22 0530 323	0,15 3846 154	0,15 471 513	0,19 769 357	0,18 633 54	0,18 5185 185	0,22 0530 323	0,173 0769 23	0,22 053 032	0,15 384 615	0,18 662 895
OKS52	0,02 7566 29	0,07 6923 077	0,05 157 171	0,02 471 17	0,03 726 708	0,03 7037 037	0,02 7566 29	0,057 6923 08	0,02 756 629	0,07 692 308	0,04 448 249
NGSP1(QH)	0,11 0265 161	0,13 4615 385	0,10 314 342	0,14 827 018	0,09 316 77	0,14 8148 148	0,11 0265 161	0,144 2307 69	0,11 026 516	0,13 461 538	0,12 369 865
NGSP1(RDI)	0,02 2053 032	0,05 7692 308	0,04 420 432	0,01 647 446	0,03 105 59	0,01 8518 519	0,02 2053 032	0,028 8461 54	0,02 205 303	0,05 769 231	0,03 206 431
BKP2	0,11 0265 161	0,13 4615 385	0,10 314 342	0,14 827 018	0,09 316 77	0,14 8148 148	0,11 0265 161	0,144 2307 69	0,11 026 516	0,13 461 538	0,12 369 865
NGSP2	0,01 5752 166	0,01 9230 769	0,03 438 114	0,00 988 468	0,02 329 193	0,00 9259 259	0,01 5752 166	0,009 6153 85	0,01 575 217	0,01 923 077	0,01 721 504

Tableau III. 15: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Volume d'Argile (Vsh) (cas1).

Température (T)	OKJ 03	OKN 116	OK J31 1	OK N66 0	OKS 51	OKS 52	NGS P1(Q H)	NGS P1(R DI)	BKP 2	NG SP2	Wj
OKJ03	0,03 2786 885	0,03 2786 885	0,05	0,03 2786 89	0,03 2786 89	0,03 2786 885	0,03 9232 781	0,017 3010 38	0,03 9232 78	0,01 875	0,03 2845 1
OKN116	0,03 2786 885	0,03 2786 885	0,05	0,03 2786 89	0,03 2786 89	0,03 2786 885	0,03 9232 781	0,017 3010 38	0,03 9232 78	0,01 875	0,03 2845 1
OKJ311	0,01 6393 443	0,01 6393 443	0,02 5	0,01 6393 44	0,01 6393 44	0,01 6393 443	0,03 4873 583	0,013 8408 3	0,03 4873 58	0,01 562 5	0,02 0618 02
OKN660	0,03 2786 885	0,03 2786 885	0,05	0,03 2786 89	0,03 2786 89	0,03 2786 885	0,03 9232 781	0,017 3010 38	0,03 9232 78	0,01 875	0,03 2845 1
OKS51	0,03 2786 885	0,03 2786 885	0,05	0,03 2786 89	0,03 2786 89	0,03 2786 885	0,03 9232 781	0,017 3010 38	0,03 9232 78	0,01 875	0,03 2845 1
OKS52	0,03 2786 885	0,03 2786 885	0,05	0,03 2786 89	0,03 2786 89	0,03 2786 885	0,03 9232 781	0,017 3010 38	0,03 9232 78	0,01 875	0,03 2845 1
NGSP1(QH)	0,26 2295 082	0,26 2295 082	0,22 5	0,26 2295 08	0,26 2295 08	0,26 2295 082	0,31 3862 249	0,346 0207 61	0,31 3862 25	0,37 5	0,28 8522 07
NGSP1(RDI)	0,13 1147 541	0,13 1147 541	0,12 5	0,13 1147 54	0,13 1147 54	0,13 1147 541	0,06 2772 45	0,069 2041 52	0,06 2772 45	0,04 687 5	0,10 2236 18
BKP2	0,26 2295 082	0,26 2295 082	0,22 5	0,26 2295 08	0,26 2295 08	0,26 2295 082	0,31 3862 249	0,346 0207 61	0,31 3862 25	0,37 5	0,28 8522 07
NGSP2	0,16 3934 426	0,16 3934 426	0,15	0,16 3934 43	0,16 3934 43	0,16 3934 426	0,07 8465 562	0,138 4083 04	0,07 8465 56	0,09 375	0,13 5876 16

Tableau III. 16: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Température (T) (cas1).

Pression (P)	OKJ 03	OKN 116	OK J31 1	OK N66 0	OKS 51	OKS 52	NGS P1(Q H)	NGS P1(R DI)	BKP 2	NGS P2	Wj
OKJ03	0,04 0677 966	0,06 2827 225	0,0 8	0,07 4074 07	0,02 5252 53	0,02 9552 491	0,02 9552 491	0,053 6741 21	0,03 8952 01	0,06 2827 23	0,04 9739 01
OKN116	0,02 0338 983	0,03 1413 613	0,0 6	0,04 9382 72	0,01 8939 39	0,02 3641 993	0,02 3641 993	0,046 0063 9	0,03 246	0,03 1413 61	0,03 3723 87

OKJ311	0,01 0169 492	0,01 0471 204	0,0 2	0,01 2345 68	0,01 2626 26	0,01 6887 138	0,01 6887 138	0,035 7827 48	0,02 4345	0,01 0471 2	0,01 6998 59
OKN660	0,01 3559 322	0,01 5706 806	0,0 4	0,02 4691 36	0,01 5151 52	0,01 9701 661	0,01 9701 661	0,040 2555 91	0,02 7822 86	0,01 5706 81	0,02 3229 76
OKS51	0,12 2033 898	0,12 5654 45	0,1 2	0,12 3456 79	0,07 5757 58	0,05 9104 982	0,05 9104 982	0,080 5111 82	0,06 4920 01	0,12 5654 45	0,09 5619 83
OKS52	0,16 2711 864	0,15 7068 063	0,1 4	0,14 8148 15	0,15 1515 15	0,11 8209 963	0,11 8209 963	0,107 3482 43	0,09 7380 01	0,15 7068 06	0,13 5765 95
NGSP1(QH)	0,16 2711 864	0,15 7068 063	0,1 4	0,14 8148 15	0,15 1515 15	0,11 8209 963	0,11 8209 963	0,107 3482 43	0,09 7380 01	0,15 7068 06	0,13 5765 95
NGSP1(RDI)	0,24 4067 797	0,21 9895 288	0,1 8	0,19 7530 86	0,30 3030 3	0,35 4629 89	0,35 4629 89	0,322 0447 28	0,38 9520 06	0,21 9895 29	0,27 8524 41
BKP2	0,20 3389 831	0,18 8481 675	0,1 6	0,17 2839 51	0,22 7272 73	0,23 6419 927	0,23 6419 927	0,161 0223 64	0,19 4760 03	0,18 8481 68	0,19 6908 77
NGSP2	0,02 0338 983	0,03 1413 613	0,0 6	0,04 9382 72	0,01 8939 39	0,02 3641 993	0,02 3641 993	0,046 0063 9	0,03 246	0,03 1413 61	0,03 3723 87

Tableau III. 17: Matrice de comparaison normalisé des alternatives par rapport à Pression (P) (cas1).

Cas 2 :

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)	Wj
Porosité (Ø)	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 667	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 6667	0,167
Perméabilité (K)	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 667	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 6667	0,167
Saturation d'Eau (Sw)	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 667	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 6667	0,167
Volume d'Argile (Vsh)	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 667	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 6667	0,167
Température (T)	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 667	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 6667	0,167
Pression (P)	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 667	0,16666 667	0,166666 67	0,16666 6667	0,167

Tableau III. 18 : Matrice de comparaison normalisé entre les principaux critères avec les poids locaux (cas2).

Étape 4 : Vérification de la cohérence des jugements

Pour vérifier la cohérence des jugements qui est déterminé par le ratio de consistance il faut calculer :

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n} \quad \text{avec} \quad k_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_j * y_{ij}}{w_i}$$

Ensuite on calcule l'indice de cohérence IC

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

Enfin on calcule le ratio de cohérence RC

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Où IA est l'indice aléatoire obtenu à partir du tableau :

Nombre de critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Tableau III. 19: Valeur de l'indice aléatoire IA.

Pour tous les tableaux RC est acceptable ($RC < 0,1$)

Cas 1 :

	Tab 11	Tab 12	Tab 13	Tab 14	Tab 15	Tab 16	Tab 17	Tab 18
R	0,0784743	0,0183669	0,0090776	0,025580	0,031947	0,02177	0,030087	0,0000
C	31	46	04	82	72	09	75	00

Tableau III. 20: Valeur de l'indice aléatoire IA (AHP).

Pour tous les tableaux RC est acceptable ($RC < 0,1$)

Cas 2 :

Pour ce cas $RC = 0$

Étape 5 : agrégation des priorités

Pour obtenir des priorités globales pour les alternatives, il est nécessaire de combiner les priorités locales. Ce processus implique la multiplication des priorités locales par les poids des critères correspondants, suivie de l'addition de ces produits pour chaque alternative.

Cas 1 :

Puits	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)	
--------------	---------------------	-------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------	---------------------	--

OKJ03	0,009524 709	0,002286 414	0,004308 428	0,021860 689	0,0066537 76	0,021822 391	0,0 66
OKN116	0,009524 709	0,006283 299	0,008382 291	0,003042 335	0,0066537 76	0,014795 941	0,0 49
OKJ311	0,003955 14	0,004116 674	0,002756 365	0,047572 765	0,0041768 08	0,007457 925	0,0 70
OKN660	0,009524 709	0,019762 322	0,002756 365	0,010976 036	0,0066537 76	0,010191 776	0,0 60
OKS51	0,016171 179	0,002286 414	0,002756 365	0,032982 069	0,0066537 76	0,041952 047	0,1 03
OKS52	0,009524 709	0,002286 414	0,011467 491	0,007861 184	0,0066537 76	0,059565 67	0,0 97
NGSP1(Q H)	0,002828 682	0,002286 414	0,001747 348	0,021860 689	0,0584489 29	0,059565 67	0,1 47
NGSP1(R DI)	0,016171 179	0,002286 414	0,001747 348	0,005666 576	0,0207110 5	0,122199 223	0,1 69
BKP2	0,001148 793	0,001311 285	0,000916 842	0,021860 689	0,0584489 29	0,086391 344	0,1 70
NGSP2	0,005854 912	0,002286 414	0,015696 629	0,003042 335	0,0275258 52	0,014795 941	0,0 69

Tableau III. 21: agrégation des priorités (cas1).

Cas 2 :

Puits	Porosité (Ø)	Perméabi lité (K)	Saturatio n d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Températ ure (T)	Pression (P)	
OKJ03	0,018846 915	0,008432 212	0,013668 313	0,020616 441	0,0054741 84	0,008289 835	0,0 75
OKN116	0,018846 915	0,023172 575	0,026592 479	0,002869 174	0,0054741 84	0,005620 645	0,0 83
OKJ311	0,007826 191	0,015182 141	0,008744 456	0,044865 06	0,0034363 37	0,002833 098	0,0 83
OKN660	0,018846 915	0,072882 71	0,008744 456	0,010351 311	0,0054741 84	0,003871 626	0,1 20
OKS51	0,031998 544	0,008432 212	0,008744 456	0,031104 825	0,0054741 84	0,015936 639	0,1 02
OKS52	0,018846 915	0,008432 212	0,036380 154	0,007413 748	0,0054741 84	0,022627 658	0,0 99
NGSP1(Q H)	0,005597 223	0,008432 212	0,005543 392	0,020616 441	0,0480870 11	0,022627 658	0,1 11
NGSP1(R DI)	0,031998 544	0,008432 212	0,005543 392	0,005344 051	0,0170393 63	0,046420 735	0,1 15
BKP2	0,002273 161	0,004835 971	0,002908 645	0,020616 441	0,0480870 11	0,032818 128	0,1 12
NGSP2	0,011585 343	0,008432 212	0,049796 922	0,002869 174	0,0226460 26	0,005620 645	0,1 01

Tableau III. 22: agrégation des priorités (cas2).

