

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 présenté,
Par

M^{elle}. KHIDER Imane & *M^{elle}*. KEDDAR Marwa

Pour l'obtention du diplôme de Master en Recherche Opérationnelle
Optimisation et Management Stratégique

*Outil d'aide à la décision pour la hiérarchisation des projets
d'exploration de la Sonatrach*

Déposer le 22/09/2022 :

Présidente	M ^{me}	RAGGAS.N	M.A.A	U.M.B.B.
Examinatrice	M ^{me}	BARKA.S	M.A.A	U.M.B.B.
Promotrice	M ^{me}	FASS.F	M.A.A	U.M.B.B.

Année Universitaire 2021 – 2022

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.

Nous remercions tout particulièrement notre promotrice madame **R. FASS** pour avoir accepté de nous encadrer, et la confiance qu'elle nous a accordée, sa disponibilité, ses précieux conseils et le soutien qu'il nous a accordés.

Nous remercions madame **S. BARKA**, pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail en acceptant de co-diriger cette étude, pour sa disponibilité, ses orientations et ses remarques fructueuses.

Notre reconnaissance s'adresse particulièrement à monsieur **M.Khour**i Chef de département d'Études Économiques et Statistique, de nous avoir accueilli et de nous avoir proposé ce thème.

Nos vifs remerciements vont à madame **L. Slimani** et madame **S.LAKAMA** pour avoir acceptées de nous parrainer et intégré aux siens de la division exploration Sonatrach, pour le temps qu'elles nous ont consacré, et nous ont guidé dans notre travail.

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 encouragées sans limite.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du Département des "Mathématiques" et spécialement notre chef de département **Mr Y.Firani**

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.

KHIDER Imane
KEDDAR Marwa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

J'adresse tout d'abord mes dédicaces les plus sincères, à mon très cher **papa** qui a toujours souhaité me voir réussir, j'espère être sa fierté.

À l'être le plus cher à mon cœur dans ce monde, **MAMAN** qui a toujours su comment m'encourager. Je les remercie de tout mon cœur pour tous leurs sacrifices, leur amour, leurs tendresses, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études.

À mon frère **MOHAMED AMINE** et ma sœur **MAISSA** pour leurs appuis et leurs encouragements, merci.

À mon amie **SELMA** pour ses encouragements et son soutien moral.

À mon amie et mon binôme **MARWA**, qu'elle a été toujours avec moi je la remercie infiniment, je lui souhaite toute la réussite du monde.

À tous mes amis avec qui j'ai passé d'agréables moments **SALIMA DOUNIA**
ASSIA RANIA et **AFAF**

À tous mes camarades de la promotion sortante 2022 Recherche Opérationnelle et mes enseignants.

À tous ceux qui me sont chers.

Merci à tous.
KHIDER Imane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

J'adresse tout d'abord mes dédicaces les plus sincères, à la mémoire de mon défunt **papa** grâce à qui j'ai pu devenir ce que je suis aujourd'hui et réussir ce travail.

À l'être la maman la plus forte de ce monde, **MAMAN** qui a toujours été mon repaire de vie . Je la remercie de tout coeur d'être une personne formidable de m'aider à aller devant , leurs tendresses, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études.

À mon soeur **Sarah** l'exemple de la famille à ma soeur **Serine** la plus rebouteuse à mon frère **Mohamed** le plus compréhensif, mon petit frère préféré **Anis** et à ma douce cousine Sarah , merci de supporter mes caprices et d'être là.

À ma copine **Manel** pour son accueil son encouragement et son soutien moral. à sa maman Tata **Djamila** ses deux soeurs **Nesrine** et **Nedjla** et leurs frère **Yacine**

À mon incroyable amie **Nour**, à ma meilleure amie **Hinda** .

à ma copine **Yasmine**

À mes incroyables copines à l'étranger **Djidji, Amel, Yasmine et Mona**

À mon plié dans ce travail et mon binôme **Imane**, merci à toi pour les belles années passées ensemble, pour ton sérieux et ton perfectionisme, je te souhaite toute la réussite du monde.

À mes camarades et copines adorées **Rania, Assia et Afaf** et son petit fils

À mes boules de poils d'amour **Snow** et **Blanca**

À toi **Abdel Madjid** merci pour ton aide et ton soutien.

À tous mes camarades de la promotion sortante 2022 Recherche Opérationnelle et mes enseignants.

À tous ceux qui me sont chers.

Merci à tous.

KEDDAR Marwa

Table des matières

1	Entreprise d'accueil	11
1.1	Présentation de la SONATRACH	11
1.2	Historique de SONATRACH	11
1.3	Généralités sur les hydrocarbures	12
1.3.1	Quelques définitions	12
1.3.2	Formation des hydrocarbures	14
1.3.3	La migration des hydrocarbures	15
1.3.4	Du piège géologique au gisement exploitable	15
1.4	La chaîne de valeur de l'industrie pétrolière	16
1.4.1	L'activité amont	16
1.4.2	L'activité aval	22
1.4.3	L'abandon et la remise en l'état du site	24
1.5	Problématique	25
2	Gestion de projets d'exploration-production	26
2.1	Le projet	27
2.2	Un projet d'exploration-production	27
2.3	Investissement (CAPEX)	27
2.3.1	Les dépenses d'exploration	27
2.3.2	Les dépenses de développement	28
2.4	Dépenses d'exploitation (OPEX)	28
2.5	Flux de trésorerie (CACH -FLOW)	28
2.6	Actualisation	28
2.7	Taux d'actualisation	29
2.8	Les critères principale d'évaluation d 'un projet pétrolier	29
2.8.1	Critères économiques	29
2.8.2	Critères de risque	33
2.8.3	Critères stratégiques	33
2.9	Le cadre juridique en Algérie	35
2.10	Concession amont et contrat de recherche-Exploration :	36

3	L'Aide multicritère à la décision	38
3.1	Approche monocritère et approche multicritère	39
3.1.1	Approche monocritère	39
3.1.2	Approche multicritère	39
3.2	Notions de base de l'aide multicritère à la décision :	40
3.2.1	Alternative	40
3.2.2	Critère	40
3.2.3	Poids	40
3.2.4	Composantes d'un problème de décision	40
3.3	Les différentes problématiques de l'aide à la décision multicritère	41
3.3.1	La problématique du choix ($P\alpha$)	41
3.3.2	La problématique du tri ($P\beta$)	42
3.3.3	La problématique du rangement ($P\gamma$)	42
3.3.4	La problématique de la description ($P\delta$)	43
3.4	Relations binaires dans un ensemble	44
3.4.1	Relations d'équivalence	44
3.4.2	Relations d'ordre	44
3.5	La matrice de décision	45
3.6	Modélisation des préférences	45
3.6.1	Représentation graphique d'une structure de préférence	48
3.6.2	Représentation matricielle d'une structure de préférence	49
3.7	La relation de dominance	50
3.7.1	Dominance	50
3.7.2	Dominance stricte :	50
3.7.3	Efficacité :	50
3.8	Les étapes du processus d'aide à la décision :	50
3.9	Relation de Surclassement	52
3.10	les différents seuils :	52
3.11	Le point Idéal	52
3.12	Le point anti-idéal	53
3.13	Le point Nadir	53
3.14	Critères et famille cohérente de critères :	53
4	Les méthodes d'aide à la décision multicritères	55
4.1	La méthode AHP : Analytic Hierarchy Process	56
4.2	La méthode SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique	59
4.3	La méthode TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Idea Solution	61
4.4	La méthode SAW : Simple Additive Weighting	65
4.5	la Méthode VIKOR : ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Re- senje	66
4.6	La méthode Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité	69
4.7	La méthode Electre II :	71
4.8	La méthode PROMETHEE : Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations	72

4.8.1	PROMETHEE I et II	73
4.9	Avantages et limites de ces méthodes :	75
5	Implementation et Résolution du problème	78
5.1	Choix de logiciel	79
5.1.1	MATLAB	79
5.2	Présentation du problème	80
5.3	Définition de L'ensemble Des Actions	80
5.4	Définition de l'ensemble des critères :	80
5.4.1	Critères économiques	80
5.4.2	Critères stratégiques	80
5.4.3	Critères de risque	81
5.5	Matrice de décision	82
5.6	Pondération des critères	83
5.7	Application des méthodes d'Aide à la Décision Multicritère	84
5.7.1	Résolution avec la Méthode SAW	84
5.7.2	Résolution avec la méthode TOPSIS	88
5.7.3	Résolution avec la méthode VIKOR	93
5.7.4	Résolution Avec La Méthode SMART	98
5.8	Discussion des résultats :	102
5.8.1	Méthode SAW	102
5.8.2	Méthode Topsis	102
5.8.3	Méthode Vikor	102
5.8.4	Méthode Smart	102

Table des figures

1.1	logo de la SONATRACH	11
1.2	La formation des hydrocarbures	14
1.3	La migration des hydrocarbures.	15
1.4	Coupe d'un gisement d'hydrocarbure.	15
1.5	Le parcours de l'industrie pétrolière.	16
1.6	Systeme pétrolier.	17
1.7	Prospection géologique.	19
1.8	Transport des hydrocarbures	22
1.9	Raffinage des hydrocarbures.	23
1.10	Commercialisation international des hydrocarbures	24
2.1	Courbe représentant la rentabilité.	31
2.2	Les critères de décision.	35
2.3	Formes de contrats pétroliers	36
2.4	Durée du contrat	37
3.1	Problématique de choix $P\alpha$	41
3.2	Problématique de choix $P\beta$	42
3.3	Problématique de choix $P\gamma$	42
3.4	Matrice de décision	45
3.5	Représentation graphique d'une structure de préférence	48
3.6	Les étapes du processus d'aide à la décision	51
4.1	Structure hiérarchique	56
4.2	Les six types de fonction de PROMETHEE	74
5.1	Logo MATLAB	79
5.2	Interface de MATLAB	79
5.3	ordre de préférence selon l'échelle de SAATY	83
5.4	Résultat de la matrice normalisée sur MATLAB	85
5.5	Résultat des Alternative sur Matlab	86
5.6	Résultat de la matrice normalisée sur MATLAB	88
5.7	Résultat de la matrice normalisée pondérée sur MATLAB	89

5.8	Résultat du vecteur de points idéals sur MATLAB	89
5.9	Résultat du vecteur de points antidéals sur MATLAB	90
5.10	La séparation de chaque alternative de la solution idéale	90
5.11	La séparation de chaque alternative de la solution anti idéale	90
5.12	La proximité relative à la solution idéale	91
5.13	Résultat des f_j^* sur MATLAB	93
5.14	Résultat des f_j^- sur MATLAB	93
5.15	Résultat des S_i sur MATLAB	94
5.16	Résultat de R_i sur MATLAB	94
5.17	Résultat des Q_i sur MATLAB	95
5.18	Résultat du classement des alternatives S_i, R_i et Q_i sur MATLAB	96
5.19	Résultat du poids nomalisée sur Matlab	98
5.20	Résultat des évaluation de chaque attribut sur Matlab	99
5.21	Résultat des évaluation de chaque action selon la somme pondérée sur Matlab100	

Introduction générale

L'industrie pétrolière est une industrie qui a été et continue à être au centre de tous les enjeux économiques et politiques. En effet, depuis plus d'un siècle, le pétrole constitue la source énergétique la plus importante sur laquelle toute la civilisation occidentale a construit son développement. Cependant, les réserves en hydrocarbures sont inégalement réparties dans le monde, c'est pour cette raison qu'elles font l'objet de multiples stratégies d'appropriation, tant de la part des grands pays consommateurs que des pays producteurs et des compagnies pétrolières privées. La plupart des grands pays producteurs de pétrole possèdent aujourd'hui leur propre compagnie pétrolière et gazière, qui gère la production et défend les intérêts nationaux dans le domaine des hydrocarbures. Ces compagnies nationales sont contrôlées à plus de 50% par l'État. Dans les pays de l'organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), mais aussi dans quelques pays non-membres de cette organisation, les compagnies nationales ont même l'exclusivité ou la quasi-exclusivité de la production pétrolière.

Parmi elles La SONATRACH qui est arrivée à la 12e position dans le classement des meilleures compagnies pétrolières durant l'année 2021, devant même des géants pétroliers, à l'image de Total Energies (13e) et QatarEnergy (14e)[5] faisant d'elle une force économique pour le pays.

La Sonatrach exerce des activités qui gèrent en guise la rentabilité de ses ressources. Nous allons voir dans ce mémoire des notions économiques et techniques qui contribuent à la gestion de ses projets. On constate que cette industrie fait face à un choix d'investissement basé sur ces critères économiques.

On proposera par la suite des solutions qui aideront à faire des choix adéquats à la stratégie de la Sonatrach par le biais des méthodes d'aide à la décision multicritères.

Et finalement on va concrétiser ces méthodes avec les données suggérées par l'entreprise, qui nous aideront à obtenir des résultats et finalement de faire une discussion et une comparaison de ces derniers.

Chapitre 1

Entreprise d'accueil

1.1 Présentation de la SONATRACH

«Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures» est une entreprise pétrolière et gazière algérienne. Créée le 31 décembre 1963 par le décret n°63/491, possédant un réseau d'infrastructures et d'installations sur le territoire national, Sonatrach est devenue un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine et a escaladé l'échelle pour devenir la première entreprise d'Afrique [1].



FIGURE 1.1 – logo de la SONATRACH

1.2 Historique de SONATRACH

Depuis 1955, date des premières découvertes du pétrole et du gaz en Algérie, l'industrie pétrolière s'était développée sous contrôle des sociétés étrangères pour la plupart françaises, selon un régime de concession codifié dans ce qu'on appelait le code pétrolier saharien.

En 1962, ce code qui réglementait les activités des sociétés engagées dans la recherche, la production et le transport des hydrocarbures fut, par l'accord d'Evian, maintenu provisoirement jusqu'au 31 Décembre 1963.

Les ressources naturelles de l'Algérie restaient exploitées par des sociétés étrangères qui restaient indifférentes aux préoccupations et aux intérêts supérieurs de la collectivité algérienne, lesquels, estiment-elles, ne s'accordaient pas avec les leurs.

C'est ainsi qu'a été créé par décret N° 63-491 [2] du 31 Décembre 1963, la société nationale SONATRACH, société d'état dont le but initial, limité au transport et à la commercialisation des hydrocarbures fut élargie en 1966 à toutes les autres activités de l'industrie pétrolière.

Aujourd'hui, la SONATRACH assure les missions stratégiques centrées sur les domaines de la recherche, de la production, du transport, ainsi que ceux du traitement du gaz naturel et la commercialisation des hydrocarbures liquides et gazeux sur le marché international [4].

1.3 Généralités sur les hydrocarbures

1.3.1 Quelques définitions

Hydrocarbure : des composés chimiques dont les molécules sont constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ce sont les principaux constituants du pétrole brut et du gaz naturel, ainsi que des produits pétroliers. Leur formule brute est donc de la forme : C_nH_m , sachant que n et m sont deux entiers naturels.

Gaz naturel : mélange gazeux d'hydrocarbures naturellement présent dans certaines roches poreuses. Extrait par forage il est utilisé comme combustible fossile ou par la carbochimie.

Pétrole : roche liquide d'origine naturelle, une huile minérale composée d'une multitude de composés organiques, essentiellement des hydrocarbures, piégée dans des formations géologiques particulières.

Pétrole brut : pétrole non raffiné.

Énergie non renouvelable : les énergies non renouvelables ou énergies fossiles sont des énergies primaires qui, après leur utilisation, ne peuvent pas être reconstituées à l'échelle de temps humaine.

Le pétrole, le gaz naturel et le charbon sont des énergies non renouvelables.

Énergie renouvelable : on appelle énergie renouvelable une source d'énergie dont le renouvellement naturel est immédiat ou très rapide, de telle façon qu'on peut la considérer comme inépuisable à une échelle de temps humaine. Parmi les énergies renouvelables, les plus connues et déjà exploitées sont le solaire, l'éolien, l'hydraulique, la biomasse et la géothermie.

Gisement : Un gisement est une accumulation de matière première (pétrole, gaz, charbon, uranium, minerai métallique, substance utile. . .) située à plus ou moins grande profondeur dans le sous-sol de la Terre.

Puits : désigne la cavité cylindrique creusée dans le sous-sol par un forage. Les puits sont nécessaires à l'exploration et à la production pétrolière, ainsi qu'à la production d'eau d'aquifères souterrains et à l'exploitation géothermique profonde.

Exploration pétrolière : ensemble des méthodes mises en oeuvre pour découvrir de nouveaux gisements d'hydrocarbures.

Forage : un forage consiste à creuser un trou 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...).

Forage d'appréciation : les forages d'appréciation (ou de délinéation) sont les forages effectués après le forage d'une découverte d'hydrocarbures et avant la prise de décision d'exploiter le gisement.

Cette phase d'appréciation est très souvent indispensable pour réduire les incertitudes qui pèsent sur l'étendue et les caractéristiques de la découverte, avant d'engager ou non la phase d'exploitation qui nécessite des investissements extrêmement importants.

Prospect (hydrocarbures) : 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.

Raffinage : ensemble des opérations industrielles permettant d'élaborer divers produits pétroliers (gaz, essences, fiouls, bitumes. . .) à partir de pétroles bruts.

Raffinerie : une raffinerie de pétrole est une installation industrielle dans laquelle on transforme le brut en produits pétroliers adaptés à différentes utilisations (moteurs, transports, chauffage, bases de nombreux produits dérivés, notamment les plastiques...).

1.3.2 Formation des hydrocarbures

: Dans les profondeurs de la Terre, pétrole et gaz naturel naissent d'une transformation de la matière organique de plantes ou d'animaux morts. Leur genèse s'étale sur des millions d'années et nécessite des conditions de pression et de température particulières[7].

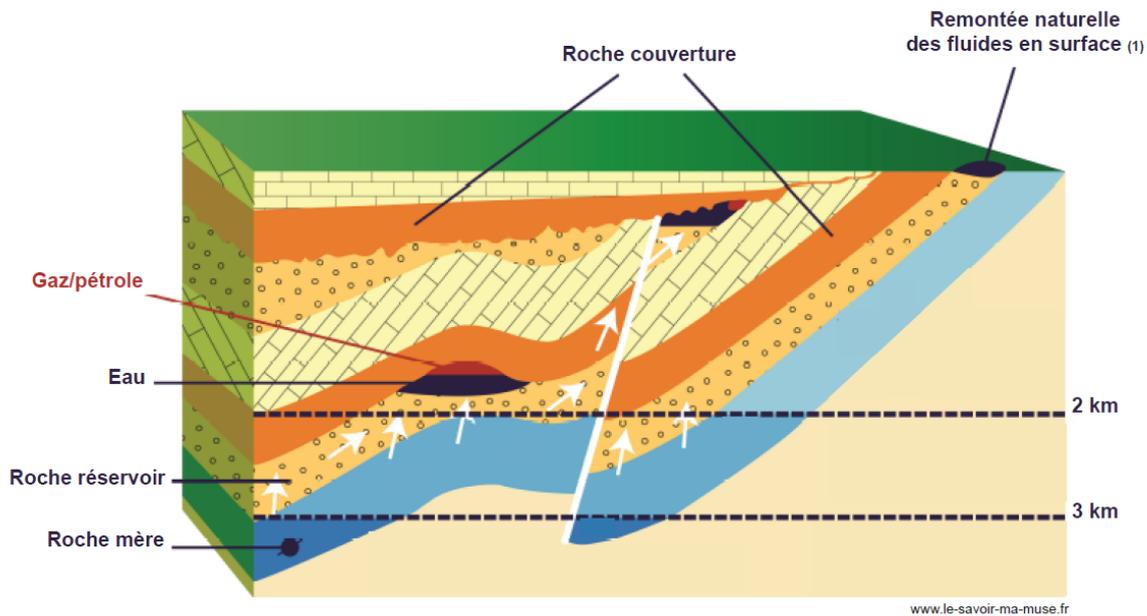


FIGURE 1.2 – La formation des hydrocarbures

1.3.3 La migration des hydrocarbures

A partir de la roche mère où elles sont nées, les molécules d'hydrocarbures, de par leur légèreté, entament un parcours ascendant vers la surface. Elles se concentrent dans les roches poreuses et sont bloquées par les roches imperméables. Ainsi se créent les gisements de pétrole et gisement de gaz.

