

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'hamed Bougara de Boumerdès

Faculté des Sciences

Département des Mathématiques



Mémoire de fin de cycle présenté

pour l'obtention du diplôme de master II

Recherche Opérationnelle

**Option : Recherche Opérationnelle, Optimisation et Management
Stratégique (ROOMS)**

Réalisé par : GABOUR Serine & ELKORICHI Chaima

Comparaison des méthodes de pondération pour l'aide multicritère à la décision

Application au choix d'un portefeuille de prospect : cas Sonatrach

Soutenu publiquement le 30/09/2021, devant le jury composé de :

Promotrice	M ^{me}	Drici.W	M.C.B	U.M.B.B.
Présidente	M ^{me}	Khoja.K	M.A.A	U.M.B.B.
Examinatrice	M ^{me}	Zouaoui.S	M.A.A	U.M.B.B.

Année Universitaire 2020 – 2021

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage, la santé et la patience qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours et d'accomplir ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements s'adressent à Madame W.Drici pour l'encadrement de ce mémoire et pour la confiance qu'elle nous a accordée, sa disponibilité et ses bons conseils.

Nous tenons tout particulièrement à remercier notre encadreur Mr.AZIZ HAOUA qui nous a proposé le présent sujet et nous a guider dans notre travail. Nous tenons le remercie aussi pour sa disponibilité et ses conseils durant la durée de notre projet.

Notre reconnaissance s'adresse particulièrement à monsieur Z.Amroune Chef du Département d'Études Économiques et Statistique et à toute son équipe pour leurs soutiens et gentillesse.

Un grand merci à nos familles surtout nos parents, qui nous ont aidé à suivre nos études dans les meilleures conditions et qui nous ont toujours soutenues et encouragé sans limite.

Notre sincère remerciement s'adresse à tout personnel de département "Mathématiques" spécialement notre chef de département Mr Y.Firani et nos enseignants .

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de Jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce modeste travail.

Enfin, nous n'oublions pas de remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

**GABOUR SERINE
ELKORICHI CHAIMA**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de mes efforts :

À ceux que j'aime le plus au monde mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements toute ma vie.

À mon père, qui était et sera toujours mon école exemplaire et mon essence de motivation.

À ma chère mère qui a fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Aucune phrase ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce qu'elle mérite pour tous les sacrifices qu'elle n'a cessé de me donner depuis ma naissance.

À mes très chers frères : ABDERAHIM et ZINEDDINE Qui m'ont toujours accordé leurs amours Et leurs sacrifices.

À ma chère amie et mon binôme CHAIMA , qui était toujours avec moi je te remercie infiniment, je te souhaite tout le bonheur dans ta vie.

À tous mes amis avec qui j'ai passé d'agréables moments.spécialement à ma meilleure amie WISSAM

À tous mes camarades de la promotion sortante 2021 Recherche Opérationnelle.

À tous ceux qui me sont chers.

Merci à tous.

SERINE

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père ABESS

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse mon adorable mère NADIA

A ma chère sœur GHANIA et son mari SAMI et ses beaux garçons ANES et IYAD

A ma chère sœur ASMAA et son mari REDA et son adorable fils RAYAN

A ma chère sœur KHADIDJA et son mari YACINE et ses beaux garçons NAZIM et ADEM

Mes sœurs n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur

A ma sœur ASSIA et ma petite MARIA

A ma cousine et ma sœur BOUCHERA.

A mes très chers frères IBRAHIM et BADIS

Sans oublier mon binôme et ma chère amie SERINE pour son soutien moral, Sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

À tous mes amis avec qui j'ai passé d'agréables moments YASMINE IMENE MARINA WISSAM NIHAD

*À tous mes camarades de la promotion sortante 2021
RechercheOpérationnelle.*

CHAIMA

Table des matières

Table des matières	7
Table des figures	8
Liste des tableaux	10
Introduction générale	11
1 Présentation de l'organisme d'accueil	13
1.1 Historique de SONATRACH	13
1.2 Macrostructure de la SONATRACH	14
1.2.1 La Direction générale	14
1.2.2 Les structures opérationnelles	14
1.2.3 Les structures fonctionnelles	15
1.2.4 Organigramme de la macrostructure de sonatrach	15
1.3 La division Exploration	16
1.3.1 Organisation de la Division Exploration	16
1.3.2 Les missions de La division Exploration	16
1.3.3 Objectifs de la Division Exploration	16
1.3.4 Organigramme de La division Exploration	16
1.4 Direction Planification	17
1.4.1 Missions et objectifs de la direction Planification	17
1.4.2 Organigramme de la Direction Planification	17

1.5	Généralités sur les hydrocarbures	18
1.5.1	Définition des hydrocarbures	18
1.5.2	Formation et migration des hydrocarbures	18
1.5.3	Le système pétrolier	19
1.5.4	Exploration des Hydrocarbures	19
1.6	Position du problème	21
1.6.1	Le Forage	21
1.6.2	Le projet	21
1.6.3	Prospect	21
1.6.4	Le Portefeuille	22
1.6.5	Problématique	23
2	L'Aide Multicritère à La Décision	24
2.1	Introduction	24
2.2	Problème monocritère et multicritère	25
2.3	Relations binaires	25
2.3.1	Relation d'équivalence	25
2.3.2	Relation d'ordre	26
2.4	Composantes d'un problème de décision	26
2.4.1	La décision, le décideur, l'analyste	26
2.4.2	Problématique d'approche multicritère d'aide à la décision	27
2.5	Modélisation des préférences	29
2.5.1	Représentation graphique d'une structure de préférence	30
2.5.2	Représentation matricielle d'une structure de préférence	30
2.6	Les seuils	31
2.6.1	Le seuil d'indifférence	31
2.6.2	Le seuil de préférence	31
2.6.3	Le seuil de veto	31
2.6.4	Espace des critères	31
2.6.5	Relation de dominance	31
2.6.6	Poid	31
2.6.7	Action	31
2.6.8	Critère et famille cohérente décrit	32
2.6.9	Action efficace	33
2.6.10	Le point idéal	33
2.6.11	le point anti-idéal	33
2.6.12	La matrice des gains	33
2.6.13	Le point nadir	33
2.7	Exemple d'application	34
2.8	Les étapes du processus d'aide à la décision	34
2.9	Tableau de performance	36
2.10	Relations de surclassement	36

2.11	Conclusion	36
3	Méthodes D'aide à La Décision	37
3.1	Introduction	37
3.2	Méthodes D'aide à La Décision MultiCritère	38
3.3	Les méthodes de pondération	38
3.3.1	Méthodes de pondération subjective	38
3.3.2	Méthodes de pondération objective	44
3.4	Les méthodes d'aide à la décision multicritère	51
3.4.1	La méthode ELECTRE I	51
3.4.2	La méthode VIKOR :Optimisation multicritère & solution de compromis	54
3.4.3	La méthode TOPSIS :Technique for Order by Similarity to Ideal Solution .	58
3.5	Conclusion	60
4	Modélisation & Résolution du problème	61
4.1	Introduction	61
4.2	Quelques étapes-clé dans la phase de modélisation	61
4.3	Présentation du problème	62
4.4	L'ensemble Des Actions	62
4.5	L'ensemble Des critères	62
4.6	Table de syntèse de l'entreprise SONATRACH	65
4.7	Matrice de décision	66
4.8	Choix d'une méthode d'aide à la décision multicritère	67
4.9	Application des méthodes de pondération	67
4.9.1	Résolution avec la méthode ROC	67
4.9.2	Résolution avec la méthode RS	67
4.9.3	Résolution avec la méthode d'entropie	68
4.9.4	Résolution avec la méthode CRITIC	69
4.9.5	Résolution avec la méthode SD	71
4.10	Application des méthodes d'Aide à la Décision Multicritère	72
4.10.1	La méthode de résolution de l'entreprise Sonatrach	72
4.10.2	Résolution avec la méthode VIKOR	75
4.10.3	Résolution avec la méthode TOPSIS	81
4.11	Comparaison des Résultats	90
4.12	Discussion des Résultats	92
4.13	Conclusion	92

5	Implementation	93
5.1	Introduction	93
5.1.1	Choix du langage	93
5.2	Présentation de l'application	94
5.2.1	Généralités sur le langage MATLAB	94
5.2.2	Programmation avec MATLAB	94
5.3	Résolution avec MATLAB	95
5.3.1	Présentation de l'interface	95
5.3.2	Les étapes suivies dans l'implémentation	95
5.3.3	Description de l'application	96
5.4	Conclusion	100
6	Conclusion générale	101
	Bibliographie	103

Table des figures

1.1	Organigramme de la macrostructure de Sonatrach	15
1.2	Organigramme de la division exploration	16
1.3	Organigramme de la direction Planification	17
1.4	Étape de formation et migration des hydrocarbures	18
1.5	Processus d'exploration des hydrocarbures	20
1.6	Étapes d'exploration des hydrocarbures	22
2.1	Problématique de choix " P_α "	27
2.2	Problématique de tri ou d'affectation " P_β "	27
2.3	Problématique de rangement " P_γ "	28
2.4	Problématique de description " P_δ "	28
2.5	Représentation graphique d'une structure de préférence	30
2.6	Chaînes HiFi	34
3.1	Les étapes de la méthode VIKOR	55
4.1	Synthèse des résultats économiques par projet	65
5.1	MATLAB	94
5.2	Utilisateur-Application	95
5.3	La page d'accueil	96
5.4	La fenêtre close	96
5.5	L'espace de données 1	97
5.6	L'espace de données 2	97
5.7	L'espace de données 3	98
5.8	Les méthodes de pondération 1	98
5.9	Les méthodes de pondération 2	99

5.10	Les méthodes de classement 1	99
5.11	Les méthodes de classement 2	100

Liste des tableaux

2.3	Modèle de préférence	29
2.4	Tableau de performance	36
3.2	Échelle de Saaty de la méthode AHP	38
3.4	Indice de cohérence aléatoire	40
4.1	La matrice de décision	66
4.2	Les préférences des critères	67
4.3	La matrice normalisé d'entropie	68
4.4	Matrice normalisé de CRITIC	69
4.5	La matrice normalisé de SD	71
4.6	Classement des alternatives	74
4.7	Les valeurs S_i & R_i & Q_i	75
4.8	Les valeurs S_i & R_i & Q_i	77
4.9	Les valeurs S_i & R_i & Q_i	79
4.10	La matrice normalisé par TOPSIS	81
4.11	Classement finale	83
4.12	La matrice normaliser par RS	84
4.13	Classement final	86
4.14	La matrice normaliser	87
4.15	Classement final	89
4.16	Tableau récapitulatif des résultats obtenus avec les six méthodes appliquées au problème de l'entreprise Sonatrach	90
4.17	Les ressources des projets (TEB)	91
4.18	Les investissements des projets (\$)	91

Introduction générale

L'histoire du pétrole en Algérie a commencé suite aux observations d'indices d'hydrocarbures observés en surface au Nord de l'Algérie. Les premiers travaux d'exploration y furent entamés dès la fin des années 1880.

Vu l'intérêt vital porté au pétrole après la seconde guerre mondiale, la prospection s'est intensifiée. La production des hydrocarbures a joué un rôle prépondérant dans l'économie de l'Algérie indépendante.

Pour construire un état moderne, le pays s'est appuyé sur ses ressources en pétrole et en gaz qui lui ont permis de s'enrichir. L'exploration d'hydrocarbures continue à être source principale de recettes pour le pays.

Pour avoir du pétrole, il faut d'abord faire de l'exploration, c'est-à-dire la recherche des endroits où la topographie du sous-sol permet de piéger l'or noir et donc de rechercher les gisements d'hydrocarbures qui seront ensuite exploités.

Pour atteindre ses objectifs, l'Etat donne une grande importance pour le domaine d'exploration qui est assuré par la société SONATRACH qui est la plus grande société en Algérie et un des plus grands groupes pétroliers au monde.

Afin d'optimiser la recherche des hydrocarbures, SONATRACH a mis en place une division spécialisée dans ce domaine, appelée division « exploration », qui maîtrise toutes les techniques associées à ce domaine.

Les équipes de la division exploration sont très souvent appelées à apprécier de nombreux projets d'exploration des hydrocarbures et à choisir ceux qui sont susceptibles de satisfaire au mieux les objectifs de l'entreprise.

Cette étape constitue sans doute la partie la plus délicate du processus de décision qui doit aboutir à l'acceptation ou au rejet d'une ou de plusieurs propositions. Pour cela l'introduction des outils décisionnels (que la recherche opérationnelle puisse fournir) devient une nécessité.

L'objectif de notre étude est d'élaborer un outil d'aide multicritère à la décision dans le domaine de la hiérarchisation des projets de la Sonatrach ensuite de faire une simulation pour évaluer leurs performances permettant d'adopter la meilleure méthode. Pour réaliser cette étude, nous suivrons le plan de travail suivant :

Dans le premier chapitre, nous présentons, dans sa première partie, la société Sonatrach, et ses différentes divisions, ainsi que la division qui nous a proposé le sujet d'étude, la deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la présentation du problème.

Le deuxième chapitre portera sur les concepts théoriques de l'aide à la décision multicritère.

Le troisième chapitre est consacré à l'exposition des différentes méthodes de pondération de des méthodes de résolution d'aide à la décision multicritère .

Le quatrième chapitre présentera la modélisation détaillée du problème et décrira la méthode détaillée pour résoudre le problème à travers l'analyse des résultats obtenus.

Le cinquième et dernier chapitre est réservé à la présentation et à l'implémentation des méthode de résolution adaptées pour notre problème ,avec une description de l'application élaborée.

Enfin, nous concluons cette étude par une conclusion générale sur le contenu qui a été développé.

1. Présentation de l'organisme d'accueil

1.1 Historique de SONATRACH



SONATRACH est une entreprise nationale de dimension internationale et d'un poids économique considérable pour l'économie algérienne [1].

Au lendemain de l'indépendance, l'Etat Algérien a pris la décision de s'approprier ses richesses pétrolières et gazières, et de se doter d'un instrument de développement réunissant toutes les conditions de sa souveraineté, par la création de la SONATRACH (Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures), le 31/12/1963 par le décret N° 63/491 paru dans le journal officiel le 10/01/1964.

En 1965, la SONATRACH a pu réaliser son premier défi qui était de concevoir et de poser le premier pipeline Algérien reliant le champ de HAOUUD EL HAMRA- ARZEW d'un diamètre de 28 pouces et d'une longueur de 801 Km.

Le 22 Septembre 1966, le décret N° 66/296 a redéfini la nouvelle mission de SONATRACH pour devenir "société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des Hydrocarbures".

A l'orée des années 80, Sonatrach s'est engagée selon un plan quinquennal dans un nouveau processus de restructuration étendue, qui a abouti à la création de 17 entreprises telles que NAFTAL, GCB, ENTP, ENAC.

Aujourd'hui Sonatrach a consenti des efforts considérables : en exploration, développement et exploitation de gisements, en infrastructures d'acheminement des hydrocarbures, en usines de liquéfaction de gaz naturel et en méthaniers.

SONATRACH, qui est en tête des compagnies pétrolières en Afrique, pointe au 12ème rang mondial, et par ailleurs le deuxième exportateur de GNL (gaz naturel liquéfié) et de GPL (gaz de pétrole liquéfié) et le troisième exportateur de gaz naturel au monde.

1.2 Macrostructure de la SONATRACH

La macrostructure de la sonatrach a été modifiée et présentée le 30 Janvier 2006 , suite à l'adoption et à l'application de la loi 05-07. Elle s'articule autour des structures suivantes :

- La Direction générale.
- Les Structures opérationnelles.
- Les Structures fonctionnelles.

1.2.1 La Direction générale

Elle est assurée par le Président Directeur Général, assisté par :

- Un comité Exécutif.
- Un Secrétaire Général.
- Un cabinet.

La Direction Générale est dotée des autres comités suivants :

- Le Comité d'Examen des Projets (CEP).
- Le Comité de Coordination des Projets Internationaux (CPI).
- Le Comité d'Ethique.
- Le service Sureté Interne d'Établissement (SIE).

1.2.2 Les structures opérationnelles

Chaque activité exerce ses métiers, développe son portefeuille d'affaires et contribue dans son domaine de compétences, au développement des activités internationales de la Société. Chaque activité est placée sous l'autorité directe d'un vice-président .

Les structures opérationnelles sont organisées comme suit :

- L'Activité Exploration-Production (EP) a pour mission la recherche, le développement, l'exploitation et la production des hydrocarbures.
- L'Activité Transport par Canalisation (TRC) a pour missions de développer le réseau d'infrastructures de Transport des hydrocarbures depuis les pôles de production au sud vers les pôles de demande et de transformation au nord (marché national et exportation).
- L'Activité Liquéfaction-Séparation (LQS) a pour mission la transformation des hydrocarbures par la liquéfaction du gaz naturel et la séparation des GPL.
- L'Activité Raffinage et Pétrochimie (RPC) a pour mission essentielle l'exploitation et la gestion de l'outil de production du Raffinage et de la Pétrochimie.
- L'Activité Commercialisation(COM) a pour mission de veiller aux approvisionnements énergétiques du marché national.

1.2.3 Les structures fonctionnelles

Elaborent et veillent à l'application des politiques et stratégies du groupe, elles sont organisées en plusieurs directions :

- ➔ La Direction Communication (CMN).
- ➔ La Direction Corporate Stratégie.
- ➔ La Direction Corporate Finances (FIN).
- ➔ La Direction Corporate Business Development et Marketing (BDM).
- ➔ La Direction Corporate Ressources humaines (RHU).
- ➔ La Direction Centrale Procurement Logistique (P & L).
- ➔ La Direction Centrale Ressources Nouvelles (R & N).
- ➔ La Direction Centrale Engineering & Project Management (EPM).
- ➔ La Direction Centrale juridique (JUR).
- ➔ La Direction Centrale Digitalisation et Système d'information (DSI).
- ➔ La Direction Centrale Santé, Sécurité et Environnement (HSE).
- ➔ La Direction Centrale de la Recherche et du Développement (R & D).

1.2.4 Organigramme de la macrostructure de sonatrach

La macrostructure de la société Sonatrach est schématisée par l'organigramme suivant :

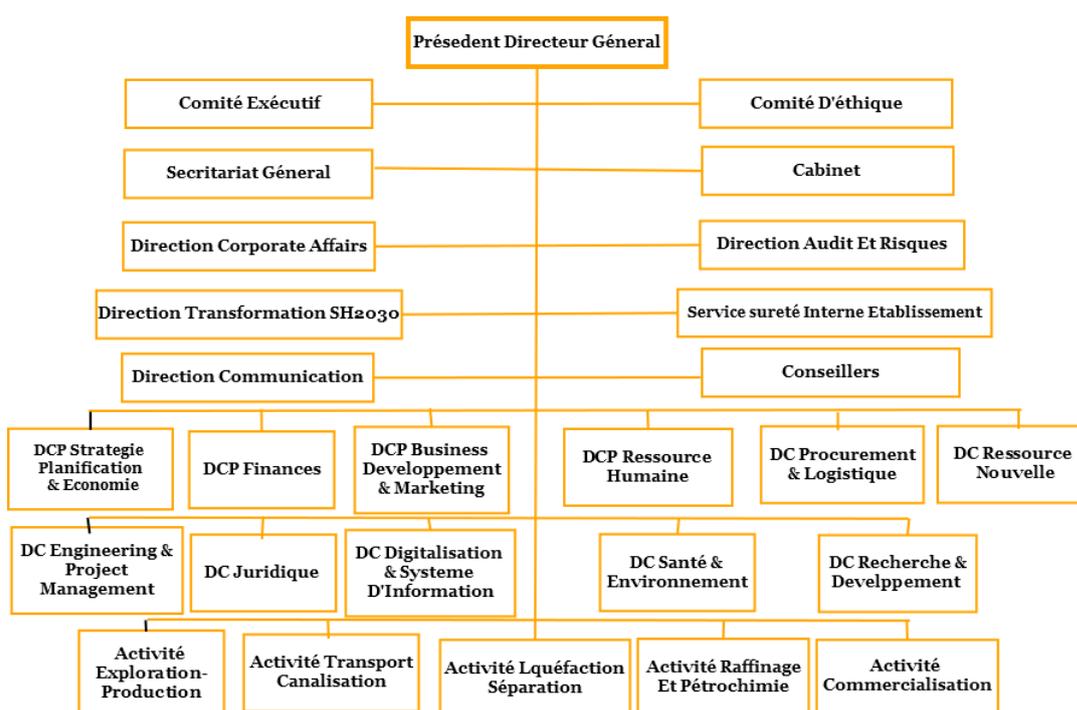


FIGURE 1.1: Organigramme de la macrostructure de Sonatrach

1.3 La division Exploration

1.3.1 Organisation de la Division Exploration

En octobre 1972, la direction exploration s'est vue confiée la mission de recherche sous l'autorité de la division hydrocarbure.

La Division Exploration fait partie de l'activité EP (exploration, production), après 1987, la direction exploration est élevée au rang de division.

1.3.2 Les missions de La division Exploration

- Conduire et développer les activités de prospection et de recherche des hydrocarbures
- La préparation, l'établissement et la recommandation des programmes techniques d'exploration à long, moyen et court terme.
- L'élaboration des plans annuels, le suivi et le control de leur exécution.
- Le développement et la conduite des études de prospection, de recherche et l'analyse en matière de géologie, géophysique et forage.
- Mettre en œuvre la stratégie de la société en matière d'exploration.
- Le développement d'expertise spécifique dans le domaine des études d'exploration.
- Reconstituer les réserves nationales.

1.3.3 Objectifs de la Division Exploration

- La mise en évidence des nouveaux gisements et la réévaluation des gisements déjà découverts
- Le traitement des données et la tenue à jour d'une banque de données en vue d'actualiser la connaissance du sous-sol algérien
- La réduction du coût du baril découvert.

1.3.4 Organigramme de La division Exploration

La macrostructure de la division exploration est schématisée par l'organigramme suivant :

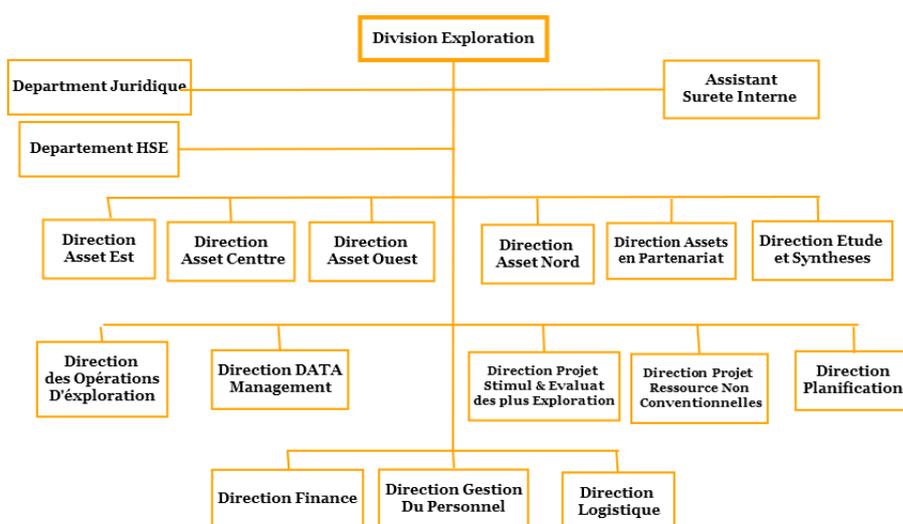


FIGURE 1.2: Organigramme de la division exploration

1.4 Direction Planification

La direction Planification est chargée de l'élaboration et le développement à moyen et long terme et d'évaluer leur mise en œuvre.

1.4.1 Missions et objectifs de la direction Planification

- La mise en œuvre des orientations stratégiques et directives arrêtées par le management en matière d'élaboration des plans et budgets.
- L'élaboration des projets de plans à court et moyen termes en collaboration avec les structures concernées et leur diffusion au sein de la Division.
- L'analyse et l'évaluation des programmes d'activités et des budgets proposés.
- Le suivi de la réalisation des plans et budgets arrêtés.
- L'établissement des bilans d'exécution des plans.
- La réalisation de toute évaluation technico-économique des projets d'exploration et Asset, en effort propre de SONATRACH.
- La consolidation et le reporting requis par le management et par les autorités compétentes conformément au nouveau cadre législatif.

1.4.2 Organigramme de la Direction Planification

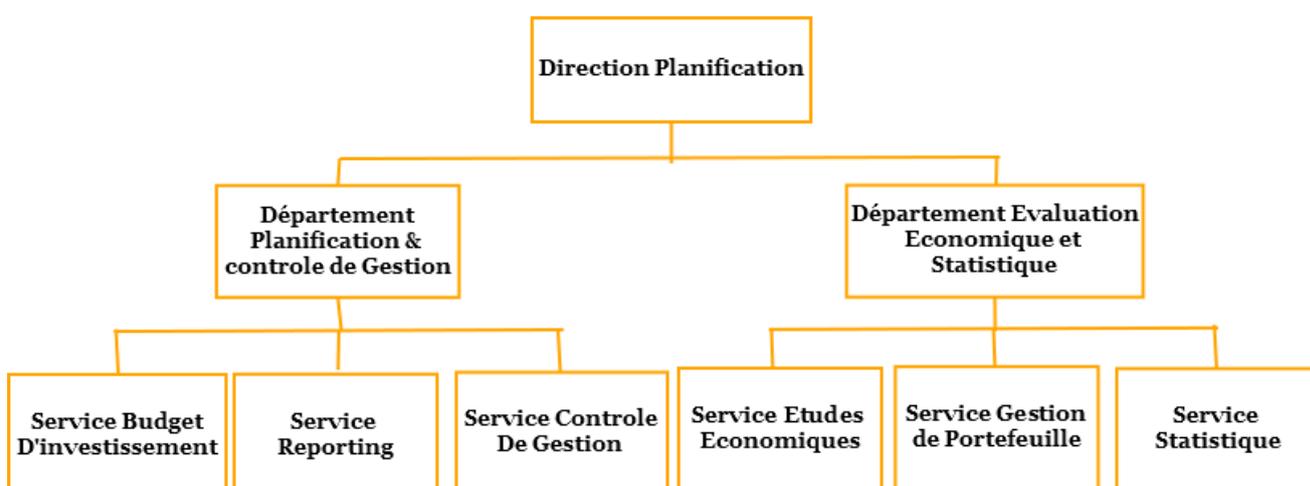


FIGURE 1.3: Organigramme de la direction Planification

1.5 Généralités sur les hydrocarbures

1.5.1 Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures notés HC sont des composés organiques contenant essentiellement des atomes de Carbone (C) et d'Hydrogène (H). Ils possèdent une formule brute de type : C_nH_m où n et m sont des entiers naturels.