Etape 6 : classement des alternatives

L'objectif est de choisir les meilleures alternatives après avoir analysé et évalué les résultats. Les alternatives sont classées en fonction de leur priorité globale la plus élevée.

Cas 1 :

	RANK
OKJ03	8
OKN116	10
OKJ311	6
OKN660	9
OKS51	4
OKS52	5
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	2
BKP2	1
NGSP2	7

Tableau III. 23: classement des alternatives(cas1).

Cas 2 :

	RANK
OKJ03	10
OKN116	9
OKJ311	8
OKN660	1
OKS51	5
OKS52	7
NGSP1(QH)	4
NGSP1(RDI)	2
BKP2	3
NGSP2	6

Tableau III. 24: classement des alternatives(cas2).

III.5.2 TOPSIS

Le principe de base consiste à sélectionner une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale et s'éloigne le plus de la solution anti-idéal. La solution idéale est celle dont les valeurs de performance pour chaque critère sont les meilleures par rapport à toutes les autres alternatives. En revanche, la pire des solutions représente une alternative dont les critères ont les pires valeurs de performance.

Méthodologie**Etape 1 : Construction de la matrice de décision**

La matrice de décision se fait d'une façon où les lignes correspondent aux alternatives, les colonnes aux critères, et les intersections (x_{ij}) indiquent la performance des alternatives par rapport à ces critères.

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{pmatrix}$$

C'est la même matrice du tableau 3

Etape 2 Normalisation de la matrice de décision

Un élément de la matrice normalisé r_{ij} est calculé en utilisant la normalisation euclidienne suivante :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

Etape 3 : Pondérer la matrice de décision normalisée

La pondération de la matrice normalisée se fait comme suivant :

$$v_{ij} = r_{ij} * W_{ij} \text{ avec } \sum w_{ij} = 1$$

Où w_{ij} est le vecteur de poids de chaque critère.

Cas 1 :

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)
OKJ03	0,029982 995	0,0045234 82	0,016574 666	0,034483778	0,0604820 84	0,117852 788
OKN116	0,030258 068	0,0145839 03	0,019103 005	0,088582182	0,0603376 06	0,104442 309
OKJ311	0,021180 648	0,0084537 2	0,014804 829	0,014141513	0,0595971 57	0,089241 705
OKN660	0,028332 555	0,0410326 76	0,014608 181	0,04745474	0,0608011 4	0,093210 217
OKS51	0,030835 722	0,0045234 82	0,015068 9	0,021734271	0,0604820 84	0,147230 087
OKS52	0,030258 068	0,0039055 2	0,021181 862	0,056312958	0,0605182 04	0,159011 929
NGSP1(QH)	0,017054 547	0,0011617 69	0,011686 544	0,031320129	0,0725520 13	0,160063 328
NGSP1(RDI)	0,034109 095	0,0034358 69	0,013259 733	0,066436636	0,0659481 67	0,193422 882
BKP2	0,006271 672	0,0001310 08	0,009551 503	0,034800143	0,0717573 84	0,169048 314

NGSP2	0,025856 895	0,0022666 85	0,024665 351	0,0974404	0,0663996 6	0,111668 094
--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------	----------------	-----------------

Tableau III. 25: Pondération de la matrice de décision normalisée(cas1).**Cas 2 :**

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)
OKJ03	0,059328 525	0,0166824 33	0,052582 46	0,03252106	0,04975972 6	0,044769 622
OKN116	0,059872 824	0,0537848 93	0,060603 513	0,083540339	0,04964086 1	0,039675 283
OKJ311	0,041910 977	0,0311770 06	0,046967 723	0,013336618	0,04903167 9	0,033900 915
OKN660	0,056062 735	0,1513269 88	0,046343 863	0,044753753	0,05002221 8	0,035408 464
OKS51	0,061015 85	0,0166824 33	0,047805 477	0,020497219	0,04975972 6	0,055929 397
OKS52	0,059872 824	0,0144034 12	0,067198 602	0,053107787	0,04978944 2	0,060405 054
NGSP1(QH)	0,033746 501	0,0042845 59	0,037075 091	0,029537477	0,05968987 9	0,060804 456
NGSP1(RDI)	0,067493 001	0,0126713 56	0,042065 968	0,062655254	0,05425677 2	0,073477 001
BKP2	0,012410 003	0,0004831 52	0,030301 757	0,032819419	0,05903612 3	0,064217 651
NGSP2	0,051164 049	0,0083594 49	0,078249 831	0,091894373	0,05462822 5	0,042420 196

Tableau III. 26: Pondération de la matrice de décision normalisée(cas2).**Étape 4 : Détermination des solutions idéales positive A+ et négative A-**

Pour les critères de bénéfice.

$$A^+ = \max_i (v_{ij}).$$

$$A^- = \min_i (v_{ij}).$$

Pour les critères de coût

$$A^+ = \min_i (v_{ij}).$$

$$A^- = \max_i (v_{ij}).$$

Étape 5 : calcul de la solution idéale S+ et la solution anti-idéale S-

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (A^+ - v_{ij})^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (A^- - v_{ij})^2}$$

Étape 6 : calcul du rapprochement relatif de chaque alternative avec la solution idéale

$$C_i = \frac{S_i^+}{S_i^+ + S_i^-}$$

Cas 1 :

	Si+	Si-	Ci
OKJ03	0,08766833	0,13763297	0,611
OKN116	0,11980591	0,13244792	0,525
OKJ311	0,11111845	0,11473807	0,508
OKN660	0,10688755	0,12316496	0,535
OKS51	0,06142341	0,18123337	0,747
OKS52	0,06717699	0,18850176	0,737
NGSP1(QH)	0,05879593	0,18048751	0,754
NGSP1(RDI)	0,06574191	0,22659537	0,775
BKP2	0,06080976	0,17812124	0,745
NGSP2	0,12341516	0,13589522	0,524

Tableau III. 27 : rapprochement relatif de chaque alternative avec la solution idéale (cas 1).

Cas 2 :

	Si+	Si-	Ci
OKJ03	0,14193447	0,09482344	0,401
OKN116	0,12671236	0,09343138	0,424
OKJ311	0,13322497	0,07319718	0,355
OKN660	0,06064945	0,10679687	0,638
OKS51	0,13984194	0,11267762	0,446
OKS52	0,14414889	0,11340641	0,440
NGSP1(QH)	0,1577299	0,08965255	0,362
NGSP1(RDI)	0,15164598	0,13264567	0,467
BKP2	0,16897562	0,07119276	0,296
NGSP2	0,16693657	0,08651954	0,341

Tableau III. 28: rapprochement relatif de chaque alternative avec la solution idéale (cas 2).

Etape 7 : le classement des alternatives

Le classement se fait en fonction des valeurs décroissantes de C_i .

Cas 1 :

	RANK
OKJ03	6
OKN116	8
OKJ311	10
OKN660	7

OKS51	3
OKS52	5
NGSP1(QH)	2
NGSP1(RDI)	1
BKP2	4
NGSP2	9

Tableau III. 29: le classement des alternatives TOPSIS (cas1).

Cas2 :

	RANK
OKJ03	6
OKN116	5
OKJ311	8
OKN660	1
OKS51	3
OKS52	4
NGSP1(QH)	7
NGSP1(RDI)	2
BKP2	10
NGSP2	9

Tableau III. 30: le classement des alternatives TOPSIS (cas2).

III.5.3 VIKOR

Cette méthode est particulièrement utile lorsque les décideurs cherchent à trouver une solution qui se rapproche de l'idéal pour chaque critère, tout en prenant en compte la distance par rapport à la pire solution possible.

Méthodologie

Etape 1 : construction de la matrice de décision

On commence par classer les données dans une matrice de m alternatives et n critères. Chaque élément x_{ij} de la matrice représente la performance de l'alternative i par rapport au critère j .

Etape 2 : Déterminer le meilleur f_i^+ j et le pire f_i^- j pour tous les critères

Pour les critères de bénéfice :

$$f_i^+ = \max_j x_{ij}$$

$$f_i^- = \min_j x_{ij}$$

Pour les critères de coûts

$$f_i^+ = \min_j x_{ij}$$

$$f_i^- = \max_j x_{ij}$$

Etape 3 : Calcul des distances des alternatives aux solutions idéales

S_i représente la distance totale par rapport à la solution idéale et R_i représente la distance maximale par rapport à la solution idéale.

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j \times \frac{f_j^+ - x_{ij}}{f_j^+ - f_j^-}$$

$$R_i = \max_j (W_j \times \frac{f_j^+ - x_{ij}}{f_j^+ - f_j^-})$$

Cas 1 :

	S_j	R_j
OKJ03	0,631	0,318
OKN116	0,784	0,375
OKJ311	0,751	0,439
OKN660	0,729	0,422
OKS51	0,483	0,195
OKS52	0,487	0,188
NGSP1(QH)	0,318	0,140
NGSP1(RDI)	0,295	0,111
BKP2	0,341	0,103
NGSP2	0,685	0,344

Tableau III. 31: Calcul des distances des alternatives aux solutions idéales(cas1).

Cas 2 :

	S_j	R_j
OKJ03	0,5795696	0,1552819
OKN116	0,6406014	0,1571406
OKJ311	0,652227	0,1666667
OKN660	0,5236387	0,1603179
OKS51	0,5185622	0,1552819
OKS52	0,5070016	0,1548172
NGSP1(QH)	0,4954365	0,1624665
NGSP1(RDI)	0,4685677	0,1532
BKP2	0,5905513	0,1666667
NGSP2	0,5839786	0,1666667

Tableau III. 32: Calcul des distances des alternatives aux solutions idéales(cas2).

Etape 4 : Calcul de l'indice Q_i pour chaque alternative

L'indice représente une mesure globale de la performance de chaque alternative. Cet indice permet de classer les alternatives en fonction de leur degré de compromis par rapport aux critères définis.

$$Q_i = v \times \frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} + (1 - v) \times \frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-}$$

Avec :

$$S^+ = \min_i S_i$$

$$S^- = \max_i S_i$$

$$R^+ = \min_i R_i$$

$$R^- = \max_i R_i$$

Le paramètre v est une mesure de poids il détermine l'équilibre entre la solution basée sur le compromis global et celle basée sur la performance du critère le plus défavorable.

- Si v est égal à 1, donc la méthode VIKOR se concentre uniquement sur la distance maximale (R_i) par rapport à la solution idéale. Dans ce cas, la décision est entièrement basée sur le critère de regret maximal, c'est-à-dire la pire performance parmi tous les critères.
- Si v est égal à 0, donc la méthode VIKOR se concentre uniquement sur la somme totale des écarts (S_i) par rapport à la solution idéale. Ici, la décision est entièrement basée sur la performance globale de tous les critères combinés.
- Si v est égal à 0.5, un poids égal est donné à la distance totale et à la distance maximale, reflétant ainsi un compromis équilibré entre les deux stratégies.

Cas 1 :

	Qj
OKJ03	0,66436743
OKN116	0,90476601
OKJ311	0,96605752
OKN660	0,91886344
OKS51	0,32870516
OKS52	0,3237173
NGSP1(QH)	0,07911985
NGSP1(RDI)	0,01234761
BKP2	0,04653144
NGSP2	0,75832152

Tableau III. 33: Calcul de l'indice Q_i pour chaque alternative(cas1).