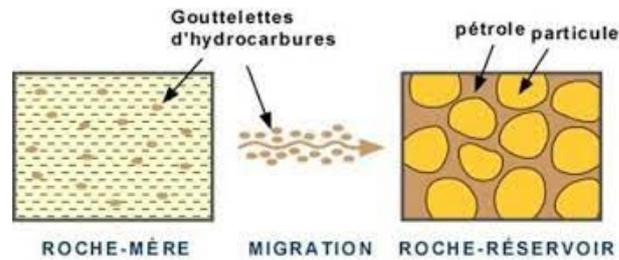


FIGURE 1.3 – La migration des hydrocarbures.

1.3.4 Du piège géologique au gisement exploitable

Les hydrocarbures prennent naissance et évoluent dans un bassin sédimentaire. Leurs histoires lui sont étroitement liées. C'est pour cette raison que l'étude du mécanisme de formation des bassins sédimentaires est fondamentale et constitue la première étape des études de l'explorateur. Ces études lui permettent d'orienter et localiser des zones susceptibles de renfermer des hydrocarbures et d'établir des programmes d'exploration en vue d'identifier des prospects devenant par la suite des gisements d'hydrocarbures exploitables[7].

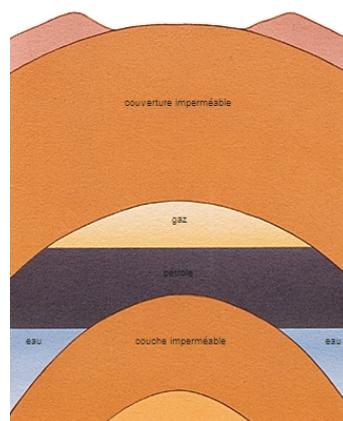


FIGURE 1.4 – Coupe d'un gisement d'hydrocarbure.

1.4 La chaîne de valeur de l'industrie pétrolière

L'industrie pétrolière est caractérisée par la succession d'activités importantes. Ce sont l'activité « amont » et l'activité « aval ». Les auteurs, BITEAU Jean-Jacques et BAUDIN François[11] soulignent que c'est par commodité qu'on parle de l'industrie pétrolière. En vérité, dans la branche il n'y a pas qu'une industrie mais plusieurs. Sur le plan symbolique elles restent des "stades" d'une même industrie.

L'intégration de ces stades dans une même appellation est la conséquence de l'insertion des entreprises pétrolières dans tous les domaines d'activité de la branche. En effet, la tendance dominante fut de regrouper autour d'une même entreprise toutes les activités liées au pétrole, de l'exploitation au raffinage et à la distribution. La figure ci-dessous synthétise les différentes étapes de la chaîne pétrolière.



FIGURE 1.5 – Le parcours de l'industrie pétrolière.

1.4.1 L'activité amont

L'activité amont, également appelée "exploration-production" constitue le maillon essentiel de la chaîne pétrolière. L'activité "amont" est une succession continue et complémentaire de plusieurs travaux pétroliers qui ont pour but la découverte de nouveaux gisements d'hydrocarbures économiquement exploitables.

L'activité amont comprend plusieurs étapes distinctes. D'abord, l'étape d'exploration. Cela consiste à faire une géologie et une géophysique de terrain, afin de mieux connaître les composantes du sous-sol. Puis, viennent les forages d'exploration pour confirmer ou infirmer la présence des hydrocarbures, déjà ciblés par les études précédentes. Dans le cas où les forages d'exploration sont positifs, c'est un succès pour l'activité.

Ensuite, l'étape de développement par les forages d'appréciation pour l'extraction, et l'estimation des infrastructures afin de produire et traiter les hydrocarbures.

Enfin l'étape d'exploitation permettant l'extraction des hydrocarbures pour les rendre conformes aux spécifications de transport par canalisation et de commercialisation.

a. Phase d'exploration

L'exploration est la première étape du processus de l'activité pétrolière. Elle est un ensemble d'opérations préliminaires à l'exploitation dont le but est la découverte d'accumulation d'hydrocarbures liquides et gazeux éventuellement solide, techniquement et économiquement exploitable. L'exploration constitue une phase particulière caractérisée par une prise de risque. Aussi, le développement de nouvelles techniques d'exploration a permis d'améliorer la visibilité des spécialistes en géologie, et d'augmenter ainsi l'efficacité de l'exploration. L'exploration comprend la prospection et l'appréciation de la taille et les caractéristiques du réservoir.

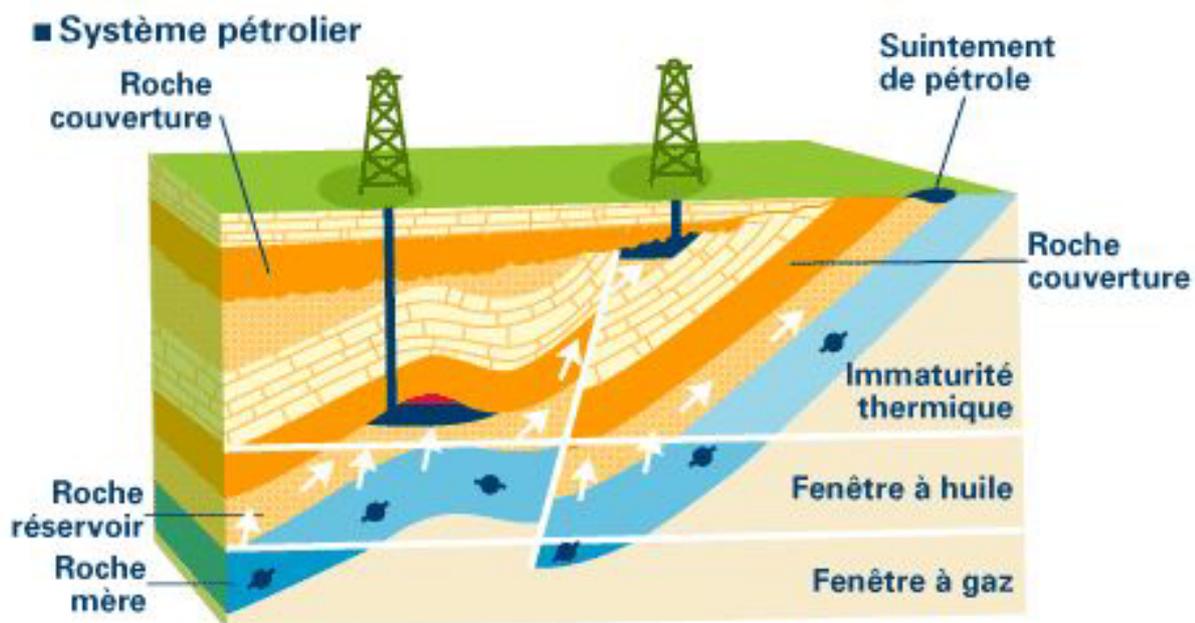


FIGURE 1.6 – Systeme pétrolier.

La prospection On entend par prospection l'ensemble des travaux d'investigation qui se font dans des zones peu connues où règne un contexte de grande incertitude qui nécessite d'émettre un certain nombre d'hypothèses qui seront plus ou moins rapidement confirmées, ou devront être rejetées au vu d'indices souvent ténus.

Dans un premier temps, les géologues ont pour tâche d'étudier la géologie de grandes zones afin d'y définir les endroits susceptibles de receler des gisements d'hydrocarbures. Ils s'associent aux géophysiciens qui étudient les propriétés du sous-sol, notamment grâce aux données de la sismique.

La prospection peut être une prospection géologique en surface. Les caractéristiques géologiques des gisements pétroliers diffèrent en fonction de leur âge (de 5 à 400 millions d'années), de leur profondeur (de 1 à 10 km) et de leur thermique (la formation de l'huile se situant entre 60 et 150 °C). C'est la première étape qui permet de repérer les zones sédimentaires méritant d'être étudiées (plissements, failles).

Pour identifier les régions potentiellement pétrolifères, les géologues s'interrogent sur les points suivants : Quelle est la nature des roches ?, Ont-elles été soumises à des conditions favorables à la création d'hydrocarbures ?, Ces hydrocarbures ont-ils pu migrer et être piégés par des couches imperméables ? Les géologues dressent une carte du sous-sol à partir des informations obtenues en surface par examen des affleurements et dans les airs par photogéologie. Lorsqu'une zone favorable (prospect) est repérée par les géologues depuis la surface, c'est au tour des géophysiciens d'explorer le sous-sol.

La prospection peut également être une prospection géophysique en profondeur. En effet, la connaissance des caractéristiques du terrain en surface n'est pas suffisante pour permettre d'extrapoler les propriétés du sous-sol. C'est pourquoi la société peut avoir recours aux méthodes géophysiques d'exploration. Celles-ci consistent à effectuer des mesures de grandeurs physiques fondamentales en profondeur[10].

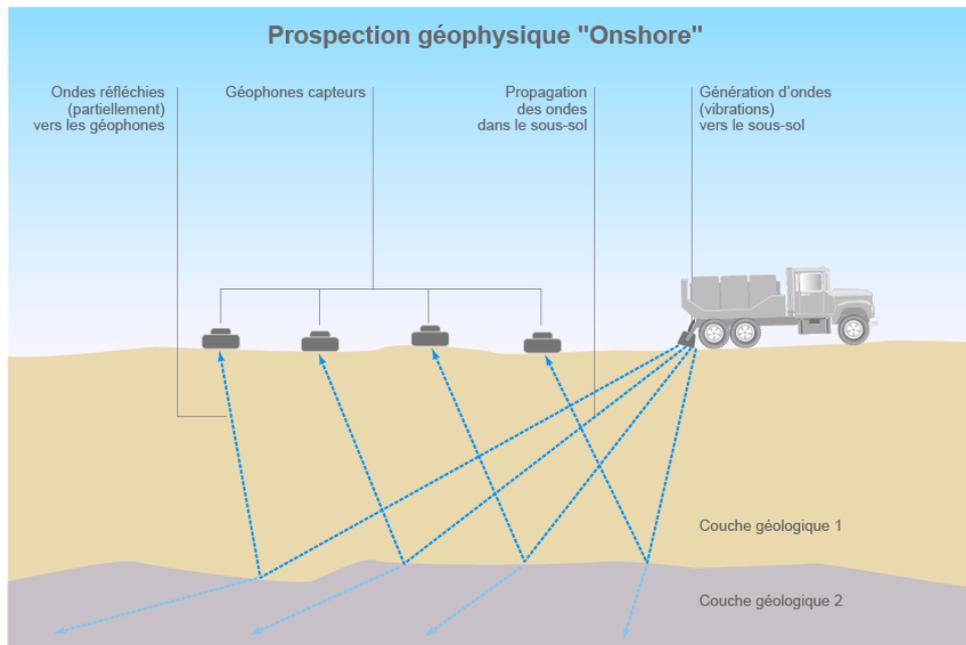


FIGURE 1.7 – Prospection géologique.

L'appréciation une fois qu'un ou plusieurs puits d'exploration aient été forés dans un réservoir et aient résulté en une découverte de réserves en hydrocarbures, des puits additionnels, appelés des puits d'appréciation, peuvent être forés pour obtenir des informations sur la taille et les caractéristiques du réservoir, pour évaluer le potentiel commercial et pour estimer l'importance des réserves récupérables. Quatre scénarios possibles sont à considérer à ce stade :

- Procéder directement au développement, et générer ainsi des revenus sur une période relativement courte. Néanmoins, le risque serait que le champ développé s'avère plus ou moins important que l'estimation initiale et les équipements ne seraient pas adéquats à la taille du gisement, ce qui pourrait remettre en cause la rentabilité économique de la découverte.

- Mettre en place un programme de travail pour la phase d'appréciation avec, comme objectif, l'optimisation technique du développement. Ceci mènera à un retard dans la production du premier baril du champ en question par quelques années en plus des coûts supplémentaires à supporter. Cependant, la rentabilité totale du projet pourrait s'améliorer. Dans ce scénario, l'objectif de l'appréciation dans le contexte de développement d'un champ pétrolier n'est pas de trouver des hydrocarbures additionnels mais plutôt de réduire les incertitudes, en particulier celles relatives au volume estimé des réserves contenu dans la roche réservoir.

- Céder la découverte à d'autres sociétés. Dans ce cas, une évaluation s'avère nécessaire. Dans la pratique, il existe des sociétés pétrolières qui se spécialisent dans l'utilisation de

leurs savoir-faire en matière d'exploration sans l'intention de continuer à investir dans la phase de développement. Ils font une découverte puis décident de la céder en réalisant une plus-value pour passer à l'exploration d'autres opportunités.

- Ne rien faire. Ceci est toujours une option, malgré qu'elle soit une option de facilité, et pourrait mener à des réclamations de la part des autorités (l'Etat) pour exiger la renonciation aux droits d'exploration si la société continue à ne rien faire à propos de la découverte [22].

b. Le développement et la production

Une fois les informations supplémentaires définies et collectées pour une estimation initiale des réserves, l'étape qui suit est celle d'étudier les différents scénarios de développement. Une étude de faisabilité est donc nécessaire pour documenter les différentes options techniques, parmi lesquelles il existe au moins une option ayant une rentabilité économique acceptable. L'étude contient les options de développement du gisement, la conception du processus de production, la taille des équipements, les emplacements proposés (pour une plateforme en mer) ainsi que le système de transport du pétrole brut ou du gaz pour la vente.

Les options retenues sont accompagnées par une estimation des coûts et la planification des activités du projet de développement. Une telle étude permet de donner un aperçu complet sur toutes les conditions, opportunités, risques et contraintes liées au projet.

Plan développement : en se basant sur l'étude de faisabilité, et sur l'hypothèse qu'il existe une option commercialement fiable, un plan de développement (POD) peut être développé et exécuté. Le POD est un document clé utilisé pour effectuer proprement la communication, la discussion et l'accord autour des activités nécessaires pour le développement d'un nouveau champ, ou l'extension d'un projet existant. L'objectif principal du POD étant de servir en tant que concept spécifique du projet pour les équipements de surface et en sous-sol pour l'exploitation et la maintenance des investissements requis. Ceci devrait donner à la direction de la société pétrolière ainsi qu'aux investisseurs, une certaine assurance que tous les aspects du projet ont été identifiés et discutés avec les parties prenantes, notamment :

- Les objectifs du développement.
 - les données d'ingénierie pétrolière (du sous-sol).
 - les principes d'exploitation et de maintenance.
 - la description de l'ingénierie des équipements et installation.
 - l'estimation des coûts et de la main d'oeuvre.
 - le calendrier et planification du projet.
 - le résumé de l'étude de rentabilité.
 - la proposition de budget.
-

La phase de production la phase de production commence avec la première quantité d'hydrocarbures commercialisables produite à partir de la tête du puits. Cet évènement est aussi connu par le terme « first oil ». Cette étape représente un point marquant du point de vue des flux de trésorerie, puisque c'est à partir de ce moment que la société commence à générer des revenus qui vont constituer l'essentiel du retour sur l'investissement effectué.

En effet, le plan de développement et de production se base généralement sur l'estimation du profil de production. Selon ce profil, est effectuée la mise en place des infrastructures, ce qui permet d'entamer les opérations de production du bassin qui se caractérisent typiquement par trois phases :

- **La phase de construction (courte période)** : durant cette phase, les puits nouvellement forés sont mis en production. La production augmente progressivement.

- **La phase du plateau (entre 2 et 5ans)** : les puits nouvellement forés produisent à pleine capacité mais les puits anciens commencent à entrer dans le déclin. Toutefois, la production reste stable, et les équipements fonctionnent à pleine capacité.

- **La phase de déclin (la plus longue)** : durant cette phase, tous les puits producteurs sont en phase de déclin.

Plusieurs techniques sont utilisées pour optimiser les quantités récupérables d'hydrocarbures et prolonger ainsi la phase de production. Pour que cela aboutisse, la pression dans le puits doit être nettement inférieure à celle des fluides présents dans le réservoir :

- Si cette différence de pression existe naturellement et si elle est suffisamment importante, les hydrocarbures se dirigent vers le puits et remontent d'eux-mêmes à la surface .

- Si la pression du gisement est insuffisante, mais aussi pour augmenter la productivité des puits, il faut réaliser des investissements supplémentaires en ayant recours à des procédés de récupération assistée, qui consistent en la mise en place de compresseurs à haut débit, permettant l'injection dans les puits du gaz ou de l'eau sous une pression supérieure à la pression interne du puits pour que les hydrocarbures puissent remonter plus facilement .

- Le pompage artificiel peut également être réalisé en installant des pompes au niveau des puits.

Dans tous les cas, la pression diminue au fur et à mesure que le gisement se vide de ses hydrocarbures. En fin de production, il faut systématiquement la stimuler.

A cette phase de production, de nombreuses dépenses sont effectuées. Ce sont les dépenses d'exploitation. Ces dépenses sont les coûts permanents d'exploitation et de maintenance d'un champ pétrolier ou de gaz ainsi que les équipements et installations connexes[24].

Exploration	Développement	Exploitation
Acquisition des titres miniers	Forage de développement (plate-forme ; constructions ; installations)	Frais d'exploitation liés aux systèmes de pompage, collecte, traitement et stockage
Etude préliminaire, Etude géologique, Opération sismique	Récupération améliorée, Puits, Installations de pompage, Autres	Frais d'exploitation liés aux systèmes de pompage, collecte, traitement et stockage
Forage d'exploitation	Flow lines de connexion	
Forage d'appréciation /délinaéation des découvertes	Installations de production Séparation/traitement Evacuation Installations de stockage	Frais de transport

1.4.2 L'activité aval

Elle prend en charge l'élaboration et la mise en oeuvre des politiques de développement et d'exploitation de l'aval pétrolier et gazier. Elle a pour missions essentielles l'exploitation des installations existantes de liquéfaction de gaz naturel et de séparation de GPL, de pétrochimie et de gaz industriel.

a. Activité Transport par Canalisation "TRC" le transport par canalisations assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, condensat, GNL, GPL). La longueur du réseau de canalisation dépasse aujourd'hui les 19 000 km. Les centres de dispatching des hydrocarbures liquides et gaziers comptent parmi les installations névralgiques de l'activité.

Sonatrach dispose de 22 systèmes de transport par canalisations (STC). Sonatrach dispose de 82 stations de pompage et de compression dont 39 stations de pompage destinées au brut.



FIGURE 1.8 – Transport des hydrocarbures

b. Raffinage des hydrocarbure le pétrole et les produits pétroliers qui en dérivent jouent un rôle clés dans l'activité économique d'un pays et dans la vie quotidienne de chacun.

Le raffinage est un maillon clé de la chaîne pétrolière. C'est ce maillon qui va permettre la transformation du pétrole brut en produits utilisables pour le transport, les besoins industriels, de fibres, de caoutchoucs synthétiques...etc.

Schématiquement on peut distinguer :

- Les raffineries appartenant à des sociétés intégrées qui produisent, transforment et commercialisent les produits pétroliers.
- Les raffineries indépendantes qui appartiennent à des sociétés ne disposant ni de sources de brut, ni de réseaux de distribution pour leurs produits.

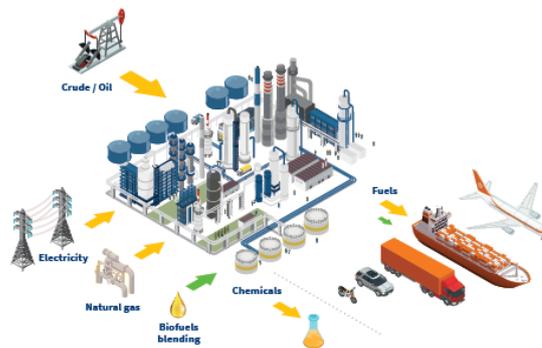


FIGURE 1.9 – Raffinage des hydrocarbures.

c. Activité Commercialisation "COM" elle a en charge le management des opérations de vente et de shipping (expédition par bateau). Les actions sont menées en coopération avec les filiales NAFTAL pour la distribution des produits pétroliers, SNTM HYPROC pour le transport maritime des hydrocarbures et COGIZ pour la commercialisation des gaz industriels.