1.5.2 Formation et migration des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des combustibles fossiles formés il ya 50 à 300 millions d'années, selon les caractéristiques du bassin sédimentaire, suite à la décomposition d'organismes marins déposés au sein d'un sédiment généralement argileux (roche mère) au fond du bassin il y a environ 600 millions d'années.

Ces organismes morts, se transforment en matière organique. Cette dernière évoluera en kérogène, une sorte de pétrole solide qui, à une température de 60° à 100 °C, donne naissance au pétrole liquide puis au gaz quand la température atteint les 120°-150° C.

Avec l'augmentation de la pression au sein de la roche mère, les hydrocarbures générés étant moins denses que l'eau et la roche encaissante, cette dernière les expulse (migration primaire) vers les réservoirs situés plus hauts à travers des voies ou chemins de migration (migration secondaire).

Lors de la migration secondaire, les hydrocarbures peuvent voyager sur de longues distances (jusqu'à des centaines de kilomètres) pour atteindre leur destination finale (le piège) où ils s'accumuleront pour former les gisements que nous découvrons et exploitons aujourd'hui [2].

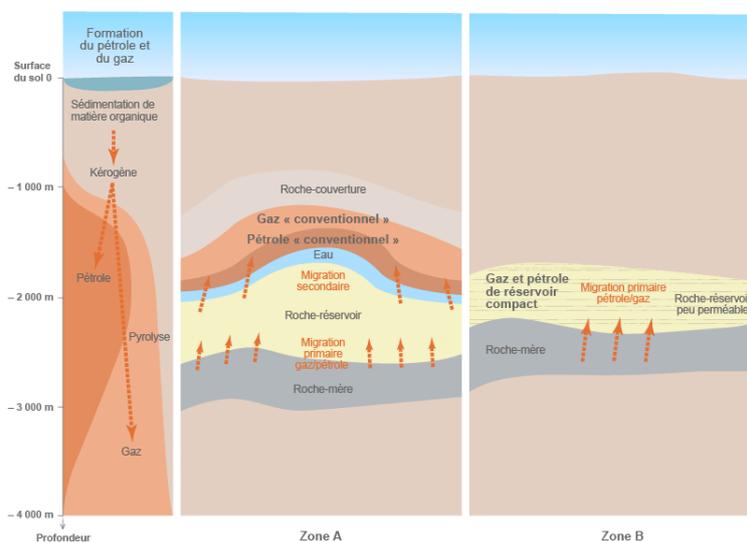


FIGURE 1.4: Étape de formation et migration des hydrocarbures

1.5.3 Le système pétrolier

Le système pétrolier désigne la combinaison de facteurs géologiques majeurs qui ont permis d'obtenir l'accumulation d'hydrocarbures.

Les explorateurs attribuent à chaque événement sa probabilité d'occurrence dans la nature. Alors, la probabilité d'existence des hydrocarbures est calculée par la combinaison des probabilités des événements y contribuant.

Ces événements sont :

- L'existence d'une roche mère riche en matière organique susceptible de produire des hydrocarbures.
- La migration des hydrocarbures avec ses deux type : primaire et secondaire.
- L'existence d'une roche réservoir présentant de bonnes caractéristiques : porosité, perméabilité lui permettant de contenir les hydrocarbures ainsi que leur circulation.
- La présence d'une roche couverture imperméable surmontant le réservoir afin de faire barrière aux mouvements ascendants des fluides. L'ensemble roche réservoir et roche couverture forme un piège.
- Le timing, la chronologie des événements géologiques, qui doit être favorable pour l'accumulation des hydrocarbures. Il se trouve parfois que le piège se ferme avant que les hydrocarbures n'aient migré.

C'est l'occurrence de chacun de ces événements individuels que les explorateurs tentent d'évaluer, lors de la prospection pétrolière, afin d'évaluer les chances de rencontrer une accumulation d'hydrocarbures dans un endroit précis du sous-sol.

1.5.4 Exploration des Hydrocarbures

La première étape du processus d'exploration-production consiste, bien entendu, à rechercher les gisements d'hydrocarbures qui seront ensuite exploités, si les conditions technico-économiques permettent.

L'activité exploration se fixe comme objectifs la définition des endroits susceptibles de contenir des hydrocarbures grâce à des éléments ou à des informations collectées par les géologues et les géophysiciens, se présente par :

Activité Géologique

C'est la première étape qui permet de repérer les zones sédimentaires méritant d'être étudiées (plissements, failles). Les géologues s'interrogent sur un certain nombre de point pour l'identification des régions potentiellement prolifères, à savoir :

- La stratigraphie et la structure de la région .
- Le système pétrolier (Roche mère , réservoirs ,couverture ...).
- Étude du potentiel des Roches à produire des hydrocarbures .

Activité géophysique

Après le repérage de zones favorables depuis la surface par les géologues, c'est au tour des géophysiciens d'explorer le sous-sol, il s'agit essentiellement d'accumuler des données sismiques riche en informations grâce à une sorte d'échographie du sous-sol ou sismique réflexion. En effet, un vibreur pneumatique (camion vibreur) sorte d'engin produisant un choc ou des vibrations sonore ébranlant le sol, à l'aide de puissant logiciels les signaux des échos recueillies seront ensuite traité, on obtient ainsi une radiographie 2D ou 3D des structures des couches en profondeur.

Le forage

Le forage est l'étape ultime et l'arbitre suprême du processus d'exploitation.

La connaissance du sous-sol, acquise grâce aux études géologiques et géophysiques, permet d'évaluer globalement l'intérêt d'un prospect, mais ne donne pas la possibilité d'affirmer que le gisement pressenti existe bien.

Grâce au forage, on apporte la certitude. Il fournit aux explorateurs diverses informations précieuses sur la lithologie et les fluides [3].

Aujourd'hui la notion de prise de décision a tendance à être de plus en plus formalisée.

La figure suivante montre le cheminement que suit l'entreprise algérienne des hydrocarbures pour la prise de décision de forage. Il s'agit d'une succession d'étapes élémentaires pour assurer une meilleure adéquation à la stratégie de l'entreprise et optimisation de la décision.

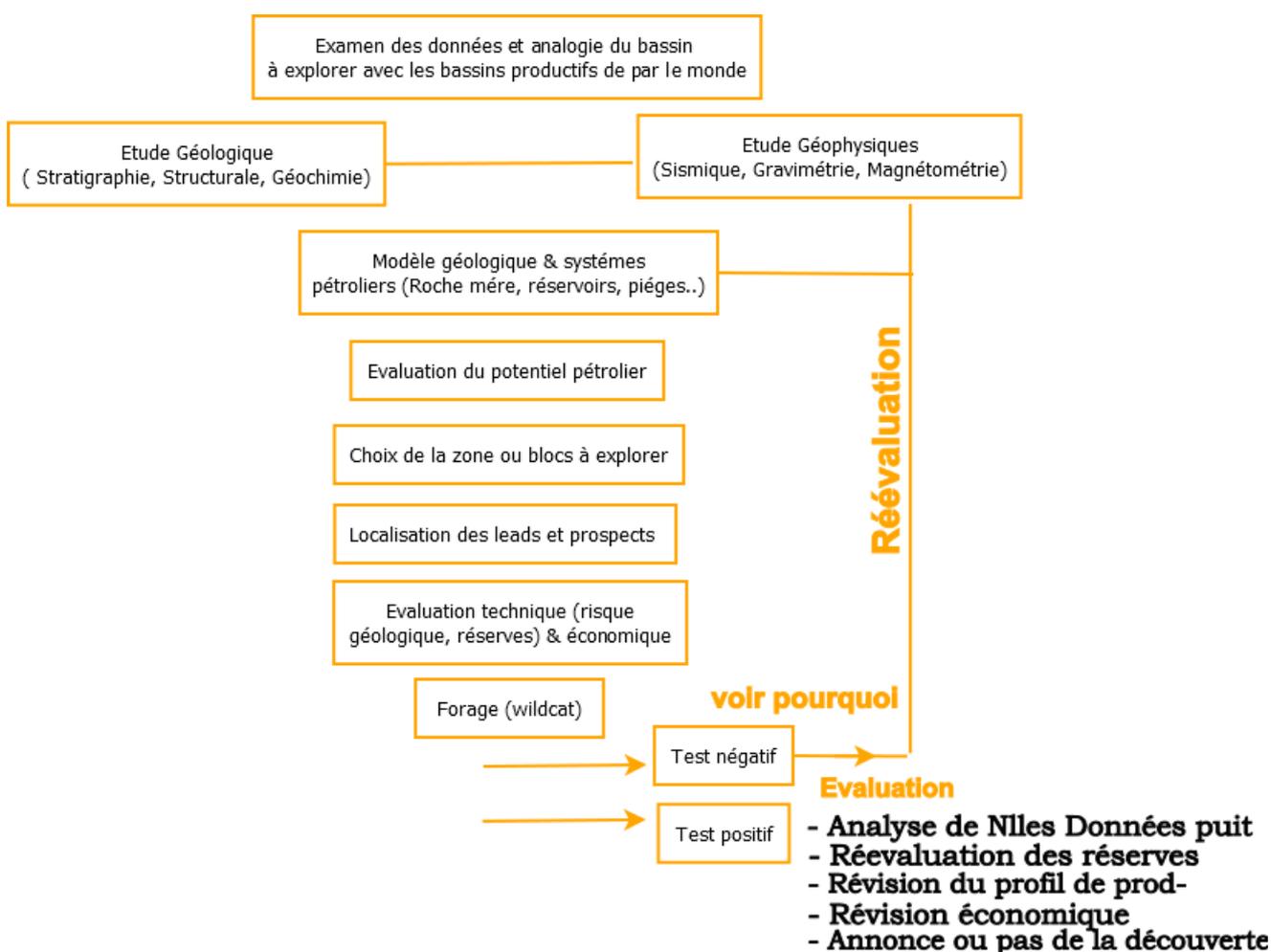


FIGURE 1.5: Processus d'exploration des hydrocarbures

1.6 Position du problème

Les activités d'Amont pétrolière peuvent être regroupées en trois phases principales : l'exploration, le développement et la production.

L'exploration de pétrole ne se fait pas au hasard, et la présence du pétrole ne garantit pas son exploitation, pour cela, les études géologiques et géophysiques sont menées pour cartographier et définir les opportunités dans la région étudiée, et peuvent inclure le forage d'un ou plusieurs puits d'exploration.

Si la phase exploration est réussie et que l'entreprise souhaite poursuivre le projet, les phases de développement et de la production vont se poursuivre.

La prise de décisions d'investissement dans la phase d'exploration est basée sur un contexte d'incertitude plus élevé où chaque décision d'exploration implique à la fois des considérations de risque sur les projets qu'il soit technique ou économique. De plus, les projets présentent des aspects subjectifs et une synergie entre les différents projets du portefeuille. Ainsi, une analyse distincte est nécessaire pour une sélection exergue d'un portefeuille optimal, afin d'atteindre les objectifs spécifiques et stratégiques fixés par l'entreprise.

La compréhension de ce domaine nécessite l'introduction de quelques notions :

1.6.1 Le Forage

Un forage consiste à creuser un trou qui atteint le plus souvent deux à quatre mille mètres de profondeur dans le sous-sol grâce à une machine adaptée. L'objectif d'un forage peut être l'exploration (collecte d'informations directes sur le sous-sol, recherche d'hydrocarbures, reconnaissance d'aquifères...) ou l'exploitation (production de pétrole, de gaz, d'eau...).

Le coût du forage d'exploration est de 500 000 euros à terre. Cette étape qui dure de 2 à 6 mois est la plus lourde dans le budget d'exploration : 60 % en moyenne.

1.6.2 Le projet

On appelle projet un ensemble d'activités organisées en phases ou étapes et formant l'unité de gestion permettant la réalisation d'un objectif défini et précis.

Le succès ou l'échec d'un projet peut nuire à d'autres interprétations géologiques et techniques, à la probabilité de succès. Cette possibilité est différente des considérations de risque dans la théorie du portefeuille financier.

Dans notre cas un projet représente un prospect.

1.6.3 Prospect

Les prospects sont des gisements potentiels d'hydrocarbures. L'objectif des ingénieurs est de les localiser, de définir leur géométrie et les volumes de pétrole et de gaz qu'ils pourraient contenir, ainsi que la probabilité de découvrir ces mêmes volumes.

On peut citer les étapes du modèle classique d'exploration pétrolière et gazière, à savoir la mise en évidence d'une zone pétrolière (play), qui devient une zone prospective (lead) puis une zone d'intérêt (prospect).

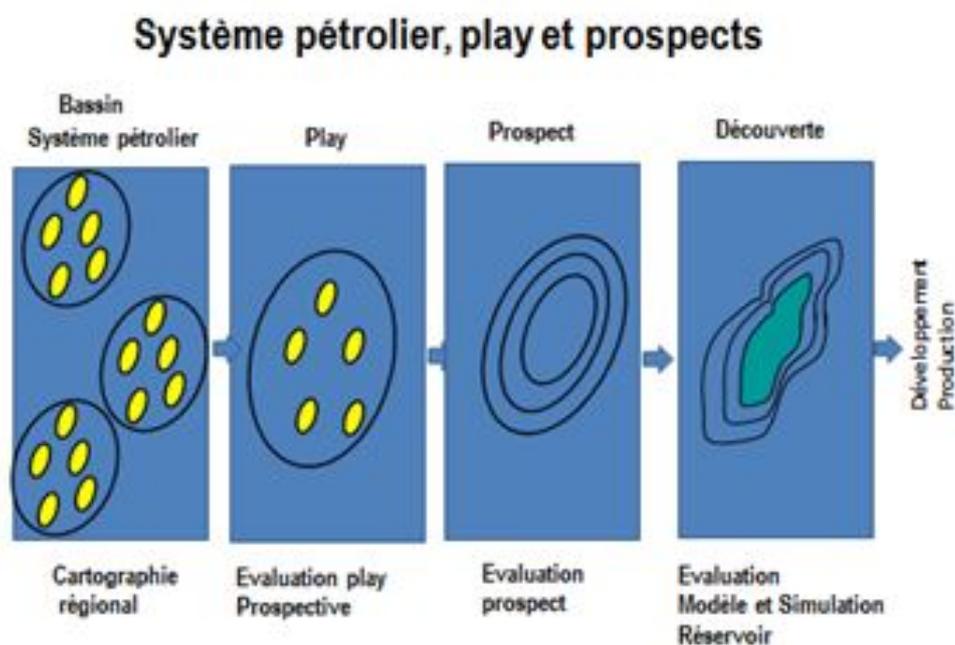


FIGURE 1.6: Etapes d'exploration des hydrocarbures

Catégorisation des prospects

- ➔ La catégorie A (Near Field) : Mobilisation rapide de réserves en profitant des installations existantes.
- ➔ La catégorie B (Near Infrastructure) : Mobilisation rapide de réserves en profitant des installations existantes et basé sur un nouveau concept de play (nouveaux réservoirs, etc).
- ➔ La catégorie C (Emerging Play) : Génération de nouveaux projets dans des bassins émergents.
- ➔ La catégorie D (New Concept) : Générer des opportunités dans de nouveaux bassins et alimentation du pipe de projets (Ouverture de nouvelles provinces).

Système pétrolier	Type de play	Type de réservoir	Type de piège	Catégorie
Prouvé	Exploré et développé	Conventionnel	Structural	A
Prouvé	Exploré et développé	Tight	Stratigraphique	B
Prouvé	Exploré et non développé	Conventionnel	Structural	C
Non prouvé	inexploré	Conventionnel	Structural	D

1.6.4 Le Portefeuille

Un portefeuille est un ensemble homogène de ressources ou d'actifs. Ces ressources peuvent être de toutes sortes : produits financiers, immeubles, machines terrains, matières premières, brevets, compétences et évidemment dans le cadre de notre étude, des projets d'exploration en amont pétrolière.

Dans cette perspective, un portefeuille est composé de projets ou même de programmes visant l'atteinte de différents objectifs. Le portefeuille représente en quelque sorte, les plans futurs d'une entité ainsi que les investissements qui vont être réalisés [4].

La Selection Du Portefeuille

Le concept moderne de diversification des risques et de sélection et hiérarchisation des portefeuilles est attribué à Harry Markowitz [5].

Selon Markowitz [5], le risque d'un portefeuille ne dépend pas seulement de chaque élément et de sa participation à l'investissement total, mais aussi de la manière dont ses composants sont liés les uns aux autres.

C'est la principale préoccupation face au problème du portefeuille.

En termes généraux, un problème de portefeuille consiste à sélectionner un ou plusieurs éléments parmi un ensemble d'éléments possibles, sous certaines contraintes, qui limitent la possibilité de sélectionner des éléments.

1.6.5 Problématique

La problématique de cette recherche est de proposer des méthodes de pondération de plusieurs critères, autre que la méthode utilisée par SONATRACH (ROC) pour classer et sélectionner un meilleur portefeuille de projets d'exploration pétrolière et gazière, et de faire une simulation pour évaluer leurs performances permettant d'adopter la meilleure méthode.

Cette multiplicité d'objectif nous pousse impérativement à faire appel à l'aide à la décision multicritère et par conséquent de mettre à la disposition des décideurs les techniques de la recherche opérationnelle pour les aider dans leurs choix.

2. L'Aide Multicritère à La Décision

2.1 Introduction

L'aide multicritère à la décision est un nouveau monde de concepts, d'approches, de modèles et de méthodes qui visent à aider le gestionnaire (le décideur) à décrire, évaluer, ranger, choisir ou rejeter un ensemble d'actions, pouvant être exercées sur des candidats (critères), des produits ou des projets. Cet exercice est basé sur l'évaluation à l'aide de notes (scores), de valeurs (poid), d'intensité de préférence, en fonction d'un ensemble de critères.

Ces derniers peuvent représenter divers aspects tels que : les objectifs, les buts, les cibles, les valeurs de préférence, les degrés d'aspiration et les fonctions d'utilité.

Bernard Roy [6] définit l'aide à la décision comme étant "l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités, mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer" .

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser aux outils méthodologiques qui seront utilisés dans la démarche d'aide multicritère à la décision constituant la base de la résolution de notre problème.

2.2 Problème monocritère et multicritère

On définit un problème décisionnel comme monocritère lorsque la prise de décision se base sur un seul critère (objectif ou fonction économique à optimiser dans la programmation linéaire par exemple). Donc un problème monocritères est mathématiquement défini comme suit :

$$\max\{g(a) \mid a \in A\}$$

Où :

A : est un ensemble d'actions potentielles.

g : est le critère d'évaluation.

Dès que le décideur prend en compte la complexité de la réalité et se base sur plusieurs critères, de son point de vue, le problème devient alors multicritère. Ces critères sont généralement conflictuels et antagonistes, il n'est plus question de chercher une solution optimale, mais il s'agit alors de construire ou de calculer une solution satisfaisante de consensus [7].

Les problèmes multicritères consiste à identifier une solution de compromis en optimisant tous les critères. L'approche multicritère œuvre à réaliser des arbitrages pour parvenir à des solutions de compromis et apporte un échange et des explications à une catégorie de problèmes où :

- Plusieurs critères quantitatifs et qualitatifs sont pris en considération.
- Ces critères sont généralement conflictuels.
- Ces critères sont généralement considérés d'inégale importance.

Un problème multicritère est mathématiquement défini comme suit :

$$\max\{g_1, g_2, \dots, g_k \mid a \in A\}$$

Où :

A : un ensemble d'actions potentielles.

($g_j, j = 1, 2, 3, \dots, k$) : un ensemble de critères d'évaluation.

Notons la possibilité de considérer certains critères à maximiser et d'autres à minimiser.

Les problèmes multicritère sont d'une importance dans la majorité des problèmes économiques, industriels, politiques, financiers . . . etc [8].

2.3 Relations binaires

2.3.1 Relation d'équivalence

Une relation binaire R (relation entre deux éléments) définie sur un ensemble A est une relation d'équivalence si cette relation est :

- Réflexive : $\forall x \in A, xRx$.
- Symétrique : $\forall (x, y) \in A * A, xRy \Rightarrow yRx$.
- Transitive : $\forall (x, y, z) \in A * A * A, xRy \text{ et } yRz \Rightarrow xRz$.

Cette relation peut être créée dans l'objectif de rechercher la meilleure alternative parmi un ensemble d'alternatives ou définir un préordre sur cet ensemble d'alternatives.

2.3.2 Relation d'ordre

Une relation binaire R définie sur un ensemble A est une relation d'ordre si cette relation est :

- Réflexive : $\forall x \in A, xRx$.
- Antisymétrique : $\forall (x, y) \in A \times A, xRy \text{ et } yRx \Rightarrow x = y$.
- Transitive : $\forall (x, y, z) \in A \times A \times A, xRy \text{ et } yRz \Rightarrow xRz$.

En fonction de la problématique à traiter, la relation d'ordre peut être construite dans le but d'effectuer un classement d'alternatives ou définir un ordre sur l'ensemble d'alternatives.

À partir de ces relations de comparaison (relations de préférences), les éléments de l'ensemble sur lequel se font les comparaisons sont ordonnés [9] :

- ❖ **Préordre** : un préordre est une relation réflexive et transitive :
 - ➔ **Préordre total** : est une relation de préordre pour laquelle tous les éléments d'un ensemble peuvent être mis en relation. Dans ce cas, l'incomparabilité entre deux éléments n'est pas permise.
 - ➔ **Préordre partiel** : est une relation de préordre pour laquelle certains éléments d'un ensemble ne peuvent pas être mis en relation. l'incomparabilité entre deux éléments est autorisée.
- ❖ **Ordre** : est un préordre antisymétrique.

2.4 Composantes d'un problème de décision

2.4.1 La décision, le décideur, l'analyste

👉 La décision :

Est définie comme un choix entre plusieurs alternatives. Elle concerne aussi le processus de sélection de buts et d'alternatives [10].

Une décision est une action qui est prise pour faire face à une difficulté, c'est à dire, pour résoudre un problème qui se pose à l'individu ou à l'organisation [11].

👉 Le décideur :

Un décideur est un individu (ou un groupe d'individus) qui face à une situation de décision, a la responsabilité d'évaluer les différentes alternatives possibles afin de proposer ou de mettre en oeuvre une solution (ou des solutions).

Une des tâches importantes du décideur est de se dévoiler ses jugements personnels, de s'en convaincre lui-même, et de décider [12].

👉 L'analyste :

L'analyste c'est le responsable de la définition du modèle de décision, de la conduite du processus de décision, et de la présentation des résultats au décideur. Les activités de l'analyste concernent donc la formulation et l'analyse qualitative et quantitative du problème.

L'interaction entre l'analyste et le décideur est une caractéristique intrinsèque au processus de décision. Le niveau de cette interaction dépend généralement du niveau de connaissance du décideur, de sa volonté à participer au processus, de la règle de décision à appliquer et de la nature du problème [13].

La participation minimale, que l'analyste requiert du décideur, concerne le choix de la technique à appliquer, l'évaluation des priorités des critères du problème étudié, et la post-analyse de la solution présenté par l'analyste.