Cas 2 :

	Qj
OKJ03	0,37949449
OKN116	0,61466167
OKJ311	1
OKN660	0,41420715

OKS51	0,21340609
OKS52	0,16468001
NGSP1(QH)	0,41720242
NGSP1(RDI)	0
BKP2	0,83209196
NGSP2	0,81419827

Tableau III. 34: Calcul de l'indice Q_i pour chaque alternative(cas2)

Étape 5 : Classement des alternatives

La meilleure alternative est celle avec la plus petite valeur de Q_i .

Cas 1 :

	RANK
OKJ03	6
OKN116	8
OKJ311	10
OKN660	9
OKS51	5
OKS52	4
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	1
BKP2	2
NGSP2	7

Tableau III. 35: Classement des alternatives VIKOR (cas1).

Cas 2 :

	RANK
OKJ03	4
OKN116	7
OKJ311	10
OKN660	5
OKS51	3
OKS52	2
NGSP1(QH)	6
NGSP1(RDI)	1
BKP2	9
NGSP2	8

Tableau III. 36: Classement des alternatives VIKOR (cas2).

Etape 6 : Vérification des conditions d'acceptabilité

Pour vérifier l'acceptabilité de la solution de compromis, deux conditions doivent être satisfaites :

- **Condition 1 : Acceptabilité de la solution de compromis**

Alternative qui a le premier rang dans Q, a aussi le premier rang dans S ou R ou les deux.

- **Condition 2 : Stabilité de la décision**

(DQ) est une mesure utilisée pour vérifier la stabilité de la décision finale et pour s'assurer que la solution de compromis est suffisamment différenciée des autres alternatives. Le DQ est une différence seuil qui aide à valider la solution de compromis sélectionnée. L'indice DQ est calculé pour s'assurer que l'alternative la mieux classée selon l'indice Q_i est significativement meilleure que la deuxième meilleure alternative.

La condition de vérification est la suivante :

$$DQ = \frac{1}{m-1}$$

$$Q(j+1) - Q(j) \geq DQ$$

$Q(j)$: Valeur de Q_i de la meilleure alternative.

$Q(j+1)$: Valeur de Q_i de la deuxième meilleure alternative

III.5.4 SAW

Saw (Simple Additive Weighting) est une méthode d'aide à la décision multicritères. Cette méthode est basée sur une agrégation additive des critères par sommation pondérée caractérisée par la simplicité de son principe et de son application.

Méthodologie

Etape 1 : construction de la matrice de décision

On commence d'abord par construire la matrice chaque ligne représente une alternative et chaque colonne représente un critère. L'élément x_{ij} dans la matrice représente la performance de l'alternative i par rapport au critère j .

Etape 2 : calcul de la matrice normalisée

Pour normaliser cette matrice on suit l'équation suivante :

- Pour un critère de bénéfice

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(i) x_{ij}}$$

- Pour un critère de coût

$$r_{ij} = \frac{\min(i) x_{ij}}{x_{ij}}$$

Cas 1 et Cas 2 :

	Porosité (Ø)	Perméabilité (K)	Saturation d'Eau (Sw)	Volume d'Argile (Vsh)	Température (T)	Pression (P)
OKJ03	0,8790322 58	0,1102409 64	0,67198177 7	0,410091743	0,833637 571	0,6093011 69
OKN116	0,8870967 74	0,3554216 87	0,77448747 2	0,159642857	0,831646 2	0,5399687 36
OKJ311	0,6209677 42	0,2060240 96	0,60022779	1	0,821440 425	0,4613813 2
OKN660	0,8306451 61	1	0,59225512 5	0,298	0,838035 181	0,4818986 04
OKS51	0,9040322 58	0,1102409 64	0,61093394 1	0,650655022	0,833637 571	0,7611823 64
OKS52	0,8870967 74	0,0951807 23	0,85876993 2	0,251123596	0,834135 413	0,8220947 17
NGSP1(QH)	0,5	0,0283132 53	0,4738041	0,451515152	1	0,8275304 65
NGSP1(RDI)	1	0,0837349 4	0,53758542 1	0,212857143	0,908977 763	1
BKP2	0,1838709 68	0,0031927 71	0,38724373 6	0,406363636	0,989047 461	0,8739830 18
NGSP2	0,7580645 16	0,0552409 64	1	0,14512987	0,915200 797	0,5773261 8

Tableau III. 37: calcul de la matrice de décision normalisée SAW.

Etape 3 : calcul du score des alternatives

Le score A_i se calcule en sommant valeurs normalisées pondérées pour chaque critère donc :

$$A_i = \sum_{j=1}^n rij * Wi$$

Cas 1 :

	Ai
OKJ03	0,623
OKN116	0,565
OKJ311	0,639
OKN660	0,580
OKS51	0,731
OKS52	0,698
NGSP1(QH)	0,714
NGSP1(RDI)	0,777
BKP2	0,692
NGSP2	0,583

Tableau III. 38: calcul de score des alternatives (cas1).**Cas 2 :**

	Ai
OKJ03	0,586
OKN116	0,591
OKJ311	0,618
OKN660	0,673
OKS51	0,645
OKS52	0,625
NGSP1(QH)	0,547
NGSP1(RDI)	0,624
BKP2	0,474
NGSP2	0,575

Tableau III. 39: calcul de score des alternatives (cas2)**Etape 4 : classement des alternatives**

L'alternative ayant le score A_i le plus élevé est considérée comme la meilleure option, car elle a la meilleure performance globale pondérée.

Cas 1 :

	RANK
OKJ03	7
OKN116	10
OKJ311	6
OKN660	9
OKS51	2
OKS52	4
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	1
BKP2	5
NGSP2	8

Tableau III. 40: classement des alternatives SAW (cas1).**Cas 2 :**

	RANK
OKJ03	7
OKN116	6
OKJ311	5
OKN660	1
OKS51	2

OKS52	3
NGSP1(QH)	9
NGSP1(RDI)	4
BKP2	10
NGSP2	8

Tableau III. 41:classement des alternatives SAW (cas2).

III.5.5 MOORA

La méthode MOORA est utilisée pour résoudre divers problèmes de décision complexes en optimisation. Elle est basée sur l'utilisation de critères à la fois souhaitables et indésirables pour classer les options. Cette méthode est principalement adaptée pour les attributs quantitatifs. [31]

Méthodologie :

Etape 1 : construction de la matrice de décision

Construire une matrice de décision avec m alternatives et n critères. Chaque élément x_{ij} de la matrice représente la performance de l'alternative i par rapport au critère j .

Etape 2 : normalisation de la matrice de décision

La normalisation consiste à diviser chaque élément par la racine carrée de la somme des carrés des éléments de la colonne correspondante.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Etape 3 : pondération de la matrice normalisée

Pour la pondération on suit la formule suivante :

$$r_{ij} = x_{ij}^* * W_j$$

Cette étape est la même étape de normalisation dans la méthode VIKOR.

Etape 4 : Agrégation des critères

Cette étape consiste à diviser les critères en deux catégories : critères à maximiser et critères à minimiser.

Dans le cas d'une optimisation multi-objectif, ces performances normalisées sont ajoutées si les critères sont bénéfiques et soustraits s'ils sont des critères de coût et qu'ils doivent être minimisés.

$$Y_i = \sum_{j \in J^+} r_{ij} - \sum_{j \in J^-} r_{ij}$$

Avec J^+ représente l'ensemble des indices des critères à maximiser, et où J^- représente l'ensemble des indices des critères à minimiser.

Cas 1 :

	Yi
OKJ03	0,195
OKN116	0,140
OKJ311	0,179
OKN660	0,191
OKS51	0,236
OKS52	0,219
NGSP1(QH)	0,231
NGSP1(RDI)	0,244
BKP2	0,222
NGSP2	0,133

Tableau III. 42:Agrégation des critères MOORA (cas1).**Cas 2 :**

	Yi
OKJ03	0,191
OKN116	0,180
OKJ311	0,190
OKN660	0,294
OKS51	0,211
OKS52	0,199
NGSP1(QH)	0,166
NGSP1(RDI)	0,187
BKP2	0,134
NGSP2	0,143

Tableau III. 43:Agrégation des critères MOORA (cas2).**Etape 5 : classement des alternatives**

La valeur y_i peut être positive ou négative en fonction des totaux de ses critères bénéfiques et de ses critères non bénéfiques. La préférence finale est déterminée par le classement ordinal de y_i . Par conséquent, la meilleure alternative correspond à la valeur y_i la plus élevée.

Cas 1 :

	RANK
OKJ03	6
OKN116	9
OKJ311	8
OKN660	7
OKS51	2
OKS52	5

NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	1
BKP2	4
NGSP2	10

Tableau III. 44: classement des alternatives MOORA (cas1).

Cas 2 :

	RANK
OKJ03	4
OKN116	7
OKJ311	5
OKN660	1
OKS51	2
OKS52	3
NGSP1(QH)	8
NGSP1(RDI)	6
BKP2	10
NGSP2	9

Tableau III. 45: classement des alternatives MOORA (cas2).

III.5.6 MULTIMOORA

MULTIMOORA est une méthode qui vise à la fois à maximiser et à minimiser une fonction d'utilité qui est purement multiplicative.

Méthodologie

Cette méthode utilise de même principe pour normalité les performances x_{ij} et les transformer en x_{ij}^*

L'utilité totale de la variante i ème U_i est calculée comme suit

$$U_i = \frac{A_i}{B_i}$$

$$\text{Où : } A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij}^* \quad \text{et} \quad B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij}^*$$

Avec : (g) et (g+1) sont respectivement le nombre de critères à maximiser et à minimiser

Le classement des alternatives se fait d'une façon où l'alternative qui a le plus grand U_i est le meilleur.

Cas 1 et Cas 2 :

	AI	BI	UI	RANK
OKJ03	0,00090153	0,19512636	0,005	5
OKN116	0,00298885	0,50124203	0,006	4

OKJ311	0,00079324	0,08001971	0,010	2
OKN660	0,00541513	0,26852252	0,020	1
OKS51	0,00105306	0,12298331	0,009	3
OKS52	0,00135526	0,31864672	0,004	6
NGSP1(QH)	0,00015129	0,17722486	0,001	9
NGSP1(RDI)	0,00111526	0,37593152	0,003	7
BKP2	5,3561E-06	0,19691651	0,000	10
NGSP2	0,00060308	0,55136624	0,001	8

Tableau III. 46 : classement des alternatives MULTIMOORA.

III.5.7 MOOSRA

MOOSRA est une méthode d'amélioration multi-objective. Contrairement à d'autres méthodes qui se concentrent sur des mesures absolues, MOOSRA se base sur un processus de classement simulé.

Méthodologie :

Les étapes d'application de la méthode MOOSRA sont similaires à celles de la méthode MOORA. Les étapes de construction de matrice et sa normalisation sont les mêmes la différence se présente lors du calcul du score de performance global de chaque alternative, la méthode MOOSRA utilise un ratio simple de la somme des valeurs de performance normalisées pour les critères bénéfiques à la somme des valeurs de performance normalisées pour les critères non bénéfiques.

$$y_i^* = \frac{\sum_{j=1}^g w_j \times x_{ij}}{\sum_{j=g+1}^n w_j \times x_{ij}}$$

(g) et (g+1) sont respectivement le nombre de critères à maximiser et à minimiser et w_j est le poids du critère j . Le classement des alternatives se fait en fonction du score de performance global de chaque alternative. L'alternative ayant le score de performance global le plus élevé est considéré comme la meilleure.