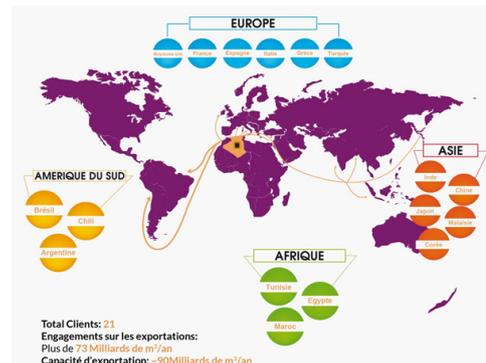


FIGURE 1.10 – Commercialisation internationale des hydrocarbures

1.4.3 L'abandon et la remise en l'état du site

La durée de vie économique d'un projet se termine une fois que l'activité ne peut générer que des flux de trésorerie négatifs. L'abandon économique est le point où les revenus ne couvrent plus les dépenses d'exploitation. Cependant, il est toujours possible, de point de vue technique, de produire mais ça sera une production à perte.

Si les options de l'extension de la durée de vie économique du champ pétrolier ont toutes été épuisées, l'abandon devient alors une nécessité. La remise en état du site est le processus par lequel l'opérateur d'un champ pétrolier obtient l'approbation, et procède à l'enlèvement, la cession ou la réutilisation des installations et équipements lorsque ceux-ci ne correspondent plus aux besoins de la société dans leur état actuel.

Les coûts d'abandon et de remise en état du site peuvent être considérablement élevés, d'autant plus qu'ils sont engagés au moment où le projet ne génère plus de flux de trésorerie. Aussi, une provision est constituée tout au long du cycle de vie du champ pétrolier pour prendre en considération ces engagements au niveau des états financiers de la société. Les activités liées à l'abandon et remise en état du site sont souvent assez compliquées et risquées.

Pendant cette phase, le défi sera de trouver les possibilités de l'optimisation des activités d'abandon sans compromettre l'aspect environnemental, ni engager des coûts excessivement élevés.

1.5 Problématique

L'évaluation économique de la rentabilité potentielle d'un projet pétrolier est incertaine, elle dépend des résultats de plusieurs variables, les coûts totaux du projet, la probabilité de trouver un réservoir économiquement exploitable, le volume et le type (pétrole gaz) des hydrocarbures trouvés, et les prix de vente futurs de la production. Tous ces paramètres ont un impact sur les indicateurs économiques des projets EP. Devant un comité d'implantation, les ingénieurs : géologue et géophysicien, présentent des plans de position, profils sismiques, tracés géologiques et les cartes isochrones de leur opportunités, sous formes de fiches techniques. La prise de décision se fait en combinant les résultats techniques et économiques avec les objectifs stratégiques de l'entreprise. Dans le cas contraire, les projets sont reportés soit pour une réévaluation technique ou économique.

En l'état actuel des choses, le processus au sein des compagnies s'est fortement complexifié. En effet, elles sont amenées à sélectionner un ensemble de projets sur la base de critères variables et incertains. Par ailleurs, les correctifs classiques qui sont destinés à atténuer la complexité du processus décisionnel, notamment la valeur actuelle nette (VAN) et le coût de forage, se révèlent insuffisants vu, d'une part, une faible prise en compte de la notion du risque qui est un élément essentiel de tout investissement, et d'autre part, l'omission des interactions entre les différents critères.

Chapitre 2

Gestion de projets d'exploration-production

Introduction

Un investissement est une dépense immédiate destinée à augmenter, à long terme, la richesse de celui qui l'engage. Dans une entreprise, un investissement sert à augmenter la productivité, à gagner du temps. Avant d'engager ce type de dépense, les entreprises anticipent le retour sur investissement.

L'industrie pétrolière possède des caractéristiques spécifiques. C'est une industrie capitalistique et risquée car, en plus des risques « classiques », cette industrie fait face à une offre abondante, une baisse des prix, une introduction progressive des énergies renouvelables et un impact par une crise sanitaire inédite. Dans cette industrie, l'activité amont, concerne les activités d'exploration et d'exploitation. Cette activité est confrontée à de nombreuses incertitudes liées aux rendements, aux coûts d'investissements (CAPEX) et aux coûts opératoires (OPEX), au taux de production, au prix du pétrole et au taux de succès géologique. Avec l'ensemble de ces incertitudes, il est difficile de prévoir les bénéfices et les cash-flows potentiels des projets.

2.1 Le projet

Un projet est un processus unique qui consiste en un ensemble d'activité et d'équipes coordonnée et maîtrisées, comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifique.

2.2 Un projet d'exploration-production

Un projet d'exploration-production est défini comme étant une succession continue et complémentaire de plusieurs travaux pétroliers qui ont le but de découvrir de nouveaux gisements d'hydrocarbures .

Les études d'évaluation économique des projets pétroliers intègrent ,outre la valorisation des hydrocarbures ,trois type de données :

- Les profils de production.
- Les investissements (CAPEX).
- Les cout d'exploitation (OPEX).
- Les conditions contractuelles et fiscales.

2.3 Investissement (CAPEX)

L'investissement est l'affectation de ressources à un projet dans l'espoir d'en retirer des profits futurs. Consentir des dépenses au présent pour des revenus dans le futur. Les dépenses de prospection et de développement seront considérées comme investissements.

Les investissements sont composés des dépenses d'exploration-recherche et de développement :

2.3.1 Les dépenses d'exploration

Elles sont en général, inférieures aux autres postes de dépenses. En revanche comme elles sont effectuées avant découverte, elles ont donc un impact direct sur les comptes de la compagnie, avec une garantie de remboursement liée à la probabilité de succès du programme d'exploration ,correspondant à la découvert de nouveaux gisement ces dépense sont :

- L'acquisition de la sismique 2D ; 3D....
 - L'acquisition d'autres méthodes (radar, méthodes potentielles...) négligeables par rapport à la sismique3D.
-

- Un important coût du personnel.
- Coût de traitement sismique.
- Coût d'interprétation de données en carte, profil de forage, modèle réservoir.
- Le coût de forage constitue l'essentiel des coûts d'un programme d'exploration.

2.3.2 Les dépenses de développement

Afin de mettre en production les gisements éventuellement découverts, et qui représentent une part très importante des investissements. Parmi ces investissements :

- Coût de forage de délimitation ,correspond à 30 % des CAPEX développement.
- Installations connexes à la production (centre de traitement et manifolds) soit plus de 50% des investissements de développements.
- Systèmes d'évacuation ,représente environ 20%.

2.4 Dépenses d'exploitation (OPEX)

Elle correspondent aux frais opératoires courant (la somme des frais du personnel, entretien d'installation et des frais variables de production) .

Les poids respectifs de ces différents varient, selon le contexte du projet .dans le processus d'évaluation, ces trois types de données doit être analysées indépendamment les uns des autres, mais également considérées dans un cycle d'optimisation globale conduisant à la meilleurs création de valeur possible .

2.5 Flux de trésorerie (CACH -FLOW)

Un Cache flux est le solde des flux de trésorerie engendrés par un investissement à la clôture d' une période .il désigne la différence entre les encaissements (cach-input) et les décaissements (cash out put) d'une année donnée [27].

2.6 Actualisation

L'actualisation est la méthode qui sert à ramener sur une même base des flux financiers non directement comparables, qui se produisent à des dates différents .L'actualisation est fondée sur deux principes :

le cout du temps qui le reflète le fait qu'un dollar de demain vaut moins qu'un dollar d'aujourd'hui ,et le cout de risque qui reflète quant à lui le fait qu'un dollar certain vaut plus qu'un dollar espéré mais incertain .

2.7 Taux d'actualisation

C'est le cout d'opportunité du capital investi c'est-à-dire le rendement qu'il serait possible d'obtenir en investissant ailleurs le même capital .

2.8 Les critères principale d'évaluation d 'un projet pétro-lier

2.8.1 Critères économiques

La décision d'investir dans un quelconque projet se base principalement sur l'évaluation de son intérêt économique et par conséquent, du calcul de sa rentabilité.

La rentabilité d'un projet dépend des coûts qu'il induit et des gains qu'il procure. Si la somme des gains est supérieure aux coûts de l'investissement, celui-ci est rentable. L'objectif de ce point est d'illustrer les critères pertinents à utiliser lors de la prise de décision d'investir. Ces critères sont représentés selon deux approches : déterministe et probabiliste.

Approche déterministe

C'est une étude préalable des différents critères pour l'aide à la prise de décision. Ces critères d'aide à la décision sont la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI) et l'enrichissement relatif au capital (ERC).

Revenu actualisé ou Valeur Actuelle Nette(VAN)

La Valeur Actuelle Nette (VAN) est le critère fondamental du calcul économique.

Le revenu actualisé (ou valeur actuelle nette)d'un projet est la somme des valeurs actuelles des flux de trésorerie associés au projet [9].

La Valeur Actuelle Nette (VAN) est généralement définie comme la différence entre les flux nets de trésorerie actualisés et le montant initial de l'investissement. Elle indique l'enrichissement net de l'entreprise qui découle de la réalisation de cet investissement. Dans les projets pétroliers, les investissements s'étalent également sur plusieurs périodes de temps. Nous pouvons représenter la valeur actuelle nette en utilisant l'équation suivante :

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Tel que :

- **VAN** : valeur actuelle nette.
- CF_t : flux de trésorerie (cash-flows).
- i :taux d'actualisation.
- t :l'année considérée d'exploitation .

Décision d'acceptation ou de rejet d'un projet :

- **Une VAN positive ($VAN \geq 0$) :**

Une valeur actuelle nette positif signifie que l'investissement augmente la valeur de l'entreprise conduira évidemment à accepter le projet,c'est-à-dire Les recettes du projet seront capables de Couvrir toutes les dépenses d'exploitation et de rembourser l'investissement au Département Financier donc l'acceptation du projet est recommandée.

- **Une VAN Nulle ($VAN=0$) :**

Une valeur actuelle nette nulle signifie que l'investissement permet seulement de récupérer la mise initiale et le cout des ressources mises en œuvre donc le projet est acceptable .

- **Une VAN négative ($VAN < 0$) :**

Une valeur actuelle nette négative signifie que l'investissement diminue la valeur de l'entreprise, c'est-à-dire, le rendement est inférieur au coût du capital.et cela signifie que la rentabilité de l'investissement est inférieure aux coûts des ressources mises en œuvre donc le projet ne peut pas être accepté.

Le Taux de Rentabilité Interne(TRI) :

On appelle taux de rentabilité interne d'un projet, la valeur du taux d'actualisation pour laquelle la VAN s'annule[8], c'est-à-dire la valeur du taux pour laquelle on a.

$$VAN = \left(\sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t} \right) = 0$$

Pour expliquer cette définition, on revient à l'interprétation de la VAN : dire que la VAN au taux est nulle, c'est dire que les revenus du projet permettent de rembourser le capital initial et de le rémunérer au taux, sans gain ni perte (i.e. la valeur actualisée des recettes est dans ce cas égale à la valeur actualisée des dépenses). Le taux de rentabilité est donc le taux maximum auquel on peut rémunérer les capitaux ayant servi à financer, sans que l'opération ne devienne difficile.

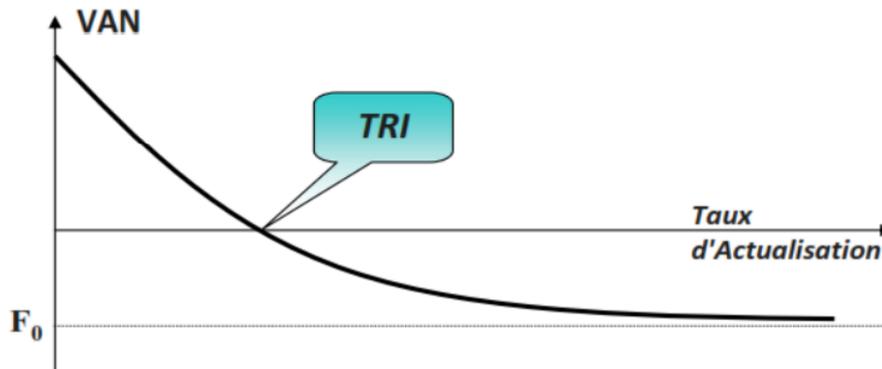


FIGURE 2.1 – Courbe représentant la rentabilité.

Enrichissement relatif en capital (ERC) :

l'enrichissement relatif en capital est le gain relatif en valeur capital . c'est le rapport du revenu actualisé du projet au montant de l'investissement actualisé nécessaire à sa réalisation.

Le critère consiste a réaliser le projet si son enrichissement relatif en capital est positif.

Le coût de Forage :

Le coût des forages pétroliers représente encore une part importante de l'ensemble des investissements de la recherche pétrolière. Ce prix correspond aux frais de fonctionnement de l'appareil de forage (amortissement, main-d'œuvre, entretien), au prix des matières consommables (trépan, tubage, produits à boues) et des services fournis par les sociétés spécialisées.

Approche probabiliste :

Cette approche permet essentiellement de quantifier des événements possibles pour essayer d'analyser le risque dans le but de prendre une décision.

La Valeur Monétaire Espérée (EMV) du projet :

La valeur monétaire espérée (EMV), est un paramètre essentiel dans un contexte d'incertitude. Elle est définie comme étant l'espérance mathématique associée à deux possibilités, succès ou échec, autrement dit la valeur de la VAN en tenant compte de risque de perte sur le projet. La formule de calcul de l'EMV est définie comme suit :

$$EMV = (VAN * POS) + (1 - POS) * (-I)$$

Tel que :

- **POS** : La Probabilité de Succès du Play (ou de forage).
 - **VAN** : Valeur Actuelle Nette .
 - **I** : L'Investissement de Recherche (Sismique et Forage Exploration).
-

Décision d'acceptation ou de rejet d'un projet

- **EMV > 0** : le projet est acceptée.
- **EMV < 0** : le projet est non acceptée.

2.8.2 Critères de risque

Probabilité de succès (POS)

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, et la roche réservoir, couverture et du type de piège . La valeur de la probabilité de succès est estimé comme suit :

$$POS = PC * PM * PR * PP$$

Tel que :

- **PC** : La probabilité d'existence d'une roche couverture .
- **PM** : La probabilité d'existence d'une roche mère.
- **PR** : La probabilité d'existence d'un réservoir.
- **PP** : La probabilité de la présence d'un piège.

2.8.3 Critères stratégiques

Distance par rapport aux infrastructures :

Un prospect loin des infrastructures, nécessite de nouvelles usines de traitement et infrastructures de surface pour le développement , ce qui peut être une barrière pour le choix de ce prospect à moyen et court terme .tandis qu'un prospect proche des infrastructures et installations bénéficiera de l'utilisation possible des infrastructures existantes, donc une mobilisation rapide des potentielles ressources .

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, ect).

- **La catégorie C (Emerging Play) :** Génération de nouveaux projets dans des bassins émergents (développement de bassins émergents).
- **La catégorie D (New Concept) :** Générer des opportunités dans de nouveaux bassins et alimentation du pipe de projets (Ouverture de nouvelles province).

Ressource en place (p mean)

Une nouvelle découverte n'est pas mise en production que si un marché rentable existe pour les hydrocarbures susceptibles d'en être extraits. Ce constat d'évidence montre à quel point la notion de réserves demeure avant tout un concept économique .afin de mettre en avant les projets les plus intéressants ,il est impératif d'avoir des approximations de la quantité des hydrocarbures existante dans chaque opportunité sous forme de ressources en place liées aux différents scénarii en fonction de la distribution de la probabilité(p10,P50 et P90).

$$P_{mean} = P_{10} * 30\% + P_{50} * 40\% + P_{90} * 30\%$$

Plus le pmean est grand , plus le volume escompté est intéressant .

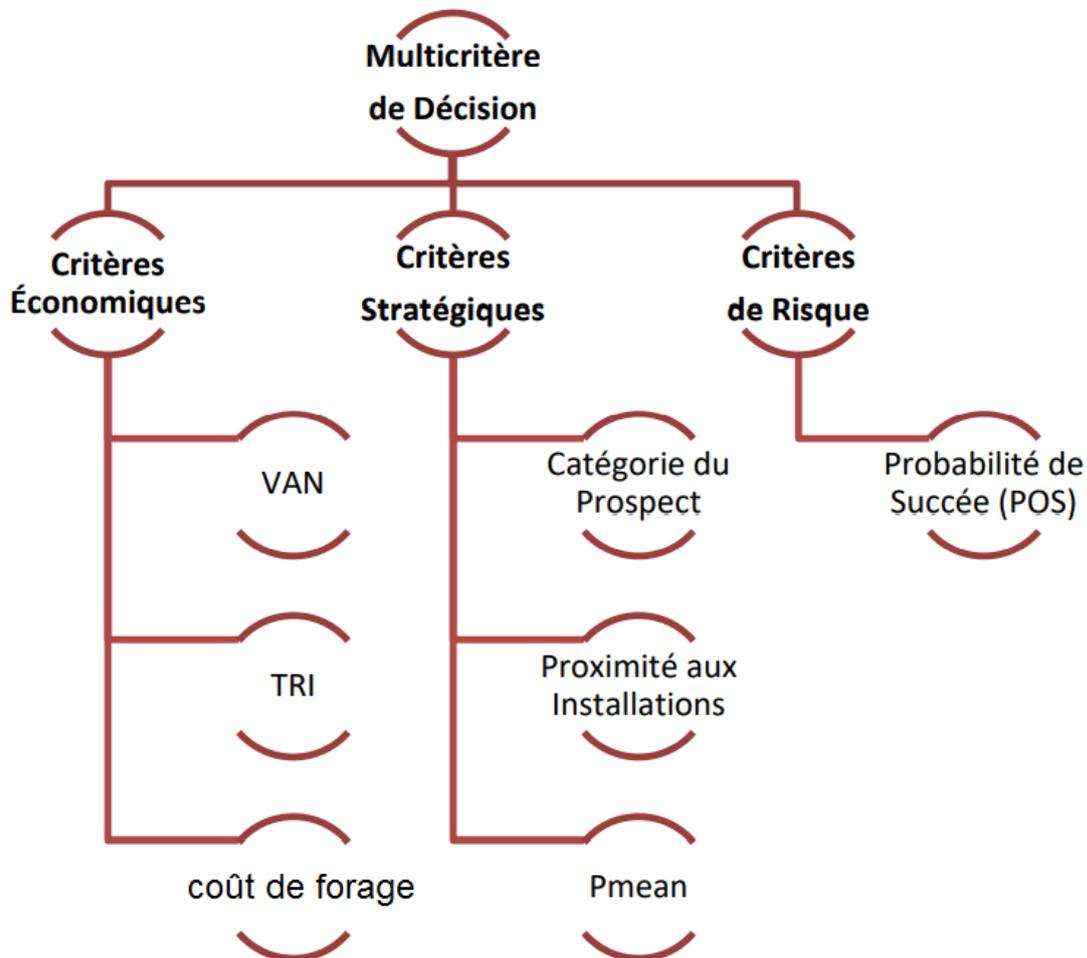


FIGURE 2.2 – Les critères de décision.

2.9 Le cadre juridique en Algérie

Le secteur d'énergie en Algérie occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie qui est gérée par le ministère d'énergie, il est régi par un cadre juridique permettant d'exercer ces activités. Cependant, la nouvelle loi des Hydrocarbures N°19-13 du 11 décembre 2019 a pour objet :

- le régime juridique applicable aux activités d'hydrocarbures .
- le cadre institutionnel encadrant l'exercice des activités d'hydrocarbures
- le régime fiscal applicable aux activités amont .

- les droits et obligations des personnes exerçant les activités d'hydrocarbures.