2.4.2 Problématique d'approche multicritère d'aide à la décision

Les problèmes réels peuvent être formulés à l'aide des méthodes d'analyse multicritère, selon quatre formulations de bases qui sont distinguées par ROY [14] :

👉 Problématique de choix " P_α "

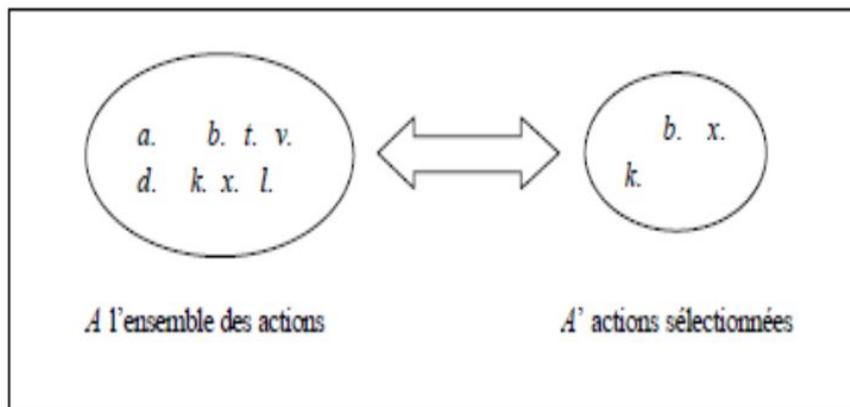


FIGURE 2.1: Problématique de choix " P_α "

👉 Problématique de tri ou d'affectation " P_β ";

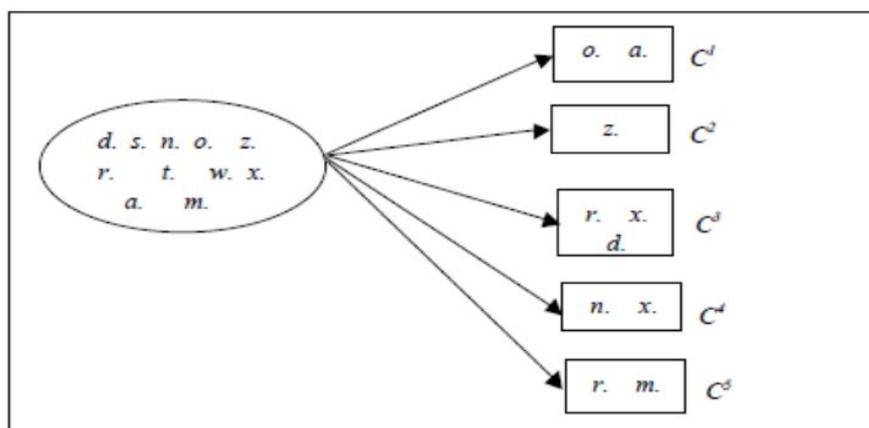


FIGURE 2.2: Problématique de tri ou d'affectation " P_β "

👉 Problématique de rangement " P_γ "

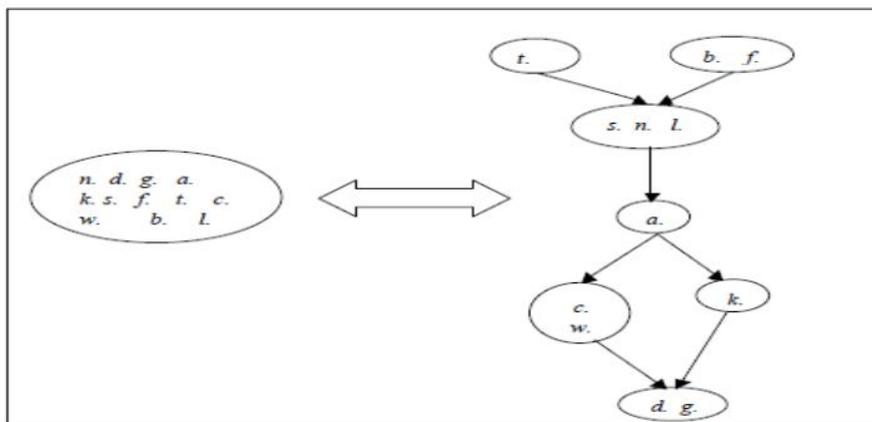


FIGURE 2.3: Problématique de rangement " P_γ "

👉 Problématique de description " P_δ ";

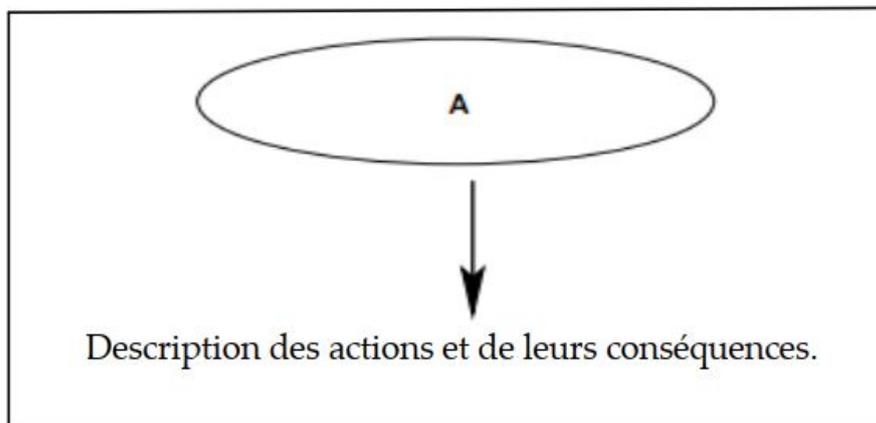


FIGURE 2.4: Problématique de description " P_δ "

Qui sont présentés dans le tableau ci dessous :

Problématique	Objectif	Résultat
P_α	Ecrire la décision par un choix d'un sous ensemble	un choix ou procédure de selection
P_β	Affecter les actions potentielles à une catégorie	tri ou procedure
P_γ	Regrouper les actions en classe d'équivalence	un rangement ou classement
P_δ	Décrire les actions et leurs conséquences	une description ou une procédure cognitive

2.5 Modélisation des préférences

Quand nous sommes menés à comparer entre les actions selon plusieurs critères nous avons 3 réactives :

1. Préférence 'P'.
2. Indifférence 'I'.
3. Refus de comparer (Incomparabilité) 'R'.

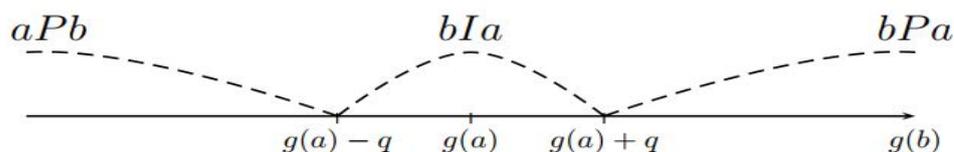
La comparaison de deux objets a et b aura l'une des trois réactions suivantes :

1. $a P b$, a est préféré à b ($\simeq a \succeq b$)
2. $a I b$, a est indifférent à b ($\simeq a = b$)
3. $a R b$, a et b sont incomparables

Le tableau suivant récapitule les quatre situations fondamentales représentant les préférences par rapport à deux actions [14] :

Situation	Définition	Relation binaire
Indifférence	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives, qui justifient une équivalence entre les deux actions	I : relation symétrique et réflexive
Préférence stricte	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives, qui justifient une préférence significative en faveur de l'une des deux actions	P : relation asymétrique (irréflexive)
Préférence faible	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui infirment une préférence stricte en faveur de l'une des deux actions, mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre, soit une indifférence entre ces deux actions	Q : relation asymétrique
Incomparabilité	Elle correspond à l'absence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes	R : relation symétrique irréflexive

TABLE 2.3: Modèle de préférence



2.5.1 Représentation graphique d'une structure de préférence

Nous adaptons les conventions graphiques suivantes pour représenter les trois relations constitutives d'une structure de préférence [15].

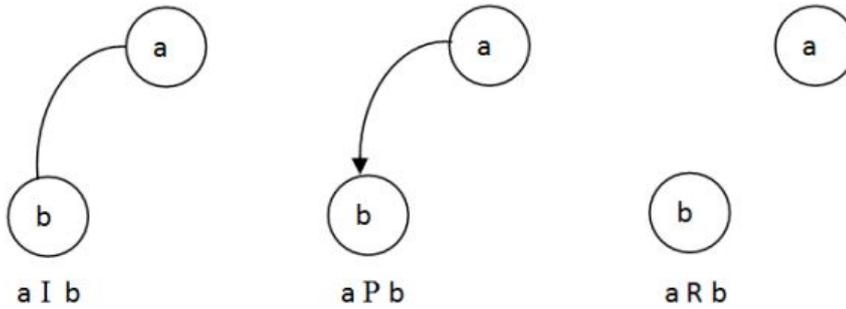


FIGURE 2.5: Représentation graphique d'une structure de préférence

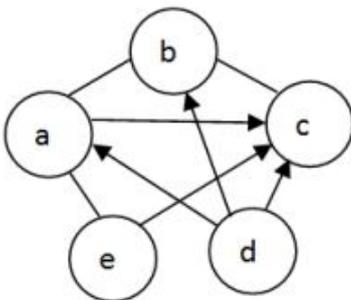
2.5.2 Représentation matricielle d'une structure de préférence

Il peut être commode de représenter une structure de préférence au moyen d'un tableau (d'une matrice) comme l'exemple ci-dessous [16].

Il arrivera souvent que l'on définisse un codage permettant de remplacer les P, I, R et P^- : l'inverse P par des nombres, de manière à simplifier l'application d'algorithmes sur ordinateur.

Exemple d'application

	a	b	c	d	e
a	I	I	P	P^-	I
b	I	I	I	P^-	R
c	P^-	I	I	P^-	P^-
d	P	P	P	I	R
e	I	R	P	R	I



2.6 Les seuils

2.6.1 Le seuil d'indifférence

Le seuil d'indifférence noté 'q', est la limite supérieure en dessus de laquelle le décideur marque une indifférence nette entre deux actions potentielles.

2.6.2 Le seuil de préférence

Le seuil de préférence noté 'p', est la limite au-dessus de laquelle le décideur montre une préférence stricte au profit d'une de ces deux actions comparées.

2.6.3 Le seuil de veto

Le seuil de veto, noté 'v', est le plus petit écart entre les performances de deux actions potentielles au delà duquel l'utilisateur estime qu'il n'est plus possible d'accepter plus mauvaise des deux actions soit considérée globalement comme au moins aussi bonne que la meilleure, même si ses performances sur les autres critères sont toutes meilleures. Selon Roy et Bouyssou [17], le principe d'un seuil de veto est de conférer à un critère, le pouvoir de s'opposer à lui seul au surclassement quelque soit le poids qu'on lui a accordé.

2.6.4 Espace des critères

L'image de A dans l'espace des critères est l'ensemble Z_A des points de \mathbb{R}^m obtenus en y représentant chaque action par le point [15] :

$$z(a) = (g_1(a), \dots, g_m(a)).$$

2.6.5 Relation de dominance

Etant données deux éléments a et b de A, a domine b si et seulement si [15] :

$$g_j(a) \geq g_j(b); j=1, \dots, k$$

2.6.6 Poids

Un poids est attribué aux critères pour indiquer leur importance relative.

2.6.7 Action

Une action est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale susceptible, eu égard à l'état d'avancement du processus de décision, d'être envisagée de façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à la décision [18].

L'ensemble des actions sur lequel l'aide à la décision prend appui au cours du processus de décision est noté A , cet ensemble peut être défini :

1. **En extension** : lorsqu'il est fini et suffisamment petit pour que l'énumération soit possible .
2. **En compréhension** : lorsqu'il est infini ou fini mais trop grand pour que l'énumération soit possible, grace à des contraintes mathématiques.

Parfois la définition de A se fait progressivement au cours de la procédure d'aide à la décision. Donc, l'ensemble A peut être :

1. **Stable** : il est défini à priori et n'est pas susceptible d'être changé en cours de la procédure .
2. **Évolutif** : il peut être modifié en cours de la procédure, soit à cause des résultats intermédiaires que cette procédure fait apparaître, soit parce que le problème de décision se pose dans un environnement naturellement changeant.
3. **Globalisé** : chaque élément est de A est exclusif de tout autre.
4. **Fragmenté** : les résultats du processus de décision font intervenir des combinaisons de plusieurs éléments de A .

2.6.8 Critère et famille cohérente décrit

❖ Définition d'un critère :

Un critère est un outil permettant la comparaison des actions selon un certain point de vu ,et doit permettre de mesurer les préférences du décideur vis-à-vis de chaque action[19] .

❖ La cohérence des critères :

Soit F une famille de critères et tel que $F = g_1; \dots; g_n$. constitue une représentation appropriée des points de vue à prendre en compte dans la modélisation des préférences[20].

La famille de critères sera dite cohérente si les exigences suivantes sont vérifiées :

➔ **Axiome d'exhaustivité** :

Une famille F de n critères sera dite exhaustive si deux actions a et b sont indifférentes au sens des n critères, il ne doit pas être possible de faire apparaître des arguments permettant de faire la comparaison entre a et b .

➔ **Axiome de cohésion** :

Le rôle attribué à chaque critère localement, au niveau des préférences restreintes à son niveau de signification, doit être cohérent avec le rôle dévolu globalement à la famille F au niveau de préférences globales. Cette satisfaction sur un seul critère,les autres restant inchangés, la préférence globale augmente.

➔ **Axiome de non-redondance** :

Cette condition vise à éliminer les critères superflus. Pour ce faire, il faudrait vérifier que F ne comporte aucun critère redondant en ce sens que le retrait de n'importe quel critère de F défini une famille qui met en défaut l'une au moins des deux exigences précédentes.

❖ Échelle d'un critère :

L'appréciation des actions selon un critère donné sur un axe de signification conduit à l'établissement de deux échelles : échelles d'état et échelle de préférence.

➔ *Echelle d'état :*

Elle représente les unités des évaluations de chaque action par rapport à chaque critère. Elle peut être associée à des appréciations quantitative ou qualitatives.

➔ *Echelle de préférence :*

Elle représente les évaluations de la première échelle dans un système muni d'une structure d'ordre propre au décideur, et qui correspondant au sens de préférence des actions selon l'objectif recherché par rapport à ce critère.[21]

❖ Les poids des critères

L'importance donnée par le décideur à chacun des critères n'est pas la même. Les méthodes d'aide à la décision traduisent cette importance relative par des nombres, souvent appelés "poids"[22].

2.6.9 Action efficace

Une action a est dite efficace si et seulement s'il n'existe aucune action $b \in A$, tel que : $z(b)$ domine $z(a)$ [15].

2.6.10 Le point idéal

Le point idéal est dans \mathbb{R}^m , le point de coordonnées (z_1^*, \dots, z_m^*) , où :

$$z_j^* = \begin{cases} \max_{a \in A} g_j(a), & \text{si le critère } j \text{ est à maximiser,} \\ \min_{a \in A} g_j(a), & \text{si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

pour tout $j \in \{1, \dots, n\}$

Nous notons \hat{a}^j la meilleure action pour le critère j : $g_j(\hat{a}^j) = z_j^*$ [15]

2.6.11 le point anti-idéal

Le point anti-idéal est dans \mathbb{R}^m , le point de coordonnées $(\bar{z}_1, \dots, \bar{z}_m)$, où [23] :

$$\bar{z}_j = \begin{cases} \min_{a \in A} g_j(a), & \text{si le critère } j \text{ est à maximiser,} \\ \max_{a \in A} g_j(a), & \text{si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

2.6.12 La matrice des gains

La matrice des gains est la matrice $G(m \times m)$ dont l'élément général [15].

$$G_{kl} = g_k(\hat{a}^l), k, l = 1, \dots, m.$$

2.6.13 Le point nadir

Le nadir est un point qui reprend la pire solution efficace, il est estimé par le point de coordonnées (z_1, \dots, z_m) où [23] :

$$z_j = \begin{cases} \max_l G_{jl}, & j=1, \dots, m \text{ dans le cas de maximisation.} \\ \min_l G_{jl}, & j=1, \dots, m \text{ dans le cas de minimisation.} \end{cases}$$

2.7 Exemple d'application

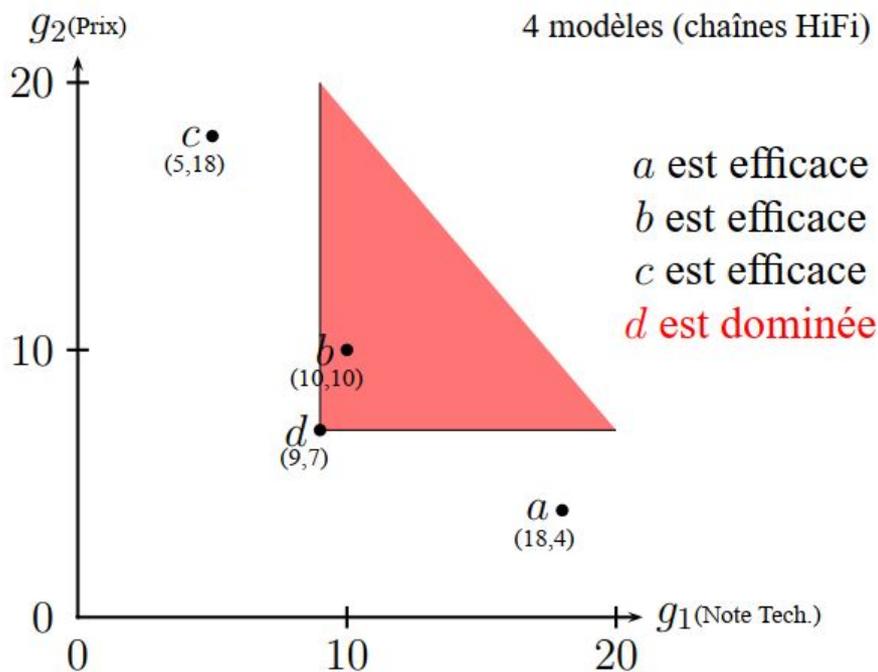


FIGURE 2.6: Chaînes HiFi

2.8 Les étapes du processus d'aide à la décision

Nous présentons les étapes principales de l'aide multicritère à la décision [24] :

1. Définition du problème :

la première étape de l'aide multicritère à la décision consiste à cerner la nature du problème auquel le décideur se trouve confronté en le formulant soit en une problématique de choix p_α , de tri p_β ou de rangement p_γ et le type de solution qu'il souhaite dégager.

2. Définition de l'ensemble des actions potentielles :

cette étape consiste à identifier l'ensemble des actions ou alternatives sur lesquelles va porter la décision.

3. Construction des critères :

la construction des critères est une étape délicate qui nécessite une compréhension du problème posé ; tout d'abord il s'agit d'identifier les caractéristiques des actions considérées et puis de dégager les critères qui peuvent évaluer les actions et peuvent décrire le résultat de la comparaison de deux actions à partir de leurs évaluations ; les critères construits doivent former une famille cohérente de critères.

4. Evaluation des actions :

il s'agit de mesurer, de juger chaque action suivant tous les critères considérés.

5. Définir les différents seuils :

cette étape consiste à estimer les seuils d'indifférence q_j , de préférence p_j et de veto v_j lorsque le décideur marque une incertitude dans l'évaluation des performances liées au j ème critère :

- a) le seuil d'indifférence q_j est la plus grande valeur en dessous de laquelle le décideur considère qu'il y a indifférence de deux actions a_i et a_k selon le critère c_j .
- b) le seuil de préférence p_j est la plus petite valeur au dessus de laquelle le décideur considère qu'il y a préférence stricte d'une action par rapport à une autre selon le critère c_j .
- c) le seuil de veto v_j est la plus grande valeur au dessus de laquelle le décideur considère ne plus pouvoir accepter qu'une action a_i surclasse l'action a_k selon le critère c_j .

6. Pondération des critères :

cette étape a pour but de préciser l'importance (poids) relative aux critères ; parmi de nombreuses techniques de pondération , en voici quelques unes[25] :

- a) La notation, qui demande au décideur de noter sur une échelle de 1 à 10 l'importance qu'ils attribuent à chaque critère, cette méthode étant la plus communément utilisée .
- b) La méthode de distribution des points, qui demande au décideur de répartir 100 points en fonctions de l'importance accordée aux critères.
- c) Hiérarchisation des critères (catégorisation), cette technique demande au décideur de placer les critères dans des catégories telles que : très important, moyennement important, peu important.

7. Choix d'une méthode : il s'agit de définir la méthode la plus appropriée pour traiter un problème bien défini .**8. Analyse de robustesse :** l'analyse de robustesse consiste à sensibiliser la solution de base en faisant varier les différents paramètres : le poids des critères, le seuil d'indifférence q_j , le seuil de préférence p_j et le seuil de veto v_j ; si les résultats ne sont pas sensibles aux variations des valeurs des paramètres alors la solution est robuste.

2.9 Tableau de performance

Le tableau de performance, également appelé matrice d'évaluation ou matrice de jugements ou encore matrice de décision est un tableau de dimensions $n \times m$ où n est le nombre d'actions et m le nombre de critères, dans lequel chaque ligne i exprime les performances de l'action a_i relatives aux m critères considérés et chaque colonne j exprime les évaluations de toutes les actions relatives au critère g_j , l'évaluation de l'action a_i selon le critère g_j est symbolisé par $g_j(a_i)$.

	critère 1	critère 2	...	critère j	...	critère n
Alternative 1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_n(a_1)$
:	:	:	:	:	:	:
Alternative i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	..	$g_j(a_i)$	..	$g_n(a_i)$
:	:	:	:	:	:	:
Alternative n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	..	$g_j(a_n)$	..	$g_n(a_n)$

TABLE 2.4: Tableau de performance

2.10 Relations de surclassement

La relation de surclassement est une relation binaire S définie sur l'ensemble A des actions.

On dit qu'une action a surclasse une action b et on note aSb si, étant donné ce que l'on sait des préférences du décideur, de la qualité des évaluations et de la nature du problème, il y a suffisamment d'arguments pour admettre que a est au moins aussi bonne que b et qu'il n'y a pas d'arguments importants prétendant le contraire [18].

Toute relation de surclassement S peut être définie comme suit :

$$aSb \iff aPb \text{ ou } aIb \quad (S = P \cup I)$$

Où :

P est la relation de préférence et I est la relation d'indifférence .

2.11 Conclusion

L'aide à la décision multicritère permet d'offrir au décideur un ensemble d'outils et de méthodes lui permettant d'évoluer dans la résolution d'un problème de décision à plusieurs points de vue. Ces points de vue sont souvent contradictoires.

3. Méthodes D'aide à La Décision

3.1 Introduction

En toute généralité, lorsqu'on pose un problème multicritère, il s'agit d'en trouver la "solution la plus adéquate", compte tenu d'un certain ensemble de critères, cette solution pouvant prendre diverses formes (choix, affectation, classement).

Le rôle d'une méthode d'aide multicritère à la décision est d'aider le décideur à comprendre et identifier les critères fondamentaux dans le problème de décision afin d'éviter des décisions inappropriées. A travers les années, plusieurs méthodes ont été développées dans la littérature.

L'idée majeure de toutes ces méthodes est de créer un processus d'aide à la décision plus formalisé et mieux informatif.

Le développement de la technologie logicielle croît rapidement en équilibrant le développement du matériel informatique. C'est un besoin fondamental aujourd'hui pour les entreprises dans l'utilisation d'ordinateurs capables d'effectuer un travail efficace pour leurs dirigeants.

La pondération des critères est une étape importante dans le processus de la prise de la décision. Dans cette phase, les décideurs expriment leur préférences entre les critères par la pondération ou le poids relatif qu'ils attribuent à chaque critère. Le poids exprime donc l'importance accordée par un décideur à un critère.

3.2 Méthodes D'aide à La Décision MultiCritère

3.3 Les méthodes de pondération

Il existe deux catégories de classement des méthodes de pondération :

La première catégorie représente les méthodes de pondération subjective. La détermination subjective des poids conduit à plusieurs jeux de poids qui reflètent des échelles de valeurs différentes et des opinions qui peuvent être divergentes. La deuxième catégorie représente la pondération objective dans laquelle les décideurs n'interviennent pas pour attribuer des poids. Le degré d'importance de chaque critère est calculé selon les mesures numériques de l'ensemble des critères.

3.3.1 Méthodes de pondération subjective

La méthode AHP : Analytic Hierarchy Process

✓ Étape 1 :

Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-reliés. Au sommet, on trouve l'objectif principal, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif (les critères). Le dernier niveau est celui des actions [26].

✓ Étape 2 :

Procéder à des comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Cette étape permet de construire des matrices de comparaisons. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty [27] :

Degrés d'importance	Définitions	Explications
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7	un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations

TABLE 3.2: Échelle de Saaty de la méthode AHP

Considérons n éléments à comparer C_1, C_2, \dots, C_n . Notons le « poids » relatif (priorité ou signification) de c_i par rapport à c_j par a_{ij} et formons une matrice carrée $A = (a_{ij})$ d'ordre n avec les contraintes que :

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ pour } i \neq j \text{ et } a_{ii} = 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n.$$

La matrice des comparaisons par paires des n critères C_1, C_2, \dots, C_n peut être exprimée ainsi :

$$\begin{pmatrix} c_1/c_2 & c_1/c_2 & \dots & c_1/c_n \\ c_2/c_1 & c_2/c_2 & \dots & c_2/c_n \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ c_n/c_1 & c_n/c_2 & \dots & c_n/c_n \end{pmatrix}$$

✓ Étape 3 :

Déterminer l'importance relative des éléments en calculant les vecteurs propres correspondant aux valeurs propres maximales des matrices de comparaisons et normaliser ces matrices afin d'obtenir les poids des critères w_1, w_2, \dots, w_n .

Le poids du k^{me} critère est obtenu en faisant la moyenne des valeurs de la k^{me} ligne dans la matrice de comparaison. Cela peut être calculé en utilisant l'équation ci-dessous :

$$w_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{kj}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, k = 1, 2, \dots, n$$

Où :

a_{ij} : Le « poids » relatif dans une matrice de comparaison d'ordre n .

w_k : Le poids d'un critère spécifique c_k dans la matrice de comparaison par paires.

✓ Étape 4 :

Vérifier la cohérence des jugements à travers l'indice de cohérence IC.

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

Où :

λ_{max} : La valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires.

n : Le nombre d'éléments comparés qui peut être approximativement calculé comme suit :

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i}}{n}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$$

Où :

w_i et w_j sont respectivement les poids des critères c_i et c_j , et le ratio de cohérence RC :

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

Où :

ICA : L'indice de cohérence moyen obtenu en générant aléatoirement des matrices de jugement de même taille.

Saaty [28] a calculé les indices de cohérence aléatoires présentés dans la table ci-dessous :

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

TABLE 3.4: Indice de cohérence aléatoire

Une valeur de RC inférieure à 10% est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences

✓ Étape 5 :

Établir la performance relative de chacune des actions.

Exemple d'application : Choix des fournisseurs

- Etape 01 : Choisir le nombre de fournisseurs : On prend par exemple 4 fournisseurs potentiels.
- Etape 02 : Choisir le nombre de critères : On prend par exemple 4 critères qui sont : qualité, prix, service et livraison .
- Etape 03 : Choisir le nombre de hiérarchie. Dans notre exemple on prend 2 niveaux :
 - Niveau 0 : Représente notre objectif qui est la sélection d'un nombre de fournisseurs à partir d'un ensemble de fournisseurs . On sélectionne 2 fournisseurs dans notre exemple .
 - Niveau 1 : C'est le niveau des critères : On a choisit quatre critères qui sont : La qualité, Le prix, Le service et La livraison. on pose :
 - C1 :la qualité C2 :le prix
 - C3 :le service C4 :la livraison
 - Niveau 2 : C'est le niveau des alternatives qui sont les 4 fournisseurs .
- Etape 04 : Construire la matrice de comparaison par paire comme suit :

$$\begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & 1 & 5 & 4 & 7 \\ C2 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{2} & 3 \\ C3 & \frac{1}{4} & 2 & 1 & 3 \\ C4 & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & 1 & 5 & 4 & 7 \\ C2 & 0.2 & 1 & 0.5 & 3 \\ C3 & 0.25 & 2 & 1 & 3 \\ C4 & 0.14 & 0.33 & 0.33 & 1 \\ somme & 1.59 & 8.33 & 5.83 & 14 \end{pmatrix}$$

Les valeurs de cette matrice représentent l'importance d'un critère par rapport à un autre selon l'échelle de saaty.