Cas 1 :

	Yi*	RANK
OKJ03	6,65286778	5
OKN116	2,58206432	9
OKJ311	13,6674247	1
OKN660	5,0149841	6
OKS51	11,8771075	2
OKS52	4,88121367	7
NGSP1(QH)	8,38177278	3
NGSP1(RDI)	4,66874547	8

BKP2	7,37812722	4
NGSP2	2,36920912	10

Tableau III. 47: classement des alternatives MOOSRA (cas1).

Cas 2 :

	Yi*	RANK
OKJ03	6,86086994	4
OKN116	3,15509104	9
OKJ311	15,2203726	1
OKN660	7,57845424	3
OKS51	11,2792318	2
OKS52	4,73884054	7
NGSP1(QH)	6,62211218	5
NGSP1(RDI)	3,98951536	8
BKP2	5,07165246	6
NGSP2	2,55534417	10

Tableau III. 48 : classement des alternatives MOOSRA (cas2).

III.5.8 Point de référence :

La théorie du point de référence vise à maximiser un point de référence en choisissant des coordonnées plus élevées en fonction de l'objectif, tandis que pour la minimisation, les coordonnées les plus basses sont choisies.

Méthodologie

Les deux premières étapes d'application sont similaires à celle de MOORA.

Et pour calculer les points de référence :

$$r_j = \max_i x_{ij} \text{ pour les critères de bénéfice}$$

$$r_j = \min_i x_{ij} \text{ pour les critères de coût}$$

Et pour classer les alternatives on utilise la formule suivante :

$$y_i = \min_j \{ \max_j |W_j \times r_j - W_j \times x_{ij}^*| \}$$

Les alternatives sont classées et la meilleure alternative est choisie avec l'écart total minimum par rapport aux points de référence. [53]

Cas 1 :

	Yi	RANK
OKJ03	0,0756	6

OKN116	0,0890	8
OKJ311	0,1042	10
OKN660	0,1002	9
OKS51	0,0462	2
OKS52	0,0443	1
NGSP1(QH)	0,0563	5
NGSP1(RDI)	0,0523	3
BKP2	0,0555	4
NGSP2	0,0833	7

Tableau III. 49:classement des alternatives Point de Référence(cas1).

Cas 2 :

	Yi	RANK
OKJ03	0,1346	4
OKN116	0,0975	2
OKJ311	0,1201	3
OKN660	0,0381	1
OKS51	0,1346	4
OKS52	0,1369	6
NGSP1(QH)	0,1470	9
NGSP1(RDI)	0,1387	7
BKP2	0,1508	10
NGSP2	0,1430	8

Tableau III. 50 : classement des alternatives Point de Référence(cas2).

III.6 Interprétation des résultats :

Cas 1 :

	RANK							
	AH P	VIKO R	TOPSI S	SA W	MOOR A	MOOSR A	MULTIMOOR A	P R
OKJ03	8	6	6	7	6	5	5	6
OKN116	10	8	8	10	9	9	4	8
OKJ311	6	10	10	6	8	1	2	10
OKN660	9	9	7	9	7	6	1	9
OKS51	4	5	3	2	2	2	3	2
OKS52	5	4	5	4	5	7	6	1
NGSP1(QH)	3	3	2	3	3	3	9	5
NGSP1(RDI)	2	1	1	1	1	8	7	3

BKP2	1	2	4	5	4	4	10	4
NGSP2	7	7	9	8	10	10	8	7

Tableau III. 51: classements des alternatives par rapport à tous les méthodes(cas1).

Étant donné que les poids des critères sont identiques dans chaque méthode mais différents entre elles, il est possible que chaque méthode attribue une importance différente à ces critères. Les poids ont un impact significatif sur les résultats et chaque méthode les utilise de manière distincte pour évaluer les alternatives.

NGSP1 (RDI) se distingue comme la meilleure alternative, car elle est souvent classée en première position dans la plupart des méthodes (VIKOR, TOPSIS, SAW, MOORA, MOOSRA). Cela témoigne de sa performance robuste sur divers critères.

Les méthodes AHP, MULTIMOORA et Point de Référence démontrent une préférence pour BKP2 et OKN660, OKS52 respectivement. Cependant, leur consensus est moindre par rapport à NGSP1 (RDI).

Cette approche permet de prendre une décision éclairée en intégrant les perspectives et les priorités offertes par chaque méthode de décision multicritère. Elle permet de considérer les différents points de vue et les différentes priorités pour arriver à une décision équilibrée.

Cas 2 :

	RANK							
	AH P	VIKO R	TOPSI S	SA W	MOOR A	MOOSR A	MULTIMOOR A	P R
OKJ03	10	4	6	7	4	4	5	4
OKN116	9	7	5	6	7	9	4	2
OKJ311	8	10	8	5	5	1	2	3
OKN660	1	5	1	1	1	3	1	1
OKS51	5	3	3	2	2	2	3	4
OKS52	7	2	4	3	3	7	6	6
NGSP1(QH)	4	6	7	9	8	5	9	9
NGSP1(RDI)	2	1	2	4	6	8	7	7
BKP2	3	9	10	10	10	6	10	10
NGSP2	6	8	9	8	9	10	8	8

Tableau III. 52: classements des alternatives par rapport à tous les méthodes(cas2).

Vu que les poids des critères sont égaux entre et identique pour chaque méthode chaque méthode. Les poids égaux signifient que chaque critère est considéré avec la même importance lors de l'évaluation des alternatives. Cela uniformise l'impact de chaque critère sur le résultat final.

OKN660 : Cette alternative se distingue clairement avec des rangs élevés dans presque toutes les méthodes (1 en AHP, 1 en TOPSIS, 1 en SAW, 1 en PR, et 3 en MOORA et MOOSRA). Cela suggère que OKN660 est le choix le plus robuste et cohérent à travers plusieurs méthodes de décision, indiquant une très bonne performance globale selon les critères donnés.

KP2 : A des rangs très bas dans presque toutes les méthodes (9 en AHP, 10 en VIKOR, SAW, MOORA, MOOSRA, MULTIMOORA, et PR), ce qui indique une performance inférieure selon les critères évalués.

OKN660 ressort comme la meilleure alternative pour commencer l'extraction, avec des classements excellents et cohérents dans presque toutes les méthodes.

Même si les critères sont pondérés de manière égale, les classements des alternatives diffèrent d'une méthode à l'autre, ce qui reflète les caractéristiques uniques de chaque algorithme de décision multicritère. Ces méthodes utilisent les mêmes informations pondérées de manière égale, mais elles les traitent différemment, ce qui entraîne des résultats variés. Les variations dans les classements montrent comment chaque méthode donne la priorité et agrège les informations de manière distincte, même si une importance égale est attribuée à chaque critère.

III.7 Conclusion :

Ce chapitre a permis de comprendre comment les MCDM peuvent résoudre un problème complexe de sélection et gérer le choix entre plusieurs alternatives en prenant en compte différents critères. En explorant l'utilisation des MCDM à travers l'étude de cas des puits de HAOU D BERKAOUI, nous avons pu démontrer leur efficacité et leur pertinence pour prendre des décisions stratégiques éclairées. Les exemples concrets et les tableaux de calcul ont permis de mettre en évidence les avantages de ces méthodes.

Dans cette étude, nous avons appliqué les méthodes d'aide à la décision multicritères en utilisant d'abord les poids de la matrice originale, calculés en fonction de l'importance relative de chaque critère. Ensuite, pour une comparaison plus approfondie, nous avons également utilisé des poids égaux pour tous les critères. Cette double approche nous a permis d'évaluer l'impact des poids sur les résultats des différentes méthodes et d'assurer une analyse plus robuste et équilibrée.

Les résultats obtenus montrent que l'application des MCDM permet non seulement de rationaliser le processus de sélection, mais également d'améliorer considérablement la qualité des décisions prises. Tout cela souligne l'importance de l'utilisation des MCDM, car une prise de décision plus éclairée peut avoir des bénéfices financiers pour l'économie mondiale et, dans ce cas précis, pour l'Algérie. En effet, une meilleure évaluation des alternatives de puits peut permettre une optimisation des coûts d'extraction et une réduction des pertes financières, ce qui est crucial pour maximiser les rendements économiques.

Le chapitre suivant se concentre sur une explication détaillée de la méthode Fuzzy AHP et de son application spécifique aux alternatives et critères de sélection des puits de pétrole et de gaz. Il expliquera comment cette méthode intègre les principes de la logique floue pour mieux gérer l'incertitude et la subjectivité dans les jugements humains.

Chapitre IV
Sélection des puits de
Pétrole et de gaz à l'aide
des
MCDM floue

IV.1 Introduction

Ce chapitre explore le Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP), une méthode d'aide à la décision multicritère qui améliore le modèle AHP classique en intégrant les principes de la logique floue, aussi nous avons appliqué la méthode du Fuzzy TOPSIS pour évaluer les alternatives dans le contexte de la prospection pétrolière et gazière dans la région de Berkaoui, en Algérie. Le processus de Fuzzy TOPSIS a été crucial pour prendre des décisions éclairées dans un environnement complexe et incertain.

Cette approche permet de mieux gérer l'incertitude et la subjectivité des jugements humains, ce qui rend les décisions plus flexibles et précises. Aussi détaillera chaque étape, avec des illustrations de tableaux de calcul pour une meilleure clarté et fluidité. Le Fuzzy AHP est particulièrement utile dans des contextes complexes tels que la prospection et l'exploration pétrolières et gazières.

IV.2 Méthode floue d'aide à la décision multicritère (Fuzzy MCDM)

La méthode floue d'aide à la décision multicritère (Fuzzy Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy MCDM) est une extension sophistiquée des méthodes classiques de décision multicritère qui intègre la logique floue pour gérer l'incertitude et l'imprécision des informations. L'aspect "Fuzzy" fait référence à l'utilisation de la logique floue, une approche mathématique permettant de traiter des informations incertaines ou imprécises. Cette méthode permet d'évaluer et de sélectionner les meilleures alternatives parmi plusieurs options, même en présence de critères multiples. Chaque critère peut être affecté par des incertitudes et des imprécisions que la logique floue permet de modéliser de manière efficace. En combinant la flexibilité des ensembles flous avec des méthodes de décision multicritères, elle offre une approche robuste et adaptable à divers contextes décisionnels. Ainsi, la méthode floue permet de modéliser l'incertitude de manière plus réaliste que les méthodes classiques, tout en offrant une flexibilité dans l'évaluation des alternatives. [54]

IV.2.1 Structure du problème

Les étapes de la méthode floue d'aide à la décision multicritère incluent :

a) Définition du Problème et des Critères

- **Identification des Alternatives** : Il s'agit des différentes options parmi lesquelles il faut choisir.
- **Sélection des Critères** : Ce sont les attributs ou les aspects selon lesquels les alternatives seront évaluées.

b) Construction des Fonctions d'Appartenance

Chaque critère est évalué à l'aide de fonctions d'appartenance qui traduisent les valeurs précises en degrés d'appartenance flous. Ces fonctions peuvent être de différentes formes, comme triangulaires, trapézoïdales, ou gaussiennes, selon la nature des données et la préférence de l'utilisateur.

c) Évaluation des Alternatives

Pour chaque alternative, on évalue le degré d'appartenance à chaque critère. Cela donne un tableau de décision floue où chaque entrée représente le degré d'appartenance d'une alternative à un critère donné.

d) Agrégation des Informations Floues

Les informations floues doivent être agrégées pour obtenir un score global pour chaque alternative. Cela peut se faire par diverses méthodes, comme l'agrégation pondérée, où chaque critère est affecté d'un poids reflétant son importance relative.

e) Défuzzification

La défuzzification est le processus de conversion des informations floues en une valeur crisper (précise) pour permettre une comparaison et une prise de décision finale. Des méthodes comme le centre de gravité, la moyenne des maximas, ou la méthode du maximum peuvent être utilisées pour défuzzification les résultats agrégés.

f) Prise de Décision

Enfin, les alternatives sont classées selon leurs scores défuzzifier et la meilleure alternative est choisie en fonction des résultats obtenus.