2.10 Concession amont et contrat de recherche-Exploration :

Une concession amont est attribuée à Sonatrach pour exercer seule les activités amont . Quand il s'agit de sonatrach et ses partenaires , un acte d'attribution octroyé par AL-NAFT ,peut prendre la forme d'une des contrats d'hydrocarbures suivante :

- Contrat de participation.
- Contrat de partage de production .
- Contrat de service à risque.

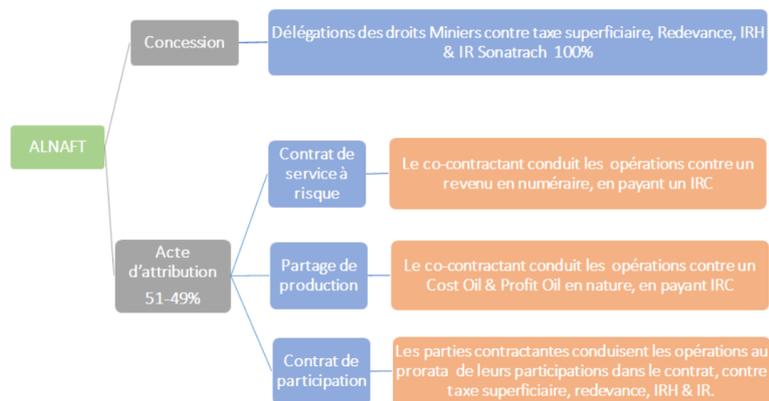


FIGURE 2.3 – Formes de contrats pétroliers

La concession ou le contrat de recherche et exploitation elle peu être attribuée pour une durée de 30ans . Cette durée comprend :

- Une période de recherche : 7 ans composée d'une ou de plusieurs phases. La durée et le programme de travaux minimum de chaque phase ainsi que les conditions de passage d'une phase à une autre sont définis dans le contrat d'hydrocarbures ;
- Une période d'exploitation : Débute à la date de notification par ALNAFT, de l'approbation du plan de développement du périmètre d'exploitation et prend fin à l'échéance du contrat d'hydrocarbures.
- La durée du contrat d'hydrocarbures peut être prorogée pour une période ne pouvant excéder 10 ans, selon les conditions et les modalités fixées dans ledit contrat[4].

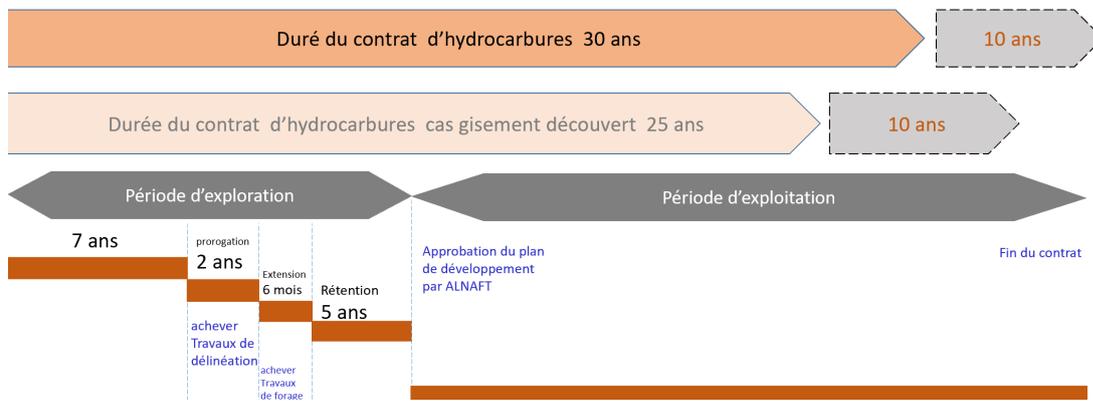


FIGURE 2.4 – Durée du contrat

Chapitre 3

L'Aide multicritère à la décision

Introduction

La recherche opérationnelle peut être définie comme l'ensemble des méthodes et techniques rationnelles orientées vers la recherche du meilleur choix dans la façon d'opérer en vue d'aboutir au résultat visé ou au meilleur résultat possible ou encore au résultat optimal. L'AMCD est une branche de la recherche opérationnelle, et a comme objectif d'aider un ou plusieurs décideurs à préparer et à prendre des décisions, lorsque plusieurs points de vue, le plus souvent conflictuels, doivent être pris en compte. 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, des produits ou des projets. Cet exercice est basé sur l'évaluation à l'aide de notes (scores), de valeurs, 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.

3.1 Approche monocritère et approche multicritère

3.1.1 Approche monocritère

L'approche monocritère comme son nom l'indique est un problème décisionnel lorsque la prise de décision se base sur un seul critère. Selon (Schârlig, 1985), l'approche monocritère appréhende les situations décisionnelles en ne considérant qu'une seule dimension, un seul aspect de ces situations. Elle est fondée sur le principe de rationalité «pure» de la décision qui sous-tend l'optimisation d'un critère unique donné, d'où le nom de monocritère. La prise en compte d'un seul critère présente l'avantage d'élaborer des modèles généralement bien structurés et mathématiquement bien posés :

$$\textit{optimiser} \{f(x)/x \in A\}$$

3.1.2 Approche multicritère

L'approche multicritère a comme principale caractéristique de formaliser (ou modéliser) la préparation des décisions. Elle améliore la transparence du processus de décision. Ensuite, elle définit, précise et met en évidence la responsabilité du décideur dès que ce dernier prend en compte la complexité de la réalité et se base sur plusieurs critères, de son point de vue, le problème devient alors multicritère. Pour cette raison (Vincke, 1989), souligne que l'analyse multicritère a pour objet d'accompagner le décideur dans son processus décisionnel, et ce, en élaborant des outils qui permettent de rendre compte et de prendre en compte la multiplicité des aspects relatifs à ce contexte. En d'autres termes, l'approche multicritère aide le décideur, tout en tenant compte des contraintes de l'environnement, à évoluer dans la recherche du compromis le plus satisfaisant entre plusieurs objectifs. Cette recherche est censée se faire pour et avec le décideur.

Le problème prend cette fois la forme suivante :

$$\textit{optimiser} \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)/x \in A\}$$

3.2 Notions de base de l'aide multicritère à la décision :

3.2.1 Alternative

Une alternative ou action désigne un objet sur lequel opérera le processus de décision.

3.2.2 Critère

Un critère, objectif ou attribut est une fonction définie sur l'ensemble des alternatives, qui prend ses valeurs dans un ensemble totalement ordonné et qui représente les préférences de l'utilisateur.

3.2.3 Poids

Le poids mesure l'importance d'un critère par rapport aux autres du point de vue du décideur.

3.2.4 Composantes d'un problème de décision

— La décision

La décision est une action qui est prise pour résoudre un problème à l'individu ou à l'organisation [19]. Certaines écoles considèrent simplement la décision comme étant « un choix entre plusieurs alternative » [29].

— Le décideur

Le décideur est généralement une personne ou un groupe de personnes qui sont supposés connaître le problème de décision multicritère. Le décideur se base sur son expérience et ses connaissances pour exprimer des relations de préférence entre différentes solutions. Dans ce contexte, le décideur est souvent épaulé par un analyste, qui joue le rôle d'interface entre le décideur et l'aspect mathématique du processus de décision multicritère [6].

— **L'analyste (l'homme d'étude) :**

L'homme d'étude est celui qui prend en charge l'aide à la décision. Mettant en œuvre des modèles dans le cadre d'un processus de décision, il contribue à l'orienter et à la transformer [17].

3.3 Les différentes problématiques de l'aide à la décision multicritère

Les différentes problématiques qui peuvent se poser dans une certaine phase d'étude d'aide à la décision. Il s'agit d'un approfondissement et d'un élargissement de la trilogie « choix, tri, rangement et la description », introduite par Bernard Roy, qui souhaite renforcer l'importance du sujet des problématiques dans le cadre méthodologique de l'aide à la décision. En 1985, Bernard Roy a distingué quatre types de problématiques de l'aide à la décision de base qui sont :

3.3.1 La problématique du choix (P_α)

Elle consiste en la détermination d'un sous-ensemble d'actions potentielles aussi restreint que possible et devant contenir les « meilleures » actions. Elle s'appuie pour cela sur des procédures de sélection.

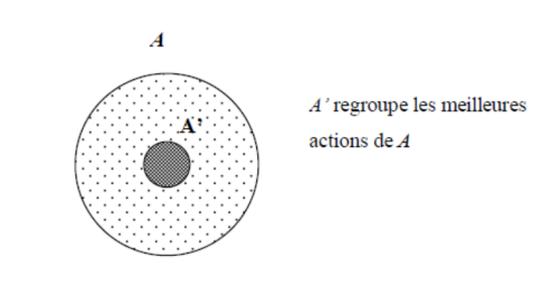


FIGURE 3.1 – Problématique de choix P_α .

3.3.2 La problématique du tri ($P\beta$)

Cette problématique vise à l'affectation de chacune des actions potentielles dans une catégorie définie a priori.

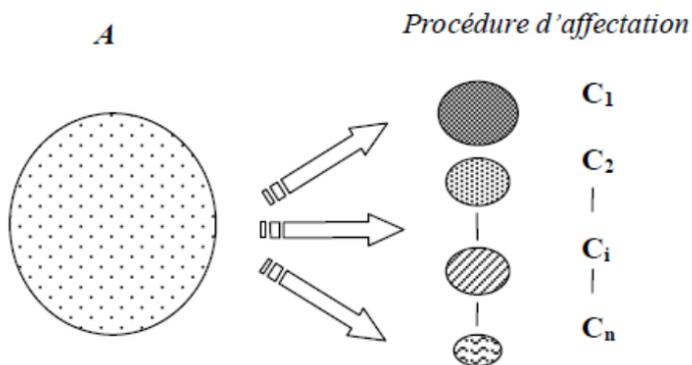


FIGURE 3.2 – Problématique de choix $P\beta$.

3.3.3 La problématique du rangement ($P\gamma$)

Dans une telle problématique, on vise à ranger les actions potentielles, éventuellement regroupées en classes d'équivalence, de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante.

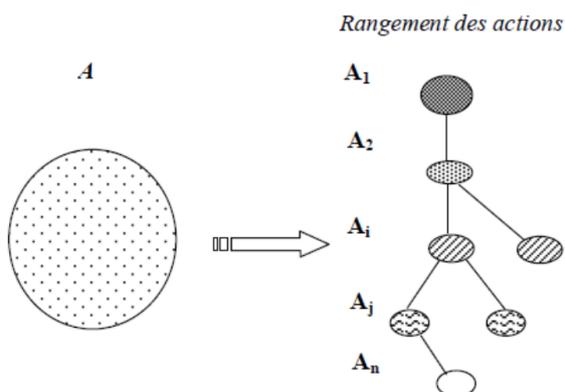


FIGURE 3.3 – Problématique de choix $P\gamma$.

3.3.4 La problématique de la description ($P\delta$)

C'est est une description dans un « langage approprié » des actions et de leur évaluation sur éventuellement plusieurs critères. Cette problématique est en quelque sorte la problématique de base à toutes les autres.

En résumé les principales caractéristiques de ces quatre problématiques sur le tableau ci dessous :[34]

Problématique	Objectif	Résultat
$P\alpha$	Éclairer la décision par le choix d'un sous ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action, ce sous ensemble contenant des "meilleures" actions (optimums) ou à défaut, des actions "satisfaisantes" .	Un choix ou une procédure de sélection.
$P\beta$	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies a priori en fonction de normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir .	Un tri ou une procédure d'affectation.
$P\gamma$	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie (les "plus satisfaisantes") des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément au préférences.	Un rangement ou une procédure de classement.
$P\delta$	Éclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquence.	Une description ou une procédure cognitive.

3.4 Relations binaires dans un ensemble

Une relation binaire R sur un ensemble E est une propriété portant sur les couples d'éléments de E . On notera xRy le fait que la propriété est vraie pour le couple $(x, y) \in E \times E$.

Soit R une relation sur un ensemble E ;

- R est réflexive : $\forall x \in E \implies xRx$.
- R est symétrique : $\forall (x, y) \in E; xRy \implies yRx$.
- R est antisymétrique : $\forall (x, y) \in E; (xRy \text{ et } yRx) \implies x = y$.
- R est transitive : $\forall (x, y, z) \in E; (xRy \text{ et } yRz) \implies xRz$.

3.4.1 Relations d'équivalence

Une relation binaire R sur E est une relation d'équivalence si et seulement si elle est :

- R est réflexive : $\forall x \in E \implies xRx$;
- R est symétrique : $\forall (x, y) \in E, xRy \implies yRx$;
- R est transitive : $\forall (x, y, z) \in E, (xRy \text{ et } yRz) \implies xRz$;

3.4.2 Relations d'ordre

Une relation binaire R sur E est une relation d'ordre si et seulement si elle est :

- R est réflexive : $\forall x \in E \implies xRx$;
 - R est antisymétrique : $\forall (x, y) \in E, (xRy \text{ et } yRx) \implies x = y$;
 - R est transitive : $\forall (x, y, z) \in E, (xRy \text{ et } yRz) \implies xRz$;
-

Il existe plusieurs types d'ordres qui sont :

Préordre : un préordre est une relation réflexive et transitive.

Ordre : un ordre est un préordre antisymétrique (c'est donc une relation d'ordre).

Préordre total : un préordre total est une relation de préordre pour laquelle tous les éléments d'un ensemble peuvent être mis en relation : l'incomparabilité entre deux éléments n'est pas permise.

Préordre partiel : un 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.

3.5 La matrice de décision

Un problème de l'AMD peut être facilement exprimé sous forme matricielle. Une matrice de décision A est une matrice ($n \times m$) dans laquelle l'élément a_{ij} indique la performance d'alternative A_i quand elle est évaluée en termes de critère de décision g_j (pour $i = 1, 2, \dots, n$, et $j = 1, 2, \dots, m$). On suppose également que le décideur a déterminé les poids de la performance relative aux critères de décision (notés w_j , pour $j = 1, 2, \dots, m$).

Alternative	g_1	g_2	...	...	g_m
A_1	$a_{11} = g_1(A_1)$	$a_{12} = g_2(A_1)$	...	...	$a_{1m} = g_m(A_1)$
A_2	$a_{21} = g_1(A_2)$	$a_{22} = g_2(A_2)$	...	...	$a_{2m} = g_m(A_2)$
.
.
A_n	$a_{n1} = g_1(A_n)$	$a_{n2} = g_2(A_n)$	...	...	$a_{nm} = g_m(A_n)$
Poids	w_1	w_2	...	...	w_m

FIGURE 3.4 – Matrice de décision

3.6 Modélisation des préférences

Les préférences sont essentielles dans la vie des individus aussi bien que des collectives. Leur modélisation constitue une étape indispensable dans des disciplines comme l'économie, la recherche opérationnelle, la théorie de décision, la psychologie, la sociologie... Confronté à la comparaison de deux objets a et b , un individu aura, le plus souvent

l'une des trois réactions suivantes :

- Préférence pour l'un des deux objets.
- Indifférence entre les deux objets.
- Refus ou impossibilités de comparaison.

Nous noterons :

- $a P b$ (resp. $b P a$) si a est préféré à (resp. b préféré à a).
- $a I b$ s'il y a indifférence entre a et b .
- $a R b$ s'il y a absence de comparaison entre a et b .

Ce sont les 3 situations que l'on retrouve le plus souvent dans la littérature traitant de modélisation des préférences[32].

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

Situation	Définition	Relation binaire
Indifférence	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positive, qui justifient une équivalence entre les deux action	I : relation symétrique
Préférence stricte	Elle correspond à l'existance 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 3.1 – Modèle de préférence

3.6.1 Représentation graphique d'une structure de préférence

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

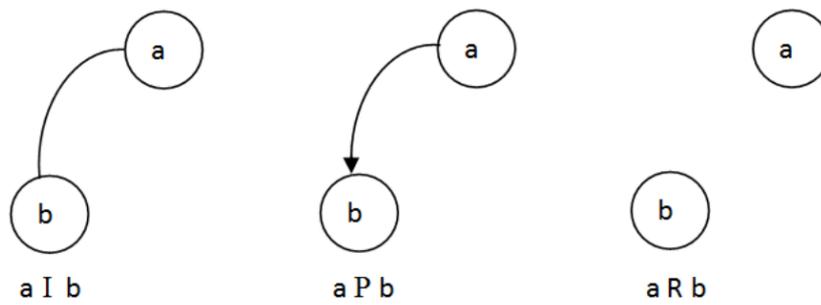


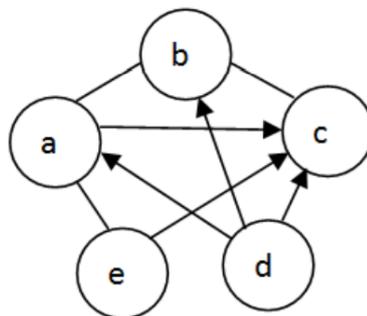
FIGURE 3.5 – Représentation graphique d'une structure de préférence

3.6.2 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 [31]. 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 [30].

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
<i>a</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>P</i>	P^-	<i>I</i>
<i>b</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	p^-	<i>R</i>
<i>c</i>	P^-	<i>I</i>	<i>I</i>	P^-	P^-
<i>d</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>I</i>	<i>R</i>
<i>e</i>	<i>I</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>I</i>

Représentation graphique :



3.7 La relation de dominance

3.7.1 Dominance

Étant donné deux vecteurs x et y de \mathbb{R}_n , x domine y , si et seulement si, $x_j \geq y_j$, $j = 1, 2, \dots, n$, avec au moins une des inégalités est stricte, on note $x \geq y$

3.7.2 Dominance stricte :

Étant donné deux vecteurs x et y de \mathbb{R}_n , x domine y , si et seulement si, $x_j > y_j$, $j = 1, 2, \dots, n$, on note $x > y$.

3.7.3 Efficacité :

Une action a de A est dite efficace si et seulement si aucune action de A ne la domine

3.8 Les étapes du processus d'aide à la décision :

Nous présentons les quatre étapes principales de l'aide multicritère à la décision

Étape 1 : Définition du problème et de l'objet de la décision :

La définition du problème repose sur la définition de la nature du problème à traiter en le formulant soit en une problématique du choix, du tri, du rangement ou bien de description. Pour la détermination de l'objet de la décision, cela consiste à identifier les alternatives potentielles sur lesquelles va porter la décision.

Étape 2 : Analyse des conséquences et détermination des critères :

Au cours de cette étape, il est nécessaire d'identifier et de mesurer les conséquences des alternatives. Une alternative a , le plus souvent, plusieurs conséquences selon un critère donné les différentes situations possibles lors de la comparaison de deux alternatives. Pour la construction des critères, il s'agit d'identifier les enjeux et la nature des conséquences possibles sur les alternatives potentielles. Ces critères nécessitent une évaluation de la contribution et de l'influence de chaque critère dans la décision finale. Cela se traduit par la pondération des critères.

Étape 3 : Choix d'une méthode d'aide à la décision multicritère :

Le choix d'une méthode d'aide à la décision multicritère dépend du type du problème posé.