- Etape 05 : Normaliser la matrice de comparaison, On divise chaque nombre de la colonne par la somme de la même colonne de cette matrice.

$$\begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & 0.63 & 0.60 & 0.69 & 0.50 \\ C2 & 0.13 & 0.12 & 0.09 & 0.21 \\ C3 & 0.16 & 0.24 & 0.17 & 0.21 \\ C4 & 0.09 & 0.04 & 0.06 & 0.07 \end{pmatrix}$$

Une fois cette matrice est normalisée, On calcule la moyenne arithmétique des nombres sur chaque ligne (le poids des critères). Notons que chaque ligne correspond à un critère.

$$\begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 & poids \\ C1 & 0.63 & 0.60 & 0.69 & 0.50 & 0.60 \\ C2 & 0.13 & 0.12 & 0.09 & 0.21 & 0.14 \\ C3 & 0.16 & 0.24 & 0.17 & 0.21 & 0.20 \\ C4 & 0.09 & 0.04 & 0.06 & 0.07 & 0.06 \end{pmatrix}$$

- Etape 06 : Dans cette étape on multiplie les poids obtenus par la matrice originale.

$$\begin{pmatrix} poids & 0.60 & 0.14 & 0.20 & 0.06 \\ & C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.42 \\ C2 & 0.12 & 0.14 & 0.1 & 0.18 \\ C3 & 0.15 & 0.28 & 0.2 & 0.18 \\ C4 & 0.08 & 0.05 & 0.07 & 0.06 \end{pmatrix}$$

- Etape 07 : Vérifier la cohérence des jugements à travers l'indice de cohérence IC et le ratio cohérence RC.

$$\begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 & somme ligne & poids & sl/poids \\ C1 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.42 & 2.52 & 0.6 & 4.173 \\ C2 & 0.12 & 0.14 & 0.1 & 0.18 & 0.54 & 0.14 & 3.957 \\ C3 & 0.15 & 0.28 & 0.2 & 0.18 & 0.81 & 0.20 & 4.137 \\ C4 & 0.08 & 0.05 & 0.07 & 0.06 & 0.256 & 0.06 & 4.008 \end{pmatrix}$$

Calculons λ_{max} :

$$\lambda_{max} = 4.137 + 3.957 + 4.137 + 4.008 / 4 = 4.069$$

Calculons l'indice de cohérence IC :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4.069 - 4}{3} = 0.023$$

Calculons le ratio de cohérence RC :

$$RC = \frac{IC}{ICA} = \frac{0.023}{0.9} = 0.025$$

ICA = 0.9 car n=4 .

La valeur de RC est inférieure à 0.1 donc la comparaison est acceptable .

La méthode ROC : Rank Order Centroid

Rank Order Centroid est un moyen simple de donner du poids à un certain nombre d'éléments (critères) classés en fonction de leur importance.

Les décideurs peuvent généralement classer les éléments beaucoup plus facilement que leur accorder du poids.

Cette méthode prend ces rangs comme entrées et les convertit en poids pour chacun des éléments, La conversion est basée sur la formule suivante :

$$W_i(ROC) = (1/M) \sum_{n=i}^M \frac{1}{n}$$

M : le nombre de critères.

W : le poids.

Exemple d'application :

S'il y a 4 critères (C1 ,C2, C3 et C4).

Le critère classé en premier sera pondéré : $(1 + 1/2 + 1/3 + 1/4) / 4 = 0,52$

Le second sera pondéré $(1/2 + 1/3 + 1/4) / 4 = 0,27$

Le troisième $(1/3 + 1/4) / 4 = 0,15$

Et le dernier $(1/4) / 4 = 0,06$

critère	C1	C2	C3	C4
classement	1	2	3	4
poids	52%	27%	15%	6%

La méthode RS : Rank Sum

Les critères sont généralement classés de la meilleure à la pire importance.

Dans cette méthode les poids sont calculés à partir des rangs individuels normalisés en divisant la somme des rangs.

La formule de la méthode RS peut être exprimée comme suit [29] :

$$W_j(RS) = \frac{n - p_j + 1}{\sum_{k=1}^n n - p_k + 1}$$

n : Le nombre de critères.

p_j : Le classement de j^{me} critère $j=1,2,\dots,n$

Exemple d'application

Si on prend 3 critères (C1, C2 et C3)

Le critère classé en premier sera pondéré : $(3-1+1) / (3+2+1) = 0.50$

Le second sera pondéré : $(3-2+1) / (3+2+1) = 0.33$

Et le dernier : $(3-3+1) / (3+2+1) = 0.17$

critère	C1	C2	C3
classement	1	2	3
poids	50%	33%	17%

La méthode RE : Rank Exponent

La méthode du poids des exposants de rang (RE) est similaire à la méthode de la somme des rangs, sauf que la valeur est élevée à une exponentielle d'un paramètre p qui peut être estimée par un décideur en fonction du critère le plus important.

La formule de la méthode d'exposant de rang est donnée comme suit [29] :

$$W_j(RE) = \frac{(n - p_j + 1)^p}{\sum_{k=1}^n (n - p_k + 1)^p}$$

n : Le nombre de critères

p_j : Le classement de j^{me} critère $j=1,2,\dots,n$

p : Un paramètre

Exemple d'application

On prend 3 critères (C1, C2 et C3) avec $p = 2$

Le critère classé en premier sera pondéré : $(3 - 1 + 1)^2 / (3^2 + 2^2 + 1^2) = 0.64$

Le second sera pondéré : $(3 - 2 + 1)^2 / (3^2 + 2^2 + 1^2) = 0.29$

Et le dernier : $(3 - 3 + 1)^2 / (3^2 + 2^2 + 1^2) = 0.07$

critère	C1	C2	C3
classement	1	2	3
poids	64%	29%	7%

La méthode RR : rank reciprocal

La méthode des poids réciproques (ou inverses) RR utilise l'inverse normalisé du rang du critère. Cela peut être exprimé comme suit [29] :

$$W_j(RR) = \frac{\frac{1}{p_j}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{p_k}}$$

n : le nombre de critères

p_j : le classement de j^{me} critère $j=1,2,\dots,n$

Exemple d'application

On prend 3 critères (C1, C2 et C3)

Le critère classé en premier sera pondéré : $(1/1)/(1 + 1/2 + 1/3) = 0.55$

Le second sera pondéré : $(1/2)/(1 + 1/2 + 1/3) = 0.27$

Et le dernier : $(1/3)/(1 + 1/2 + 1/3) = 0.18$

critère	C1	C2	C3
classement	1	2	3
poids	55%	27%	18%

La méthode Ratio weighting

La méthode du ratio est une méthode qui requiert la contribution des décideurs pour classer les critères selon leur importance.

Le critère le moins important se voit attribuer la valeur 10, et les autres critères se voient attribuer des multiples de 10. Les poids résultants sont ensuite normalisés pour donner une somme à un.

Exemple d'application

On prend 4 critères (C1, C2, C3 et C4)

critère	C1	C2	C3	C4
classement	1	2	3	4
poid	50	40	20	10
poid normalisé	41.7%	33.3%	16.7%	8.3%

3.3.2 Méthodes de pondération objective**La méthode d'entropie**

Est une méthode qui permet de calculer les poids des critères lorsque les décideurs ont des points de vue contradictoires sur la valeur des poids.

Le poids d'entropie est un paramètre qui décrit le nombre d'approches alternatives différentes les unes des autres par rapport à un certain critère le concept est tiré des modèles de transport où l'entropie est utilisée comme mesure de la dispersion des trajets entre l'original et la destination.

Les poids calculés par cette méthode sont également appelés moyens objectifs.

 Étape 01 :

Normalisation de la matrice de décision

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

 Étape 02 :

Calculer l'entropie.

$$e_j = -h \sum_{i=1}^m (r_{ij} * \ln r_{ij}) \quad ; j = 1, \dots, n$$

$$h = \frac{1}{\ln(m)}$$

m : nombre d'alternative (action).

🍷 Étape 03 :

Calculons les vecteurs du poids

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} ; j = 1, \dots, n$$

Exemple d'application de la méthode entropie

Nous voulons sélectionner le meilleur téléphone mobile parmi les cinq alternatives disponibles,

Soit la matrice de décision suivante :

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards
Mobile 1	250 \$	16 GB	12 MP	5
Mobile 2	200 \$	16 GB	8 MP	3
Mobile 3	300 \$	32 GB	16 MP	4
Mobile 4	275 \$	32 GB	8 MP	4
Mobile 5	225 \$	16 GB	16 MP	2

Nous devons calculer la matrice de décision normalisée :

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Mobile 1	0.2000	0.1429	0.2000	0.2778
Mobile 2	0.1600	0.1429	0.1333	0.1667
Mobile 3	0.2400	0.2857	0.2667	0.2222
Mobile 4	0.2200	0.2875	0.1333	0.2222
Mobile 5	0.1800	0.1429	0.2667	0.1111

$$h = \frac{1}{\ln(m)} = \frac{1}{\ln(5)} = 0.621335$$

Calculons l'entropie :

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Mobile 1	-0.32189	-0.27799	-0.32189	-0.3558
Mobile 2	-0.29321	-0.27799	-0.26865	-0.29863
Mobile 3	-0.34251	-0.35739	-0.35247	-0.33424
Mobile 4	-0.33311	-0.35739	-0.26865	-0.33424
Mobile 5	-0.30866	-0.27799	-0.35247	-0.24414
$\sum_{i=1}^m (r_{ij} * \ln r_{ij})$	-1.59938	-1.54983	-1.56413	-1.56706
e_j	0.99375	0.96296	0.97185	0.97367
$1 - e_j$	0.00625	0.03704	0.02815	0.02633

Le vecteur poids :

$$W_j = (0.0639154 \quad 0.378831278 \quad 0.287921 \quad 0.269333)$$

La méthode CRITIC :The Criteria Importance Through Intercriteria Correlation

Est une méthode qui utilise l'analyse de corrélation pour détecter les contrastes entre les critères. elle est utilisée pour calculer les poids objectifs des critères lorsque le décideur a des points de vue contradictoires, ou ne peut pas comparer différents critères.

la forme complète de la méthode critique est l'importance des critères grace à la corrélation inter-critères [30].

➤ Étape 01 :

Normalisation de la matrice de décision ;

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{worst}}{X_j^{best} - X_j^{worst}}$$

➤ Étape 02 :

Calculer l'écart type σ_j pour chaque critère.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

➤ Étape 03 :

Déterminer la matrice symétrique de n*n avec l'élément r_{jk} dont le coefficient de corrélation linéaire entre le vecteur x_j et x_k

$$r_{jk} = \frac{\sum (x_j - \bar{x}_j)(x_k - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum (x_j - \bar{x}_j)^2 \sum (x_k - \bar{x}_k)^2}}$$

où \bar{x}_k & \bar{x}_j sont les moyennes des échantillons moyenne.

➤ Étape 04 :

Calculer la mesure du conflit créé par le critère j par rapport à la situation de décision définie par le reste des critères.

$$\sum_{k=1}^m (1 - r_{kj})$$

➤ Étape 05 :

Déterminer la quantité d'informations par rapport à chaque critère,

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{kj})$$

➤ Étape 06 :

Calculer les poids objectifs.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_j}$$

r_j :Scores des alternatives

C_j :quantités d'information

W_j :le poid du critère j

Exemple d'application de la méthode CRITIC

Dans cet exemple. Nous avons trois critères avantageux qui sont l'espace de stockage de la caméra et l'apparence maintenant le prix est un critère non avantageux.

Ainsi, pour les critères non bénéfiques, la valeur minimale est notre meilleure valeur.

Soit la matrice de décision suivante :

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards
Mobile 1	250 \$	16 GB	12 MP	5
Mobile 2	200 \$	16 GB	8 MP	3
Mobile 3	300 \$	32 GB	16 MP	4
Mobile 4	275 \$	32 GB	8 MP	4
Mobile 5	225 \$	16 GB	16 MP	2
meillieure	225 \$	32 GB	16 MP	5
Pire	300 \$	16 GB	8 MP	2

➔ Étape 01 :

Normalisation de la matrice de décision ; par cette formule :

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards
Mobile 1	0.5	0	0.5	1
Mobile 2	1	0	0	0.333
Mobile 3	0	1	1	0.667
Mobile 4	0.25	1	0	0.667
Mobile 5	0.75	0	1	0

➔ Étape 02 :

Calculer l'écart type σ_j pour chaque critère.

$$\sigma_j = (0.395 \quad 0.5477 \quad 0.5 \quad 0.38)$$

➔ Étape 03 :

Déterminer la matrice symétrique de $n \times n$ avec l'élément r_{jk} dont le coefficient de corrélation linéaire entre le vecteur x_j et x_k

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards
Le Coût	1	-0.866	-0.316	-0.555
Espace de stockage	-0.866	1	0	0.320
Caméra	-0.316	0	1	-0.219
Regards	-0.555	0.320	-0.219	1

➔ Étape 04 :

Calculer la mesure du conflit créé par le critère j par rapport à la situation de décision définie par le reste des critères.

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards	$\sum_{k=1}^m (1 - r_{kj})$
Le Coût	0.000	1.866	1.316	1.555	4.737
Espace de stockage	1.866	0.000	1.000	0.680	3.546
Caméra	1.316	1.000	0.000	1.219	3.535
Regards	1.555	0.680	1.219	0.000	3.454

➔ Étape 05 :

Déterminer la quantité d'informations par rapport à chaque critère,

$$C_j = (1.8724 \quad 1.9421 \quad 1.7677 \quad 1.3126)$$

➔ Étape 06 :

Calculer les poids objectifs.

$$W_j = (0.2716 \quad 0.2817 \quad 0.2564 \quad 0.1904)$$

La méthode MW :Mean Weight

la méthode de poids moyen est la plus souvent adoptée lorsqu'il n'y a pas d'informations du décideur ou lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'informations disponibles pour prendre une décision .

Le poids moyen est basé sur l'hypothèse que tous les critères sont d'égale importance. Ceci peut être dérivé en utilisant l'équation [31] :

$$W_j = \frac{1}{n}$$

n :le nombre de critère

Exemple d'application

Si il y'a 4 critère : C1,C2,C3 et C4 ,Tous les critères ont le même poids
 $w_i = \frac{1}{n} = 1/4$

critère	C1	C2	C3	C4
poid(w_i)	1/4	1/4	1/4	1/4

La méthode SD :Standard Deviation

Normalisation de la matrice de décision ;

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{worst}}{X_j^{best} - X_j^{worst}}$$

La méthode de l'écart-type détermine les poids des critères en fonction de leurs écarts-types à l'aide de l'expression suivante [32] :

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

W_j : le poids de critère j

σ_j : l'écart type de critère j

Exemple d'application de la méthode Standard Deviation

Soit la matrice de décision suivante :

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards
Mobile 1	250 \$	16 GB	12 MP	5
Mobile 2	200 \$	16 GB	8 MP	3
Mobile 3	300 \$	32 GB	16 MP	4
Mobile 4	275 \$	32 GB	8 MP	4
Mobile 5	225 \$	16 GB	16 MP	2
meilleure	225 \$	32 GB	16 MP	5
Pire	300 \$	16 GB	8 MP	2

➔ Étape 01 :

Normalisation de la matrice de décision ; par cette formule :

	Le Coût	Espace de stockage	Caméra	Regards
Mobile 1	0.5	0	0.5	1
Mobile 2	1	0	0	0.333
Mobile 3	0	1	1	0.667
Mobile 4	0.25	1	0	0.667
Mobile 5	0.75	0	1	0

➔ Étape 02 :

Calculer l'écart type σ_j pour chaque critère.

$$\sigma_j = (0.395 \quad 0.5477 \quad 0.5 \quad 0.38)$$

➔ Étape 03 :

Calculons les poids objectifs ;

$$W_j = (0.2167 \quad 0.3004 \quad 0.2743 \quad 0.2084)$$

La méthode Statistical Variance Procedure

La procédure de variance statistique est une autre méthode de pondération objective basée sur la variance statistique de l'information calculée par [31] :

$$V_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2$$

$$W_j = \frac{v_j}{\sum_{i=1}^m v_j}$$

x_{ij} : Valeur de performance de l'action i par rapport au critère j.

\bar{x}_{ij} : la valeur moyenne de performance de l'action i par rapport au critère j.

V_j : Écart statistique .

w_j : le poids de critère j.

Exemple d'application

Si il y'a 3 critères : C1,C2 et C3,Et 3 action :A1,A2 et A3; Soit M la matrice de décision :

$$M = \begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 \\ A1 & 2 & 7 & 1 \\ A2 & 3 & 9 & 2 \\ A3 & 1 & 10 & 3 \end{pmatrix}$$

Soit v_i la variance statistique de critère i $i=1,2,3$.

critère i	C1	C2	C3
v_i	6.89	9.56	14.89
poind w_i	0.22	0.30	0.48

3.4 Les méthodes d'aide à la décision multicritère

3.4.1 La méthode ELECTRE I

ELECTRE1 (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) est une famille de méthodes d'analyse multicritères développée en Europe à la fin des années 1960, Elle a été définie par B. Roy en 1968.

La méthode ELECTRE I est conçue pour la problématique de choix [26] : elle vise à sélectionner la meilleure action suivant un groupe de critères.

En premier lieu, une relation de surclassement est construite en prenant appui sur une notion de concordance et une notion de discordance : pour chaque couple d'actions (a_i, a_k) , l'hypothèse de surclassement " a_i surclasse a_k " est validée si un test de concordance et un test de non-discordance sont satisfaits.

- Concordance : on dit que le critère C est un critère concordant avec l'hypothèse de surclassement si l'action a_i est au moins aussi bonne que l'action a_k selon le critère C , c'est-à-dire : $C(a_i) \geq C(a_k)$
- Non-discordance : la condition de non-discordance permet de refuser une hypothèse de surclassement obtenue après l'application de la relation de concordance lorsqu'il existe une opposition trop forte sur au moins un critère.

En second lieu, à l'aide de la relation de surclassement construite, l'ensemble des actions A sera partitionné en deux sous-ensembles : l'ensemble N qui présente le noyau du graphe réciproque du graphe de surclassement dans lequel se trouve la meilleure action et l'ensemble complémentaire noté $A \setminus N$ tels que :

- toute action appartenant à l'ensemble $A \setminus N$ est surclassée par au moins une action appartenant à l'ensemble N .
- les actions appartenant à l'ensemble N sont incomparables entre elles.

Étape de la méthode ELECTRE I

La méthode Electre I se présente comme suit :

- Étape 01 :
On attribue à chaque critère j , un poids p_j d'autant plus grands que le critère est important.
- Étape 02 :
Calculer les indices de concordance à chaque couple d'action (a,b) , on associe l'indice de concordance suivant :

$$c(a,b) = \frac{\sum_{\forall j: g_j(a) \geq g_j(b)} p_j}{P} \text{ avec } P = \sum_{j=1}^n p_j$$

➤ Étape 03 :

Calculer les indices de discordance à chaque couple d'action (a,b).

On associe l'indice de discordance suivant :

$$D(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{si } \forall j : g_j(a) \geq g_j(b) \\ \frac{1}{\sigma} \max_j [g_j(b) - g_j(a)] & \text{sinon} \end{cases}$$

avec : $\sigma = \max_{c,d,j} [g_j(c) - g_j(d)]$

➤ Étape 04 :

Construire les relations de surclassement :

La relation de surclassement pour Electre I est construite par la comparaison des indices de concordances et de discordance à des seuils limites de concordance \hat{c} et discordance \hat{d} .

Ainsi, a surclasse b, si : $aSb \iff C(a,b) \geq \hat{c} \text{ et } D(a,b) \leq \hat{d}$

➤ Étape 05 :

Exploiter les relations de surclassement :

Cette étape consiste à déterminer le sous-ensemble d'action N appelé noyau tel que toute action qui n'est pas dans N est surclassée par au moins une action de N et les actions de N sont incomparables entre elles.

Exemple d'application de la méthode ELECTRE I

Acquisition des matériels informatique (les ordinateurs) afin d'assurer les déplacements chez les client, l'appareil doit être léger, performant, pas trop onéreux et si possible bien équipé en logiciel de bureautique.

Les produits suivants :

- PC portable DEL
- PC portable HP
- PC portable SONY
- Tablette ARCHOS

Les critères suivants :

- Prix
- Performance
- Mobilité
- Logiciels disponible avec l'outil informatique
- Garantie

Avec le seuil de $c=0.7$ et le seuil de $d=0.2$

Tableau de performance :

	Prix	Performance	Mobilité	Logiciels	Garantie
DEL	5	10	7	7	2
ARCHOS	4	8	5	5	7
SONY	5	8	7	7	6
HP	7	6	5	3	7
poids	1	3	1	1	4

Tableau de concordance :

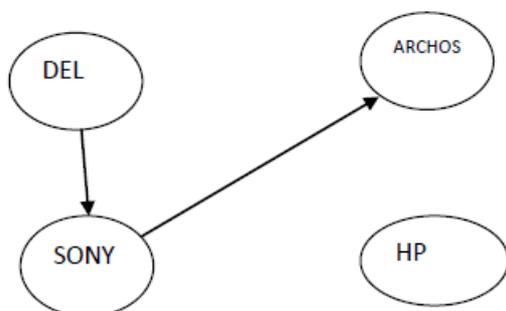
	DEL	ARCHOS	SONY	HP
DEL	-	0.6	0.6	0.5
ARCHOS	0.4	-	0.7	0.9
SONY	0.7	0.6	-	0.5
HP	0.5	0.6	0.5	-

Tableau de discordance :

	DEL	ARCHOS	SONY	HP
DEL	-	0.5	0.4	0.5
ARCHOS	0.2	-	0.2	0.3
SONY	0.2	0.1	-	0.2
HP	0.4	0.2	0.4	-

Tableau de surclassement :

	DEL	ARCHOS	SONY	HP
DEL	0	0	0	0
ARCHOS	0	0	1	0
SONY	1	0	0	0
HP	0	0	0	0



Donc on peut conclure que PC DEL surclasse PC SONY et PC SONY surclasse tablette ARCHOS. Le noyau de ce graphe de surclassement est $N = \{DEL, HP\}$

3.4.2 La méthode VIKOR : Optimisation multicritère & solution de compromis

La méthode ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje VIKOR [33] Qui signifie :

Solution d'optimisation et de compromis multicritères.

VIKOR est une méthode de prise de décision multicritère, a été développé à l'origine par Serafim Opricovic pour l'optimisation multicritères de systèmes complexes et des problèmes de décision avec des critères conflictuels et non commensurables (unités différentes).

L'idée de solution de compromis a été introduite dans MCDM (multi-criteria decision making) par Po-Lung Yu en 1973[34], et par Milan Zeleny[35] [36].

Cette méthode se concentre sur le classement et la sélection parmi un ensemble d'alternatives en présence de critères contradictoires. Elle détermine la solution nommée compromis qui est la plus proche de l'idéal.

Le classement de la méthode VIKOR étendue est obtenu par comparaison des nombres d'intervalles obtenue avec les poids initiaux .

Étapes de la méthode

Le but est de déterminer la meilleure solution au sens multicritère à partir de l'ensemble des J alternatives réalisables A_1, A_2, \dots, A_J , évaluées selon l'ensemble des n fonctions critères.

Les données d'entrée sont les éléments f_{ij} de la matrice de performance, où f_{ij} est la valeur de la fonction de critère i pour l'alternative A_j .

	C_1	C_2	...	C_n
A_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}
A_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}
...
A_m	f_{m1}	f_{m2}	....	f_{mn}

$W = w_1, w_2, \dots, w_n$

Où :

A_1, A_2, \dots, A_m : Les alternatives possibles parmi lesquelles les décideurs doivent choisir.

C_1, C_2, \dots, C_n : Les critères avec lesquels la performance alternative est mesurée,

f_{ij} : La note de l'alternative A_i par rapport au critère C_j ,

w_j : Le poids du critère C_j .

La procédure VIKOR comporte les étapes suivantes :

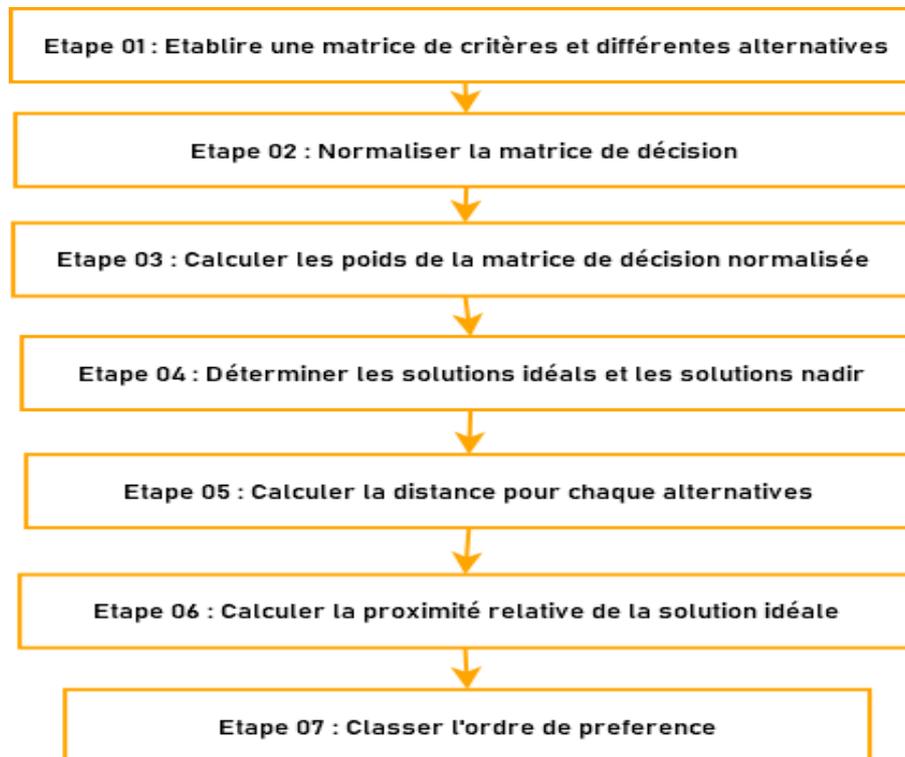


FIGURE 3.1: Les étapes du méthode VIKOR

L'algorithme de classement de compromis de la méthode VIKOR comporte les étapes suivantes :

➤ Étape 01 :

Déterminer les meilleures f_j^* et les pires f_j^- valeurs de toutes les fonctions critères $j = 1, 2, \dots, n$. Si la fonction j représente un avantage alors :

$$f_j^* = \begin{cases} \max_i f_{ij}, & \text{si le critère } j \text{ est à maximiser,} \\ \min_i f_{ij}, & \text{si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

$$f_j^- = \begin{cases} \min_i f_{ij}, & \text{si le critère } j \text{ est à maximiser,} \\ \max_i f_{ij}, & \text{si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

➤ Étape 02 :

Calculer les valeurs S_i et R_i ; $i = \overline{1, n}$. Par les relations :

$$\left(S_i = \sum_{j=1}^n W_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right) \quad \left(R_i = \max \left\{ W_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\} \right)$$

➤ Étape 03 :

Calculer la valeur Q_i par la relation :

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

$$S^* = \max_i S_i, \quad R^* = \max_i R_i, \quad S^- = \min_i S_i, \quad R^- = \min_i R_i,$$

v est introduit comme poids de la stratégie de « la majorité des critères » ou « l'utilité maximale du groupe », supposons ici que $v = 0,5$.