IV.3 Comparaison entre les MCDM et MCDM floue

Ce tableau présente les principales différences entre les méthodes traditionnelles de décision multicritère et les méthodes floues.

Critère	MCDM	MCDM flou (Fuzzy MCDM)
Nature des données	Utilise des données précises et déterministes.	Utilise des données imprécises et ambiguës
Méthode de pondération	Souvent basée sur des poids précis attribués à chaque critère.	Utilise des valeurs floues ou des fonctions d'appartenance pour exprimer les pondérations, permettant une représentation plus flexible des préférences.
Flexibilité	Moins flexible dans la représentation des préférences subjectives et des incertitudes.	Plus flexible pour modéliser la complexité et l'ambiguïté des situations de décision réelles.
Complexité	Moins complexe	Plus complexe en raison des calculs flous
Méthodes courantes	AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE	Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy ELECTRE

Avantages	Simplicité, rapidité de calcul	Flexibilité, meilleure modélisation de l'incertitude
Inconvénients	Difficulté à gérer l'incertitude	Calculs plus lourds et interprétation plus complexe

Tableau IV. 1 : comparaison entre les MCDM et MCDM floue

IV.4 Les méthodes d'aide à la décision multicritères floue

IV.4.1 Méthode Fuzzy AHP

La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) floue, souvent appelée Fuzzy AHP, est une extension de la méthode AHP classique développée par Thomas L. Saaty en 1980.

Le Fuzzy AHP est une méthode puissante permettant de prendre des décisions multicritères dans des contextes d'incertitude et d'imprécision. En intégrant la logique floue, cette méthode permet de capturer de manière plus réaliste et flexible les préférences des décideurs. Ainsi, elle offre des solutions de décision plus robustes et précises. Cette adaptation a été proposée par plusieurs chercheurs au fil du temps. Cependant, une contribution significative au développement du Fuzzy AHP est attribuée à T.L. Saaty et L. G. Vargas qui ont publié des travaux sur ce sujet au début des années 1990. [55]

IV.4.1.1 Les avantages

- Gestion de l'incertitude.
- Flexibilité dans la modélisation des situations complexes.
- Adaptabilité à différents domaines et problèmes.
- Incorporation des préférences des décideurs.

IV.4.1.2 Les inconvénients

- Complexité de mise en œuvre.
- Nécessité de définir des fonctions d'appartenance et des opérateurs flous.
- Possibilité de résultats sensibles aux paramètres choisis.
- Exigence de compétences techniques pour une utilisation efficace.

IV.4.2 Fuzzy TOPSIS

La méthode Fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) est une extension de la méthode TOPSIS classique qui intègre la logique floue pour traiter les incertitudes et imprécisions dans le processus de prise de décision. Cette méthode a été développée pour améliorer la robustesse de la méthode Fuzzy TOPSIS est une méthode qui combine les avantages de TOPSIS classique avec les capacités de gestion de l'incertitude de la logique floue. [56]

IV.4.2.1 Les avantages :

- Fuzzy TOPSIS est efficace pour traiter les données et les préférences incertaines.
- Elle permet de prendre en compte à la fois des données qualitatives et quantitatives et les préférences subjectives.
- Fuzzy TOPSIS simplifie le processus de sélection.

IV.4.2.2 Les inconvénients :

- La mise en œuvre de Fuzzy TOPSIS peut être complexe.
- Fuzzy TOPSIS requiert l'ajustement de certains paramètres, tels que les fonctions d'appartenance floue, ce qui peut avoir une incidence sur les résultats obtenus.
- Les résultats de Fuzzy TOPSIS peuvent être influencés par les opinions individuelles des décideurs, ce qui peut introduire un certain degré de partialité.

IV.5 L'application des méthodes

Comme mentionné précédemment dans les chapitres précédents, les méthodes MCDM se distinguent en deux parties : les méthodes de prise de décision multi-attributs et les méthodes de prise de décision multi-objectifs.

Cela s'applique également aux méthodes MCDM floues.

Les méthodes de prise de décision multi-attributs floues (MADM) sont utilisées pour évaluer et sélectionner la meilleure alternative parmi plusieurs options en tenant compte de plusieurs attributs ou critères, dans un contexte où les informations peuvent être incertaines ou imprécises.

Les méthodes de prise de décision multi-objectifs floues (MODM) sont utilisées pour optimiser plusieurs objectifs simultanément dans un contexte incertain ou imprécis.

La méthode AHP floue et la méthode TOPSIS floue font partie des méthodes MADM floues.

IV.5.1 Fuzzy AHP

Méthodologie :

Etape 1 : Critères de comparaison

Après avoir d'identifier l'objectif, les critères, les sous critères et les alternatives cela pour définir la structure hiérarchique du problème. On calcule la priorité de chaque critère par rapport à l'objectif et la priorité de chaque alternative par rapport à un critère spécifique. Mais pour notre problème on peut calculer que la priorité de chaque critère par rapport à l'objectif pour une meilleure identification des poids des critères.

Les décideurs utilisent des échelles floues pour exprimer les jugements. Par exemple, des nombres flous triangulaires (l, m, u) peuvent être utilisés, où l'est la borne inférieure, m la valeur moyenne et u la borne supérieure.

$$A_i = (l_i, m_i, u_i) \text{ et } A_i^{-1} = \left(\frac{1}{u_i}, \frac{1}{m_i}, \frac{1}{l_i}\right)$$

Valeurs numérique	Définition	Nombres flous triangulaires
1	Importance égale	(1, 1, 1)
3	Faible importance	(2, 3, 4)
5	Très important	(4, 5, 6)
7	Fortement important	(6, 7, 8)
9	Absolument important	(9, 9, 9)
2	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	(1, 2, 3)
4		(3, 4, 5)
6		(5, 6, 7)
8		(7, 8, 9)

Tableau IV. 2: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans FUZZY-AHP

	Porosité (Ø)			Perméabilité (K)			Saturation d'Eau (Sw)			Volume d'Argile (Vsh)			Température (T)			Pression (P)		
Porosité (Ø)	1	1	1	2	3	4	1	2	3	0,333333	0,5	1	0,166666	0,2	0,2	0,142857	0,166666	0,2
Perméabilité (K)	0,25	0,333333	0,333333	1	1	1	0,333333	0,5	1	0,2	0,25	0,333333	0,2	0,25	0,333333	0,166666	0,2	0,2
Saturation d'Eau (Sw)	0,333333	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	0,2	0,333333	0,5	0,142857	0,166666	0,2	0,111111	0,111111	0,111111
Volume d'Argile (Vsh)	1	2	3	3	4	5	2	3	4	1	1	1	1	2	3	0,333333	0,25	0,2
Température (T)	4	5	6	3	4	5	5	6	7	0,333333	0,5	1	1	1	1	0,2	0,333333	0,5
Pression (P)	5	6	7	4	5	6	9	9	9	3	4	5	2	3	4	1	1	1

Tableau IV. 3 : Matrice de décision FAHP.

Etape 2 : Calcul des moyennes géométriques

La moyenne géométrique de chaque ligne est calculée après que les poids flous ont été normalisé cette moyenne est calculé comme suivant :

$$r_i \sim ((l_i, m_i, u_i) \otimes \dots \otimes (l_n, m_n, u_n))^{1/n} \forall i,$$

Avec n nombre de critères

	RI		
Porosité (Ø)	0,501314087	0,681292069	0,918385902
Perméabilité (K)	0,286717752	0,357376886	0,490280459
Saturation d'Eau (Sw)	0,331319019	0,428299431	0,567300445
Volume d'Argile (Vsh)	1,122462048	1,513085749	1,817120593
Température (T)	1,307660486	1,647548972	2,172025318
Pression (P)	3,203100948	3,846722299	4,430169056
La somme	6,75257434	8,474325407	10,39528177

Tableau IV. 4: les moyennes géométriques.

Etape 3 : calcul des poids flou des critères

Effectuer la somme vectorielle de chaque Ri, puis les ordonner de manière croissante ; Calculer les poids flous de chaque critère en multipliant chaque Ri par l'inverse de sa somme vectorielle.

$$W_i \sim = r_i \sim \otimes (r_i \sim \otimes \dots \otimes r_n \sim)^{-1}$$

	FUZZY Wj		
Porosité (Ø)	0,048225156	0,080394844	0,1360053
Perméabilité (K)	0,027581528	0,042171721	0,072606451
Saturation D'eau (Sw)	0,031872058	0,050540829	0,084012469
Volume d'Argile (Vsh)	0,10797803	0,178549404	0,26910042
Température (T)	0,125793655	0,194416534	0,321658853
Pression (P)	0,308130267	0,453926668	0,656071127

Tableau IV. 5: Les poids flou des critères.

Etape 4 : la défuzzification

Après avoir calculé le poids flou, on peut procéder à la défuzzification comme suit :

$$W_i = \frac{a+b+c}{3}$$

	Wj
Porosité (Ø)	0,088208434
Perméabilité (K)	0,047453233
Saturation d'Eau (Sw)	0,055475119

Volume d'Argile (Vsh)	0,185209285
Température (T)	0,213956347
Pression (P)	0,472709354

Tableau IV. 6: les poids après la défuzzification.

Etape 5 : les poids W_i normalisé

On peut procéder cette étape comme suit

$$W_i(\text{nrml}) = \frac{W_i}{\sum_{n=1}^n W_i}$$

	NORML Wj
Porosité (Ø)	0,082979734
Perméabilité (K)	0,044640365
Saturation d'Eau (Sw)	0,05218674
Volume d'Argile (Vsh)	0,1742307
Température (T)	0,201273733
Pression (P)	0,444688729

Tableau IV. 7: les poids normalisés.

Après avoir calculer les poids des critères à travers la méthode AHP floue on peut les appliquer sur les méthodes qui sont été mentionnées dans les chapitres précédents.

Les tableaux suivants indiquent les classements des alternatives dans chaque méthode.

IV.5.1.1 AHP

	RANK
OKJ03	8
OKN116	10
OKJ311	6
OKN660	9
OKS51	4
OKS52	5
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	2
BKP2	1
NGSP2	7

Tableau IV. 8: classement des alternatives AHP (FAHP)

IV.5.1.2 VIKOR

	RANK
OKJ03	6

OKN116	8
OKJ311	10
OKN660	9
OKS51	5
OKS52	4
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	1
BKP2	2
NGSP2	7

Tableau IV. 9: classement des alternatives VIKOR(FAHP)

IV.5.1.3 SAW

	RANK
OKJ03	7
OKN116	10
OKJ311	6
OKN660	9
OKS51	2
OKS52	4
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	1
BKP2	5
NGSP2	8

Tableau IV. 10: classement des alternatives SAW(FAHP)

IV.5.1.4 MOORA

	RANK
OKJ03	6
OKN116	9
OKJ311	8
OKN660	7
OKS51	2
OKS52	5
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	1
BKP2	4
NGSP2	10

Tableau IV. 11: classement des alternatives MOORA(FAHP)

IV.5.1.5 MOOSRA

	RANK
OKJ03	5
OKN116	9
OKJ311	1
OKN660	6
OKS51	2
OKS52	7
NGSP1(QH)	3
NGSP1(RDI)	8
BKP2	4
NGSP2	10

Tableau IV. 12: classement des alternatives MOOSRA(FAHP)**IV.5.1.6 MULTIMOORA**

	RANK
OKJ03	5
OKN116	4
OKJ311	2
OKN660	1
OKS51	3
OKS52	6
NGSP1(QH)	9
NGSP1(RDI)	7
BKP2	10
NGSP2	8

Tableau IV. 13: classement des alternatives MULTIMOORA(FAHP)**IV.5.1.7 Point de Référence**

	RANK
OKJ03	6
OKN116	8
OKJ311	10
OKN660	9
OKS51	2
OKS52	1
NGSP1(QH)	5
NGSP1(RDI)	3
BKP2	4
NGSP2	7

Tableau IV. 14: classement des alternatives Point de Référence (FAHP)

IV.5.2 Fuzzy TOPSIS

Méthodologie

Etape 1

Comme la première étape dans Fuzzy AHP, on identifie l'objectif, les critères et les alternatives afin de définir la matrice de décision du problème, on calcule la priorité de chaque critère par rapport à l'objectif, ainsi que la priorité de chaque alternative par rapport à un critère spécifique.