Étape 4 : Performance des alternatives :

Quand l'analyse des conséquences des alternatives potentielles est basée sur plusieurs critères, c'est l'analyse multicritère qui donne une réponse au problème posé par l'utilisation par exemple du seuil de préférence, d'indifférence et de veto dans certaines méthodes. Le processus d'aide à la décision multicritère se compose de quatre étapes fondamentales qui sont les suivantes : [23]

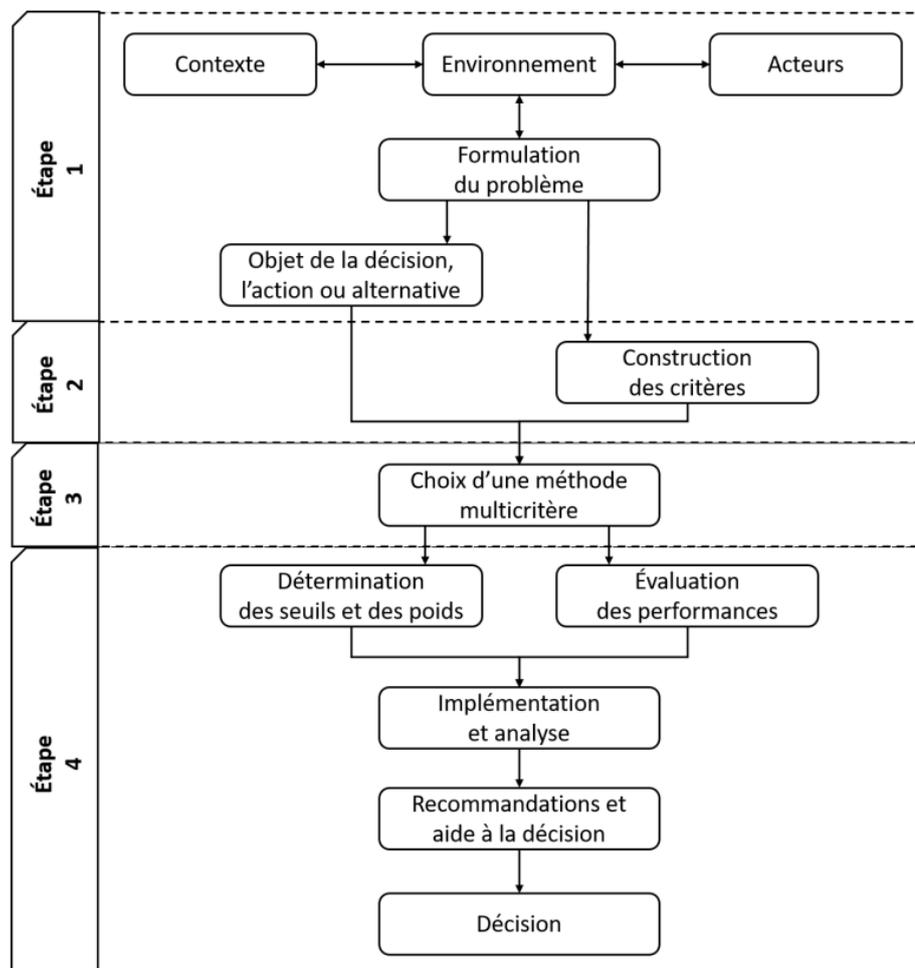


FIGURE 3.6 – Les étapes du processus d'aide à la décision

3.9 Relation de Surclassement

On dit qu'une alternative a surclasse une alternative b et on note $a S b$ 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 [13].

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 .

3.10 les différents seuils :

On utilise les différents seuils parmi lesquels on distingue le seuil d'indifférence ,le seuil de préférence et le seuil de veto pour un critère j les définition de ces trois seuils sont :

1. **Le seuil d'indifférence** : Le seuil d'indifférence noté " q_j ", en dessous de ce seuil deux action a et b ne peuvent plus être départagées .
2. **Le seuil de préférence** : Le seuil de préférence noté " p_j ", est le seuil à partir duquel la différence entre deux action est strictement perceptible et fait préférer l'une à l'autre.
3. **Le seuil de veto** : Le seuil de veto, noté " v_j ", 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 est considéré globalement comme au moins aussi bonne que la meilleure, même si ses performances sur les autres critères sont toutes meilleures .

3.11 Le point Idéal

Le point idéal est un point dans \mathbb{R}^m de coordonnées $(z_1^*, z_2^*, \dots, z_m^*)$ ou pour tout $j \in (1; \dots; n)$

$$z_j^* = \begin{cases} \max_{Ag(j(a))}, \forall j \in (1, \dots, m) \text{ si le critère } j \text{ est à maximiser.} \\ \min_{Ag(j(a))}, \forall j \in (1, \dots, m) \text{ si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

3.12 Le point anti-idéal

Le point anti-idéal est un point dans \mathbb{R}^m de coordonnées $(\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_m)$ ou

$$\bar{z}_j = \begin{cases} \min_{Ag(j(a))}, \forall j \in (1, \dots, m) \text{ si le critère } j \text{ est à maximiser.} \\ \max_{Ag(j(a))}, \forall j \in (1, \dots, m) \text{ si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

3.13 Le point Nadir

Le point nadir est un point qui reprend la pire solution efficace, il est estimé par le point de coordonnées (z_1, z_2, \dots, z_m) où :

$$z_j = \begin{cases} \min_l G_j^l, \forall j \in (1, \dots, m) \text{ si le critère } j \text{ est à maximiser.} \\ \max_l G_j^l, \forall j \in (1, \dots, m) \text{ si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

3.14 Critères et famille cohérente de critères :

Un critère g est un outil permettant d'évaluer et de comparer des alternatives sur un point de vue bien défini. On note $g(a)$ la performance de a sur le critère g , elle représente en général un nombre réel qui prend ses valeurs dans X_g (l'ensemble des valeurs possibles de g) défini explicitement [25].

La famille des critères notée F est dite cohérente si les exigences sont vérifiées : Dans tout problème multicritère, il convient de considérer un ensemble de critères que l'on nomme famille de critères et que l'on notera $F = g_1; \dots; g_n$. Pour que la famille F constitue une représentation appropriée des points de vue à prendre en compte dans la modélisation des préférences, [Roy, 1985] définit la notion de Famille Cohérente de critères à l'aide des trois propriétés suivantes :

- **Axiome d'exhaustivité** : il s'agit de ne pas oublier aucun critère .Afin de vérifier cela ,il faut procéder à un test d'exhaustivité qui consiste à s'assurer qu'entre deux actions a et b ,si les performances des deux actions sont identiques pour tous les critères , il faut qu'il y ait une relation d'indifférence entre a et b .dans le cas échéant ,il existe au moins un critère qui n'a pas été pris en compte et qui permet de trancher en faveur de l'une des deux actions .

- **Axiome de cohérence** : il doit y avoir une cohérence entre les préférences locales de chaque critère et les préférences globales [15]. Autrement dit, si une action a est égale à une action b pour tous les critères sauf un ou lui est supérieure, cela signifie que a doit être globalement supérieur à b .

 - **Axiome d'indépendance** : il ne doit pas y avoir de redondance entre les critères. leur nombre doit être tel que tel que la suppression d'un des critères ne permet de satisfaire les deux conditions précédentes [20].
-

Les méthodes d'aide à la décision multicritères

Introduction

Depuis une trentaine d'années, le domaine de l'optimisation multicritère connaît une évolution importante. Cette évolution s'est traduite par le développement d'un grand nombre de méthodes qui sont généralement regroupées en deux classes. La première classe est constituée des méthodes, dites classiques, qui s'appuie sur un critère unique de synthèse. La seconde classe est constituée des méthodes qui utilisent un processus interactif de décision.

Ces méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un bon choix. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur, et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit créer ce choix. Dans ce chapitre, nous allons définir la terminologie de base et décrire les différentes méthodes d'aide multicritère à la décision.

4.1 La méthode AHP : Analytic Hierarchy Process

La méthode AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème[35], à procéder ensuite à des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions.

Étape 1 : Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-reliés. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions.

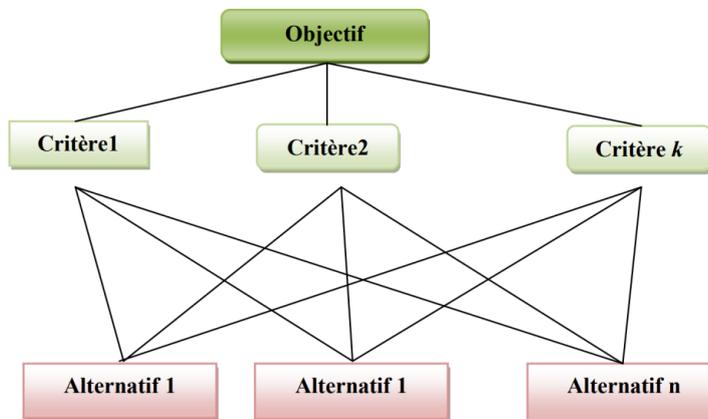


FIGURE 4.1 – Structure hiérarchique

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 (Echelle de comparaisons binaires).

Degré d'importance	Définition	Explication
1	Également important	Deux éléments contribuent également à l'objectif.
3	Légèrement plus important	L'expérience et le jugement favorise faiblement un objet sur un autre.
5	Fortement plus important	L'expérience et le jugement favorise fortement un objet sur un autre.
7	Très fortement plus important élément par rapport a un autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Absolument plus important	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 4.1 – 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 : $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ pour $i \neq j$ et $a_{ii} = 1 \forall i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$.

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

$$\begin{pmatrix} C_1/C_1 & C_1/C_2 & \dots & C_1/C_n \\ C_2/C_1 & C_2/C_2 & \dots & C_2/C_n \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ C_n/C_1 & C_n/C_2 & \dots & C_n/C_n \end{pmatrix}$$

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 : On vérifie la cohérence des jugements comme suit : On calcule d'abord, 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 :

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} W_j}{W_i}}{n}$$

$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$

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 [26] a calculé les indices de cohérence aléatoires présentés dans la table ci-dessous : Une valeur de RC inférieure à 10 % ($RC < 0,1$) est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

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 4.2 – Indice de cohérence aléatoire

Étape 5 : Établir la performance relative de chacune des actions.

4.2 La méthode SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique

La méthode SMART consiste à utiliser la forme additive pour l'agrégation des évaluations sur les différents critères. Ceci a été justifié par le fait qu'on obtient d'aussi bonnes approximations avec la forme additive qu'avec d'autres formes non linéaires qui sont beaucoup plus complexes[12].

La procédure SMART comprend les étapes suivantes :

- **Étape 1 :** Mettre les critères selon l'ordre décroissant d'importance. C'est une étape qui devrait déclencher une discussion entre le décideur et tous ses partenaires dans le processus de décision.
- **Étape 2 :** Déterminer le poids de chaque critère.
- **Étape 3 :** Normaliser les coefficients d'importance relative entre 0 et 1 : faire la somme des coefficients d'importance et diviser chaque poids par cette somme.
- **Étape 4 :** Mesurer la localisation de chaque action sur chaque critère ($U_j(ai)$). Les évaluations des actions se font sur une échelle variant de 0 (minimum possible) à 100 (maximum possible).
- **Étape 5 :** Déterminer la valeur de chaque action selon la somme pondérée suivante :

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^n \pi * U_j(ai), i = 1, 2, \dots, m$$

- **Étape 6 :** Classer les actions selon l'ordre décroissant de $U(ai)$.

Exemple d'application :

Une entreprise cherche un partenaire pour externaliser un processus de fabrication d'un produit qu'elle a des difficultés à maîtriser. Le comité de direction a décidé d'exploiter la méthode SMART pour faire son choix.

Critère de sélection	Sens de l'optimisation
Coût du contrat d'externalisation (C_1)	Minimiser
Licenciement (C_2)	Minimiser
Amélioration de la qualité (C_3)	Maximiser
Proximité (C_4)	Maximiser

La direction a reçu les 5 offres suivantes :

Offre (a_i)	Coût (C_1)	Licenciement (C_2)	Qualité (C_3)	Proximité (C_4)
a_1	40	100	Insuffisante	Très loin
a_2	100	140	Très bonne	Très proche
a_3	60	40	Bonne	Proche
a_4	60	40	Moyenne	Loin
a_5	70	80	Bonne	Très proche

- **Étape 1 :** Mettre les attributs selon l'ordre décroissant d'importance. Après discussion avec le syndicat ouvrier, le comité de direction a opté pour l'ordre suivant :

$$Licenciements(C_2) > Qualité(C_3) > Coût(C_1) > Proximité(C_4)$$

- **Étape 2 :** Déterminer le poids de chaque attribut. Le comité de direction a commencé par donner une valeur de 10 au critère le moins important à savoir la proximité. Les coûts ont été considérés 4 fois plus importants que la proximité : une valeur de 40 a été donc attribuée aux coûts. Une valeur de 150 a été attribuée à la qualité et une valeur de 250 aux licenciements.
- **Étape 3 :** Normalisation des coefficients d'importance : On divise chaque valeur de l'étape précédente par la somme des valeurs :

$$Licenciement(C_2) = \frac{250}{10 + 40 + 150 + 250} = 55.6\%$$

$$Qualité(C_3) = \frac{150}{10 + 40 + 150 + 250} = 33.3\%$$

$$Coût(C_1) = \frac{40}{10 + 40 + 150 + 250} = 8.9\%$$

$$Proximité(C_4) = \frac{10}{10 + 40 + 150 + 250} = 2.2\%$$

— **Étape 4 :** Evaluation des actions sur chaque attribut ($U_j(ai)$).

Pour les coûts : (Max =100 et Min =40)

$$U_1(a_i) = 100 \cdot \frac{(100 - \text{Coût}_i)}{(100 - 40)} \text{ en } \%$$

$$U_1(a_1) = 100\%, U_1(a_2) = 0\%, U_1(a_3) = 66.7\%, U_1(a_4) = 66.7\%, U_1(a_5) = 50\%$$

Pour les licenciements : (Max = 140 et Min = 40)

$$U_2(a_i) = 100 \cdot \frac{(140 - \text{licenciements}_i)}{(140 - 40)}$$

$$u_2(a_1) = 40\%, u_2(a_2) = 0\%, u_2(a_3) = 100\%, u_2(a_4) = 100\%, u_2(a_5) = 60\%$$

Pour la qualité : La valeur de 100 a été accordée à « très bonne », la valeur 0 a été accordée à « insuffisante », 66 à « bonne » et 33 à « moyenne ».

$$u_3(a_1) = 0\%, u_3(a_2) = 100\%, u_3(a_3) = 66\%, u_3(a_4) = 33\%, u_3(a_5) = 66\%.$$

Pour la proximité : La valeur de 100 a été accordée à « très proche », la valeur 0 a été accordée à « très loin », 66 à « proche » et 33 à « loin ».

$$u_4(a_1) = 0\%, u_4(a_2) = 100\%, u_4(a_3) = 66\%, u_4(a_4) = 33\%, u_4(a_5) = 66\%.$$

— **Étape 5 :** Détermination des valeurs des actions.

	Coût (C_1)	Licenciement (C_2)	Qualité (C_3)	Proximité (C_4)	$U(a_i)$
Poids (π_j)	0.089	0.556	0.333	0.022	...
a_1	100	40	0	0	31.1
a_2	0	0	100	100	35.5
a_3	66.7	100	66	66	85.0
a_4	66.7	100	33	33	73.3
a_5	50	60	66	100	62.0

— **Étape 6 :** Classification des actions. $U(a_i) = \sum_{j=1}^n \pi * U_j(ai)$ $a_3 > a_4 > a_5 > a_2 > a_1$ le comité de direction de l'entreprise optera pour le partenaire a_3 .

4.3 La méthode TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Idea Solution

La Technique de l'Ordre de Préférence par Similitude à la Solution Idéale (TOPSIS), proposée par [18], L'idée fondamentale de cette méthode consiste à choisir une solution qui

se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et de s'éloigner de la plus possible de la pire solution (qui dégrade tous les critères).

Étape 1 : Calculer la matrice de décision normalisée.

Pour transformer les différentes dimensions d'attributs en attributs non-dimensionnels, ce qui permet la comparaison entre les attributs, toutes les valeurs x_{ij} dans la matrice de décision $(x_{ij})_{m \times n}$ doivent être normalisées pour former la matrice R. La valeur normalisée est calculée comme suit :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = 1, 2, \dots, m$$

Étape 2 : Calculer la matrice de décision normalisée pondérée

On calcule la matrice de décision normalisée pondérée en multipliant la matrice normalisée par le poids w_j du j^{me} critère. La valeur normalisée pondérée est calculée comme suit :

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

avec

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1$$

Étape 3 : Déterminer les solutions idéales et les solutions anti-idéales .

Alternative idéale (A^*) : celle qui a le meilleur niveau pour tous les critères considérés.

Alternative anti-idéales (A^-) : celle qui a les plus mauvaises valeurs des critères.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} = \{(max v_{ij}/j \in J), (min_i v_{ij}/j \in J')\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(min v_{ij}/j \in J), (max v_{ij}/j \in J')\}$$

Étape 4 : Calculer les mesures de séparation en utilisant la distance euclidienne à n dimension.

La séparation de chaque alternative de la solution idéale est donnée comme suit :

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^* - v_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

De même, la séparation de la solution idéale-négative est donnée comme suit :

$$D_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j' - v_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

Étape 5 : Calculer la proximité relative à la solution idéale

La proximité relative de l'alternative A_i par rapport à A^* est définie comme suit :

$$C_i^* = \frac{D_i'}{D_i^* + D_i'}, 0 < C_i^* < 1, i = 1, 2, \dots, m$$

Étape 6 : Classement de l'ordre de préférence.

Classer les alternatives selon l'ordre décroissant des C_i^*

Exemple d'application :

Une entreprise cherche un partenaire pour sous-traiter la fabrication d'un produit. La direction de cette entreprise privilégie les critères lors de choix de :

Critère de sélection	Sens d'optimisation	Coefficient d'importance.
Fiabilité(C_1)	Maximiser	45%
Capacité d'autofinancement (C_2)	Maximiser	35%
Coût du contrat soustraitance(C_3)	Maximiser	20%

La direction a reçue les 4 offres suivantes :

Partenaire	Fiabilité(C_1)	Autofinancement(C_2)	Coût du contrat
a_1	78%	94%	10000\$
a_2	82%	86%	15000\$
a_3	80%	75%	22000\$
a_4	88%	90%	25000 \$

Les données de l'exemple sont alors :

$$E = \begin{bmatrix} 78 & 94 & 10000 \\ 82 & 86 & 15000 \\ 80 & 75 & 22000 \\ 88 & 90 & 25000 \end{bmatrix}$$

Vecteur de coefficients d'importance des critères : $W = [0,45 \ 0,35 \ 0,20]$

Application de la méthode TOPSIS :

— **Étape 1 : Matrice des performances normalisée :**

$$E' = \begin{bmatrix} 0,4751 & 0,5431 & 0,2641 \\ 0,4995 & 0,4969 & 0,3961 \\ 0,4873 & 0,4333 & 0,5810 \\ 0,5360 & 0,520 & 0,6602 \end{bmatrix}$$

— **Étape 2 : Pondération des performances**

$$E'' = \begin{bmatrix} 0,2138 & 0,1901 & 0,0528 \\ 0,2248 & 0,1739 & 0,0792 \\ 0,2193 & 0,1517 & 0,1162 \\ 0,2412 & 0,1820 & 0,1320 \end{bmatrix}$$

— **Étape 3 : Détermination des profils idéal a^* et anti-idéal a^-**

— **Profil idéal $a^* = [0,2412 \ 0,1901 \ 0,0528]$**

— **Profil anti - idéal $a^- = [0,2138 \ 0,1517 \ 0,1320]$**

— **Étape 4 : Calcul des distances euclidiennes par rapport aux profils a^* et a^- .**

$$D_1^* = 0,0274, D_2^* = 0,0350, D_3^* = 0,0773, D_4^* = 0,0796$$

$$D_1^- = 0,0880, D_2^- = 0,0583, D_3^- = 0,0168, D_4^- = 0,0409$$

Étape 5 : Calcul des coefficients de mesure du rapprochement au profil idéal

$$C_1^* = 0,762, C_2^* = 0,624, C_3^* = 0,178, C_4^* = 0,3394$$

— **Étape 6 : Rangement des actions en fonction des valeurs décroissantes de C_i^* .**

$$C_1^* = 0,762 > C_2^* = 0,624 > C_3^* = 0,3394 > C_4^* = 0,178$$

4.4 La méthode SAW : Simple Additive Weighting

La méthode SAW (pondération additive simple) est une des plus méthodes multicritères d'évaluation largement utilisée en pratique en raison de sa simplicité [14]. Elle démontre clairement l'idée intégrant les valeurs et les poids des critères en une seule estimation de la valeur du critère, cependant un score est calculé pour chaque alternative en multipliant la valeur pesée donnée à l'alternative de cet attribut avec les poids d'importance relative assignés directement par les décideurs suivis en additionnant des produits pour tous les critères [28].