➤ Étape 04 :

Classez les alternatives en triant par les valeurs S, R et Q par ordre croissant. Les résultats sont trois listes de classement.

➤ Étape 05 :

Proposer comme solution de compromis l'alternative A' , qui est classée la meilleure par la mesure Q (Minimum) si les deux conditions suivantes sont satisfaites :

👉 Condition 01 :

$$Q(A'') - Q(A') \geq \frac{1}{n-1}$$

Où A' et A'' sont les alternatives avec la première et la deuxième place dans la liste du classement par Q.

n : est le nombre des alternatives.

👉 Condition 02 :

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

Si l'une des conditions n'est pas satisfaite, alors un ensemble de solutions de compromis est proposé, qui consiste en :

➡ Alternatives A' et A'' si seule la condition C2 n'est pas satisfaite.

➡ Alternatives $A', A'', \dots, A^{(M)}$ si la condition C1 n'est pas satisfaite; $A^{(M)}$ est déterminé par la relation :

$$Q(A^{(M)}) - Q(A') < \frac{1}{1-n}$$

pour le maximum M (les positions de ces alternatives sont « proches »).

Exemple d'application de la méthode VIKOR

Nous présentons un exemple numérique pour illustrer comment la méthode proposée peut être utilisée :

Une compagnie s'exerçant dans le domaine de la télécommunication prend ses dispositions pour une sélection d'un de ses employés dans le but d'établir une formation pour une durée de deux ans chez l'un des fournisseurs de cette compagnie en EUROPE avec un budget de 100 000 euros.

Le fournisseur s'en chargera des frais de la formation et des restes des charges de l'employé sélectionné ; qui sensé par la suite à sa rentrée forme le reste des employés de la compagnie ; au cours de la phase d'orientation dans le but d'installation du nouveau logiciel qui a fait le but de la formation.

La société a limité la formation uniquement aux éléments du service technique des sous-structures de la compagnie.

Après de nombreuses procédures et tests effectués, uniquement quatre candidats sont admissibles et aient l'occasion d'avoir cette formation.

La direction des ressources humaines a imposé cinq critères pour la comparaison des quatre candidats, puis les faire subir à plusieurs tests pour à la fin sélectionné un seul candidat.

D'abord, le premier test concerne la maîtrise de la langue étrangère, et le deuxième test concerne la compétence dans le domaine informatique ainsi que les concepts de base de programmation.

Les deux tests seront comptabilisés à une échelle de 100 points. La direction des ressources humaines définies, les critères comme suit :

- C_1 :l'âge du candidat, ou le candidat le plus jeune est préféré ;
- C_2 :l'expérience de candidats dans le domaine ;
- C_3 : le nombre d'années passées par le candidat dans l'entreprise ;
- C_4 :la moyenne de rendement du candidat pendant les cinq dernières années ;
- C_5 :le garde du candidat ;

Le tableau suivant montre les cinq critères, leur poids, et leurs unités de calcul.

Critère	Unité	Poids
C_1	nombre d'années	0.30
C_2	nombre d'années	0.15
C_3	nombre d'années	0.20
C_4	moyenne de 5 ans	0.10
C_5	grade (1 à 100)	0.25

La direction des ressources humaines à présenter les données incluses dans la matrice de décision figure dans le tableau suivant montrant quatre candidats et leurs notes de rendement à l'égard de tous les critères. Tous les candidats sont indexés par le terme (CAND) pour des raisons de simplicité.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
CAND1	48	23	10	70	78
CAND2	42	15	12	80	78
CAND3	36	16	16	62	95
CAND4	45	10	20	77	68

En appliquant la procédure de VIKOR, nous pouvons calculer les valeurs S, R et Q comme indiqué dans le tableau suivant pour calculer la préférence au classement des candidats et candidates.

	Q	S	R
CAND1	1.0000	0.7130	0.30000
CAND2	0.7412	0.6338	0.2315
CAND3	0.0000	0.6208	0.10000
CAND4	0.7962	0.6417	0.2500

Le classement :

CAND3 > CAND2 > CAND4 > CAND1

3.4.3 La méthode TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution

La technique d'ordre de préférence par similarité à la solution idéale (TOPSIS) est une approche décisionnelle multicritères créée par Hwang et Yoon en 1981. Il s'agit d'une méthode d'agrégation compensatoire basée sur le concept selon lequel la meilleure alternative doit avoir la distance géométrique la plus courte à une solution idéale positive (PIS) et la distance géométrique la plus éloignée d'une solution idéale négative (NIS)[37].

Étape de la méthode

- Étape 01 : Calculer la matrice de décision normalisée

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

- Étape 02 : Calculer la matrice de la décision normalisée chargée d'un poids.

$$V_{ij} = W_j r_{ij}$$

- Étape 03 : Déterminer les ensembles J des Critères à Maximiser et J' des Critères à Minimiser.
- Étape 04 : Déterminer la solution idéale A* et la solution anti-ideale A⁻ par la relation

$$A^* = \{V_1^*, \dots, V_m^*\} = \{(max_i V_{ij}/i \in J), (min_i V_{ij}/i \in J')\}$$

$$A^- = \{V_1^-, \dots, V_m^-\} = \{(min_i V_{ij}/i \in J), (max_i V_{ij}/i \in J')\}$$

- Étape 05 : Calculer la distance de chaque solution par rapport à la solution idéale S_i^{*} et la solution anti-ideale S_i⁻ par la relation :

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^*)^2}$$

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

➤ Étape 06 : Calculer le rapprochement relatif à la solution idéale

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

➤ Étape 07 : Classer les alternatives selon l'ordre décroissant des : C_i^*

Exemple d'application de la méthode TOPSIS

Les données de l'exemple sont :

La matrice de décision :

$$D = \begin{pmatrix} & cr1 & cr2 & cr3 \\ a1 & 78 & 94 & 10000 \\ a2 & 82 & 86 & 15000 \\ a3 & 80 & 75 & 22000 \\ a4 & 88 & 90 & 2500 \end{pmatrix}$$

Vecteurs de coefficients d'importance des critères :

$$W = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.35 & 0.20 \\ max & max & min \end{pmatrix}$$

➤ Étape 1 : Matrice des performances normalisées :

$$D' = \begin{pmatrix} 0.4751 & 0.5431 & .0.2641 \\ 0.4995 & 0.4969 & 0.3961 \\ 0.4873 & 0.4333 & 0.5810 \\ 0.5360 & 0.520 & 0.6602 \end{pmatrix}$$

➤ Étape 2 : pondération des performances :

$$D'' = \begin{pmatrix} 0.2138 & 0.1901 & 0.0528 \\ 0.2248 & 0.1739 & 0.0792 \\ 0.2193 & 0.1517 & 0.1162 \\ 0.2412 & 0.1820 & 0.1320 \end{pmatrix}$$

➤ Étape 3 : détermination des profils idéal (a^*) et anti-idéal (a_*).

Profil idéal (a^*) = (0.2412 0.1901 0.0528)

Profi anti-idéal (a_*) = (0.2138 0.1517 0.1320)

➤ Étape 04 : calcul des distances idéal par rapport aux profils (a^*) et (a_*).

$D_1^* = 0.0274$, $D_2^* = 0.0350$, $D_3^* = 0.0773$, $D_4^* = 0.0796$

$D_{1*} = 0.1001$, $D_{2*} = 0.1156$, $D_{3*} = 0.1359$, $D_{4*} = 0.1671$

- ➔ Étape05 : calcul de coefficient de mesure du rapprochement au profil idéal .
 $C_{1*}=0.7851$, $C_{2*}=0.7676$, $C_{3*}=0.6374$, $C_{4*}=0.6773$
- ➔ Étape 06 : ranger les actions en fonction des valeurs décroissantes de C_i^* .
 $C_{1*}=0.7851 > C_{2*}=0.7676 > C_{4*}=0.6773 > C_{3*}=0.6374$

Selon la méthode TOPSIS , le classement des actions sera comme suit :

a_1 , a_2 , a_4 et a_3

3.5 Conclusion

Nous avons remarqué à travers les résultats obtenus précédemment que la méthode d'aide à la décision multicritère est une méthode purement scientifique. Progrès technologiques au cours des deux dernières années des décennies ont permis de prendre des décisions plus complexes pour développer quelles méthodes d'analyse. Ils fournissent des outils efficaces, complexes et objectifs pour établir un bon choix de sociétés de services de puits de pétrole. L'objectif de la méthode d'analyse multicritères VIKOR et TOPSIS est de construire un classement des actions du meilleur au pire à travers un système de préférence flou.

4. Modélisation & Résolution du problème

4.1 Introduction

La modélisation est une méthode de description du problème sous la forme d'introduction de la réalisation du problème. La modélisation d'un problème multicritère inclut généralement la définition des actions et de critères et la sélection du type de problème.

4.2 Quelques étapes-clé dans la phase de modélisation

1. Modélisation de l'ensemble des actions potentielles :
L'ensemble A des actions potentielles (décisions, solutions, plans, variantes, candidats,...) peut être défini :
 - explicitement (liste exhaustive) ou implicitement (propriétés caractéristiques)
 - de façon stable ou évolutive
 - de façon globale ou fragmentée
2. Choix d'une problématique :
 - P_α : Choix
 - P_β : Tri
 - P_γ : Rangement
 - + Problématique mixte.
3. Construction des critères :
⇒ évaluer l'intérêt des actions sur un ou plusieurs points de vue.

4. Modèle fermé ou modèle ouvert ?

Hypothèses \Rightarrow problème mathématiquement bien défini

\mapsto recherche de solutions (optimales)

Modèle \Rightarrow cadre formel de réflexion et d'investigation

\mapsto révéler, construire, faire évoluer les préférences

\mapsto recherche de solutions (compromis)

 Des choix de modélisation... impactant fortement le type de méthodes à concevoir ou utiliser par la suite.

4.3 Présentation du problème

Notre problème dans cette étude consiste à trouver une bonne méthode de pondération des critères et de classement des actions qui permet de faciliter aux décideurs la tâche d'appréciation des nombreuses propositions de projets et sélectionner certains d'entre eux répondant au mieux à leurs objectifs.

Parmi les problématiques de référence d'aide multicritère à la décision (choix, tri, rangement, . . .) il est adéquat d'adopter la problématique de rangement afin de classer les différents projets.

4.4 L'ensemble Des Actions

Comme il a été déjà mentionné précédemment, notre objectif consiste à classer les projets selon leurs performances. Alors l'ensemble des actions potentielles dans notre modèle de décision est l'ensemble des projets que l'on notera A qui contient 32 projets.

Alors, l'ensemble d'actions sera définie comme suit :

p_i : Le $i^{\text{ème}}$ projet, pour $i = 1, 2, \dots, N$.

N : le nombre de projets (32).

4.5 L'ensemble Des critères

Les critères des systèmes d'approvisionnement en énergie sont résumés sous les aspects techniques, économiques, environnementaux et sociaux.

Un projet pétrolier et gazier évolue dans un environnement complexe et donc incertain. Afin d'être réalisé, celui-ci dépend de plusieurs critères :

1. POS (Probability Of Success) :

La probabilité de succès est un moyen de mesurer le risque géologique. Pour ce type de problème, les probabilités sont presque subjectives.

C'est la probabilité d'existence d'hydrocarbures, en tenant compte d'un certain nombre de paramètres comme l'existence d'une géométrie favorable, l'existence de la roche mère, réservoir, couverture et du type de piège .

La valeur de la probabilité de succès est estimé comme suit :

$$POS = P_C * P_M * P_R * P_P$$

avec :

P_C : La probabilité d'existence d'une roche couverture

P_M : La probabilité d'existence d'une roche mère

P_R : La probabilité d'existence d'un réservoir

P_P : La probabilité de la présence d'un piège

2. Investissement :

L'investissement est une dépense de l'argent dans l'espoir de trouver les hydrocarbures.

3. Ressources :

Les ressources désignent l'ensemble des volumes d'hydrocarbures qui seraient associés à des zones encore inexplorées ou peu explorées et situées dans un système pétrolier à potentiel prouvé (volumes restant à découvrir).

4. Engagement :

L'étape d'exploration des hydrocarbures comprend trois phases .

La première phase (3ans)

La deuxième phase (2ans)

La troisième phase (2ans)

Chaque phase a des obligations et des engagement à réaliser. ces engagements sont en général présentés sous forme d'un programme physique :

Le volume de sismique 2D ou 3D

Le nombre de forage réalisé par chaque phase

Si ce critère (l'engagement) est réalisé on donne la valeur 01 , sinon la valeur 02

Engagement	
Oui	2
Non	1

5. Types de fluides :

Gaz ou l'huile ou les deux en même temps ,

Ce critère prend les valeurs 1 ; 2 et 3 : La valeur 1 pour le Gaz

La valeur 2 pour le Gaz et l'Huile

La valeur 3 pour l'Huile

Type de fluide	
H	3
H& G	2
G	1

Sonatrach a besoin de produire plus d'huile (production en déclin). Pour cela ce critère est a maximiser

6. Catégorie stratégique :

4 sous critères permettent de déterminer la catégorie stratégique du prospect :

- a) Le système pétrolier :
 - Le système pétrolier est-il défini et connu (roches mères, réservoirs, ...etc.)?
 - Le fonctionnement est-il prouvé ?
- b) Types de plays :
 - Quel est le niveau d'exploration du play ?
 - Le prospect est - il proche d'infrastructures pétrolières existantes ?
- c) Types de réservoirs :
 - Le réservoir nécessite-t-il le recours à des moyens d'extraction particuliers (stimulation, fracturation,...)
 - Quel est la perméabilité du réservoir ?
- d) Type de piège :
 - Quelle est le type d'architecture du piège ?
Ce critère prend les valeurs 1 ; 2 ; 3 et 4 :

Catégorie stratégique	
A	4
B	3
C	2
D	1

4.6 Table de synthèse de l'entreprise SONATRACH

ASSETS	BASSIN	PERIMETRE (Au 31/12/2019)	Puits engagement (Oui/Non)	projets	TYPE	Engagem ent	Inv (MDA)	Inv (MMS)	Ress (MMTEP) en P50	POS	Catégorie stratégie	Type de fluide (H/G)
D.A.N	ATLAS-SUD EST CONSTANTINOIS	EL OUADED II	Non	Projet 1	W	1	1 768 883	14,86	1,72	23%	C 2	1
D.A.N	ATLAS-SUD EST CONSTANTINOIS	EL OUADED II	Oui	Projet 2	W	2	1 554 121	13,06	11,63	27%	C 2	H & G 2
D.A.O	AHNET GOURARA	IN SALAH II	Oui	Projet 3	W	2	1 571 244	13,20	9,73	31%	A 4	G 1
D.A.O	AHNET GOURARA	AHNET	Oui	Projet 4	W	2	1 197 213	10,06	8,01	23%	B 3	G 1
D.A.O	AHNET GOURARA	AHNET	Non	Projet 5	W	1	1 485 174	12,48	5,05	20%	B 3	G 1
D.A.O	T.R.S	REGGANE II	Non	Projet 6	W	1	1 716 492	14,42	4,54	20%	A 4	G 1
D.A.O	T.R.S	RAZKALLAH	Oui	Projet 7	W	2	1 930 216	16,22	10,58	19%	A 4	G 1
D.A.O	T.R.S	SBAA	Oui	Projet 8	W	2	1 559 483	13,10	6,47	24%	A 4	H & G 2
D.A.O	BECHAR OUED NAMOUS	TAGHIT	Non	Projet 9	W	1	1 461 532	12,28	16,82	27%	C 2	H & G 2
D.A.E	ILUZI	ERG ISSAOUANE II	Non	Projet 10	W	1	1 030 559	8,66	5,01	24%	A 4	H & G 2
D.A.E	ILUZI	ERG EL OUAR	Oui	Projet 11	W	2	1 404 183	11,80	2,98	34%	C 2	H & G 2
D.A.E	ILUZI	TIMISSIT EST	Oui	Projet 12	W	2	1 198 969	10,08	2,57	34%	C 2	G 1
D.A.E	BERKINE OUEST	LEDJMET II	Oui	Projet 13	W	2	1 737 623	14,60	3,72	29%	A 4	H & G 2
D.A.E	BERKINE OUEST	LEDJMET II	Non	Projet 14	W	1	1 373 568	11,54	5,41	40%	A 4	H & G 2
D.A.E	BERKINE OUEST	LEDJMET SUD OUEST II	Oui	Projet 15	W	2	1 653 085	13,89	3,83	46%	C 2	G 1
D.A.E	BERKINE OUEST	GASSI TOUIL II	Non	Projet 16	W	1	1 059 279	8,90	12,19	23%	B 3	G 1
D.A.E	BERKINE OUEST	IN AMEDJANE	Non	Projet 17	W	1	1 491 368	12,53	8,85	40%	C 2	G 1
D.A.E	BERKINE EST	BIR BERKINE OUEST	Non	Projet 18	W	1	1 185 697	9,96	5,79	34%	A 4	G 1
D.A.E	BERKINE EST	TIMISSIT OUEST	Non	Projet 19	W	1	1 422 662	11,96	3,24	29%	A 4	H 3
D.A.E	BERKINE EST	ZEMLET EN NAGA	Oui	Projet 20	W	2	1 798 372	15,11	1,38	29%	A 4	H 3
D.A.E	BERKINE EST	EL BORMA	Oui	Projet 21	W	2	984 647	8,27	13,16	51%	A 4	H 3
D.A.C	OUED MYA	GHARDAIA II	Oui	Projet 22	W	2	1 002 627	8,43	7,18	30%	A 4	H 3
D.A.C	OUED MYA	GHARDAIA II	Non	Projet 23	W	1	1 208 243	10,15	2,41	29%	A 4	H 3
D.A.C	OUED MYA	GHARDAIA II	Non	Projet 24	W	1	1 384 428	11,63	7,47	25%	A 4	H 3
D.A.C	OUED MYA	GHARDAIA II	Non	Projet 25	W	1	943 240	7,93	14,01	40%	C 2	H & G 2
D.A.C	OUED MYA	GHARDAIA II	Non	Projet 26	W	1	1 239 720	10,42	4,18	40%	B 3	H & G 2
D.A.C	OUED MYA	EL MZAID II	Non	Projet 27	W	1	1 529 339	12,85	12,96	35%	A 4	H 3
D.A.C	OUED MYA	DAOURA	Non	Projet 28	W	1	1 062 415	8,93	8,04	35%	A 4	H 3
D.A.C	OUED MYA	EL HADJIRA II	Non	Projet 29	W	1	1 239 720	10,42	9,10	35%	A 4	H 3
D.A.C	AMGUID MESSAOUD	TOUGGOURT EST I	Oui	Projet 30	W	2	1 391 977	11,70	3,03	40%	A 4	H 3
D.A.C	AMGUID MESSAOUD	TOUGGOURT EST II	Oui	Projet 31	W	2	1 394 370	11,72	9,14	35%	A 4	H 3
D.A.C	AMGUID MESSAOUD	OUED EL MERA	Non	Projet 32	W	1	1 438 027	12,08	19,14	35%	A 4	H 3

FIGURE 4.1: Synthèse des résultats économiques par projet

4.7 Matrice de décision

La table ci dessous définit la matrice de décision regroupant la performance du projet p_i par rapport au critère c_j pour $i = 1, 2, \dots, 32$ et $j = 1, 2, \dots, 6$.

Cette analyse est basée sur les résultats obtenus en 2020 par rapport à la planification et à la sélection des projets de développement en 2019.

Elle est définie comme suit :

Projet	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	catégorie stratégique
P1	1,00	0,23	1,72	14,86	1,00	2,00
P2	2,00	0,27	11,63	13,06	2,00	2,00
P3	2,00	0,31	9,73	13,20	1,00	4,00
P4	2,00	0,23	8,01	10,06	1,00	3,00
P5	1,00	0,20	5,05	12,48	1,00	3,00
P6	1,00	0,20	4,54	14,42	1,00	4,00
P7	2,00	0,19	10,58	16,22	1,00	4,00
P8	2,00	0,24	6,47	13,10	2,00	4,00
P9	1,00	0,27	16,82	12,28	2,00	2,00
P10	1,00	0,24	5,01	8,66	2,00	4,00
P11	2,00	0,34	2,98	11,80	2,00	2,00
P12	2,00	0,34	2,57	10,08	1,00	2,00
P13	2,00	0,29	3,72	14,60	2,00	4,00
P14	1,00	0,40	5,41	11,54	2,00	4,00
P15	2,00	0,46	3,83	13,89	1,00	2,00
P16	1,00	0,23	12,19	8,90	1,00	3,00
P17	1,00	0,40	8,85	12,53	1,00	2,00
P18	1,00	0,34	5,79	9,96	1,00	4,00
P19	1,00	0,29	3,24	11,96	3,00	4,00
P20	2,00	0,29	1,38	15,11	3,00	4,00
P21	2,00	0,51	13,16	8,27	3,00	4,00
P22	2,00	0,30	7,18	8,43	3,00	4,00
P23	1,00	0,29	2,41	10,15	3,00	4,00
P24	1,00	0,25	7,47	11,63	3,00	4,00
P25	1,00	0,40	14,01	7,93	2,00	2,00
P26	1,00	0,40	4,18	10,42	2,00	3,00
P27	1,00	0,35	12,96	12,85	3,00	4,00
P28	1,00	0,35	8,04	8,93	3,00	4,00
P29	1,00	0,35	9,10	10,42	3,00	4,00
P30	2,00	0,40	3,03	11,70	3,00	4,00
P31	2,00	0,35	9,14	11,72	3,00	4,00
P32	1,00	0,35	19,14	12,08	3,00	4,00
Sens d'opt	max	max	max	min	max	max

TABLE 4.1: La matrice de décision

4.8 Choix d'une méthode d'aide à la décision multicritère

Pour choisir une méthode d'aide à la décision multicritères, plusieurs critères doivent être considérés. Premièrement, il faut trouver une méthode efficace, c'est-à-dire la méthode qui reflète le mieux la « juste valeur » des décideurs. La méthode choisie doit alors fournir au décideur toutes les informations dont il a besoin tout en étant appropriée au sens d'être compatible avec des données accessibles. Enfin, il doit être facile à utiliser et à comprendre. En fait, si le décideur ne peut pas comprendre ce qui se passe dans la méthodologie, il la traitera comme une boîte noire. Pour une meilleure certitude de nos résultats, nous avons opté pour la résolution du problème avec différentes méthodes, bien connues pour leurs efficacités.

4.9 Application des méthodes de pondération

Après avoir identifié une série de critères cohérentes, nous continuerons à évaluer l'importance relative de chacun des critères précédemment sélectionnés. Cette évaluation se fera en calculant les poids des différents critères.

4.9.1 Résolution avec la méthode ROC

La méthode ROC est le mécanisme utilisé actuellement par SONATRACH par la note d'orientation dictée par le top management pour classer leurs projets et sélectionner un meilleur portefeuille de projets d'exploration pétrolière et gazière.

➤ Étape 01 :

Le décideur doit donner un ordre sur les critères selon ses préférences : le critère le moins important se voit affecter la valeur 1.