Les décideurs utilisent des échelles floues souvent des nombres flous triangulaires pour exprimer les jugements.

Valeurs numérique	Définition	Nombres flous triangulaires
1	Peu important	(1, 1, 3)
3	Modérément important	(1, 3, 5)
5	Important	(3, 5, 7)
7	Très important	(5, 7, 9)
9	Absolument important	(7, 9, 9)

Tableau IV. 15 : Conversion des nombres flous à partir des termes linguistiques pour la pondération des critères (FTOPSIS)

	Décideur 1																	
	Porosité (Ø)			Perméabilité (K)			Saturation d'Eau (Sw)			Volume d'Argile (Vsh)			Température (T)			Pression (P)		
O KJ 03	7	9	9	1	3	5	7	9	9	3	5	7	7	9	9	3	5	7
O K N1 16	7	9	9	5	7	9	7	9	9	1	3	5	7	9	9	3	5	7
O KJ 31 1	3	5	7	3	5	7	5	7	9	1	1	3	1	1	3	1	1	3
O K N6 60	5	7	9	7	9	9	5	7	9	3	5	7	5	7	9	1	3	5
O KS 51	7	9	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9

O KS 52	7	9	9	1	3	5	5	7	9	3	5	7	5	7	9	5	7	9
N GS P1(Q H)	1	3	5	1	1	3	3	5	7	1	3	5	7	9	9	5	7	9
N GS P1(RD D)	7	9	9	1	3	5	3	5	7	1	3	5	5	7	9	7	9	9
BK P2	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	5	7	7	9	9	5	7	9
N GS P2	3	5	7	1	3	5	7	9	9	7	9	9	5	7	9	3	5	7

Tableau IV. 16: la matrice de décision du décideur 1

	Décideur 2																	
	Porosité (Ø)			Perméabilité (K)			Saturation d'Eau (Sw)			Volume d'Argile (Vsh)			Température (T)			Pression (P)		
O KJ 03	7	9	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9
O K N1 16	5	7	9	5	7	9	5	7	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9
O KJ 31 1	3	5	7	3	5	7	5	7	9	1	1	3	1	3	5	1	3	5
O K N6 60	3	5	7	7	9	9	5	7	9	3	5	7	5	7	9	3	5	7
O KS 51	5	7	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9
O KS 52	5	7	9	1	3	5	7	9	9	3	5	7	5	7	9	5	7	9
N GS P1(Q H)	3	5	7	1	1	3	3	5	7	5	7	9	7	9	9	5	7	9

Q H)																		
N GS P1(RD I)	7	9	9	1	3	5	3	5	7	1	3	5	5	7	9	7	9	9
BK P2	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	5	7	7	9	9	7	9	9
N GS P2	3	5	7	1	3	5	7	9	9	7	9	9	5	7	9	7	9	9

Tableau IV. 17: la matrice de décision du décideur 2

	Décideur 3																	
	Porosité (Ø)			Perméabilité (K)			Saturation d'Eau (Sw)			Volume d'Argile (Vsh)			Température (T)			Pression (P)		
O KJ 03	7	9	9	1	3	5	7	9	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9
O K N1 16	5	7	9	5	7	9	7	9	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9
O KJ 31 1	3	5	7	3	5	7	5	7	9	1	1	3	1	3	5	1	3	5
O K N6 60	3	5	7	7	9	9	5	7	9	3	5	7	5	7	9	3	5	7
O KS 51	5	7	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	5	9
O KS 52	5	7	9	1	3	5	5	7	9	3	5	7	5	7	9	5	7	9
N GS P1(Q H)	3	5	7	1	1	3	3	5	7	5	7	9	7	9	9	5	7	9
N GS P1(Q H)	7	9	9	1	3	5	3	6	7	1	3	5	5	7	9	7	9	9

RD I)																		
BK P2	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	5	7	7	9	9	7	9	9
NGS P2	3	5	7	1	3	5	7	9	9	7	9	9	5	7	9	7	9	9

Tableau IV. 18: la matrice de décision du décideur 3

Etape 2 former la matrice de décision combiné

Après que les trois décideur forme leur matrice de décision on combine entre ces matrices pour avoir une seule en suivant la formule suivante :

$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ avec

$a_{ij} = \min_{\text{décideur } k} (a_{ij}^k)$

$b_{ij} = \text{moyenne}_{\text{décideur } k} (a_{ij}^k)$

$c_{ij} = \max_{\text{décideur } k} (c_{ij}^k)$

	Porosité (Ø)			Perméabilité (K)			Saturation d'Eau (Sw)			Volume d'Argile (Vsh)			Température (T)			Pression (P)		
OKJ 03	7	9	9	1	3	5	5	8,	9	3	6,	9	5	7,	9	3	6,	9
								33			33			66			33	
								33			33			66			33	
								33			33			66			33	
								33			33			67			33	
								3										
OKN1 16	5	7,	9	5	7	9	5	8,	9	1	3	5	5	7,	9	3	6,	9
		66						33						66			33	
		66						33						66			33	
		66						33						66			33	
		67						33						67			33	
								3										
OKJ	3	5	7	3	5	7	5	7	9	1	1	3	1	2,	5	1	2,	5
														33			33	
														33			33	

31 1														33 33		33 33		
OK N6 60	3	5, 66 66 66 67	9	7	9	9	5	7	9	3	5	7	5	7	9	1	4, 33 33 33 33	7
OK S5 1	5	7, 66 66 66 67	9	1	3	5	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	6, 33 33 33 33	9
OK S5 2	5	7, 66 66 66 67	9	1	3	5	5	7, 66 66 66 66 7	9	3	5	7	5	7	9	5	7	9
NG SP 1(Q H)	1	4, 33 33 33 33	7	1	1	3	3	5	7	1	5, 66 66 66 67	9	7	9	9	5	7	9
NG SP 1(R DI)	7	9	9	1	3	5	3	5, 33 33 33 33 3	7	1	3	5	5	7	9	7	9	9

B K P2	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	5	7	7	9	9	5	8,	9
																	33	33
																	33	33
																	33	33
N G SP 2	3	5	7	1	3	5	7	9	9	7	9	9	5	7	9	3	7,	9
																	66	66
																	66	66
																	66	67
W j	0, 04	0, 08	0, 1	0, 02	0, 04	0, 07	0, 03	0, 05	0, 08	0, 10	0, 17	0, 26	0, 12	0, 19	0, 32	0, 30	0, 45	0, 65
	82	03	3	75	21	26	18	05	40	79	85	91	57	44	16	81	39	60
	25	94	6	81	71	06	72	40	12	78	49	00	93	16	58	30	26	71
	16	84	0	53	72	45	06	82	47	03	4	42	65	53	85	27	67	13
			0					9										
			5															
			3															

Tableau IV. 19: la matrice de décision combiné

Étape 2 Normalisation de la matrice avec pondération

Pour normaliser cette matrice de décision floue combinée, nous prenons en considération le type de critères. Si le critère est bénéfique, nous choisissons les valeurs les plus élevées. Si c'est un critère de coût, alors les valeurs les plus basses sont choisies.

Pour les critères bénéfiques :

$$r_{ij\sim} = (\frac{a_{ij}}{c_{j*}}, \frac{c_{ij}}{c_{j*}}, \frac{c_{ij}}{c_{j*}})$$

Pour les critères non bénéfiques :

$$r_{ij\sim} = (\frac{a_{j-}}{c_{ij}}, \frac{a_{j-}}{b_{ij}}, \frac{a_{j-}}{a_{ij}})$$

Pour pondérer la matrice, il suffit de multiplier chaque poids flou par $r_{ij\sim}$.

Dans notre problème, nous avons utilisé les poids flous que nous avons calculés précédemment à l'aide de la méthode FAHP.

	Porosité (Ø)			Perméabilité (K)			Saturation d'Eau (Sw)			Volume d'Argile (Vsh)			Température (T)			Pression (P)		
O KJ 03	0,037508	0,080360	0,050564	0,003040	0,014057	0,040336	0,017706	0,046797	0,084012	0,011997	0,028192	0,089700	0,069885	0,165614	0,321658	0,102710	0,319429	0,656071
O K N1 16	0,026791	0,068484	0,136005	0,015323	0,032800	0,072606	0,017706	0,046797	0,084012	0,021595	0,059116	0,269100	0,068585	0,165614	0,321658	0,102710	0,319429	0,656071
O KJ 31 1	0,016075	0,044663	0,105781	0,009193	0,023428	0,056471	0,010607	0,030912	0,081249	0,039200	0,178549	0,269100	0,017707	0,053904	0,178699	0,033636	0,118484	0,364484
O K N6 60	0,016075	0,050619	0,130505	0,023333	0,047157	0,070655	0,010607	0,030912	0,081249	0,039200	0,178549	0,269100	0,068585	0,151299	0,325899	0,033636	0,215733	0,517775
O KS 51	0,026791	0,068484	0,136005	0,030664	0,045736	0,070655	0,010607	0,030912	0,081249	0,060706	0,025538	0,050720	0,068585	0,125812	0,325899	0,118329	0,297171	0,607171
O KS 52	0,026791	0,068484	0,136005	0,030664	0,045736	0,070655	0,010607	0,030912	0,081249	0,060706	0,025538	0,050720	0,068585	0,125812	0,325899	0,118329	0,297171	0,607171
N GS P1 (Q H)	0,005358	0,038708	0,108164	0,003064	0,048572	0,024224	0,010607	0,030912	0,081249	0,019115	0,039191	0,260000	0,097839	0,194416	0,325899	0,171183	0,355483	0,656071
N GS P1 (R DI)	0,037508	0,080360	0,136005	0,030664	0,045736	0,070655	0,010607	0,030912	0,081249	0,025538	0,050720	0,269100	0,068585	0,125812	0,325899	0,239656	0,452671	0,656071
B KP 2	0,005358	0,038708	0,108164	0,003064	0,048572	0,024224	0,010607	0,030912	0,081249	0,019115	0,039191	0,260000	0,097839	0,194416	0,325899	0,171183	0,355483	0,656071

N	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
GS	01	04	10	00	01	04	02	05	08	01	01	03	06	15	32	10	38	65
P2	60	46	57	30	40	03	47	05	40	19	98	84	98	12	16	27	66	60
	75	63	81	64	57	36	89	40	12	97	38	42	85	12	58	10	78	71
	1	8	9	6	2	9	4	83	5	6	82	92	4	9	9	1	3	1