La méthode de SAW se présente comme suit : Tel que x_{ij} $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ représente la matrice de décision et W_j les poids des critères.

— **Étape 1 : Calculer la matrice normalisées r_{ij} :**

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} & \text{si le critère } j \text{ est à maximiser.} \\ \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} & \text{si le critère } j \text{ est à minimiser.} \end{cases}$$

— **Étape 2 : calculer A_i**

$$A_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \text{ avec } i = \overline{1, n}$$

— **Étape 3 : Classer les alternatives selon l'ordre décroissant des A_i .**

Exmple d'application :

On applique la méthode SAW à l'exemple précédent

Les données de l'exemple sont alors :

$$A = \begin{bmatrix} 78 & 94 & 10000 \\ 82 & 86 & 15000 \\ 80 & 75 & 22000 \\ 88 & 90 & 25000 \end{bmatrix}$$

le vecteur poids : $w = [0,45 \ 0,35 \ 0,2]$

— **Étape1 : La matrice de décision normaliser**

pour le critère (c_1) à maximiser ($j = 1$) : $\max_i (a_{i1}) = 88$
 pour le critère (c_2) à maximiser ($j = 2$) : $\max_i (a_{i2}) = 94$
 pour le critère (c_3) à minimiser ($j = 3$) : $\min_i (a_{i3}) = 10000$

$$R = \begin{bmatrix} 0,8864 & 1 & 1 \\ 0,9318 & 0,9148 & 0,67 \\ 0,9091 & 0,7979 & 0,45 \\ 1 & 0,9574 & 0,4 \end{bmatrix}$$

— **Étape2 : Calcule les A_i**

$$A_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad \forall i = \overline{1,4}$$

$$A_1 = (0,45 * 0,8863) + (0,35) + (0,2) = 0,9488$$

$$A_2 = (0,45 * 0,9318) + (0,35 * 0,9148) + (0,67 * 0,2) = 0,8735$$

$$A_3 = (0,45 * 0,9091) + (0,35 * 0,7979) + (0,45 * 0,2) = 0,8082$$

$$A_4 = (0,45 * 1) + (0,35 * 0,9574) + (0,4 * 0,2) = 0,8650$$

Étape3 : Classer les A_i selon l'ordre décroissant

$$A_1 = 0,9488 > A_2 = 0,8735 > A_4 = 0,8650 > A_3 = 0,8082$$

4.5 la Méthode VIKOR : ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

La méthode VIKOR (Multicriteria Optimization and Compromise Solution) une technique d'AMCD, centrée sur le classement et la sélection d'un ensemble d'alternatives dans

la présence de critères contradictoires. Par solution de compromis, on entend une solution réalisable, la plus proche de l'idéal, et le terme "compromis" signifie un accord établi par des concessions mutuelles. La méthode VIKOR détermine la liste de classement de compromis et la solution de compromis en introduisant l'indice de classement multicritères basée sur la mesure particulière de "proximité" à la solution "idéale"[21].

Avant de citer les différentes étapes de la méthode VIKOR, nous avons besoin d'introduire 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}

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

Etape 1 : Déterminer le meilleur f_j^* et le pire f_j^- pour tous les critères

$$f_j^* = \max_j f_{ij}$$

$$f_j^- = \min_j f_{ij}$$

$i=1, \dots, m$ et m est le nombre des alternatives.

$j=1, \dots, n$ et n est le nombre de critère.

f_{ij} valeur de critère j prise par l'alternative i .

Etape 2 : Calculer S_i et R_i : Pour chaque alternative i

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* + f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

$$R_i = \max_j (w_j \frac{f_j^* + f_{ij}}{f_j^* - f_j^-})$$

avec :

S_i : le maximum de l'utilité du groupe.

R_i : le minimum individuel de regret de l'adversaire.

Etape 3 : Calculer la valeur Q_i par la relation : Pour chaque alternative i

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

$$S^* = \min_j S_j \quad R^* = \min_j R_j$$

$$S^- = \max_j S_j \quad R^- = \max_j R_j$$

v est un paramètre entre 0 et 1 tel que :

si $v > 0.5$ il s'agit d'un vote majoritaire .

si $v \simeq 0.5$ il s'agit d'un vote consensus .

si $v < 0.5$ il s'agit d'un veto .

Etape 4 :

Classer les alternatives, en les triant par leurs valeurs S_i, R_i et Q_i , dans l'ordre croissant. Les résultats sont trois listes de classement : S, R, Q respectivement.

Étape 05 :

Proposer comme solution de compromis l'alternative (A') classée première dans la liste Q, si les deux conditions C_1 et C_2 sont vérifiées ensemble :

Condition 01 :

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

Où :

A' 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' 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 :

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

pour le maximum M les positions de ces alternatives sont proches.

4.6 La méthode Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité

La méthode Electre I relève de la problématique de choix ($P\alpha$) [16]. Elle vise à obtenir un sous-ensemble N d'actions tel que toute action qui n'est pas dans N elle est surclassée par au moins une action de (N, N) est appelée le noyau du graphe de surclassement : c'est le siège des actions non surclassées. Ce sous-ensemble (qu'on rendra aussi petit que possible) n'est pas donc l'ensemble des bonnes actions, mais c'est l'ensemble dans lequel se trouve certainement le meilleur compromis cherché [33].

La manière d'établir le surclassement d'une action par rapport à une autre repose sur :

Une condition de 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 :

$$c(a_i) \geq C(a_k)$$

Une condition de 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.

La méthode Electre I se présente comme suit :

— **Étape 01 :**

On attribue à chaque critère j , un poids p_j d'autant plus grand 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 :

$$C(a, b) = \frac{\sum_{g_j(a) \geq g_j(b)} p_j}{p} \quad \text{avec} \quad p = \sum_{j=1}^n p_j$$

— **Étape 03 :**

Calculer les indices de discordance à chaque couple d'action (a, b) . On associe l'indice de discordance suivant :

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

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.

4.7 La méthode Electre II :

La méthode Electre II relève de la problématique de rangement (P_j) : elle vise à ranger les actions de la meilleure à la moins bonne. associe trois seuils à cet indice ($0.5 < c_3 < c_2 < c_1 \leq 1$). L'indice de discordance ne change pas non plus dans sa définition (Electre I), mais on le calcule pour chaque critère discordant, et on lui donne 2 seuils (2 seuils par critère : $0 < d_{j1} < d_{j2} < E_j$).

La méthode Electre II introduit une nouveauté fondamentale : elle permet de distinguer des surclassements forts et des surclassements faibles.

La méthode Electre II se présente comme suit : On attribut à chaque critère π_j , un poids S_j d'autant plus grand que le critère est important.

— **Étape 1 :**

Calculer les indices de concordance A chaque couple d'actions (a_i, a_k); on associe l'indice de concordance suivant :

$$C(a_i, a_k) = \sum_{j:e(ij)>e(kj)} \pi_j \text{ avec } \sum_{j=1}^n \pi_j = 1$$

— **Étape 2 :**

Calculer les indices de discordance (par critère) A chaque couple d'actions (a_i, a_k); et pour tout critère j, on associe l'indice de discordance suivant :

$$d(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{si } e_{ij} \leq e_{kj} \\ e_{kj} - e_{ij} & \text{si } e_{ij} < e_{kj} \end{cases}$$

— **Étape 3 :**

Construire les relations de surclassement : On conclut au surclassement fort de a_k par a_i ($a_i S^F a_k$) si un test de concordance et un test de non discordance sont satisfaits :

Si

$$\frac{\sum_{j:\Delta_j>0} \pi_j}{\sum_{j:\Delta_j<0} \pi_j} > 1$$

et

$$\begin{cases} \text{si } C(a_i, a_k) \geq c_1 \text{ et } D(a_i, a_k) \leq d_{j2} \\ \text{ou} \\ \text{si } C(a_i, a_k) \geq c_2 \text{ et } D(a_i, a_k) \leq d_{j1} \end{cases}$$

alors

$$a_i S^F a_k$$

On conclut au surclassement faible de a_k par a_i ($a_i S^f a_k$) si les tests de concordance et de non discordance suivants sont satisfaits :

$$\text{si } \frac{\sum_{j:\Delta_j>0} \pi_j}{\sum_{j:\Delta_j<0} \pi_j} > 1 \text{ et } C(a_i, a_k) \geq c_3 \text{ et } D(a_i, a_k) \leq d_{j2} \Leftrightarrow (a_i S^F a_k)$$

Si aucun des deux tests précédents n'est satisfait, alors on conclut à l'incomparabilité des actions a_i et a_k ($a_k R a_i$).

— Étape 4 :

Exploiter les relations de surclassement : On établit deux préordres totaux P_1 et P_2 , ainsi qu'un préordre partiel p

1. Le premier préordre total P_1 est obtenu par "classement direct" en utilisant uniquement les surclassements forts : la première classe est celle des actions non surclassées ; c'est-à-dire celles auxquelles aboutit un chemin de longueur nulle. La deuxième classe est celle des actions auxquelles aboutit un chemin de longueur 1, et ainsi de suite. Par longueur d'un chemin, on entend le nombre d'arcs constituant ce chemin. On utilise ensuite les surclassements faibles pour départager les actions à l'intérieur des classes.
2. Le second préordre P_2 est obtenu par "classement inverse" : on classe cette fois les actions en fonction de la longueur des chemins toujours en surclassement fort qui en sont issus. On utilise ensuite les surclassements faibles pour départager les actions à l'intérieur des classes.
3. Le préordre P est l'intersection de P_1 et P_2 .

4.8 La méthode PROMETHEE : Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations

Les méthodes PROMETHEE développées par (Brans, Vincke, 1986) sont des méthodes d'analyse multicritère de surclassement. Elles permettent de définir des relations

de surclassement, d'indifférence et d'incomparabilité entre deux scénarios du meilleur au moins bon. Pour chaque scénario, une note et un poids sont attribués à chaque critère, afin d'évaluer l'indice de préférence d'un scénario sur l'autre. Cet indice est ensuite utilisé pour calculer l'attractivité d'un scénario sur l'autre, définie comme différence entre la dominance des scénarios par rapport à tous les autres.

Les méthodes PROMETHEE se basent sur une extension de la notion de critère par l'introduction d'une fonction exprimant la préférence du décideur pour une action par rapport à une autre action. Pour chaque critère, le décideur est appelé à choisir une des six types de fonctions représentées dans la figure ci dessus

La fonction type I (Critère usuelle) est généralement employée lorsque les données présentent un caractère discret tel un classement ordinal ou encore une valeur de type tout ou rien.

La fonction type II (U-Shape) est employée lorsque les seuils d'indifférence sont clairement apparents dans les données du problème posé.

La fonction type III (V-Shape) est généralement employée lorsque les données sont telles que les écarts entre elles présentent un caractère continu, ou encore lorsque toutes les valeurs intermédiaires entre les valeurs maximales et minimales de ces écarts sont possibles

type IV (Palier) est parfois employée lorsqu'on peut affirmer qu'un candidat n'est à la fois ni strictement préféré à un autre, ni indifférent .

La fonction type V (Linéaire) est employée lorsque les seuils d'indifférence et de préférence stricte sont clairement apparents dans les données du problème multicritère posé

La fonction type VI (distribution gaussienne) est la fonction la plus employée dans les applications pratiques et est particulièrement indiquée en cas d'un nombre de candidats suffisamment élevé. Dans ce cas, il convient de calculer l'écart-type σ de cette distribution

4.8.1 PROMETHEE I et II

Étape 1 : Nous fixons pour chaque critère, une des six formes de courbes proposées dans PROMETHEE ainsi que le paramètre seuil et les poids de critères.

Étape 2 : Pour chaque couple d'actions (a_i, a_k) nous calculons la préférence globale (degré de surclassement) de la manière suivante :

type de fonction	fonction de préférence	Définition
Critère usuel		$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d = 0 \\ 1 & \text{if } d \neq 0 \end{cases}$
Critère forme-U		$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } -q \leq d \leq q \\ 1 & \text{if } d < -q \text{ or } d > q \end{cases}$
Critère forme-V		$H(d) = \begin{cases} d/p & \text{if } -p \leq d \leq p \\ 1 & \text{if } d < -p \text{ or } d > p \end{cases}$
Critère de niveau		$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } |d| \leq q \\ 1/2 & \text{if } q < |d| \leq p \\ 1 & \text{if } p < |d| \end{cases}$
Critère form-V avec préférence linéaire et zone d'indifférence		$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } |d| \leq q \\ \frac{(|d| - q)}{(p - q)} & \text{if } q < |d| \leq p \\ 1 & \text{if } p < |d| \end{cases}$
Critère gaussien		$H(d) = 1 - e^{-d^2/2\sigma^2}$

FIGURE 4.2 – Les six types de fonction de PROMETHEE

$$P(a_i, a_k) = \sum_{j=1}^n \pi_j \cdot F_j(a_i, a_k)$$

Étape 3 : Calculer les flux entrants et sortant pour chaque action a_i

$$\Phi^+ = \sum_{a_k \in A, a_i \neq a_k} P(a_i, a_k) \text{ flux positif qui exprime la force de flux sortant.}$$

$$\Phi^- = \sum_{a_k \in A, a_i \neq a_k} P(a_i, a_k), \text{ flux négatif qui exprime la faiblesse de flux entrant.}$$

Étape 4 : Déterminer les 2 pré-ordres totaux et procéder au rangement des actions :

- Le premier pré-ordre total consiste à ranger les actions dans l'ordre décroissant des Φ^+ .
- Le second pré-ordre total consiste à ranger les actions dans l'ordre croissant des Φ^- .
- L'intersection des deux pré-ordres totaux fournit le pré-ordre partiel (préférence stricte, indifférence et incomparabilité) de la méthode PROMETHEE I.
- L'intersection des deux pré-ordres totaux fournit le pré-ordre total de la méthode PROMETHEE II : cette méthode consiste à ranger les actions, en ordre total, selon l'ordre décroissant des scores définis comme suit :

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i)$$

4.9 Avantages et limites de ces méthodes :

Nous résumons dans tableau ci-dessous les caractéristiques des différentes méthodes- toutes ces méthodes constituent chacune des avantages et des limites dans leurs applications et diffèrent selon le besoin d'utilisation, cependant elles permettent toutes d'aider le décideur à faire un choix judicieux et une meilleure sélection.

Méthodes	Avantages	limites
AHP	<ul style="list-style-type: none"> - La méthode AHP permet la modélisation du problème de décision par une structure hiérarchique. - Elle utilise une échelle sémantique pour exprimer les préférences du décideur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Un grand nombre d'éléments dans le problème de décision fait exploser le nombre de comparaisons par paires. - Le problème de renversement de rang (deux actions peuvent voir leur ordre de priorité s'inverser suite à une modification (ajout ou suppression d'une ou de plusieurs actions) de l'ensemble des actions. - L'association d'une échelle numérique à l'échelle sémantique est restrictive et introduit des biais.
SMART	<ul style="list-style-type: none"> - La méthode SMART est facile à exploiter. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elle exige une articulation a-priori des préférences, et une évaluation des actions sur une échelle unique.
Topsis	<p>L'apport de la méthode TOPSIS est l'introduction des notions d'idéal et d'anti-idéal.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elle est facile à appliquer. 	<p>Les attributs doivent être de nature cardinale, les préférences sont fixées a priori.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si toutes les actions sont mauvaises, la méthode propose la meilleure action parmi les mauvaises.
SAW	<p>La méthode SAW utilise une fonction d'agrégation simple qui consiste à intégrer les valeurs de performances et les poids de critères dans une seule valeur</p>	<p>les auteurs ont discuté à travers des exemples des limites de la méthode SAW en termes de précision</p>

ELECTRE I	<p>La méthode ELECTRE I est utilisée pour des problématiques de sélection.</p> <p>- Elle introduit la notion de noyau qui permet de restreindre le domaine de l'étude pour s'intéresser uniquement aux meilleures actions.</p>	<p>- Elle exige de traduire les performances des actions en notes, ce qui suscite une gêne chez certains utilisateurs qui y voient une perte de maîtrise de leurs données.</p>
ELECTRE II	<p>- La méthode ELECTRE II relève des problématiques de classement.</p> <p>- Elle vise à classer les actions depuis les meilleurs jusqu'aux moins bonnes.</p>	<p>- Il est difficile de déterminer le pré-ordre partiel P car les rangs des actions bougent beaucoup entre le classement direct et le classement inverse.</p> <p>- Elle exige des évaluations cardinales et une articulation a priori des préférences.</p>
PROMETHEE I	<p>- La méthode PROMETHEE I construit une relation de surclassement évaluée traduisant une intensité de préférence.</p>	<p>- L'indifférence est en pratique très rare vu les nombreux calculs pour obtenir les flux.</p>
PROMETHEE II	<p>-La méthode PROMETHEE II construit un pré-ordre total excluant l'incomparabilité et réduisant fortement l'indifférence.</p>	<p>- La méthode PROMETHEE II apparaît clairement comme une méthode d'utilité, les comparaisons deux à deux ne servant qu'à masquer le calcul du score final $\Phi(a)$ de chaque action.</p>

Chapitre 5

Implementation et Résolution du problème

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 consiste, généralement, à définir les actions et les critères et à choisir le type de la problématique. Notons que la définition de l'ensemble des critères est parfois l'une des étapes les plus délicates.

Cet aspect important dans la résolution d'un problème d'aide à la décision consiste à valider la méthodologie utilisée lors du processus de décision, ainsi que les recommandations fournies au décideur.

Dans ce chapitre nous allons exécuter quelques méthodes exploitées dans le chapitre précédent en utilisant le logiciel adéquat afin d'obtenir des résultats nécessaires pour faire une discussion.

5.1 Choix de logiciel

Quand un problème physique, mathématique, chimique, économique . . . , devient complexe, on a recours à la notion des Algorithmes. Nous allons utiliser MATLAB comme langage de programmation. Ce dernier est considéré comme l'un des logiciels les plus développés disponibles aujourd'hui. Il fournit de nombreuses méthodes numériques

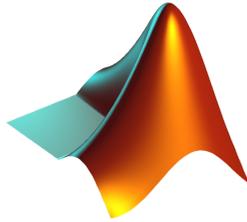


FIGURE 5.1 – Logo MATLAB

5.1.1 MATLAB

MATLAB est un logiciel, un outil et en même temps un langage. C'est un logiciel interactif permettant d'effectuer des calculs numériques complexes particulièrement utiles dans le domaine de l'ingénierie. Disponible sur de gros systèmes, il fut adapté pour l'ordinateur personnel muni d'un coprocesseur mathématique permettant une grande capacité de calcul. Le nom MATLAB vient de l'anglais MATrix LABoratory. Une traduction littérale amène à voir MATLAB comme un laboratoire pour manipuler des matrices.

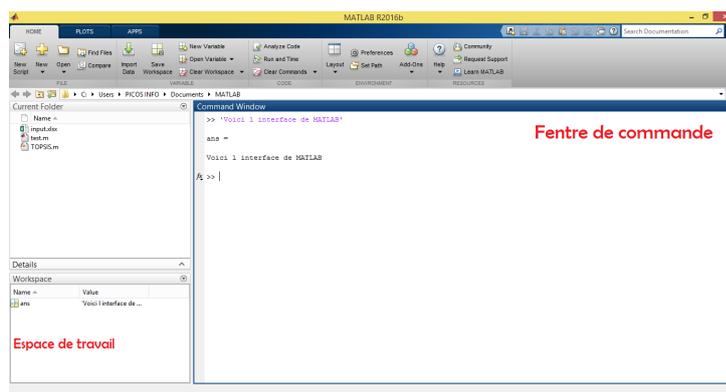


FIGURE 5.2 – Interface de MATLAB

5.2 Présentation du problème

Notre problème dans cette étude est de fournir aux décideurs un outil d'aide à la décision pour effectuer un classement des action qui permet de faciliter aux décideurs la tâche d'appréciation des nombreuses propositions de projets et sélectionner certain d'entre eux répondant au mieux à leurs objectifs. Parmi les problématiques de référence d'aide multi-critère à la décision (choix, tri, rangement, . . .) il est adéquat d'adopter la problématique de rangement afin de classer les différents projets.