Engagement	POS	Ressources	Investissement	Types de fluides	Catégorie stratégique
1	2	3	4	5	6

TABLE 4.2: Les préférences des critères

➤ Étape 02 :

Normaliser les valeurs obtenues par la formule de Roc
voici le résultat :

Critère i	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Types de fluide	Catégorie stratégique
W_j	0.41	0.24	0.16	0.1	0.06	0.03

4.9.2 Résolution avec la méthode RS

Calculons le vecteur poids (w_j) en utilisant la formule :

$$W_j(RS) = \frac{n - p_j + 1}{\sum_{k=1}^n n - p_k + 1}$$

critère j	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorisation
p_j	1	2	3	4	5	6
$n-p_j+1$	6	5	4	3	2	1
W_j	0.2857	0.2381	0.1905	0.1429	0.0952	0.0476

4.9.3 Résolution avec la méthode d'entropie

1. Nous devons calculer la matrice de décision normalisée :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	0.0217	0.0229	0.0072	0.0398	0.0154	0.0185
A_2	0.0435	0.0268	0.0486	0.0350	0.0308	0.0185
A_3	0.0435	0.0308	0.0407	0.0354	0.0154	0.0370
A_4	0.0435	0.0229	0.0335	0.0270	0.0154	0.0278
A_5	0.0217	0.0199	0.0211	0.0334	0.0154	0.0278
A_6	0.0217	0.0199	0.0190	0.0386	0.0154	0.0370
A_7	0.0435	0.0189	0.0442	0.0435	0.0154	0.0278
A_8	0.0435	0.0239	0.0270	0.0351	0.0308	0.0370
A_9	0.0217	0.0268	0.0703	0.0329	0.0308	0.0185
A_{10}	0.0217	0.0239	0.0209	0.0232	0.0308	0.0370
A_{11}	0.0435	0.0338	0.0124	0.0316	0.0308	0.0185
A_{12}	0.0435	0.0338	0.0107	0.0270	0.0154	0.0185
A_{13}	0.0435	0.0288	0.0155	0.0391	0.0308	0.0370
A_{14}	0.0217	0.0398	0.0226	0.0309	0.0308	0.0370
A_{15}	0.0435	0.0457	0.0160	0.0372	0.0154	0.0185
A_{16}	0.0217	0.0229	0.0509	0.0238	0.0154	0.0278
A_{17}	0.0217	0.0398	0.0370	0.0336	0.0154	0.0185
A_{18}	0.0217	0.0338	0.0242	0.0267	0.0154	0.0370
A_{19}	0.0217	0.0288	0.0135	0.0320	0.0462	0.0370
A_{20}	0.0435	0.0288	0.0057	0.0405	0.0462	0.0370
A_{21}	0.0435	0.0507	0.0550	0.0222	0.0462	0.0370
A_{22}	0.0435	0.0298	0.0300	0.0226	0.0462	0.0370
A_{23}	0.0217	0.0288	0.0101	0.0272	0.0462	0.0370
A_{24}	0.0217	0.0249	0.0312	0.0312	0.0462	0.0370
A_{25}	0.0217	0.0398	0.0586	0.0212	0.0308	0.0185
A_{26}	0.0217	0.0398	0.0175	0.0279	0.0308	0.0278
A_{27}	0.0217	0.0348	0.0542	0.0344	0.0462	0.0370
A_{28}	0.0217	0.0348	0.0336	0.0239	0.0462	0.0370
A_{29}	0.0217	0.0348	0.0380	0.0279	0.0462	0.0370
A_{30}	0.0435	0.0398	0.0127	0.0313	0.0462	0.0370
A_{31}	0.0435	0.0348	0.0382	0.0314	0.0462	0.0370
A_{32}	0.0217	0.0348	0.0800	0.0324	0.0462	0.0370

TABLE 4.3: La matrice normalisé d'entropie

$$h = \frac{1}{\ln(m)} = \frac{1}{\ln(32)} = 0.0288539008177793$$

2. Calculons l'entropie :

e_j	0.9830	0.9914	0.9497	0.9951	0.9735	0.9898
$1 - e_j$	0.0170	0.0086	0.0503	0.0049	0.0265	0.0102

3. Le vecteur poids : $W_j = (0.14502 \quad 0.07283 \quad 0.42809 \quad 0.04195 \quad 0.2255 \quad 0.08661)$

4.9.4 Résolution avec la méthode CRITIC

➤ Étape 01 : Normalisation de la matrice de décision :

	Engage- ment	POS	Ressource	Investisse- ment	Type de fluide	Catégorie stratégique
Projet 1	0	0,125	0,0193	0,8364	0	0
Projet 2	1	0,25	0,577	0,6187	0,5	0
Projet 3	2	0,375	0,4705	0,6361	0	1
Projet 4	2	0,125	0,373	0,2570	0	0,5
Projet 5	1	0,03125	0,2066	0,548	0	0,5
Projet 6	1	0,03125	0,1779	0,78339	0	1
Projet 7	2	0	0,5184	1,00003	0	1
Projet 8	2	0,15625	0,2867	0,6242	0,5	1
Projet 9	1	0,25	0,869	0,5249	0,5	0
Projet 10	1	0,15625	0,2044	0,0880	0,5	1
Projet 11	2	0,46875	0,0900	0,4668	0,5	0
Projet 12	2	0,468	0,0672	0,2587	0	0
Projet 13	2	0,3125	0,1318	0,8048	0,5	1
Projet 14	1	0,65625	0,227	0,4357	0,5	1
Projet 15	2	0,843	0,138	0,7191	0	0
Projet 16	1	0,125	0,6089	0,1171	0	0,5
Projet 17	1	0,65625	0,4205	0,5551	0	0
Projet 18	1	0,468	0,2486	0,2453	0	1
Projet 19	1	0,3125	0,104	0,4855	1	1
Projet 20	2	0,3125	1,25025	0,866	1	1
Projet 21	2	1	0,6635	0,0415	0,0597	1
Projet 22	2	0,3437	0,326	0,268	1	1
Projet 23	1	0,3125	0,058	0,44678	1	1
Projet 24	1	0,1875	0,3432	-0,00043	1	1
Projet 25	1	0,65625	0,7116	0,30009	0,5	0
Projet 26	1	0,65625	0,158	0,59367	0,5	0,5
Projet 27	1	0,5	0,652	0,1203	1	1
Projet 28	1	0,5	0,3752	0,30009	1	1
Projet 29	1	0,5	0,4346	0,4544	1	1
Projet 30	2	0,65625	0,0932	0,4568	1	1
Projet 31	2	0,5	0,4369	0,50111	1	1
Projet 32	1	0,5	1	0,501	1	1

TABLE 4.4: Matrice normalisé de CRITIC

➤ Étape 02 :
Calculons l'écart type σ_j pour chaque critère.

$$\sigma_j = (0,5535 \quad 0,24410,2549 \quad 0,2631 \quad 0,4303 \quad 0,4353)$$

➤ Étape 03 :

Déterminons la matrice symétrique de 6*6 avec l'élément r_{jk} dont le coefficient de corrélation linéaire entre le vecteur x_j et x_k .

r_{ij}	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
Engagement	1	0,18461	-0,1247	0,0893	0,04231	0,16731
POS	0,18461	1	0,11613	-0,34018	0,30492	-0,0916
Ressource	-0,12475	0,1161	1	-0,1971	0,131	-0,03820
Investissement	0,08939	-0,34018	-0,19719	1	-0,2582	-0,02435
Type de fluide	0,04231	0,3049	0,1315	-0,2582	1	0,5003
Catégorie stratégique	0,1673	-0,0912	-0,0382	-0,0243	0,5003	1

➤ Étape 04 :

Calculons la mesure du conflit créé par le critère j par rapport à la situation de décision définie par le reste des critères.

$$\sum_{j=1}^6 (1 - r_{ij}) = \begin{pmatrix} 4,6411159 \\ 4,8258050 \\ 5,1124680 \\ 5,7306177 \\ 4,2791298 \\ 4,4861670 \end{pmatrix}$$

➤ Étape 05 :

Déterminons la quantité d'informations par rapport à chaque critère,

$$c_{ij} = \begin{pmatrix} 2,56923 \\ 1,17797 \\ 1,30364 \\ 1,5077 \\ 1,8416 \\ 1,9529 \end{pmatrix}$$

➤ Étape 06 :

Calculons les poids objectifs.

$$W_j = \begin{pmatrix} 0,2482 \\ 0,1138 \\ 0,1259 \\ 0,1456 \\ 0,1779 \\ 0,1886 \end{pmatrix}$$

4.9.5 Résolution avec la méthode SD

Normalisation de la matrice de décision :

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
Projet 1	0	0,125	0,0193	0,8364	0	0
Projet 2	1	0,25	0,577	0,6187	0,5	0
Projet 3	2	0,375	0,4705	0,6361	0	1
Projet 4	2	0,125	0,373	0,2570	0	0,5
Projet 5	1	0,03125	0,2066	0,548	0	0,5
Projet 6	1	0,03125	0,1779	0,78339	0	1
Projet 7	2	0	0,5184	1,00003	0	1
Projet 8	2	0,15625	0,2867	0,6242	0,5	1
Projet 9	1	0,25	0,869	0,5249	0,5	0
Projet 10	1	0,15625	0,2044	0,0880	0,5	1
Projet 11	2	0,46875	0,0900	0,4668	0,5	0
Projet 12	2	0,468	0,0672	0,2587	0	0
Projet 13	2	0,3125	0,1318	0,8048	0,5	1
Projet 14	1	0,65625	0,227	0,4357	0,5	1
Projet 15	2	0,843	0,138	0,7191	0	0
Projet 16	1	0,125	0,6089	0,1171	0	0,5
Projet 17	1	0,65625	0,4205	0,5551	0	0
Projet 18	1	0,468	0,2486	0,2453	0	1
Projet 19	1	0,3125	0,104	0,4855	1	1
Projet 20	2	0,3125	1,25025	0,866	1	1
Projet 21	2	1	0,6635	0,0415	0,0597	1
Projet 22	2	0,3437	0,326	0,268	1	1
Projet 23	1	0,3125	0,058	0,44678	1	1
Projet 24	1	0,1875	0,3432	-0,00043	1	1
Projet 25	1	0,65625	0,7116	0,30009	0,5	0
Projet 26	1	0,65625	0,158	0,59367	0,5	0,5
Projet 27	1	0,5	0,652	0,1203	1	1
Projet 28	1	0,5	0,3752	0,30009	1	1
Projet 29	1	0,5	0,4346	0,4544	1	1
Projet 30	2	0,65625	0,0932	0,4568	1	1
Projet 31	2	0,5	0,4369	0,50111	1	1
Projet 32	1	0,5	1	0,501	1	1

TABLE 4.5: La matrice normalisé de SD

$$\sigma_j = (0,55358 \quad 0,2441 \quad 0,2549 \quad 0,2631 \quad 0,4303 \quad 0,43533)$$

$$\sum_{j=1}^n \sigma_j = 2,1815$$

$$W_j = (0,2537 \quad 0,1118 \quad 0,1168 \quad 0,1206 \quad 0,1972 \quad 0,1995)$$

4.10 Application des méthodes d'Aide à la Décision Multicritère

Pour proposer aux décideurs le plus de choix possible, et pour une meilleure certitude de nos résultats, nous avons opté pour la résolution du problème avec deux différentes méthodes (VIKOR et TOPSIS) en utilisant trois différents vecteur de poids(Entropie,Critic,RS), bien connues pour leurs efficacités et ayant une large utilisation

4.10.1 La méthode de résolution de l'entreprise Sonatrach

➤ Étape 01 : Normaliser la matrice de décision comme suit :

$$D_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})}, & \text{si on veut maximiser l'attribut } j. \\ \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}}, & \text{si on veut minimiser l'attribut } j. \end{cases}$$

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
P_1	0.50	0.45	0.09	0.53	0.33	0.50
P_2	1.00	0.53	0.61	0.61	0.67	0.50
P_3	1.00	0.61	0.51	0.60	0.33	1.00
P_4	1.00	0.45	0.42	0.79	0.33	0.75
P_5	0.50	0.39	0.26	0.64	0.33	0.75
P_6	0.50	0.39	0.24	0.55	0.33	1.00
P_7	1.00	0.37	0.55	0.49	0.33	1.00
P_8	1.00	0.47	0.34	0.60	0.67	1.00
P_9	0.50	0.53	0.88	0.65	0.67	0.50
P_{10}	0.50	0.47	0.26	0.92	0.67	1.00
P_{11}	1.00	0.67	0.16	0.67	0.67	0.50
P_{12}	1.00	0.67	0.13	0.79	0.33	0.50
P_{13}	1.00	0.57	0.19	0.54	0.67	1.00
P_{14}	0.50	0.78	0.28	0.69	0.67	1.00
P_{15}	1.00	0.90	0.20	0.57	0.33	0.50
P_{16}	0.50	0.45	0.64	0.89	0.33	0.75
P_{17}	0.50	0.78	0.46	0.63	0.33	0.50
P_{18}	0.50	0.67	0.30	0.80	0.33	1.00
P_{19}	0.50	0.57	0.17	0.66	1.00	1.00
P_{20}	1.00	0.57	0.07	0.52	1.00	1.00
P_{21}	1.00	1.00	0.69	0.96	1.00	1.00
P_{22}	1.00	0.59	0.38	0.94	1.00	1.00
P_{23}	0.50	0.57	0.13	0.78	1.00	1.00
P_{24}	0.50	0.49	0.39	0.68	1.00	1.00
P_{25}	0.50	0.78	0.73	1.00	0.67	0.50
P_{26}	0.50	0.78	0.22	0.76	0.67	0.75
P_{27}	0.50	0.69	0.68	0.62	1.00	1.00
P_{28}	0.50	0.69	0.42	0.89	1.00	1.00
P_{29}	0.50	0.69	0.48	0.76	1.00	1.00
P_{30}	1.00	0.78	0.16	0.68	1.00	1.00
P_{31}	1.00	0.69	0.48	0.68	1.00	1.00
P_{32}	0.50	0.69	1.00	0.66	1.00	1.00

➤ Étape 02 : Calculer la matrice R_{ij} tels que :

$$R_{ij} = \prod_j^M w_j D_{ij}$$

M : nombre de critères.

Le vecteur poids :

$$w_j = (0.41 \quad 0.24 \quad 0.16 \quad 0.1 \quad 0.06 \quad 0.03)$$

➤ Étape 03 : Calculer :

$$A_i = \sum_{j=1}^M R_{ij}$$

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	A_i
P_1	0.20	0.11	0.01	0.05	0.33	0.50	0.42
P_2	0.41	0.13	0.10	0.06	0.04	0.01	0.75
P_3	0.41	0.15	0.08	0.06	0.02	0.03	0.75
P_4	0.41	0.11	0.07	0.08	0.02	0.02	0.71
P_5	0.20	0.09	0.04	0.07	0.02	0.02	0.45
P_6	0.20	0.09	0.04	0.06	0.02	0.03	0.44
P_7	0.41	0.09	0.09	0.05	0.02	0.03	0.68
P_8	0.41	0.11	0.05	0.06	0.04	0.03	0.71
P_9	0.20	0.13	0.14	0.07	0.04	0.01	0.59
P_{10}	0.20	0.11	0.04	0.09	0.04	0.03	0.52
P_{11}	0.41	0.16	0.02	0.07	0.04	0.01	0.72
P_{12}	0.41	0.16	0.02	0.08	0.02	0.01	0.71
P_{13}	0.41	0.14	0.03	0.06	0.04	0.03	0.70
P_{14}	0.20	0.19	0.04	0.07	0.04	0.03	0.58
P_{15}	0.41	0.22	0.03	0.06	0.02	0.01	0.75
P_{16}	0.20	0.11	0.10	0.09	0.02	0.02	0.55
P_{17}	0.20	0.19	0.07	0.07	0.02	0.01	0.57
P_{18}	0.20	0.16	0.05	0.08	0.02	0.03	0.54
P_{19}	0.20	0.14	0.03	0.07	0.06	0.03	0.53
P_{20}	0.41	0.14	0.01	0.05	0.06	0.03	0.70
P_{21}	0.41	0.24	0.11	0.10	0.06	0.03	0.95
P_{22}	0.41	0.14	0.06	0.10	0.06	0.03	0.80
P_{23}	0.20	0.14	0.02	0.08	0.06	0.03	0.53
P_{24}	0.20	0.12	0.06	0.07	0.06	0.03	0.54
P_{25}	0.20	0.19	0.12	0.10	0.04	0.01	0.67
P_{26}	0.20	0.19	0.03	0.08	0.04	0.02	0.57
P_{27}	0.20	0.17	0.11	0.06	0.06	0.03	0.63
P_{28}	0.20	0.17	0.07	0.09	0.06	0.03	0.62
P_{29}	0.20	0.17	0.08	0.08	0.06	0.03	0.61
P_{30}	0.41	0.19	0.03	0.07	0.06	0.03	0.78
P_{31}	0.41	0.17	0.08	0.07	0.06	0.03	0.81
P_{32}	0.20	0.17	0.16	0.07	0.06	0.03	0.68

➤ Étape 04 : Classement des alternatives selon l'ordre décroissant des A_i :

Projet i	A_i
P_{21}	0.95
P_{31}	0.81
P_{22}	0.80
P_{30}	0.78
P_{15}	0.75
P_2	0.75
P_3	0.75
P_{11}	0.72
P_8	0.71
P_{12}	0.71
P_4	0.71
P_{13}	0.70
P_{20}	0.70
P_{32}	0.68
P_7	0.68
P_{25}	0.67
P_{27}	0.63
P_{28}	0.62
P_{29}	0.61
P_9	0.59
P_{14}	0.58
P_{26}	0.57
P_{17}	0.57
P_{16}	0.55
P_{24}	0.54
P_{18}	0.54
P_{23}	0.53
P_{19}	0.53
P_{10}	0.52
P_5	0.45
P_6	0.44
P_1	0.42

TABLE 4.6: Classement des alternatives

4.10.2 Résolution avec la méthode VIKOR

Utilisant les poids calculés par la méthode entropie

- Étape 01 : On détermine les meilleures et les pires valeurs de toutes les fonctions critères ;

La meilleure (f_j^*)	2	0,1900	19,13600	16,2203	3	4
La pire (f_j^-)	1	0,51000	1,3760	7,9263	1	2

- Étape 02 : Prenons les poids obtenus avec la méthode d'entropie :

$$W_j = (0.14502 \quad 0.07283 \quad 0.42809 \quad 0.04195 \quad 0.2255 \quad 0.08661)$$

- Étape 03 : Calculons les valeurs S_i ; R_i et Q_i .

P_i	S_i	R_i	Q_i
P_1	0,8928	0.4198	0.9852
P_2	0,4144	0.1809	0
P_3	0,4947	0.2266	0.1797
P_4	0,5771	0.2681	0.3526
P_5	0,7746	0.3396	0.7086
P_6	0,7337	0.3519	0.6917
P_7	0,4316	0.2255	0.1113
P_8	0,4452	0.3054	0.2927
P_9	0,4382	0.1450	0.0249
P_{10}	0,6479	0.3406	0.5999
P_{11}	0,6454	0.3895	0.6863
P_{12}	0,7766	0.3993	0.8412
P_{13}	0,5153	0.3717	0.5179
P_{14}	0,6599	0.3308	0.5946
P_{15}	0,7543	0.3690	0.7628
P_{16}	0,6273	0.2255	0.3690
P_{17}	0,7716	0.2481	0.5608
P_{18}	0,7579	0.3216	0.6803
P_{19}	0,5725	0.3832	0.5985
P_{20}	0,4564	0.4281	0.5439
P_{21}	0,2570	0.1440	0
P_{22}	0,3526	0.2882	0.3290
P_{23}	0,6016	0.4032	0.7272
P_{24}	0,4630	0.2812	0.4034
P_{25}	0,5575	0.1450	0.2381
P_{26}	0,7386	0.3604	0.7596
P_{27}	0,3473	0.1489	0.0796
P_{28}	0,4857	0.2675	0.3972
P_{29}	0,4527	0.2420	0.3264
P_{30}	0,4588	0.3882	0.5884
P_{31}	0,3002	0.2410	0.2048
P_{32}	0,2023	0.1450	0.0018

TABLE 4.7: Les valeurs S_i & R_i & Q_i

➤ Étape 04 : Classement des alternatives selon l'ordre croissant :

P_i	S_i	P_i	R_i	P_i	Q_i
P_{32}	0,2024	P_{21}	0,1440	P_2	0,0000
P_{21}	0,2570	P_9	0,1450	P_{21}	0,0000
P_{31}	0,3002	P_{25}	0,1450	P_{32}	0,0018
P_{27}	0,3473	P_{35}	0,1450	P_9	0,0249
P_{22}	0,3527	P_{27}	0,1489	P_{27}	0,0796
P_2	0,4144	P_2	0,1809	P_7	0,1113
P_7	0,4316	P_7	0,2255	P_3	0,1797
P_9	0,4382	P_{16}	0,2255	P_{31}	0,2048
P_8	0,4452	P_3	0,2266	P_{25}	0,2381
P_{29}	0,4528	P_{31}	0,2410	P_8	0,2927
P_{20}	0,4565	P_{29}	0,2420	P_{29}	0,3264
P_{30}	0,4588	P_{17}	0,2481	P_{22}	0,3290
P_{24}	0,4630	P_{28}	0,2675	P_4	0,3526
P_{28}	0,4858	P_4	0,2681	P_{16}	0,3690
P_3	0,4947	P_{24}	0,2812	P_{28}	0,3972
P_{13}	0,5153	P_{22}	0,2882	P_{24}	0,4034
P_{25}	0,5576	P_8	0,3054	P_{13}	0,5179
P_{19}	0,5725	P_{18}	0,3216	P_{20}	0,5439
P_4	0,5772	P_{14}	0,3308	P_{17}	0,5608
P_{23}	0,6017	P_5	0,3396	P_{30}	0,5884
P_{16}	0,6274	P_{10}	0,3406	P_{14}	0,5946
P_{11}	0,6454	P_6	0,3519	P_{19}	0,5985
P_{10}	0,6480	P_{26}	0,3604	P_{10}	0,5999
P_{14}	0,6600	P_{15}	0,3690	P_{18}	0,6803
P_6	0,7338	P_{13}	0,3717	P_{11}	0,6863
P_{26}	0,7386	P_{19}	0,3832	P_6	0,6917
P_{15}	0,7543	P_{30}	0,3882	P_5	0,7086
P_{18}	0,7579	P_{11}	0,3895	P_{23}	0,7272
P_{17}	0,7716	P_{12}	0,3993	P_{26}	0,7596
P_5	0,7746	P_{23}	0,4032	P_{15}	0,7628
P_{12}	0,7766	P_1	0,4198	P_{12}	0,8412
P_1	0,8929	P_{20}	0,4281	P_1	0,9852

➤ Étape 05 : Vérifions les conditions suivantes :

👉 Condition 01 : $Q(A'') - Q(A') \geq \frac{1}{n-1}$ $Q(P_{21}) - Q(P_2) \geq \frac{1}{32-1}$

$$\frac{1}{32-1} = 0.03225806 \quad Q(P_{21}) - Q(P_2) = 0.00$$

La condition n'est pas vérifiée .

👉 Condition 02 : Alternative P_2 qui a le premier rang dans Q, n'est pas la même avec celle qui a le premier rang dans S (P_{32}) et R P_{21} .

Les deux conditions ne sont pas satisfaites. C'est un mal classement .

Utilisant les poids calculés par la méthode CRITIC

- Étape 01 : On détermine les meilleures et les pires valeurs de toutes les fonctions critères :

La meilleure (f_j^*)	2	0,1900	19,13600	16,2203	3	4
Le pire (f_j^-)	1	0,51000	1,3760	7,9263	1	2

- Étape 02 : Prenons les poids obtenus avec la méthode CRITIC

$$W_j = (0,2482 \quad 0,1138 \quad 0,1259 \quad 0,1456 \quad 0,1779 \quad 0,1886)$$

- Étape 03 : Calculons les valeurs S_i & R_i & Q_i .

P_i	S_i	R_i	Q_i
P_1	0,7721	0,2480	0,0000
P_2	0,4031	0,1770	0,1487
P_3	0,3496	0,1880	0,1677
P_4	0,4568	0,1880	0,2667
P_5	0,6791	0,2480	0,3031
P_6	0,567	0,2480	0,3573
P_7	0,2481	0,1880	0,3704
P_8	0,2482	0,0940	0,5248
P_9	0,6251	0,2480	0,5686
P_{10}	0,5671	0,2480	0,5739
P_{11}	0,5129	0,1770	0,6054
P_{12}	0,6332	0,1880	0,6132
P_{13}	0,2698	0,1085	0,6469
P_{14}	0,59746	0,2480	0,6554
P_{15}	0,62682	0,1880	0,6813
P_{16}	0,6912	0,2480	0,693
P_{17}	0,83083	0,2480	0,7042
P_{18}	0,68312	0,2480	0,7126
P_{19}	0,46330	0,2480	0,7392
P_{20}	0,185407	0,1250	0,7416
P_{21}	0,29530	0,1450	0,7533
P_{22}	0,24020	0,1062	0,7683
P_{23}	0,49370	0,2480	0,7732
P_{24}	0,419769	0,2480	0,8037
P_{25}	0,7632	0,2480	0,8120
P_{26}	0,70995	0,2480	0,8140
P_{27}	0,40986	0,2480	0,8502
P_{28}	0,497952	0,2480	0,8600
P_{29}	0,470220	0,2480	0,8871
P_{30}	0,270124	0,1133	0,9168
P_{31}	0,204232	0,0725	0,9182
P_{32}	0,376851	0,2480	1,0000

TABLE 4.8: Les valeurs S_i & R_i & Q_i

➤ Étape 04 : Classement des alternatives selon l'ordre croissant :

P_i	S_i	P_i	R_i	P_i	Q_i
P_{21}	0,0481	P_{21}	0,0421	P_{21}	0,0000
P_{22}	0,1670	P_{31}	0,0704	P_{31}	0,1487
P_{31}	0,1932	P_{22}	0,0842	P_{22}	0,1677
P_{30}	0,2181	P_8	0,0953	P_{30}	0,2667
P_{20}	0,3283	P_{30}	0,1133	P_8	0,3031
P_8	0,1035	P_{18}	0,1167	P_{20}	0,3573
P_{32}	0,3772	P_{20}	0,1256	P_{16}	0,3704
P_{13}	0,3914	P_3	0,1770	P_3	0,5248
P_{28}	0,4001	P_4	0,1770	P_4	0,5686
P_3	0,4061	P_7	0,1770	P_7	0,5739
P_{29}	0,4187	P_2	0,1880	P_2	0,6054
P_{27}	0,4341	P_{11}	0,1880	P_{11}	0,6132
P_{23}	0,4824	P_{12}	0,1880	P_{12}	0,649
P_4	0,4855	P_{15}	0,1880	P_{15}	0,6554
P_{24}	0,4867	P_1	0,2480	P_{32}	0,3813
P_7	0,4952	P_5	0,2480	P_{28}	0,6939
P_2	0,5038	P_6	0,2480	P_{29}	0,7042
P_{19}	0,5080	P_9	0,2480	P_{27}	0,7126
P_{11}	0,5180	P_{10}	0,2480	P_{23}	0,7392
P_{14}	0,5351	P_{14}	0,2480	P_{24}	0,7416
P_{10}	0,5441	P_{16}	0,2480	P_{19}	0,7533
P_{12}	0,5792	P_{17}	0,2480	P_{14}	0,7383
P_{15}	0,5947	P_{18}	0,2480	P_{10}	0,7732
P_{25}	0,5994	P_{19}	0,2480	P_{25}	0,8037
P_{18}	0,6146	P_{23}	0,2480	P_{18}	0,8120
P_{26}	0,6181	P_{24}	0,2480	P_{26}	0,8140
P_{16}	0,6838	P_{25}	0,2480	P_{16}	0,8502
P_9	0,7017	P_{26}	0,2480	P_9	0,8600
P_6	0,7508	P_{27}	0,2480	P_6	0,8671
P_{17}	0,8048	P_{28}	0,2480	P_{17}	0,9168
P_5	0,8073	P_{29}	0,2480	P_5	0,9182
P_1	0,9558	P_{32}	0,2480	P_1	1.0000

➤ Étape 05 : Vérifions les conditions suivants :

🐛 Condition 01 : $Q(P_{31}) - Q(P_{21}) \geq \frac{1}{32-1}$

$$\frac{1}{32-1} = 0.03225806 \quad Q(P_{31}) - Q(P_{21}) = 0.1487$$

La condition est vérifiée .

🐛 Condition 02 :

Alternative P_{21} qui a le premier rang dans Q, a aussi le premier rang dans S et R . Les deux conditions sont satisfaites. C'est un bon classement .

Utilisant les poids calculés par la méthode RS

- Étape 01 : On détermine les meilleures et les pires valeurs de toutes les fonctions critères :

La meilleure (f_j^*)	2	0,1900	19,13600	16,2203	3	4
Le pire (f_j^-)	1	0,51000	1,3760	7,9263	1	2

- Étape 02 : Prenons les poids obtenus avec la méthode RS

$$W_j = (0,2857 \quad 0,2381 \quad 0,1905 \quad 0,1429 \quad 0,0952 \quad 0,0476)$$

- Étape 03 : Calculons les valeurs S_i & R_i & Q_i .