Tableau IV. 20: la matrice normalisée et pondéré

Étape 3 calcule des distances euclidiennes positive et negative

Avant de calculer les distances euclidiennes il est nécessaire d'identifier la solution idéale A^+ et la solution anti idéale A^- pour les critères en utilisant le même principe de la méthode TOPSIS.

$$d_{ij}^+ = \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right) \times (a_{ij} - A^+)^2 + (b_{ij} - A^+)^2 + (c_{ij} - A^+)^2}$$

$$d_{ij}^- = \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right) \times (a_{ij} - A^-)^2 + (b_{ij} - A^-)^2 + (c_{ij} - A^-)^2}$$

Après avoir calculer la distance de chaque critère il est important de calculer les distances globales positive et négative pour chaque alternative.

$$d_j^+ = \sum_{j=1}^n d_{ij}^+$$

$$d_j^- = \sum_{j=1}^n d_{ij}^-$$

	dj+	dj-
OKJ03	0,195497275	0,57608255
OKN116	0,289574641	0,52641731
OKJ311	0,625337619	0,10145667
OKN660	0,288641123	0,47478091
OKS51	0,170117845	0,59183333
OKS52	0,173236269	0,5836608
NGSP1(QH)	0,294424802	0,50752051
NGSP1(RDI)	0,209854248	0,56427605
BKP2	0,224411775	0,51487957
NGSP2	0,174406771	0,59571158

Tableau IV. 21: la Distance euclidienne globale positive et négative

Étape 4 calculer le coefficient de proximité CC

Pour calculer CC on suit cette simple formule :

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

	CC
OKJ03	0,7466273
OKN116	0,6451256
OKJ311	0,1395948
OKN660	0,6219115
OKS51	0,7767339
OKS52	0,7711231
NGSP1(QH)	0,6328617
NGSP1(RDI)	0,7289161
BKP2	0,6964502
NGSP2	0,7735325

Tableau IV. 22: coefficient de proximité CC de chaque alternative

Etape 5 classement des alternatives

L'alternative ayant le score CC_i le plus élevé est considérée comme la meilleure option.

	RANK
OKJ03	4
OKN116	7
OKJ311	10
OKN660	9
OKS51	1
OKS52	3
NGSP1(QH)	8
NGSP1(RDI)	5
BKP2	6
NGSP2	2

Tableau IV. 23: classement des alternatives pour la méthode FTOPSIS

IV.6 Interprétation des résultats :

Ce tableau rassemble les résultats de toutes les méthodes.

	RANK							
	AHP	VIKOR	SAW	MOORA	MOOSRA	MULTIMOORA	PR	Fuzzy TOPSIS
OKJ03	8	6	7	6	5	5	6	4
OKN116	10	8	10	9	9	4	8	7
OKJ311	6	10	6	8	1	2	10	10
OKN660	9	9	9	7	6	1	9	9
OKS51	4	5	2	2	2	3	2	1
OKS52	5	4	4	5	7	6	1	3
NGSP1(QH)	3	3	3	3	3	9	5	8
NGSP1(RDI)	2	1	1	1	8	7	3	5
BKP2	1	2	5	4	4	10	4	6
NGSP2	7	7	8	10	10	8	7	2

Tableau IV. 24: classements des alternatives par rapport à toutes les méthodes.

Les poids des critères, qui sont calculés à l'aide de la méthode Fuzzy AHP, sont identiques pour toutes les méthodes utilisées. Cela signifie que l'importance relative de chaque critère est la même dans toutes les méthodes. Cependant, chaque méthode de décision multicritères traite et combine ces informations de manière unique, ce qui entraîne des variations dans les classements des alternatives.

NGSP1 (RDI) est considérée comme la solution la plus robuste et la meilleure alternative globale. Elle maintient des classements élevés dans plusieurs méthodes.

BKP2 et **OKN660** sont également des options robustes et devraient être prises en compte comme alternatives de secours.

Pour prendre une décision éclairée basée sur une évaluation multicritère solide, il est fortement recommandé de choisir **NGSP1 (RDI)** en premier lieu. En ce qui concerne une stratégie de réserve, **OKN660** peut être considérée comme une option secondaire fiable. Cette approche assure que la décision tienne compte de la variabilité et de la robustesse des méthodes de décision multicritères.

IV.7 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, il est clair que le processus de hiérarchisation analytique floue met en lumière l'importance majeure de l'utilisation du Fuzzy AHP et Fuzzy TOPSIS dans des domaines nécessitant une grande précision dans la prise de décision. En particulier, dans le contexte de la prospection et de l'exploitation pétrolière et gazière, le Fuzzy AHP et Fuzzy TOPSIS permet de mieux modéliser les incertitudes et les imprécisions associées aux jugements humains et aux données de terrain. Contrairement aux méthodes traditionnelles, cette approche

intégrant la logique floue offre une plus grande robustesse et flexibilité, permettant de capturer les nuances et les subtilités des évaluations subjectives.

Dans cette étude, nous avons appliqué la méthode du Fuzzy AHP pour calculer les poids des critères, permettant ainsi une évaluation plus précise des alternatives dans le processus de prise de décision multicritères.

Ensuite, nous avons utilisé le Fuzzy TOPSIS pour effectuer une analyse complète des alternatives. Le Fuzzy TOPSIS nous a permis de classer les alternatives en fonction de leurs performances par rapport aux critères, tout en prenant en compte l'incertitude associée aux données. Cette approche nous a permis d'identifier les alternatives les plus adaptées à nos objectifs tout en tenant compte de la complexité et de l'ambiguïté des données disponibles.

Il est donc impératif de continuer à développer et à appliquer de telles méthodes avancées dans les processus organisationnels et stratégiques. En intégrant le Fuzzy AHP et le Fuzzy TOPSIS dans les pratiques de prise de décision, les organisations peuvent améliorer leur efficacité opérationnelle, renforcer leur compétitivité et atteindre des objectifs stratégiques à long terme de manière plus fiable et précise.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion Générale et Perspectives

En conclusion, les méthodes d'aide à la décision multicritère sont efficaces dans le domaine de la prospection et de l'exploration pétrolière et gazière. Elles prennent en compte divers critères pour une analyse claire. L'utilité de plusieurs méthodes dans une analyse comparative montre qu'elles ont chacune des avantages et des inconvénients.

Les études de cas pratiques démontrent comment prioriser un site parmi plusieurs sites pour l'exploration en tenant compte de divers critères.

Pour le Fuzzy AHP, il est particulièrement apprécié en raison de sa capacité à gérer l'incertitude et la subjectivité des jugements des experts.

Afin d'améliorer la robustesse des décisions et de compenser les faiblesses individuelles, notre mémoire recommande l'utilisation d'une approche intégrée qui combine différentes méthodes.

Les méthodes d'aide à la décision multicritères dans la prospection pétrolière et gazière sont essentielles car elles permettent d'optimiser les pertes financières des décisions d'investissement, notamment en contribuant de manière significative à l'économie et au PIB de l'Algérie.

En tant que perspectives, nous espérons que ce travail aidera la communauté de recherche à développer notre travail et à développer également d'autres critères et sous-critères pour mieux choisir les sites donnés. De plus, nous souhaitons encourager l'utilisation d'autres méthodes que les MCDM telles que l'intelligence artificielle et machine Learning.

À l'avenir, nous pourrons intégrer d'autres critères tels que :

Critères environnementaux et sociaux :

-**Durabilité** : intégrer des critères de durabilité environnementale pour évaluer les impacts potentiels des projets d'exploration.

- **Responsabilité sociale** : évaluer les implications sociales et économiques pour les communautés locales.

Économie et finance :

- **Évaluation économique** : utiliser des modèles économiques pour analyser la rentabilité des projets.

- **Analyse coûts-bénéfices** : comparer les coûts et les avantages des projets pour une prise de décision optimisée.

En fin de compte, nous espérons que cela contribuera à l'économie de l'Algérie à l'avenir, car le PIB du pays est fortement influencé par le secteur des hydrocarbures, avec Sonatrach jouant un rôle central en tant que principal acteur dans ce domaine. Ainsi, les performances économiques du pays sont étroitement liées aux activités et au succès de cette entreprise d'État.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- [1] Mortat.A, «Etude du rôle de quelques plantes graminées et légumineuses dans la phytoremediation des sols pollués par les hydrocarbures.,» université abdelhamid ben badis, Mostaghanem, 2019.
- [2] O. Planas, *Les combustibles fossiles.*, Produits pétroliers, 2023.
- [3] J. DEBYSER et S. Claude, «Formation des gisements de pétrole: étude des phénomènes géologiques fondamentaux,» Editions Technip, 1976.
- [4] V. D. Solodkov et V. F. Kamyayov, «CLASSIFICATION DU PETROLE,» 1975.
- [5] J. Bilodeau, «Le pouvoir constitutif des controverses vu à travers le cas du complexe de liquéfaction gazière Énergie Saguenay: les pratiques de définition du gaz,» (2022).
- [6] . A. Fernandez, «Un gisement de gaz naturel à l'origine de la formation d'une région industrielle dans le Sud-Ouest de la France: Lacq-Mourenx,» 1957-2013.
- [7] N. Bret-Rouzaut et J. P. FAVENNEC, *Recherche et production du pétrole et du gaz: réserves, coûts, contrats.*, Éditions Technip., 2011.
- [8] M. Ben abdalalah, «Le gaz de schiste en Algérie et dans le monde (Doctoral dissertation).».
- [9] R. S. Kraus, *encyclopédie de sécurité et de santé de travail*, bureau international du travail.
- [10] J. P. Nguyen, «Forage,» Editions OPHRYS, 1993.
- [11] a. Lattes et J. L. Salager, «De la récupération assistée du pétrole à la renaissance en France de la chimie des tensioactifs,» *Histoire de la recherche contemporaine. La revue du Comité pour l'histoire du CNRS*, 2016.
- [12] S. Robei, J. Saoudj et I. Bougdah, *Modélisation et analyse de performances de production des puits de gisement de HASSI R'MEL (cas de champ sud - 2018 -)*, ouargla: Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [13] A. Khebbaz, H. Messoud et S. Senina, *Fracturation hydraulique du puits OKS32 (Haoud Berkaoui- Ouargla)*, ouargla: Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [14] B. BELLAOUI, F. BOUCHAMA et H. KHOUILED, *Optimisation de production par la modélisation intégrée (puits – réseau) Cas d'étude - satellite W1A -*, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013.
- [15] I. Merakchi, *Évaluation des paramètres pétrophysiques des réservoirs Trias T2-A et Trias T1-B du périmètre Ghardaïa II- Bloc 420 A - bassin Oued Mya*, Boumerdas, géologie : Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, 2020.
- [16] B. Fenazi, S. Belayach, R. Briki et K. Amer , *Interprétations et analyses des paramètres pétrophysiques à partir des diagraphies différées par l'utilisation du IP dans le champ du Gassi El Agreb.*, Université KASDI MERBAH Ouargla, 2018.
- [17] Zaccour.G, *Théorie des jeux et marchés énergétiques: marché européen du gaz naturel et échanges d'électricité*, école des hautes études commerciales, 1987.
- [18] I. Benazzaoui, R. Benhadji, M. A. Dahou et A. Boudouaya, *Optimisation des paramètres du fonctionnement de la colonne d'absorption des gaz acide (contacteur)*, Université Ahmed Draia-Adrar, 2023.
- [19] T. Gurmit, M. Ghebbache et M. Serraya, *Exploitation du gaz de schiste en Algérie*, ouargla: University Kasdi Merbah Ouargla, 2018.