L'objectif de cette recherche consiste donc à proposer des méthode de résolution à critères multiples prenant en considération les compétences maîtrisées par les ressources et les compétences requises par chaque activité.

5.3 Définition de L'ensemble Des Actions

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, Qui contient 28 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 (28).

5.4 Définition de l'ensemble des critères :

C'est l'étape la plus importante dans le processus de décision puisque c'est en fonction de ces critères que nous allons évaluer nos projets d'investissements.

Après différents entretiens avec l'entreprise, nous sommes parvenus à dégager ces trois familles de critère que nous avons cité dans le chapitre 2 :

5.4.1 Critères économiques

- Valeur Actuelle Nette (**VAN**).
- Taux de Rentabilité Interne(**TRI**).
- le coût de forage.

5.4.2 Critères stratégiques

- Catégorisation des prospects :

Concernant le critère qualitatif catégorie de prospects, une préférence est accordée à une autre : $A > B > C > D$. on définit les valeurs suivantes :

catégorie du prospect	
A	3
B	2
C	1

TABLE 5.1 – Critère Qualitatif

- **Ressource en place (p mean)**
- **Distance par rapport aux infrastructures**

5.4.3 Critères de risque

- Probabilité de succès (**POS**).

le Nombre et la Famille des Critères de décision

Famille de Critère	Critère	Unité de mesure	Type de critère	sens d'opt
Critères économiques	VAN	MMUSS	Quantitatif	Max
	TRI	%	Quantitatif	Max
	le coût de forage		Quantitatif	Min
Critères stratégiques	Catégorie du prospect	MMm3	Qualitatif	Max
	Pmean	Km	Quantitatif	Max
	Distance aux installations		Quantitatif	Min
Critère de Risque	POS	%	Quantitatif	Max

TABLE 5.2 – Famille des Critères

5.5 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 $i = 1, 2, \dots, 28$ et $j = 1, 2, \dots, 7$.

Projet	VAN	TRI	coût de forage	Catégorie	p mean	POS	proximité aux installation
p_1	161,43	14,2	46,10	3	7,77	45	237
p_2	42,83	13,3	13,86	3	3,80	74	138
p_3	340,3	25,8	43,99	3	21,85	64	59
p_4	11,97	12,3	12,41	3	2,92	28	50
p_5	4,21	10,3	54,64	2	5,83	28	90
p_6	59,75	12,9	12,67	3	7,87	39	50
p_7	46,90	11,3	9,57	1	11,20	45	43
p_8	199,40	14,8	11,76	3	16,49	35	43
p_9	16,10	16,6	10,60	1	0,86	45	18
p_{10}	171,17	13,7	9,70	2	14,08	34	29
p_{11}	144,77	13,2	8,65	2	13,13	34	29
p_{12}	25,87	12	10,82	2	4,83	26	105
p_{13}	55,70	14,1	10,40	2	5,74	39	83
p_{14}	206,83	16,7	7,42	2	13,74	33	83
p_{15}	69,05	19,1	6,47	3	5,89	30	145
p_{16}	95,86	25,3	5,69	3	5,90	30	75
p_{17}	299,49	13,4	11,20	1	19,76	35	273
p_{18}	291,15	13,3	10,72	1	19,65	28	284
p_{19}	464,79	15,1	10,96	1	22,51	26	289
p_{20}	52,27	22,5	11,10	2	2,13	24	15
p_{21}	98,97	31,6	10,84	3	3,37	19	8
p_{22}	243,96	31,0	10,56	3	9,56	69	325
p_{23}	43,04	18,8	8,45	1	2,03	26	50
p_{24}	171,36	32,7	0,00	1	5,92	100	205
p_{25}	261,8	33,6	11,00	1	8,42	28	303
p_{26}	237,2	31,6	11,28	1	7,88	29	310
p_{27}	168,3	26,1	11,00	1	6,37	30	315
p_{28}	229,2	31,2	11,28	3	7,69	30	293
sens d'opt	max	max	min	max	max	max	min

TABLE 5.3 – La matrice de décision

5.6 Pondération des critères

Après la détermination d'une famille cohérente de critères, nous avons procédé à l'évaluation de l'importance relative de chacun des critères retenus précédemment. Le décideur doit exprimer au mieux ses préférences vis-à-vis de l'importance de chaque critère dans le processus de décision ces suggestions afin de déterminer la valeur des poids qui correspond le mieux aux exigences du décideur.

Face à l'enjeu important de cette étape, nous avons pris le temps de recenser toutes les possibilités quant à la pondération des critères dans le but de choisir la méthode qui représente le meilleur compromis entre simplicité, efficacité, mais aussi fiabilité et compréhensibilité de la méthode par l'utilisateur. C'est pour cela que notre choix s'est vu orienté vers la méthode AHP pour le calcul des poids des critères d'évaluations.

La première étape consiste à transformer les préférences en nombres selon l'échelle de SAATY, puis la matrice de jugements sera élaborée.

	<i>VAN</i>	<i>TRI</i>	<i>cout de forrage</i>	<i>Catégorie du Prospect</i>	<i>Pmean</i>	<i>POS</i>	<i>Proximité aux Installations</i>
<i>VAN</i>	Également important	Légèrement plus important	Légèrement plus important	Fortement plus important	Fortement plus important	Très fortement plus important	Absolument plus important
<i>TRI</i>		Également important	Légèrement plus important	Légèrement plus important	Fortement plus important	Très fortement plus important	Absolument plus important
<i>cout de forrage</i>			Également important	Légèrement plus important	Légèrement plus important	Fortement plus important	Très fortement plus important
<i>Catégorie du Prospect</i>				Également important	Légèrement plus important	Fortement plus important	Très fortement plus important
<i>Pmean</i>					Également important	Légèrement plus important	Fortement plus important
<i>POS</i>						Également important	Légèrement plus important
<i>Proximité aux Installations</i>							Également important

FIGURE 5.3 – ordre de préférence selon l'échelle de SAATY

la Matrice de comparaison entre les critères :

Après avoir déterminé les préférences des critères, il est nécessaire de les traduire dans l'échelle ordinale de la méthode AHP qui sera utilisée pour le calcul des poids des critères.

	VAN	TRI	coût de forage	catégorie	Pmean	POS	proximité aux installations
VAN	1	3	3	5	5	7	9
TRI	0, 3333	1	3	3	5	7	9
coût de forage	0, 3333	0, 3333	1	3	3	5	7
catégorie	0, 2	0, 3333	0, 3333	1	3	5	7
Pmean	0, 2	0, 2	0, 3333	0, 3333	1	3	5
POS	0, 1429	0, 1429	0, 2	0, 2	0, 3333	1	3
proximité aux installations	0, 1111	0, 1111	0, 1429	0, 1429	0, 2	0, 3333	1

TABLE 5.4 – Matrice de Comparaison

Avec l'aide de la méthode AHP , nous avons déterminé les poids des critères avec MATLAB nous obtenons le résultat suivant :

Critères	Poids
VAN	0.3625
TRI	0.2431
coût de forage	0.1555
catégorie	0.1129
pmean	0.0683
POS	0.0368
proximité aux installations	0.0209

5.7 Application des méthodes d'Aide à la Décision Multi-critère

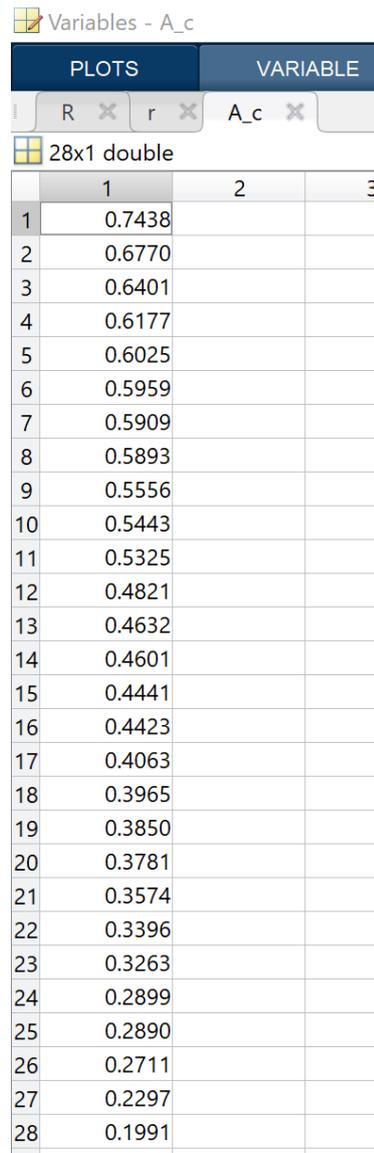
5.7.1 Résolution avec la Méthode SAW

Après avoir suivie les étapes de la méthode SAW, et on a utilisée les poids trouver a l'aide de la méthode AHP

Etape 01 : Calculer la matrice de décision normalisée

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.3473	0.4226	0.1234	0.3333	0.3452	0.4500	0.0338					
2	0.0921	0.3958	0.4105	0.3333	0.1688	0.7400	0.0580					
3	0.7322	0.7679	0.1293	0.3333	0.9707	0.6400	0.1356					
4	0.0258	0.3661	0.4585	0.3333	0.1293	0.2800	0.1600					
5	0.0091	0.3065	0.1041	0.6667	0.2590	0.2800	0.0889					
6	0.1286	0.3839	0.4491	0.3333	0.3496	0.3900	0.1600					
7	0.1009	0.3363	0.5946	1	0.4976	0.4500	0.1860					
8	0.4290	0.4405	0.4838	0.3333	0.7326	0.3500	0.1860					
9	0.0346	0.4940	0.5368	1	0.0373	0.4500	0.4444					
10	0.3683	0.4077	0.5866	0.6667	0.6255	0.3400	0.2759					
11	0.3115	0.3929	0.6578	0.6667	0.5833	0.3400	0.2759					
12	0.0557	0.3571	0.5259	0.6667	0.2146	0.2600	0.0762					
13	0.1198	0.4196	0.5471	0.6667	0.2550	0.3900	0.0964					
14	0.4450	0.4970	0.7668	0.6667	0.6104	0.3300	0.0964					
15	0.1486	0.5685	0.8794	0.3333	0.2617	0.3000	0.0552					
16	0.2062	0.7530	1	0.3333	0.2621	0.3000	0.1067					
17	0.6444	0.3988	0.5080	1	0.8778	0.3500	0.0293					
18	0.6264	0.3958	0.5308	1	0.8729	0.2800	0.0282					
19	1	0.4494	0.5192	1	1	0.2600	0.0277					
20	0.1125	0.6696	0.5126	0.6667	0.0946	0.2400	0.5333					
21	0.2129	0.9405	0.5249	0.3333	0.1497	0.1900	1					
22	0.5249	0.9226	0.5388	0.3333	0.4247	0.6900	0.0246					
23	0.0926	0.5595	0.6734	1	0.0902	0.2600	0.1600					
24	0.3687	0.9732	0.5080	1	0.2630	1	0.0390					
25	0.5633	1	0.5173	1	0.3741	0.2800	0.0264					
26	0.5103	0.9405	0.5044	1	0.3501	0.2900	0.0258					
27	0.3621	0.7768	0.5173	1	0.2830	0.3000	0.0254					
28	0.4933	0.9286	0.5044	0.3333	0.3416	0.3000	0.0273					
29												
30												

FIGURE 5.4 – Résultat de la matrice normalisée sur MATLAB

Étape 02 : Calculer les P_i 

	1	2	3
1	0.7438		
2	0.6770		
3	0.6401		
4	0.6177		
5	0.6025		
6	0.5959		
7	0.5909		
8	0.5893		
9	0.5556		
10	0.5443		
11	0.5325		
12	0.4821		
13	0.4632		
14	0.4601		
15	0.4441		
16	0.4423		
17	0.4063		
18	0.3965		
19	0.3850		
20	0.3781		
21	0.3574		
22	0.3396		
23	0.3263		
24	0.2899		
25	0.2890		
26	0.2711		
27	0.2297		
28	0.1991		

FIGURE 5.5 – Résultat des Alternative sur Matlab

Étape 03 :Classer les projet P_i selon l'ordre décroissant des A_i

le ranking	Projet i	A_i
1	P19	0.7438
2	p25	0.6770
3	P26	0.6401
4	P24	0.6251
5	P3	0.6025
6	P17	0.5959
7	P22	0.5909
8	P18	0.5893
9	P28	0.5556
10	P27	0.5443
11	P14	0.5325
12	P16	0.4821
13	P21	0.4632
14	P10	0.4601
15	P11	0.4441
16	P8	0.4423
17	P23	0.4063
18	P15	0.3965
19	P20	0.3850
20	P7	0.3781
21	P9	0.3574
22	P13	0.3396
23	P1	0.3263
24	P12	0.2899
25	P6	0.2890
26	P2	0.2711
27	P4	0.2297
28	P5	0.199

TABLE 5.5 – Classement des projets

5.7.2 Résolution avec la méthode TOPSIS

Nous utilisons la méthodes TOPSIS en faisant appel à la méthode AHP pour la pondération des critères. Le but d'intégrer la méthode AHP dans cette approche est de fournir un vecteur de pondérations exprimant l'importance relative aux différents critères de performance choisis. Ensuite, nous faisons une comparaison des résultats obtenus par la méthode TOPSIS pour valider notre approche méthodologique en suivant les étapes de la méthode on joins ci-dessous :

Etape 01 : Calculer la matrice de décision normalisée

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0585	0.0311	0.0724	0.0099	0.0091	0.0074	0.0052					
2	0.0155	0.0291	0.0218	0.0099	0.0044	0.0122	0.0030					
3	0.1234	0.0565	0.0691	0.0099	0.0256	0.0105	0.0013					
4	0.0043	0.0269	0.0195	0.0099	0.0034	0.0046	0.0011					
5	0.0015	0.0225	0.0858	0.0199	0.0068	0.0046	0.0020					
6	0.0217	0.0282	0.0199	0.0099	0.0092	0.0064	0.0011					
7	0.0170	0.0247	0.0150	0.0298	0.0131	0.0074	9.4154e-04					
8	0.0723	0.0324	0.0185	0.0099	0.0193	0.0058	9.4154e-04					
9	0.0058	0.0363	0.0166	0.0298	9.8358e-04	0.0074	3.9413e-04					
10	0.0621	0.0300	0.0152	0.0199	0.0165	0.0056	6.3499e-04					
11	0.0525	0.0289	0.0136	0.0199	0.0154	0.0056	6.3499e-04					
12	0.0094	0.0263	0.0170	0.0199	0.0057	0.0043	0.0023					
13	0.0202	0.0309	0.0163	0.0199	0.0067	0.0064	0.0018					
14	0.0750	0.0366	0.0117	0.0199	0.0161	0.0054	0.0018					
15	0.0250	0.0418	0.0102	0.0099	0.0069	0.0049	0.0032					
16	0.0348	0.0554	0.0089	0.0099	0.0069	0.0049	0.0016					
17	0.1086	0.0293	0.0176	0.0298	0.0231	0.0058	0.0060					
18	0.1055	0.0291	0.0168	0.0298	0.0230	0.0046	0.0062					
19	0.1685	0.0331	0.0172	0.0298	0.0264	0.0043	0.0063					
20	0.0189	0.0493	0.0174	0.0199	0.0025	0.0040	3.2844e-04					
21	0.0359	0.0692	0.0170	0.0099	0.0039	0.0031	1.7517e-04					
22	0.0884	0.0679	0.0166	0.0099	0.0112	0.0114	0.0071					
23	0.0156	0.0412	0.0133	0.0298	0.0024	0.0043	0.0011					
24	0.0621	0.0716	0.0161	0.0298	0.0069	0.0165	0.0045					
25	0.0949	0.0735	0.0173	0.0298	0.0099	0.0046	0.0066					
26	0.0860	0.0692	0.0177	0.0298	0.0092	0.0048	0.0068					
27	0.0610	0.0571	0.0173	0.0298	0.0075	0.0049	0.0069					
28	0.0831	0.0683	0.0177	0.0099	0.0090	0.0049	0.0064					
29												

FIGURE 5.6 – Résultat de la matrice normalisée sur MATLAB

Etape 02 : Calculer la matrice de décision normalisée pondérée.

The screenshot shows the MATLAB interface with a variable named 'T' of size 28x7 double. The data is displayed in a grid with columns numbered 1 to 12 and rows numbered 1 to 28. The values are as follows:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.1614	0.1279	0.4656	0.0880	0.1332	0.2016	0.2483					
2	0.0428	0.1198	0.1400	0.0880	0.0651	0.3315	0.1446					
3	0.3403	0.2323	0.4443	0.0880	0.3746	0.2867	0.0618					
4	0.0120	0.1108	0.1253	0.0880	0.0499	0.1254	0.0524					
5	0.0042	0.0927	0.5518	0.1761	0.0999	0.1254	0.0943					
6	0.0598	0.1162	0.1280	0.0880	0.1349	0.1747	0.0524					
7	0.0469	0.1017	0.0967	0.2641	0.1920	0.2016	0.0450					
8	0.1994	0.1333	0.1188	0.0880	0.2827	0.1568	0.0450					
9	0.0161	0.1495	0.1071	0.2641	0.0144	0.2016	0.0189					
10	0.1712	0.1234	0.0980	0.1761	0.2414	0.1523	0.0304					
11	0.1448	0.1189	0.0874	0.1761	0.2251	0.1523	0.0304					
12	0.0259	0.1081	0.1093	0.1761	0.0828	0.1165	0.1100					
13	0.0557	0.1270	0.1050	0.1761	0.0984	0.1747	0.0870					
14	0.2068	0.1504	0.0749	0.1761	0.2356	0.1478	0.0870					
15	0.0691	0.1720	0.0653	0.0880	0.1010	0.1344	0.1519					
16	0.0959	0.2278	0.0575	0.0880	0.1011	0.1344	0.0786					
17	0.2995	0.1207	0.1131	0.2641	0.3388	0.1568	0.2860					
18	0.2912	0.1198	0.1083	0.2641	0.3369	0.1254	0.2975					
19	0.4648	0.1360	0.1107	0.2641	0.3859	0.1165	0.3028					
20	0.0523	0.2026	0.1121	0.1761	0.0365	0.1075	0.0157					
21	0.0990	0.2845	0.1095	0.0880	0.0578	0.0851	0.0084					
22	0.2440	0.2791	0.1067	0.0880	0.1639	0.3091	0.3405					
23	0.0430	0.1693	0.0853	0.2641	0.0348	0.1165	0.0524					
24	0.1714	0.2944	0.1034	0.2641	0.1015	0.4479	0.2148					
25	0.2618	0.3025	0.1111	0.2641	0.1444	0.1254	0.3174					
26	0.2372	0.2845	0.1139	0.2641	0.1351	0.1299	0.3248					
27	0.1683	0.2350	0.1111	0.2641	0.1092	0.1344	0.3300					
28	0.2293	0.2809	0.1139	0.0880	0.1318	0.1344	0.3070					

FIGURE 5.7 – Résultat de la matrice normalisée pondérée sur MATLAB

Étape 3 : Calcul des coefficients de mesure du rapprochement au profil idéal

The screenshot shows the MATLAB interface with a variable named 'ide' of size 1x7 double. The data is displayed in a grid with columns numbered 1 to 7 and rows numbered 1 to 4. The values are as follows:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0015	0.0225	0.5518	0.2641	0.3859	0.4479	0.3405
2							
3							
4							

FIGURE 5.8 – Résultat du vecteur de points idéals sur MATLAB

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.4648	0.3025	0.0089	0.0099	9.8358e-04	0.0031	1.7517e-04
2							
3							
4							
5							

FIGURE 5.9 – Résultat du vecteur de points antidéals sur MATLAB

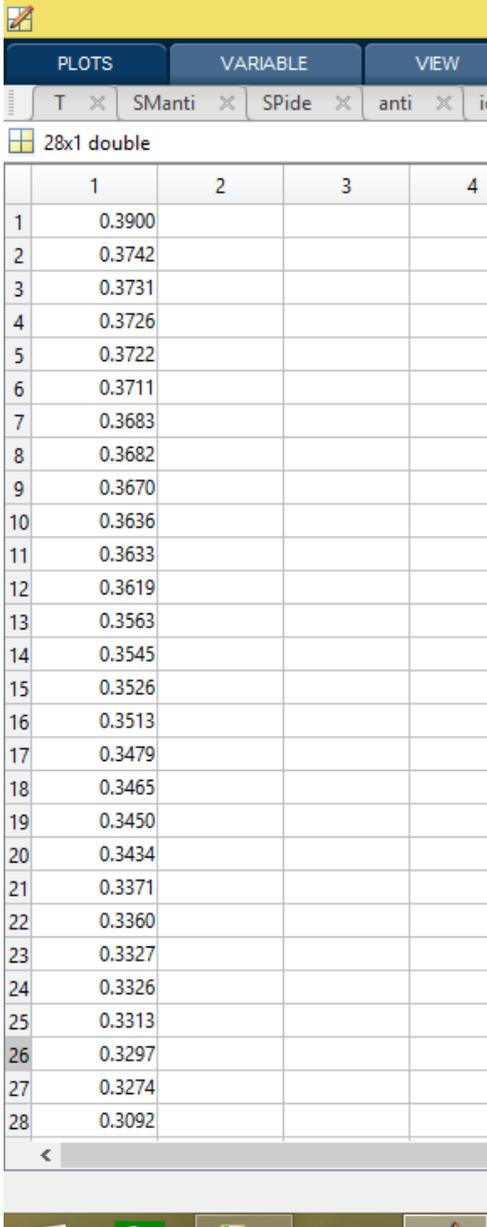
Etape 04 : Calcul des distances euclidiennes par rapport aux profils.