P_i	S_i	R_i	Q_i
P_1	0,9534	0,2900	1,0000
P_2	0,4469	0,1800	0,4701
P_3	0,4397	0,1500	0,3997
P_4	0,4900	0,2100	0,5609
P_5	0,8751	0,2900	0,9557
P_6	0,8884	0,2900	0,9632
P_7	0,5715	0,2400	0,6733
P_8	0,4754	0,2025	0,5360
P_9	0,6682	0,2900	0,8386
P_{10}	0,7060	0,2900	0,8600
P_{11}	0,4658	0,1729	0,4651
P_{12}	0,4910	0,1772	0,4889
P_{13}	0,4926	0,1650	0,4628
P_{14}	0,6303	0,2900	0,8172
P_{15}	0,4520	0,1638	0,4371
P_{16}	0,7158	0,2900	0,8655
P_{17}	0,7103	0,2900	0,8624
P_{18}	0,6946	0,2900	0,8536
P_{19}	0,6931	0,2900	0,8527
P_{20}	0,4763	0,1900	0,5089
P_{21}	0,0698	0,0639	0,0000
P_{22}	0,2938	0,1575	0,3337
P_{23}	0,6715	0,2900	0,8405
P_{24}	0,6724	0,2900	0,8410
P_{25}	0,5273	0,2900	0,7589
P_{26}	0,6495	0,2900	0,8280
P_{27}	0,5592	0,2900	0,7769
P_{28}	0,5456	0,2900	0,7692
P_{29}	0,5595	0,2900	0,7771
P_{30}	0,3184	0,1723	0,3804
P_{31}	0,2910	0,1200	0,2492
P_{32}	0,4802	0,2900	0,7322

TABLE 4.9: Les valeurs S_i & R_i & Q_i

➤ Étape 04 : Classement des alternatives selon l'ordre croissant ;

P_i	S_i	P_i	R_i	P_i	Q_i
P_{21}	0,0698	P_{21}	0,0639	P_{21}	0,0000
P_{31}	0,2910	P_{31}	0,0639	P_{31}	0,2492
P_{22}	0,2938	P_3	0,1200	P_{22}	0,3337
P_{30}	0,3184	P_{22}	0,1500	P_{30}	0,3804
P_3	0,4397	P_{15}	0,1575	P_3	0,3997
P_2	0,4469	P_{13}	0,1638	P_{15}	0,4371
P_{15}	0,4520	P_{30}	0,1650	P_{13}	0,4628
P_{11}	0,4658	P_{11}	0,1723	P_{11}	0,4651
P_8	0,4754	P_{12}	0,1729	P_2	0,4701
P_{20}	0,4763	P_2	0,1772	P_{12}	0,4889
P_{32}	0,4802	P_{20}	0,1900	P_{20}	0,5089
P_4	0,4900	P_8	0,2025	P_8	0,5360
P_{12}	0,4910	P_4	0,2100	P_4	0,5609
P_{13}	0,4926	P_7	0,2400	P_7	0,6733
P_{25}	0,5273	P_1	0,2900	P_{32}	0,7322
P_{28}	0,5456	P_5	0,2900	P_{25}	0,7589
P_{27}	0,5592	P_6	0,2900	P_{28}	0,7692
P_{29}	0,5595	P_9	0,2900	P_{27}	0,7769
P_7	0,5715	P_{10}	0,2900	P_{29}	0,7771
P_{14}	0,6303	P_{14}	0,2900	P_{14}	0,8172
P_{26}	0,6495	P_{16}	0,2900	P_{26}	0,8280
P_9	0,6682	P_{17}	0,2900	P_9	0,8386
P_{23}	0,6715	P_{18}	0,2900	P_{23}	0,8405
P_{24}	0,6724	P_{19}	0,2900	P_{24}	0,8410
P_{19}	0,6931	P_{23}	0,2900	P_{19}	0,8527
P_{18}	0,6946	P_{24}	0,2900	P_{18}	0,8536
P_{10}	0,7060	P_{25}	0,2900	P_{10}	0,8600
P_{17}	0,7103	P_{26}	0,2900	P_{17}	0,8624
P_{16}	0,7158	P_{27}	0,2900	P_{16}	0,8655
P_5	0,8751	P_{28}	0,2900	P_5	0,9557
P_6	0,8884	P_{29}	0,2900	P_6	0,9632
P_1	0,9534	P_{32}	0,2900	P_1	1,0000

➤ Étape 05 : Vérifions les conditions suivants :

🐛 Condition 01 : $Q(P_{31}) - Q(P_{21}) \geq \frac{1}{32-1}$
 $\frac{1}{32-1} = 0.03225806$ $Q(P_{31}) - Q(P_{21}) = 0.2492$
 La condition est vérifiée .

🐛 Condition 02 :
 Alternative P_{21} qui a le premier rang dans Q, a aussi le premier rang dans S et R . Les deux conditions sont satisfaites. C'est un bon classement .

4.10.3 Résolution avec la méthode TOPSIS

Utilisant les poids calculés par la méthode CRITIC

➤ Étape 01 : Normaliser la matrice de décision

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
P1	0.11625	0.12563	0.034922	0.22155	0.080322	0.10153
P2	0.2325	0.14748	0.23617	0.19465	0.16064	0.10153
P3	0.2325	0.16933	0.19763	0.1968	0.080322	0.20307
P4	0.2325	0.12563	0.16271	0.14995	0.080322	0.1523
P5	0.11625	0.10924	0.10246	0.18602	0.080322	0.1523
P6	0.11625	0.10924	0.092097	0.21499	0.080322	0.20307
P7	0.2325	0.10378	0.21489	0.24176	0.080322	0.20307
P8	0.2325	0.13109	0.13132	0.19533	0.16064	0.20307
P9	0.11625	0.14748	0.3416	0.18306	0.16064	0.10153
P10	0.11625	0.13109	0.10166	0.12908	0.16064	0.20307
P11	0.2325	0.18571	0.060405	0.17587	0.16064	0.10153
P12	0.2325	0.18571	0.052189	0.15017	0.080322	0.10153
P13	0.2325	0.1584	0.075476	0.21764	0.16064	0.20307
P14	0.11625	0.21848	0.10992	0.17204	0.16064	0.20307
P15	0.2325	0.25126	0.077707	0.20705	0.080322	0.10153
P16	0.11625	0.12563	0.24751	0.13267	0.080322	0.1523
P17	0.11625	0.21848	0.17959	0.18679	0.080322	0.10153
P18	0.11625	0.18571	0.11762	0.14851	0.080322	0.20307
P19	0.11625	0.1584	0.065784	0.17819	0.24097	0.20307
P20	0.2325	0.1584	0.027938	0.22525	0.24097	0.20307
P21	0.2325	0.27857	0.26723	0.12333	0.24097	0.20307
P22	0.2325	0.16386	0.14576	0.12558	0.24097	0.20307
P23	0.11625	0.1584	0.048891	0.15133	0.24097	0.20307
P24	0.11625	0.13655	0.15171	0.1734	0.24097	0.20307
P25	0.11625	0.21848	0.28455	0.11814	0.16064	0.10153
P26	0.11625	0.21848	0.084942	0.15527	0.16064	0.1523
P27	0.11625	0.19117	0.26314	0.19155	0.24097	0.20307
P28	0.11625	0.19117	0.16324	0.13307	0.24097	0.20307
P29	0.11625	0.19117	0.18468	0.15527	0.24097	0.20307
P30	0.2325	0.21848	0.061561	0.17435	0.24097	0.20307
P31	0.2325	0.19117	0.18549	0.17464	0.24097	0.20307
P32	0.11625	0.19117	0.38853	0.18011	0.24097	0.20307

TABLE 4.10: La matrice normalisée par TOPSIS

➤ Étape 02 : Pondération des performances en utilisant le vecteur poids calculé par la méthode Critic :

$$w_j = (0,2482 \ 0,1138 \ 0,1259 \ 0,1456 \ 0,1779 \ 0,1886)$$

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
P1	0.028829	0.014196	0.0043653	0.032125	0.014217	0.019089
P2	0.057659	0.016665	0.029522	0.028225	0.028434	0.019089
P3	0.057659	0.019134	0.024703	0.028536	0.014217	0.038177
P4	0.057659	0.014196	0.020338	0.021743	0.014217	0.028633
P5	0.028829	0.012344	0.012807	0.026973	0.014217	0.028633
P6	0.028829	0.012344	0.011512	0.031174	0.014217	0.038177
P7	0.057659	0.011727	0.026862	0.035055	0.014217	0.038177
P8	0.057659	0.014813	0.016416	0.028322	0.028434	0.038177
P9	0.028829	0.016665	0.0427	0.026543	0.028434	0.019089
P10	0.028829	0.014813	0.012707	0.018716	0.028434	0.038177
P11	0.057659	0.020985	0.0075507	0.025502	0.028434	0.019089
P12	0.057659	0.020985	0.0065236	0.021775	0.014217	0.019089
P13	0.057659	0.017899	0.0094345	0.031557	0.028434	0.038177
P14	0.028829	0.024689	0.01374	0.024946	0.028434	0.038177
P15	0.057659	0.028392	0.0097134	0.030022	0.014217	0.019089
P16	0.028829	0.014196	0.030939	0.019238	0.014217	0.028633
P17	0.028829	0.024689	0.022449	0.027085	0.014217	0.019089
P18	0.028829	0.020985	0.014702	0.021534	0.014217	0.038177
P19	0.028829	0.017899	0.008223	0.025837	0.042651	0.038177
P20	0.057659	0.017899	0.0034922	0.032661	0.042651	0.038177
P21	0.057659	0.031478	0.033403	0.017882	0.042651	0.038177
P22	0.057659	0.018517	0.01822	0.018209	0.042651	0.038177
P23	0.028829	0.017899	0.0061114	0.021943	0.042651	0.038177
P24	0.028829	0.01543	0.018964	0.025143	0.042651	0.038177
P25	0.028829	0.024689	0.035569	0.01713	0.028434	0.019089
P26	0.028829	0.024689	0.010618	0.022515	0.028434	0.028633
P27	0.028829	0.021603	0.032892	0.027775	0.042651	0.038177
P28	0.028829	0.021603	0.020405	0.019295	0.042651	0.038177
P29	0.028829	0.021603	0.023085	0.022515	0.042651	0.038177
P30	0.057659	0.024689	0.0076951	0.02528	0.042651	0.038177
P31	0.057659	0.021603	0.023187	0.025324	0.042651	0.038177
P31	0.028829	0.021603	0.048566	0.026116	0.042651	0.038177

- Étape03 : Déterminer la solution idéal A^* et la solution anti_idéal A^- :

$$A^* = \{0.057659, 0.031478, 0.048566, 0.01713, 0.042651, 0.038177\}$$

$$A^- = \{0.028829, 0.011727, 0.0034922, 0.035055, 0.014217, 0.019089\}$$

- Étape 04 : Calculer la distance de chaque solution par rapport a la solution ideale S_i^* et la solution anti-ideale S_i^- :

$$S_i^* = \{S_1^*, S_2^*, \dots, S_{32}^*\}$$

$$S_i^* = \{ 0.0669, 0.0356, 0.0407, 0.0449, 0.0589, 0.0597, 0.044, 0.0404, 0.0417, 0.0509, 0.0492, 0.0554, 0.0461, 0.0485, 0.0534, 0.0484, 0.053, 0.0539, 0.0521, 0.0495, 0.0151, 0.0330, 0.0533, 0.0450, 0.0401, 0.0513, 0.0358, 0.041, 0.0400, 0.0422, 0.0284, 0.0317 \}$$

$$S_i^- = \{S_1^-, S_2^-, \dots, S_{32}^-\}$$

$$S_i^- = \{0.00392, 0.0422, 0.0417, 0.0372, 0.0156, 0.0210, 0.0417, 0.0402, 0.0428, 0.0304, 0.0350, 0.0332, 0.0385, 0.0306, 0.0342, 0.0331, 0.0243, 0.0275, 0.0363, 0.0452, 0.0598, 0.0505, 0.0372, 0.0390, 0.0414, 0.0258, 0.0467, 0.0424, 0.0425, 0.0478, 0.0508, 0.0581\}$$

➤ Étape 05 : Calculer le rapprochement relatif à la solution idéale C_i^*

$$C_i^* = \{C_1^*, C_2^*, \dots, C_{32}^*\}$$

$$C_i^* = \{0.0554, 0.542, 0.506, 0.453, 0.209, 0.2605, 0.4832, 0.4985, 0.506, 0.3740, 0.4154, 0.374, 0.455, 0.387, 0.390, 0.406, 0.313, 0.337, 0.410, 0.477, 0.797, 0.60, 0.4115, 0.4642, 0.5080, 0.334, 0.5658, 0.5055, 0.5149, 0.530, 0.641, 0.646\}$$

➤ Étape 06 : Classer les projet P_i selon l'ordre décroissant des C_i^*

Projet i	C_i^*
P21	0,79726
P32	0,64777
P31	0,64051
P22	0,60381
P27	0,56661
P2	0,54166
P30	0,53001
P29	0,51533
P25	0,50902
P9	0,50775
P28	0,5058
P3	0,50538
P8	0,4975
P7	0,48266
P20	0,47623
P24	0,46442
P13	0,45401
P4	0,45273
P11	0,41439
P23	0,41137
P19	0,41035
P16	0,40716
P15	0,38962
P14	0,38753
P10	0,37388
P12	0,37359
P18	0,33775
P26	0,33499
P17	0,31418
P6	0,26038
P5	0,20941
P1	0,055465

TABLE 4.11: Classement finale

Utilisant les poids calculés par la méthode RS

➤ Étape 01 : Normalisé la matrice de décision

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
P1	0.11625	0.12563	0.034922	0.22155	0.080322	0.10153
P2	0.2325	0.14748	0.23617	0.19465	0.16064	0.10153
P3	0.2325	0.16933	0.19763	0.1968	0.080322	0.20307
P4	0.2325	0.12563	0.16271	0.14995	0.080322	0.1523
P5	0.11625	0.10924	0.10246	0.18602	0.080322	0.1523
P6	0.11625	0.10924	0.092097	0.21499	0.080322	0.20307
P7	0.2325	0.10378	0.21489	0.24176	0.080322	0.20307
P8	0.2325	0.13109	0.13132	0.19533	0.16064	0.20307
P9	0.11625	0.14748	0.3416	0.18306	0.16064	0.10153
P10	0.11625	0.13109	0.10166	0.12908	0.16064	0.20307
P11	0.2325	0.18571	0.060405	0.17587	0.16064	0.10153
P12	0.2325	0.18571	0.052189	0.15017	0.080322	0.10153
P13	0.2325	0.1584	0.075476	0.21764	0.16064	0.20307
P14	0.11625	0.21848	0.10992	0.17204	0.16064	0.20307
P15	0.2325	0.25126	0.077707	0.20705	0.080322	0.10153
P16	0.11625	0.12563	0.24751	0.13267	0.080322	0.1523
P17	0.11625	0.21848	0.17959	0.18679	0.080322	0.10153
P18	0.11625	0.18571	0.11762	0.14851	0.080322	0.20307
P19	0.11625	0.1584	0.065784	0.17819	0.24097	0.20307
P20	0.2325	0.1584	0.027938	0.22525	0.24097	0.20307
P21	0.2325	0.27857	0.26723	0.12333	0.24097	0.20307
P22	0.2325	0.16386	0.14576	0.12558	0.24097	0.20307
P23	0.11625	0.1584	0.048891	0.15133	0.24097	0.20307
P24	0.11625	0.13655	0.15171	0.1734	0.24097	0.20307
P25	0.11625	0.21848	0.28455	0.11814	0.16064	0.10153
P26	0.11625	0.21848	0.084942	0.15527	0.16064	0.1523
P27	0.11625	0.19117	0.26314	0.19155	0.24097	0.20307
P28	0.11625	0.19117	0.16324	0.13307	0.24097	0.20307
P29	0.11625	0.19117	0.18468	0.15527	0.24097	0.20307
P30	0.2325	0.21848	0.061561	0.17435	0.24097	0.20307
P31	0.2325	0.19117	0.18549	0.17464	0.24097	0.20307
P32	0.11625	0.19117	0.38853	0.18011	0.24097	0.20307

TABLE 4.12: La matrice normaliser par RS

➤ Étape 02 : Pondération des performances en utilisant le poids calculé par la méthode Rang Sum

$$w = (0,2857 \ 0,2381 \ 0,1905 \ 0,1429 \ 0,0952 \ 0,0476)$$

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
P1	0.033712	0.030151	0.0066352	0.031017	0.0080322	0.0050767
P2	0.067424	0.035395	0.044873	0.027252	0.016064	0.0050767
P3	0.067424	0.040638	0.037549	0.027552	0.0080322	0.010153
P4	0.067424	0.030151	0.030914	0.020993	0.0080322	0.0076151
P5	0.033712	0.026218	0.019467	0.026043	0.0080322	0.0076151
P6	0.033712	0.026218	0.017499	0.030099	0.0080322	0.010153
P7	0.067424	0.024907	0.04083	0.033846	0.0080322	0.010153
P8	0.067424	0.031462	0.024952	0.027346	0.016064	0.010153
P9	0.033712	0.035395	0.064905	0.025628	0.016064	0.0050767
P10	0.033712	0.031462	0.019315	0.018071	0.016064	0.010153
P11	0.067424	0.044571	0.011477	0.024622	0.016064	0.0050767
P12	0.067424	0.044571	0.0099158	0.021024	0.0080322	0.0050767
P13	0.067424	0.038016	0.01434	0.030469	0.016064	0.010153
P14	0.033712	0.052436	0.020885	0.024086	0.016064	0.010153
P15	0.067424	0.060302	0.014764	0.028987	0.0080322	0.0050767
P16	0.033712	0.030151	0.047027	0.018574	0.0080322	0.0076151
P17	0.033712	0.052436	0.034122	0.026151	0.0080322	0.0050767
P18	0.033712	0.044571	0.022347	0.020791	0.0080322	0.010153
P19	0.033712	0.038016	0.012499	0.024946	0.024097	0.010153
P20	0.067424	0.038016	0.0053082	0.031534	0.024097	0.010153
P21	0.067424	0.066856	0.050773	0.017266	0.024097	0.010153
P22	0.067424	0.039327	0.027694	0.017581	0.024097	0.010153
P23	0.033712	0.038016	0.0092893	0.021187	0.024097	0.010153
P24	0.033712	0.032773	0.028825	0.024276	0.024097	0.010153
P25	0.033712	0.052436	0.054064	0.01654	0.016064	0.0050767
P26	0.033712	0.052436	0.016139	0.021738	0.016064	0.0076151
P27	0.033712	0.045882	0.049996	0.026817	0.024097	0.010153
P28	0.033712	0.045882	0.031016	0.018629	0.024097	0.010153
P29	0.033712	0.045882	0.03509	0.021738	0.024097	0.010153
P30	0.067424	0.052436	0.011697	0.024408	0.024097	0.010153
P31	0.067424	0.045882	0.035244	0.02445	0.024097	0.010153
P32	0.033712	0.045882	0.073821	0.025216	0.024097	0.010153

➤ Étape03 : Déterminer la solution idéal A^* et la solution anti_idéal A^-

$$A^* = \{ 0.067424, 0.066856, 0.073821, 0.01654, 0.024097, 0.010153 \}$$

$$A^- = \{ 0.033712, 0.024907, 0.0053082, 0.033846, 0.0080322, 0.0050767 \}$$

➤ Étape 04 : Calculer la distance de chaque solution par rapport a la solution ideale S_i^* et la solution anti-ideale S_i^- :

$$S_i^* = \{ 0.0865, 0.0450, 0.048, 0.0589, 0.0780, 0.0800, 0.0583, 0.061824, 0.0487, 0.0736, 0.0673, 0.0698, 0.0680, 0.0653, 0.0630, 0.0589, 0.05741, 0.0675, 0.0761, 0.075833, 0.0230, 0.0537, 0.0784, 0.0662, 0.042, 0.0690, 0.0474, 0.0584, 0.0557, 0.064, 0.0446, 0.0406 \}$$

$$S_i^- = \{ 0.0061, 0.054, 0.0498, 0.0446, 0.0164, 0.0137, 0.0492, 0.0412, 0.0615, 0.0240, 0.0413, 0.0413, 0.038, 0.0344, 0.05, 0.0448, 0.0405, 0.0295, 0.0242, 0.0399, 0.074, 0.048, 0.0251, 0.0314, 0.0591, 0.033, 0.0526, 0.0402, 0.0419, 0.0480, 0.0533, 0.0741 \}$$

- Étape 05 : Calculer le rapprochement relatif à la solution idéale C_i^*
 $C_i^* = \{0.065879, 0.54514, 0.50546, 0.43093, 0.17373, 0.147, 0.4576, 0.39993, 0.55809, 0.2461, 0.38039, 0.37165, 0.36212, 0.34518, 0.442580.43201, 0.41414, 0.30442, 0.2413, 0.34515, 0.763180.47663, 0.24266, 0.3222, 0.58065, 0.3237, 0.525990.40763, 0.42938, 0.4278, 0.5445, 0.64583\}$
- Étape06 : Classer les projet P_i selon l'ordre décroissant des C_i^*

Projet i	C_i^*
P21	0,7616
P32	0,6483
P25	0,5838
P9	0,5613
P2	0,5447
P31	0,5417
P27	0,5269
P3	0,5050
P22	0,4741
P7	0,4573
P15	0,4401
P16	0,4358
P4	0,4307
P29	0,4272
P30	0,4236
P17	0,4157
P28	0,4072
P8	0,3975
P11	0,3773
P12	0,3697
P13	0,3585
P14	0,3444
P20	0,3403
P26	0,3231
P24	0,3209
P18	0,3056
P10	0,2472
P23	0,2397
P19	0,2376
P5	0,1752
P6	0,1472
P1	0,0660

TABLE 4.13: Classement final

Utilisant les poids calculés par la méthode Entropie

➤ Étape 01 : Normalisé la matrice de décision

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
P1	0.11625	0.12563	0.034922	0.22155	0.080322	0.10153
P2	0.2325	0.14748	0.23617	0.19465	0.16064	0.10153
P3	0.2325	0.16933	0.19763	0.1968	0.080322	0.20307
P4	0.2325	0.12563	0.16271	0.14995	0.080322	0.1523
P5	0.11625	0.10924	0.10246	0.18602	0.080322	0.1523
P6	0.11625	0.10924	0.092097	0.21499	0.080322	0.20307
P7	0.2325	0.10378	0.21489	0.24176	0.080322	0.20307
P8	0.2325	0.13109	0.13132	0.19533	0.16064	0.20307
P9	0.11625	0.14748	0.3416	0.18306	0.16064	0.10153
P10	0.11625	0.13109	0.10166	0.12908	0.16064	0.20307
P11	0.2325	0.18571	0.060405	0.17587	0.16064	0.10153
P12	0.2325	0.18571	0.052189	0.15017	0.080322	0.10153
P13	0.2325	0.1584	0.075476	0.21764	0.16064	0.20307
P14	0.11625	0.21848	0.10992	0.17204	0.16064	0.20307
P15	0.2325	0.25126	0.077707	0.20705	0.080322	0.10153
P16	0.11625	0.12563	0.24751	0.13267	0.080322	0.1523
P17	0.11625	0.21848	0.17959	0.18679	0.080322	0.10153
P18	0.11625	0.18571	0.11762	0.14851	0.080322	0.20307
P19	0.11625	0.1584	0.065784	0.17819	0.24097	0.20307
P20	0.2325	0.1584	0.027938	0.22525	0.24097	0.20307
P21	0.2325	0.27857	0.26723	0.12333	0.24097	0.20307
P22	0.2325	0.16386	0.14576	0.12558	0.24097	0.20307
P23	0.11625	0.1584	0.048891	0.15133	0.24097	0.20307
P24	0.11625	0.13655	0.15171	0.1734	0.24097	0.20307
P25	0.11625	0.21848	0.28455	0.11814	0.16064	0.10153
P26	0.11625	0.21848	0.084942	0.15527	0.16064	0.1523
P27	0.11625	0.19117	0.26314	0.19155	0.24097	0.20307
P28	0.11625	0.19117	0.16324	0.13307	0.24097	0.20307
P29	0.11625	0.19117	0.18468	0.15527	0.24097	0.20307
P30	0.2325	0.21848	0.061561	0.17435	0.24097	0.20307
P31	0.2325	0.19117	0.18549	0.17464	0.24097	0.20307
P32	0.11625	0.19117	0.38853	0.18011	0.24097	0.20307

TABLE 4.14: La matrice normaliser

➤ Étape 02 : Pondération des performances en utilisant le poids calculé par la méthode Rang Sum

$$w = (0.14502 \ 0.07283 \ 0.42809 \ 0.04195 \ 0.2255 \ 0.086616)$$

	Engagement	POS	Ressource	Investissement	Type de fluide	Catégorie stratégique
P1	0.016858	0.0091495	0.01495	0.0092941	0.018113	0.0087945
P2	0.033716	0.010741	0.1011	0.0081657	0.036225	0.0087945
P3	0.033716	0.012332	0.084602	0.0082557	0.018113	0.017589
P4	0.033716	0.0091495	0.069653	0.0062904	0.018113	0.013192
P5	0.016858	0.0079561	0.043861	0.0078035	0.018113	0.013192
P6	0.016858	0.0079561	0.039426	0.0090189	0.018113	0.017589
P7	0.033716	0.0075583	0.091994	0.010142	0.018113	0.017589
P8	0.033716	0.0095473	0.056219	0.0081939	0.036225	0.017589
P9	0.016858	0.010741	0.14624	0.0076792	0.036225	0.0087945
P10	0.016858	0.0095473	0.043519	0.0054148	0.036225	0.017589
P11	0.033716	0.013525	0.025859	0.0073779	0.036225	0.0087945
P12	0.033716	0.013525	0.022341	0.0062997	0.018113	0.0087945
P13	0.033716	0.011536	0.03231	0.0091299	0.036225	0.017589
P14	0.016858	0.015912	0.047055	0.0072171	0.036225	0.017589
P15	0.033716	0.018299	0.033266	0.0086857	0.018113	0.0087945
P16	0.016858	0.0091495	0.10596	0.0055657	0.018113	0.013192
P17	0.016858	0.015912	0.076881	0.007836	0.018113	0.0087945
P18	0.016858	0.013525	0.05035	0.0062299	0.018113	0.017589
P19	0.016858	0.011536	0.028161	0.007475	0.054338	0.017589
P20	0.033716	0.011536	0.01196	0.0094491	0.054338	0.017589
P21	0.033716	0.020288	0.1144	0.0051736	0.054338	0.017589
P22	0.033716	0.011934	0.062398	0.005268	0.054338	0.017589
P23	0.016858	0.011536	0.02093	0.0063484	0.054338	0.017589
P24	0.016858	0.0099451	0.064945	0.0072741	0.054338	0.017589
P25	0.016858	0.015912	0.12181	0.004956	0.036225	0.0087945
P26	0.016858	0.015912	0.036363	0.0065138	0.036225	0.013192
P27	0.016858	0.013923	0.11265	0.0080355	0.054338	0.017589
P28	0.016858	0.013923	0.069882	0.0055822	0.054338	0.017589
P29	0.016858	0.013923	0.079061	0.0065138	0.054338	0.017589
P30	0.033716	0.015912	0.026354	0.0073138	0.054338	0.017589
P31	0.033716	0.013923	0.079408	0.0073264	0.054338	0.017589
P32	0.016858	0.013923	0.16633	0.0075557	0.054338	0.017589