- [20] M. Agrebi, *Méthodes d'aide à la décision multi-attribut et multi-acteur pour résoudre le problème de sélection dans un environnement certain/incertain: cas de la localisation des centres de distribution(thèse de doctorat)*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis; Université de Sfax (Tunisie), 2018.
- [21] M. W. Kirby, *A history of Operational Research in Britain, Spreading the gospel of Management Science from the 1930s to the 1960s*, 2022.
- [22] D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot et H. Prade, *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision 3: analyse multicritère (Traité IC2, série Informatique et Systèmes d'Information) (Vol. 3)*, Lavoisier., 2006.
- [23] M. Grabisch et P. Perny, *Agrégation multicritère. Logique floue, principes, aide à la décision, 81-120.*, 2003.
- [24] H. Taherdoost et M. Madanchian, «Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts.,» *Encyclopedia*, 2023.
- [25] M. Lahby, *Optimisation et évaluation des performances des communications mobiles dans un environnement réseaux multi-accès(thèse de doctorat)*, Université Hassan II Mohammedia-Casablanca, 2013.
- [26] S. Saoudi, A. Ayeche et A. Benzaoui, *L'application de la méthode SAW pour une optimisation des choix architecturaux durables, Application sur les équipements touristiques.(mémoire de master)*, Université L'arbi Ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, 2018.
- [27] K. Fenniche, «Application du Processus Hiérarchique Analytique (AHP) a l'évaluation de la performance des banques commerciales,» *Les cahiers du cread*, 2018.
- [28] M. I. Ben Mahcen et M. A. Mezabia, *Les influences de plusieurs méthodes d'aide à la décision multicritères sur le choix du site d'une centrale solaire(mémoire de master)*, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [29] C. Hwang et K. Yoon, «Methods for multiple attribute decision making,» *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 1981.
- [30] M. Aruldoss, T. M. Lakshmi et V. P. Venkatesan, «A survey on multi criteria decision making methods and its applications,» *American Journal of Information Systems*, 2013.
- [31] I. Abdallah et M. Chegma, *Proposition d'une Nouvelle Disposition des machines Industrielle dans l'entreprise ORSIM(mémoire de master)*, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2022.
- [32] G. H. Tzeng et J. J. Huang, «Multiple attribute decision making: methods and applications,» *CRC press.*, 2011.
- [33] D. Moussa Ousseini, *Le coût du capital dans l'entreprise familiale non cotée (thèse de doctorat)*, Université de Bordeaux, 2015.
- [34] I. Khider et M. Keddar, *Outil d'aide à la décision pour la hiérarchisation des projets(mémoire de master)*, Université M'hamed Bougara de Boumerdès, 2022.
- [35] G. Büyüközkan et G. Işıklar, *Using a multi-criteria decision making approach to evaluate mobile phone alternatives.*, *Computer Standards & Interfaces*, 2007.
- [36] S. Ray, «Selecting a doctoral dissertation supervisor: Analytical hierarchy approach to the multiple criteria problem,» *International journal of doctoral studies*, 2007.

- [37] A. Hambali, S. M. Sapuan, N. Ismail et Y. Nukman, «Material selection of polymeric composite automotive bumper beam using analytical hierarchy process.,» *Journal of Central South University of Technology*, (2010).
- [38] M. E. AROUFI, *Optimisation des performances du processus de chargement et transport par la méthode MCDM (AHP-TOPSIS)-cas de la mine d'EL'OUENZA (Thèse de doctorat)*, Université Chikh Larbi Tebessi Tebessa, 2023.
- [39] A. Aghajani et M. Osanloo, *Application of AHP-TOPSIS method for loading-haulage equipment selection in open pit mines.*, Mexico: XXVII International Mining Convention, 2007.
- [40] J. C. Sasi et A. K. Digalwar, «Application of AHP and TOPSIS method for supplier selection between India & China in textile industry.,» *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2015.
- [41] A. P. Balcerzak et M. B. Pietrzak, «Application of TOPSIS method for analysis of sustainable development in European Union countries.,» *Institute of Economic Research Working Papers.*, 2016.
- [42] S. Rehman, S. A. Khan et L. M. Ahlems, «Application of TOPSIS approach to multi-criteria selection of wind turbines for on-shore sites.,» 2020.
- [43] H. Majumder, S. K. Mishra, A. R. Sahu, A. L. Bavche, M. Valekar et B. K. Padaseti, Application of MOORA to optimize WEDM process parameters: a multi-criteria decision making approach., CRRM 2019–System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management: Applications to Civil, Mechanical and Chemical Engineering, 2020.
- [44] S. H. Rao , S. Kalvakolanu et C. Chakraborty, «Integration of ARAS and MOORA MCDM techniques for measuring the performance of private sector banks in India.,» *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2021.
- [45] M. D. Mančev, «Ranking the Libraries of the University of Niš Faculties Using the VIKOR Method/Le classement des bibliothèques des facultés de l'Université de Niš par la méthode VIKOR.,» *Canadian Journal of Information and Library Science*, 2014.
- [46] I. Chouba, *Optimisation des ressources dans les services hospitaliers (Thèse de doctorat)*, Troyes: université de technologie de Troyes, 2021.
- [47] S. Djeradi et I. F. ABDELHAFID, *Optimisation de la consommation des services dans le cloud vehiculaire (Mémoire de master)*, Université Amar Telidji Laghouat, 2016.
- [48] R. Yadav et H. H. Lee, «Ranking and selection of dental restorative composite materials using FAHP-FTOPSIS technique: An application of multi criteria decision making technique.,» *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2022.
- [49] T. Multazam , R. I. Putri , M. Pujiantara, A. Priyadi et P. M. Hery, *Wind farm site selection base on fuzzy analytic hierarchy process method; Case study area Nganjuk.*, International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 2016, July.
- [50] M. Ashrafzadeh, F. M. Rafiei, N. M. Isfahani et Z. Zare, «Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study.,» *Interdisciplinary journal of contemporary research in business*, 2012.

- [51] S. Belayachi, R. Briki et K. Amer, *Interprétations et analyses des paramètres pétrophysiques à partir des diagraphies différées par l'utilisation de l'IP dans le champ du Gassi El Agreb*, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [52] M. A. Benhamida et M. A. Bekkouche, *Interprétation et analyse des paramètres pétrophysiques à partir des diagraphies différées du réservoir gréseux dans les puits : HGA45, MD680, MD689, OML142.*, OUARGLA: UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.
- [53] E. & T. I. A. Aytaç Adalı, «The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem,» *Journal of Industrial Engineering International*, 2016.
- [54] B. Touzi, C. Farchi, F. Farchi et A. Mousrij, «Conception d'un nouveau système de mesure de performance durable pour le transport routier de Fret: Logique floue et Processus de réseau analytique.,» *International Journal of Economics and Management Research*, 2022.
- [55] B. M. Cherif, *Les méthodes multi-critères pour analyser les aptitudes des terres agricoles: le cas du blé tendre en Languedoc-Rousillon analysé avec la méthode AHP(mémoire de master)*, Université Paul-Valéry Montpellier., 2015.
- [56] R. Khemiri, *Développement d'une approche floue multicritères pour une planification intégrée couplant la gestion de la performance et du risque(thèse de doctorat)*, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 2017.

Résumé :

Ce mémoire explore l'application des MCDM dans le cadre de la prospection et de l'exploration pétrolière et gazière. Ce travail est divisé en deux parties, commençant par une présentation de l'industrie pétrolière et gazière, définissant étape par étape met en lumière l'importance des caractéristiques du réservoir pour une exploration non coûteuse et fiable, ainsi que l'importance de cette industrie dans l'économie mondiale et pour le PIB de l'Algérie. Ensuite, il présente un concept détaillé des MCDM en mentionnant les méthodes et leurs avantages et inconvénients. La deuxième partie se concentre sur l'application des méthodes AHP, TOPSSIS, VIKOR, SAW, MOORA, MULTIMOORA, MOSTRA et FUZZY AHP sur les alternatives. Chaque méthode est décrite en détail avec une illustration d'un tableau de calcul pour clarifier le processus. Les alternatives sont les puits de pétrole et de gaz de la région de HAUD BERKAOUI, basées sur les critères qui sont les caractéristiques des réservoirs de ces derniers. Après avoir rédigé une interprétation des résultats, il est crucial de souligner l'importance d'utiliser différentes méthodes. Cela garantit une analyse plus robuste et complète pour la prospection et l'exploration pétrolière. Le choix judicieux du puits à exploiter peut avoir une influence décisive sur le succès global des opérations d'exploration et de production pétrolière.

Mots clés : MCDM, l'industrie pétrolière, AHP, TOPSSIS, VIKOR, SAW, MOORA, MULTIMOORA, MOSTRA et FUZZY AHP.

Abstract:

This thesis explores the application of MCDM (Multi-Criteria Decision Making) methods in the context of oil and gas prospecting and exploration. The work is divided into two parts. The first part provides an overview of the oil and gas industry, detailing each step and highlighting the importance of reservoir characteristics for cost-effective and reliable exploration. It also emphasizes the significance of this industry to the global economy and Algeria's GDP. It then presents a detailed concept of MCDM, discussing various methods along with their advantages and disadvantages. The second part focuses on applying methods such as AHP, TOPSSIS, VIKOR, SAW, MOORA, MULTIMOORA, MOOSRA, and FUZZY AHP to evaluate alternatives. Each method is described in detail, with an illustrative calculation table to clarify the process. The alternatives are the oil and gas wells in the HAUD BERKAOUI region, based on criteria related to their reservoir characteristics. An interpretation of the results is provided, emphasizing the importance of using different methods. This approach ensures a more robust and comprehensive analysis for oil prospecting and exploration. The judicious selection of wells to exploit can have a decisive impact on the overall success of exploration and production operations.

Keywords: MCDM, oil and gas industry, AHP, TOPSSIS, VIKOR, SAW, MOORA, MULTIMOORA, MOOSRA, and FUZZY AHP

المخلص

يستكشف هذا البحث تطبيق طرق اتخاذ القرار متعدد المعايير (MCDM) في سياق التنقيب والاستكشاف النفطي والغازي. ينقسم العمل إلى جزئين، يبدأ بتقديم نظرة عامة على صناعة النفط والغاز، موضحة خطوة بخطوة أهمية خصائص الخزان لاستكشاف غير مكلف وموثوق، وكذلك أهمية هذه الصناعة للاقتصاد العالمي والنتائج المحلي الإجمالي للجزائر. ثم يقدم مفهوماً مفصلاً لطرق اتخاذ القرار متعدد المعايير، مشيراً إلى الأساليب المختلفة ومزاياها وعيوبها. يركز الجزء الثاني على تطبيق طرق مثل AHP، TOPSSIS، VIKOR، SAW، MOORA، MULTIMOORA، MOSTRA، وFUZZY AHP على البدائل. يتم وصف كل طريقة بالتفصيل مع توضيح لجدول حسابي لتوضيح العملية. البدائل هي آبار النفط والغاز في منطقة حوض بركاوي، بناءً على معايير تتعلق بخصائص خزاناتها. بعد صياغة تفسير للنتائج، من المهم التأكيد على أهمية استخدام طرق مختلفة. يتضمن هذا النهج تحليلاً أكثر قوة وشمولية لعمليات التنقيب والاستكشاف النفطي. يمكن للاختيار الحكيم للبئر المستغل أن يكون له تأثير حاسم على النجاح العام لعمليات الاستكشاف والإنتاج النفطي.

الكلمات الرئيسية:

MCDM، صناعة النفط، AHP، TOPSSIS، VIKOR، SAW، MOORA، MULTIMOORA، MOSTRA، FUZZY AHP