➤ Étape03 : Déterminer la solution idéal A^* et la solution anti_idéal A^-

$$A^* = \{ 0.033716 \ 0.020288 \ 0.16633 \ 0.004956 \ 0.054338 \ 0.017589 \}$$

$$A^- = \{ 0.016858 \ 0.0075583 \ 0.01196 \ 0.010142 \ 0.018113 \ 0.0087945 \}$$

➤ Étape 04 : Calculer la distance de chaque solution par rapport a la solution ideale S_i^* et la solution anti-ideale S_i^- :

$$S_i^* = \{0.157, 0.069, 0.0898, 0.103, 0.129, 0.133, 0.0838, 0.112, 0.0345, 0.125, 0.1420, 0.1488, 0.1355, 0.121, 0.138, 0.0733, 0.0984, 0.122, 0.139, 0.154, 0.0519, 0.104, 0.146, 0.1033, 0.0518, 0.132, 0.0567, 0.0981, 0.0891, 0.14, 0.0871, 0.0182\}$$

$$S_i^- = \{0.0034, 0.092, 0.0752, 0.06, 0.0322, 0.0288, 0.0822, 0.0515, 0.135, 0.0377, 0.0291, 0.0210, 0.0334, 0.0414, 0.0292, 0.0942, 0.0654, 0.04, 0.0409, 0.0411, 0.111, 0.0652, 0.0387, 0.064, 0.111, 0.032, 0.107, 0.069, 0.077, 0.044, 0.0791, 0.158\}$$

- Étape 05 : Calculer le rapprochement relatif à la solution idéale C_i^*
 $C_i^* = \{0.021719, 0.57299, 0.45595, 0.36757, 0.19957, 0.17758, 0.4953, 0.31486, 0.79702, 0.23107, 0.17015, 0.1237, 0.19801, 0.25359, 0.17463, 0.56218, 0.39938, 0.24573, 0.22685, 0.20997, 0.68157, 0.38501, 0.20895, 0.38578, 0.68304, 0.19473, 0.65481, 0.41403, 0.46387, 0.24012, 0.47599, 0.89723\}$
- Étape 06 : Classer les projet P_i selon l'ordre décroissant des C_i^*

Projet i	C_i^*
P32	0.89723
P9	0.79702
P25	0.68304
P21	0.68157
P27	0.65481
P2	0.57299
P16	0.56218
P7	0.4953
P31	0.47599
P29	0.46387
P3	0.45595
P28	0.41403
P17	0.39938
P24	0.38578
P22	0.38501
P4	0.36757
P8	0.31486
P14	0.25359
P18	0.24573
P30	0.24012
P10	0.23107
P19	0.22685
P20	0.20997
P23	0.20895
P5	0.19957
P13	0.19801
P26	0.19473
P6	0.17758
P15	0.17463
P11	0.17015
P12	0.12377
P1	0.021719

TABLE 4.15: Classement final

4.11 Comparaison des Résultats

Dans le tableau ci-dessous, nous avons trouvé la classification de chaque méthode et la classification réel de l'entreprise SONATRACH :

Ranking	Sonatrach	VIKOR (entropie)	VIKOR (critic)	VIKOR (RS)	TOPSIS (entropie)	TOPSIS (critic)	TOPSIS (RS)
1	P21	P2	P21	P21	P32	P21	P21
2	P31	P21	P31	P31	P9	P32	P32
3	P22	P32	P22	P22	P25	P31	P25
4	P30	P9	P30	P30	P21	P22	P9
5	P15	P27	P8	P3	P27	P27	P2
6	P2	P7	P20	P15	P2	P2	P31
7	P3	P3	P13	P13	P16	P30	P27
8	P11	P31	P3	P11	P7	P29	P3
9	P8	P25	P4	P2	P31	P25	P22
10	P12	P8	P7	P12	P29	P9	P7
11	P4	P29	P2	P20	P3	P28	P15
12	P13	P22	P11	P8	P28	P3	P16
13	P20	P4	P12	P4	P17	P8	P4
14	P32	P16	P15	P7	P24	P7	P29
15	P7	P28	P32	P32	P22	P20	P30
16	P25	P24	P28	P25	P4	P24	P17
17	P27	P13	P29	P28	P8	P13	P28
18	P28	P20	P27	P29	P14	P4	P8
19	P29	P17	P23	P27	P18	P11	P11
20	P9	P30	P24	P14	P30	P23	P12
21	P14	P14	P19	P26	P10	P19	P13
22	P26	P19	P14	P9	P19	P16	P14
23	P17	P10	P10	P23	P20	P15	P20
24	P16	P18	P25	P24	P23	P14	P26
25	P24	P11	P18	P18	P5	P10	P24
26	P18	P6	P26	P19	P13	P12	P18
27	P23	P5	P16	P10	P26	P18	P10
28	P19	P23	P9	P17	P6	P26	P23
29	P10	P26	P6	P16	P15	P17	P19
30	P5	P15	P17	P5	P11	P6	P5
31	P6	P12	P5	P6	P12	P5	P6
32	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1

TABLE 4.16: Tableau récapitulatif des résultats obtenus avec les six méthodes appliquées au problème de l'entreprise Sonatrach

Dans cette partie nous allons comparer les résultats obtenue par les méthodes d'AMD avec celui de la SONATRACH ,Sachant que nous savons lequel de ces projet soit une découverte ou non.

Pour cela nous disposons les données suivantes :

🍷 Les Projet qui contiennent des hydrocarbures. ie :sont des découvertes :

$$\{P_2, P_3, P_7, P_8, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{17}, P_{18}, P_{20}, P_{21}, P_{22}, P_{24}, P_{25}, P_{30}, P_{31}\}$$

🍷 Après une longue discussion avec les décideurs, ils nous ont informé que leur objectif c'est d'optimiser le nombre de projet en maximisons le volume à découvrir et en minimisons les coûts (investissement),

A cet effet les choix entre ces méthodes est de sibler un maximum de volume d'hydrocarbures avec la réalisation d'un minimum de projet (coût minimum). (par exemple si on s'arrête a 20 forages quelle méthode nous donne le meilleur résultat) .

Sonatrach décompose leurs projet en 3 paliers :

Le 1^{er} palier contient 11 projets (1-11);

Le 2^{me} palier contient 11 projets (12-22);

Le 3^{me} palier contient 10 projets (23-32);

Pour cela, nous avons calculé les ressources et les coûts des projets découvertes trouvés à chaque palier obtenus grâce aux méthodes que nous avons traitées dans la recherche.

Le tableau suivant illustre les ressources des projets découvertes trouvés à chaque palier :

	Sonatrach	VIKOR (entropie)	VIKOR (critic)	VIKOR (RS)	TOPSIS (entropie)	TOPSIS (critic)	TOPSIS (RS)
Palier 1	69,71	74,73	76,02	68,34	68,26	58,16	79,27
Palier 2	35,11	37,04	22,26	36,48	44,20	42,33	33,02
Palier 3	22,11	15,17	28,65	22,11	14,46	26,45	14,64

TABLE 4.17: Les ressources des projets (TEB)

Le tableau suivant illustre les coûts (investissement) des projets découvertes trouvés à chaque palier :

	Sonatrach	VIKOR (entropie)	VIKOR (critic)	VIKOR (RS)	TOPSIS (entropie)	TOPSIS (critic)	TOPSIS (RS)
Palier 1	7,1	4,94	6,62	7,56	4,34	4,87	5,85
Palier 2	3,24	4,68	3,4	2,78	5,02	4,1	4,6
Palier 3	2,11	2,83	2,43	2,11	3,09	3,48	2

TABLE 4.18: Les investissements des projets (\$)

4.12 Discussion des Résultats

Comparons les résultats obtenus avec les méthodes traitées dans notre recherche avec le résultat de SONATRACH :

- ✓ Pour Le premier palier (Les 11 premiers projets) nous remarquons que :
La méthode TOPSIS (RS) nous donne un résultat :
79,27 TEP avec un coût de 5,85\$.
La méthode de SONATRACH donne un résultat :
69,71 TEP avec un coût de 7,1\$,
D'ou la méthode TOPSIS (RS) donne le meilleur résultat car :
 $79,27 > 69,71$ et $5,85 < 7,1$.
- ✓ Pour Le deuxième palier nous remarquons que :
la méthode VIKOR (RS) donne un résultat de 36,48 TEP avec un coût de 2,78\$.
La méthode de SONATRACH donne un résultat de 35,11 TEP avec un coût de 3,24\$
donc la méthode TOPSIS (RS) donne le meilleur résultat par rapport à la méthode de SONATRACH car $36,48 > 35,11$ et $2,78 < 3,24$.

4.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé notre problème en déterminant l'ensemble des alternatives et des critères, ensuite nous avons résolu le problème en utilisant les méthodes d'aide à la décision multicritères qui permettent de classer les projets du meilleur au moins bon, puis nous avons fait une comparaison de ces méthodes basées sur des résultats expérimentaux en utilisant des données réelles.

D'après les résultats obtenus, on déduit que nos méthodes de résolution sont efficaces et fournissent de meilleurs résultats et plus de choix aux décideurs.

5. Implementation

5.1 Introduction

La mise en œuvre (l'implémentation) est la réalisation, l'exécution ou la mise en œuvre de plans, de méthodes ou de concepts, d'idées, de modèles, de normes, de standards ou de règles dans un but précis. La mise en œuvre est donc une action qui doit être mûrement réfléchie pour la rendre concrète. Lors de l'établissement d'un classement de projet, nous devons concevoir une application pour différentes possibilités. Dans ce chapitre, nous présenterons les applications mises en œuvre pour la structure hiérarchique du projet Sonatrach. Présentons brièvement l'environnement de programmation.

5.1.1 Choix du langage

Notre choix du langage de programmation, s'est porté sur le langage MATLAB version 2014 car :

- ✓ C'est un langage de programmation extrêmement simple à utiliser et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices. Pour le calcul numérique, Matlab est beaucoup plus concis que les langages plus basiques (C, Pascal, Fortran, Basic).
- ✓ Interface graphique : Matlab contient une interface graphique puissante, ainsi qu'une grande variété de fonctions prédéfinies.
- ✓ Performant concernant la taille du code généré (le langage le plus apprécié est celui qui génère des exécutables optimisés) et l'exploitation efficace des ressources.
- ✓ Constitué d'un ensemble de possibilités faisant de tel sorte que le programmeur travaille avec aisance, assuré d'une part par la syntaxe du langage et d'autre part par un aspect visuel clair représentatif à la fois du détail et du global, d'où la maniabilité du langage.

5.2 Présentation de l'application

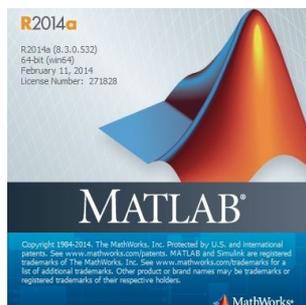


FIGURE 5.1: MATLAB

Il est utilisé dans les domaines de l'apprentissage automatique, le traitement du signal, la vision par ordinateur, les communications, la finance computationnelle, la conception de contrôleurs, la robotique et bien plus.

La plate-forme MATLAB est optimisée pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques. Le langage MATLAB, permet la manipulation des matrices, afficher des courbes mettre on oeuvre les algorithmes, créé des interfaces utilisateurs.

La programmation sous MATLAB est très particulière : soit on écrit directement sur l'espace d'exécution (espaces de commande) ou bien on programme sur l'éditeur de développement de MATLAB, à savoir que la sauvegarde se fait avec l'extension ".m". Cette façon de sauvegarder permet d'utiliser ces fonctions comme des fonctions MATLAB dans l'espace d'exécution.

5.2.1 Généralités sur le langage MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) est un langage de programmation de quatrième génération et un environnement d'analyse numérique. Le code MATLAB peut être intégré à d'autres langages, ce qui vous permet de déployer des algorithmes et des applications au sein de systèmes Web, d'entreprise et de production. MATLAB est un logiciel du calcul numérique, développé par la société The MathWork, à la fin des années 70, conçu pour permettre de travailler à partir d'un outil de programmation de haut niveau.

5.2.2 Programmation avec MATLAB

Les outils principaux de programmation sous Matlab sont les fichiers script files et les fonctions.

1. **Fichiers script(script files) :** Un script file est une suite de commandes Matlab .Les noms des script file doivent avoir l'extension ".m".pour exécuter un script file tapez son nom,sans extension ,dans le prompt Matlab.
2. **Fonctions :** Une fonction Matlab est une suite de commandes qui nécessite un input pour être exécutée et qui renvoie un ou plusieurs output. La déclaration des fonctions en Matlab suit les règles suivantes :
 - ➔ Une fonction est contenue dans un fichier ".m" avec le même nom que la fonction .
 - ➔ Le fichier qui définit une fonction doit commencer par :
function[output arguments]= nom_fonction(input arguments)

5.3 Résolution avec MATLAB

5.3.1 Présentation de l'interface

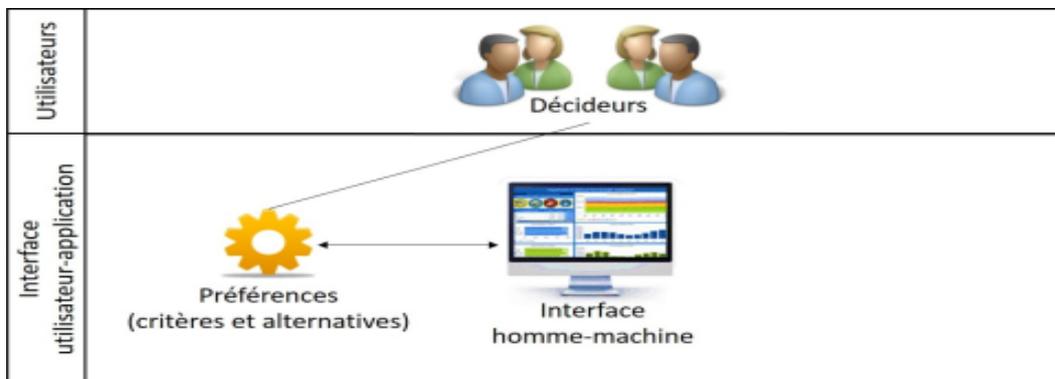


FIGURE 5.2: Utilisateur-Application

GUIDE MATLAB

GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) est un outil graphique qui regroupe tout ce dont les programmeurs ont besoin pour créer une interface graphique de manière intuitive.

Cet outil permet de construire des applications très avancées. Le placement des objets s'effectue par sélection dans la boîte à outils, positionnement et redimensionnement à la souris.

Double-cliquez sur chaque objet pour afficher un menu avec les propriétés de l'objet.

Leurs modifications et la vue d'ensemble de ces modifications sont immédiates.

Enfin, le code est généré automatiquement, et l'interface est enregistrée dans deux fichiers portant le même nom mais avec les extensions ".fig" et ".m".

Le premier contient la définition des objets graphiques.

Le second contient les lignes de code qui assurent le fonctionnement de l'interface graphique.

5.3.2 Les étapes suivies dans l'implémentation

- ✂ Créer un nouveau fichier de script dans l'éditeur.
- ✂ Écrire le code dans le fichier Script
- ✂ Créer 3 matrices à savoir X, W et Wcriteria
 - ✓ X est la matrice de décision ;
 - ✓ W est le poids des critères ;
 - ✓ Wcriteria nous dit que le critère est bénéfique ou non ;
- ✂ Exécuter le programme

5.3.3 Description de l'application

1. Fenêtre 1 :

Cette fenêtre représente la page d'accueil de notre application qui contient :

- Un bouton "**Cliquez ici pour commencer**" qui permet d'ouvrir une autre interface, "**Importation des données**" et d'exécuter les étapes des méthodes d'aide à la décision multicritère.



FIGURE 5.3: La page d'accueil

- Un bouton "**Quitter**" qui nous envoie vers une fenêtre "**Close**" pour confirmer le choix de quitter l'application .



FIGURE 5.4: La fenêtre close

2. Fenêtre 2 :

Cette fenêtre représente l'espace de données introduit par l'utilisateur, en cliquant sur le bouton "**Importation des données**"



FIGURE 5.5: L'espace de données 1

- ➔ "**Importer la matrice**" : Ce bouton permet à l'utilisateur d'importer la matrice de décision qui se trouve sous format excel.
- ➔ "**Sens d'optimalité**" : Ce bouton permet à l'utilisateur d'entrer le vecteur qui contient le sens d'optimalité des critères, qui est souhaitable d'examiner dans cette étude .

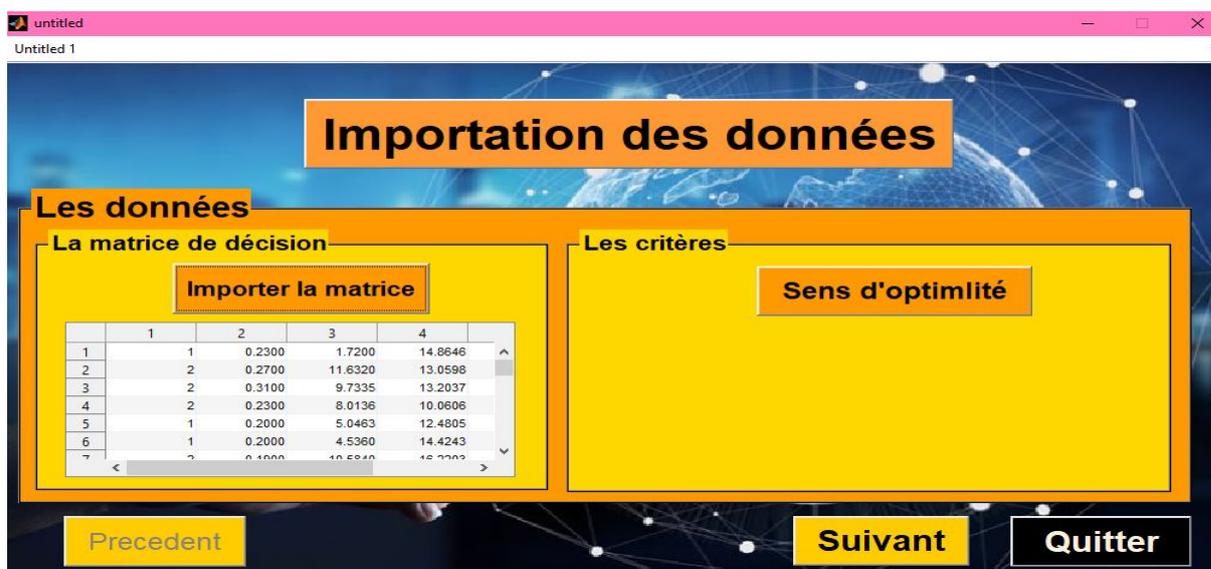


FIGURE 5.6: L'espace de données 2



FIGURE 5.7: L'espace de données 3

➔ Le clique sur le bouton "**Suivant**" permet d'aller à la prochaine fenêtre.

3. Fenêtre 3 :

Cette fenêtre représente les méthodes de pondération à choisir pour calculer le vecteur poids des critères.

L'utilisateur doit choisir l'une de ces méthodes en cliquant sur le bouton correspondant, et le résultat sera affiché dans la même fenêtre sous forme d'un vecteur vertical.



FIGURE 5.8: Les méthodes de pondération 1

Les boutons "ENTROPIE" , "RANK SUM" et "CRITIC" permettent d'exécuter les étapes des méthodes numériques



FIGURE 5.9: Les méthodes de pondération 2

4. Fenêtre 4 :

Cette fenêtre représente les méthodes d'aide à la décision multicritère utilisé dans cette étude.

"Choisir une méthode de classement" : Le clique sur ce bouton permet d'afficher deux autres boutons qui sont les méthodes "VIKOR" et "TOPSIS".



FIGURE 5.10: Les méthodes de classement 1

Ces méthodes permettent de classer les alternatives selon l'ordre de préférence.



FIGURE 5.11: Les méthodes de classement 2

5.4 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons élaboré une application facile a manipuler qui permettent aux décideurs de classer leurs projets d'investissement avec plusieurs méthodes.

6. Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'accéder à des connaissances touchant le domaine pétrolier, notre travail a consisté à mettre en oeuvre un système interactif d'aide multicritère à la décision pour traiter le problème d'évaluation et de sélection des projets d'investissement posé par l'entreprise Sonatrach (Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures) .

Dans notre travail, nous avons proposé une approche multicritère pour le rangement de ces projets selon leurs priorités avec une prise en charge de six critères quantitatifs et qualitatifs à intégrer dans le classement.

Dans notre étude, nous avons modélisé le problème en déterminant les actions et les critères, ensuite résoudre le problème de pondération des critères en utilisons trois méthodes de pondération (Entropie,RS et CRITIC), puis faire un ranking de projets à l'aide de deux méthodes multicritères (Vikor et Topsis) , ensuite comparé entre ces méthodes et la méthode utilisée par l'entreprise Sonatrach .

Afin de rendre exploitable cette modélisation, nous avons implémenté ces méthodes de résolution sous le langage de programmation MATLAB, et nous avons testé notre application sur les données de Sonatrach.

À travers les résultats obtenus, on déduit que les méthodes d'aide multicritères à la décision utilisées Fournissent une véritable transparence et représentent des outils efficaces, sophistiqués, permettant d'établir une bonne hiérarchisation des projets. Ce qui montre que notre démarche est bien établie, car elle aboutit à de meilleurs résultats, donc on peut dire que cette étude a atteint, en grande partie l'objectif fixé au départ.

Bibliographie

- [1] D. AIDER et T.AMROUNI. « Apport de la solution RTOM dans l'activité sonatrach amont ». Thèse de doctorat. 2015 (cf. page 13).
- [2] M.Said BEGHOUL. *Pétrole Algérien , Les barils de la peur*. 2021 (cf. page 18).
- [3] J.P.NGUYEN. *Le forage*. Paris, 1993 (cf. page 20).
- [4] A.NAOUM. « construction d'un portefeuille de projet à partir d'un indice de centralité des projets ». Thèse de doctorat. 2010 (cf. page 23).
- [5] H. MARKOWITZ. *Portfolio selection*. 1968 (cf. page 23).
- [6] A. SCHÄRLIG. *Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère*. 1985 (cf. page 24).
- [7] J.P. BRANS et P. VINCKE. *Note—a preference ranking organisation method : (the promethee method for multiple criteria decision-making)*. 1985 (cf. page 25).
- [8] J. BRANSET et MARSHAL. *L'aide multicritère à la décision. le cerveau du décideur*. 2001 (cf. page 25).
- [9] Y.COLLETTE et P.SIARRY. *Optimisation mul-tiobjectif*. 2011 (cf. page 26).
- [10] DK.SCNEIDER. *Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle*. 1994 (cf. page 26).
- [11] P.LÉVINE et J. POMEROL. *Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts*. 1989 (cf. page 26).
- [12] R.L.KENNEY et H. RAIFFA. *Decisions with multiple objectives : preference and value tradeoffs , series in probability and mathematical statistics*. 1976 (cf. page 26).
- [13] A.TELC et L.DUCKSTEIN. *Concepts on multicriteria decision making*. 1991 (cf. page 26).

- [14] B.ROY. *Préférence, indifférence, incomparabilité*. 1980 (cf. pages 27, 29).
- [15] P. VINCKE. *L'aide multicritère à la décision*. 1989 (cf. pages 30, 31, 33).
- [16] P. VINCKE. *La modélisation des préférences*. 1985 (cf. page 30).
- [17] B.ROY et D. BOUYSSOU. *Aide multicritère à la décision*. 1993 (cf. page 31).
- [18] B. ROY. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. 1985 (cf. pages 31, 36).
- [19] B. ROY. *L'aide à la décision aujourd'hui : que devrait-on en attendre ?* 1997 (cf. page 32).
- [20] B.ROY. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. 1986 (cf. page 32).
- [21] H.BOUNEIRAT. *Conception d'un outil d'aide à la décision pour les problèmes de forages* (cf. page 33).
- [22] K.KARTOBI et N. BENDALI. *L'affectation optimale des ressources gazières de la sonatrach sur le moyen et le long terme* (cf. page 33).
- [23] M. EHRGOTT, K. KLAMROTH et C. SCHWEHM. *An mcdm approach to portfolio optimization*. 2004 (cf. page 33).
- [24] A. NAFI et C. WEREY. *Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type électre*. 2009 (cf. page 34).
- [25] J. SIMOS. *Evaluer l'Impact sur l'Environnement : une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation*. 1990 (cf. page 35).
- [26] A.HAMMAMI. « Modélisation technico-économique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau ». Thèse de doctorat. 2003 (cf. pages 38, 51).
- [27] T.L. SAATY. *The Analytic Hierarchy process* Mcgraw Hill. 1980 (cf. page 38).
- [28] T.L.SAATY. *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. 1977 (cf. page 40).
- [29] W.ROSZKOWSKA. *Rank Ordering Criteria Weighting Methods-A Comparative Overview*. 2013 (cf. pages 42, 43).
- [30] D.DIAKOULAKI, G.MAVROTAS et L.PAPAYANNAKIS. « Determining objective weights in multiple criteria problems : The critic method ». In : (1995) (cf. page 46).
- [31] G. ODU. « Weighting methods for multi-criteria decision making technique ». In : (2019) (cf. pages 48, 49).
- [32] A.JAHAN. « A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process ». In : (2012) (cf. page 48).
- [33] S.OPRICOVIĆ. *Programski paket VIKOR za visekriterijumsko kompromisno rangiranje*. 1990 (cf. page 54).
- [34] P. YU. *A Class of Solutions for Group Decision Problems*. 1973 (cf. page 54).
- [35] M. ZELENY. *Compromise Programming*. 1973 (cf. page 54).
- [36] J.L. et M.ZELENY. *Multiple Criteria Decision Making* University of South Carolina Press. 1973 (cf. page 54).
- [37] K. HWANG et C.YOON. *Multiple attribute decision making : Methods and applications - a state-of-the-art survey* (cf. page 58).