	1	2	3
1	0.0654		
2	0.0725		
3	0.1294		
4	0.0743		
5	0.0254		
6	0.0749		
7	0.0745		
8	0.1012		
9	0.0759		
10	0.0952		
11	0.0907		
12	0.0742		
13	0.0765		
14	0.1070		
15	0.0870		
16	0.0950		
17	0.1276		
18	0.1256		
19	0.1812		
20	0.0810		
21	0.0960		
22	0.1227		
23	0.0810		
24	0.1064		
25	0.1282		
26	0.1199		
27	0.0996		
28	0.1192		
29			

	1	2	3
1	0.1343		
2	0.1601		
3	0.0813		
4	0.1710		
5	0.1911		
6	0.1543		
7	0.1610		
8	0.1067		
9	0.1683		
10	0.1167		
11	0.1256		
12	0.1666		
13	0.1550		
14	0.1023		
15	0.1471		
16	0.1351		
17	0.0809		
18	0.0832		
19	0.0528		
20	0.1521		
21	0.1330		
22	0.0820		
23	0.1576		
24	0.1095		
25	0.0775		
26	0.0861		
27	0.1113		
28	0.0866		
29			

FIGURE 5.10 – La séparation de chaque alternative de la solution idéale

FIGURE 5.11 – La séparation de chaque alternative de la solution anti idéale

Étape 5 : La proximité relative à la solution idéale

	1	2	3	4
1	0.3900			
2	0.3742			
3	0.3731			
4	0.3726			
5	0.3722			
6	0.3711			
7	0.3683			
8	0.3682			
9	0.3670			
10	0.3636			
11	0.3633			
12	0.3619			
13	0.3563			
14	0.3545			
15	0.3526			
16	0.3513			
17	0.3479			
18	0.3465			
19	0.3450			
20	0.3434			
21	0.3371			
22	0.3360			
23	0.3327			
24	0.3326			
25	0.3313			
26	0.3297			
27	0.3274			
28	0.3092			

FIGURE 5.12 – La proximité relative à la solution idéale

Étape 6 : Classer les projet P_i selon l'ordre décroissant des A_i

le ranking	Projet i	A_i
1	P5	0.8825
2	p4	0.6970
3	P12	0.6917
4	P9	0.6891
5	P2	0.6884
6	P7	0.6837
7	P6	0.6733
8	P1	0.6724
9	P13	0.6694
10	P23	0.6605
11	P20	0.6524
12	P15	0.6284
13	P16	0.5871
14	P21	0.5808
15	P11	0.5807
16	P10	0.5508
17	P27	0.5276
18	P8	0.5133
19	P24	0.5072
20	P14	0.4887
21	P28	0.4207
22	P26	0.4180
23	P22	0.4006
24	P18	0.3984
25	P17	0.3880
26	P3	0.3858
27	P25	0.3767
28	P19	0.2256

TABLE 5.6 – Classement des projets

5.7.3 Résolution avec la méthode VIKOR

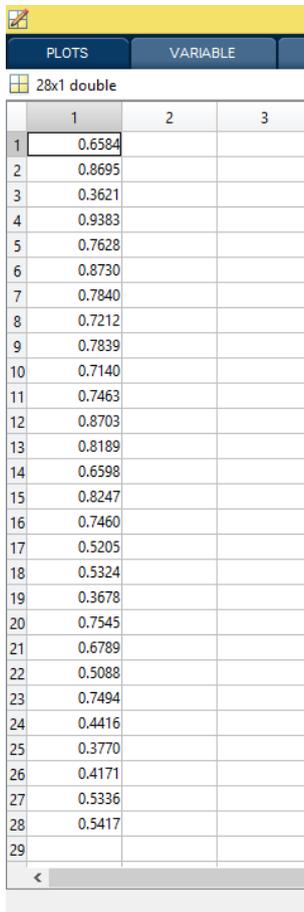
Etape 01 : Déterminer le meilleur f_j^* et le pire f_j^- pour tous les critères

	1	2	3	4	5	6	7
1	464.7900	33.6000	54.6400	3	22.5100	100	325
2							
3							
4							
5							

FIGURE 5.13 – Résultat des f_j^* sur MATLAB

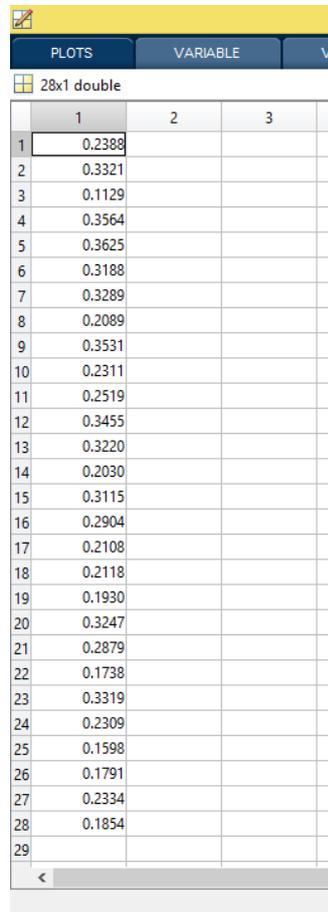
	1	2	3	4	5	6	7
1	4.2100	10.3000	5.6900	1	0.8400	19	8
2							
3							
4							
5							

FIGURE 5.14 – Résultat des f_j^- sur MATLAB

Etape 02 : Calculer S_i et R_i


28x1 double

	1	2	3
1	0.6584		
2	0.8695		
3	0.3621		
4	0.9383		
5	0.7628		
6	0.8730		
7	0.7840		
8	0.7212		
9	0.7839		
10	0.7140		
11	0.7463		
12	0.8703		
13	0.8189		
14	0.6598		
15	0.8247		
16	0.7460		
17	0.5205		
18	0.5324		
19	0.3678		
20	0.7545		
21	0.6789		
22	0.5088		
23	0.7494		
24	0.4416		
25	0.3770		
26	0.4171		
27	0.5336		
28	0.5417		
29			

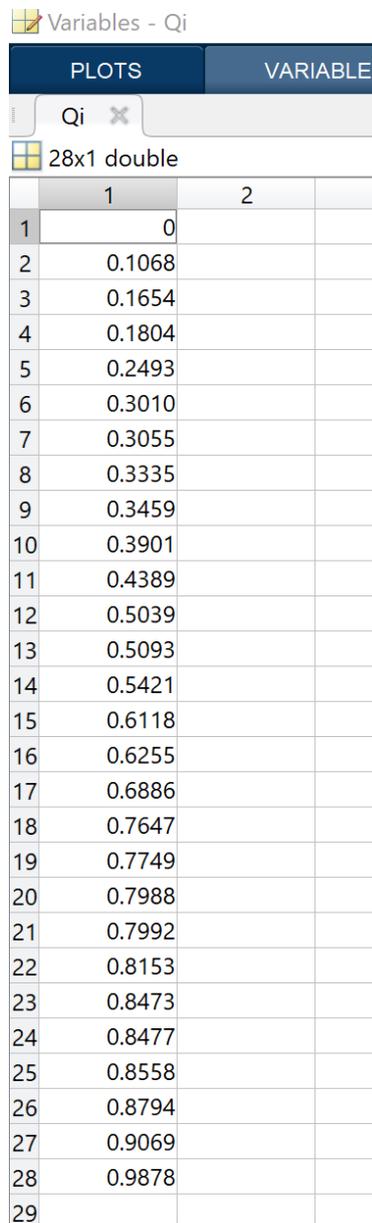
FIGURE 5.15 – Résultat des S_i sur MATLAB


28x1 double

	1	2	3
1	0.2388		
2	0.3321		
3	0.1129		
4	0.3564		
5	0.3625		
6	0.3188		
7	0.3289		
8	0.2089		
9	0.3531		
10	0.2311		
11	0.2519		
12	0.3455		
13	0.3220		
14	0.2030		
15	0.3115		
16	0.2904		
17	0.2108		
18	0.2118		
19	0.1930		
20	0.3247		
21	0.2879		
22	0.1738		
23	0.3319		
24	0.2309		
25	0.1598		
26	0.1791		
27	0.2334		
28	0.1854		
29			

FIGURE 5.16 – Résultat de R_i sur MATLAB

Etape 03 : Calculer les valeurs Q_i

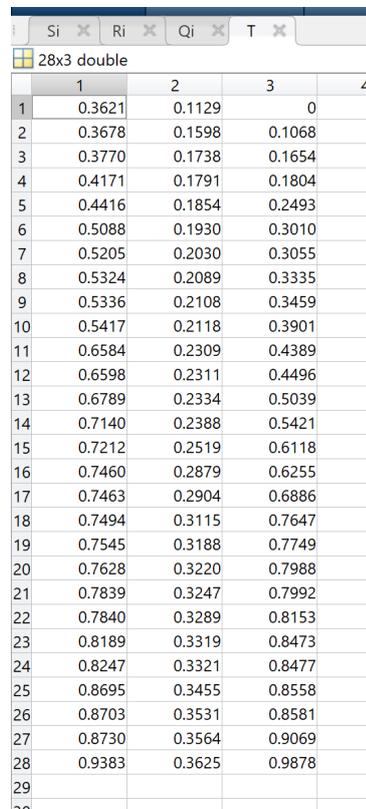


Variables - Qi

	1	2
1	0	
2	0.1068	
3	0.1654	
4	0.1804	
5	0.2493	
6	0.3010	
7	0.3055	
8	0.3335	
9	0.3459	
10	0.3901	
11	0.4389	
12	0.5039	
13	0.5093	
14	0.5421	
15	0.6118	
16	0.6255	
17	0.6886	
18	0.7647	
19	0.7749	
20	0.7988	
21	0.7992	
22	0.8153	
23	0.8473	
24	0.8477	
25	0.8558	
26	0.8794	
27	0.9069	
28	0.9878	
29		

FIGURE 5.17 – Résultat des Q_i sur MATLAB

Etape 04 : Classer les alternatives S_i, R_i et Q_i



	1	2	3	4
1	0.3621	0.1129		0
2	0.3678	0.1598	0.1068	
3	0.3770	0.1738	0.1654	
4	0.4171	0.1791	0.1804	
5	0.4416	0.1854	0.2493	
6	0.5088	0.1930	0.3010	
7	0.5205	0.2030	0.3055	
8	0.5324	0.2089	0.3335	
9	0.5336	0.2108	0.3459	
10	0.5417	0.2118	0.3901	
11	0.6584	0.2309	0.4389	
12	0.6598	0.2311	0.4496	
13	0.6789	0.2334	0.5039	
14	0.7140	0.2388	0.5421	
15	0.7212	0.2519	0.6118	
16	0.7460	0.2879	0.6255	
17	0.7463	0.2904	0.6886	
18	0.7494	0.3115	0.7647	
19	0.7545	0.3188	0.7749	
20	0.7628	0.3220	0.7988	
21	0.7839	0.3247	0.7992	
22	0.7840	0.3289	0.8153	
23	0.8189	0.3319	0.8473	
24	0.8247	0.3321	0.8477	
25	0.8695	0.3455	0.8558	
26	0.8703	0.3531	0.8581	
27	0.8730	0.3564	0.9069	
28	0.9383	0.3625	0.9878	
29				

FIGURE 5.18 – Résultat du classement des alternatives S_i, R_i et Q_i sur MATLAB

Etape 05 : Le classement de Q_i

le ranking	Projet i	Q_i
1	P3	0
2	p25	0.1068
3	P19	0.1654
4	P26	0.1804
5	P22	0.2493
6	P28	0.3010
7	P24	0.3055
8	P17	0.3335
9	P18	0.3459
10	P27	0.3901
11	P14	0.4389
12	P8	0.5039
13	P1	0.5093
14	P10	0.5421
15	P11	0.6118
16	P21	0.6255
17	P16	0.6886
18	P20	0.7647
19	P23	0.7749
20	P7	0.7988
21	P15	0.7992
22	P13	0.8153
23	P9	0.8473
24	P5	0.8477
25	P6	0.8558
26	P2	0.8794
27	P12	0.9069
28	P4	0.9878

TABLE 5.7 – Classement des projets

5.7.4 Résolution Avec La Méthode SMART

Étape 01 : : Mettre les critères selon l'ordre décroissant d'importance.

VAN > TRI > coût de forage > catégorie > Pmean > POS > proximité

Étape 02 : Déterminer le poids de chaque critère.

On détermine les nouveaux poids à l'aide de la méthode SMART, en attribuant 10 points au critère le plus faible qui est à la proximité. L'importance relative des autres critères est ensuite évaluée en leur attribuant des points à partir de 10 points. Donc voici ci dessous les tableau des poids des critères selon la méthode SMART :

Critères	poids
VAN	100
TRI	60
coût de forage	30
catégorie	25
Pmean	20
POS	15
proximité	10

Après on normalise les poids des critères , la figure ci dessous représente les résultats obtenue par Matlab :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.3846	0.2308	0.1154	0.0962	0.0769	0.0577	0.0385		
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

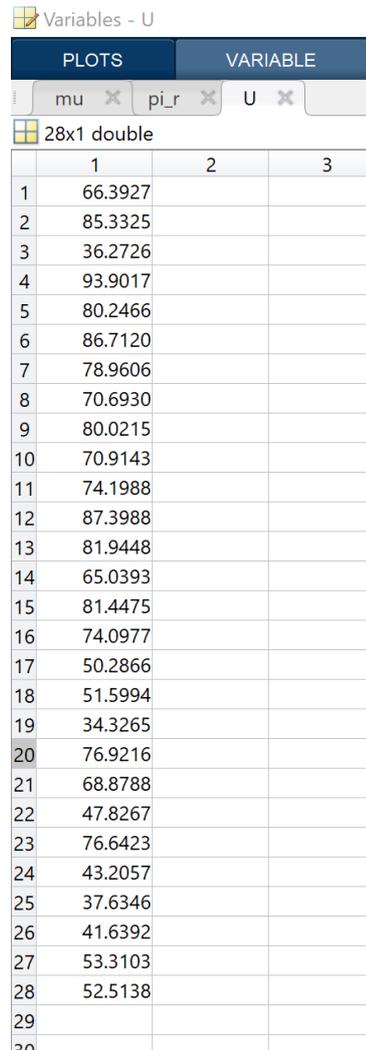
FIGURE 5.19 – Résultat du poids normalisée sur Matlab

Étape 03 : : Evaluation des actions sur chaque attribut

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	65.8648	83.2618	17.4464	100	68.0203	67.9012	27.7603					
2	91.6149	87.1245	83.3095	100	86.3406	32.0988	58.9905					
3	27.0290	33.4764	21.7569	100	3.0457	44.4444	83.9117					
4	98.3152	91.4163	86.2717	100	90.4476	88.8889	86.7508					
5	100	100	0	50	76.9728	88.8889	74.1325					
6	87.9413	88.8412	85.7406	100	67.5588	75.3086	86.7508					
7	90.7313	95.7082	92.0735	0	52.1920	67.9012	88.9590					
8	57.6208	80.6867	87.5996	100	27.7803	80.2469	88.9590					
9	97.4185	72.9614	89.9694	0	100.0000	67.9012	96.8454					
10	63.7501	85.4077	91.8080	50	38.9017	81.4815	93.3754					
11	69.4820	87.5536	93.9530	50	43.2856	81.4815	93.3754					
12	95.2972	92.7039	89.5199	50	81.5874	91.3580	69.4006					
13	88.8206	83.6910	90.3779	50	77.3881	75.3086	76.3407					
14	56.0076	72.5322	96.4658	50	40.4707	82.7160	76.3407					
15	85.9221	62.2318	98.4065	100	76.6959	86.4198	56.7823					
16	80.1012	35.6223	100	100	76.6497	86.4198	78.8644					
17	35.8895	86.6953	88.7436	0	12.6904	80.2469	16.4038					
18	37.7003	87.1245	89.7242	0	13.1980	88.8889	12.9338					
19	0	79.3991	89.2339	0	0	91.3580	11.3565					
20	89.5653	47.6395	88.9479	50	94.0471	93.8272	97.7918					
21	79.4259	8.5837	89.4791	100	88.3249	100	100					
22	47.9461	11.1588	90.0511	100	59.7600	38.2716	0					
23	91.5693	63.5193	94.3616	0	94.5085	91.3580	86.7508					
24	63.7088	3.8627	90.7048	0	76.5575	0	37.8549					
25	44.0727	0	89.1522	0	65.0208	88.8889	6.9401					
26	49.4138	8.5837	88.5802	0	67.5127	87.6543	4.7319					
27	64.3732	32.1888	89.1522	0	74.4808	86.4198	3.1546					
28	51.1312	10.3004	88.5802	100	68.3895	86.4198	10.0946					
29												

FIGURE 5.20 – Résultat des évaluation de chaque attribut sur Matlab

Étape 04 : Déterminer la valeur de chaque action selon la somme pondérée suivante



The screenshot shows a Matlab window titled 'Variables - U'. It contains a table with 28 rows and 3 columns. The first column is labeled '1', the second '2', and the third '3'. The values in the first column range from 66.3927 to 52.5138, with the last row (29) being empty.

	1	2	3
1	66.3927		
2	85.3325		
3	36.2726		
4	93.9017		
5	80.2466		
6	86.7120		
7	78.9606		
8	70.6930		
9	80.0215		
10	70.9143		
11	74.1988		
12	87.3988		
13	81.9448		
14	65.0393		
15	81.4475		
16	74.0977		
17	50.2866		
18	51.5994		
19	34.3265		
20	76.9216		
21	68.8788		
22	47.8267		
23	76.6423		
24	43.2057		
25	37.6346		
26	41.6392		
27	53.3103		
28	52.5138		
29			

FIGURE 5.21 – Résultat des évaluation de chaque action selon la somme pondérée sur Matlab

Vérifions les conditions suivants :

$$\text{condition 01 : } P(25) - P(3) \geq \frac{1}{28-1}$$

$$\frac{1}{28-1} = 0.037037 \quad P(25) - P(3) = 0.1068$$

La condition 01 est vérifiée .

Condition 02 : Alternative P3 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

Étape 05 : Classer les projets selon l'ordre décroissant de A_i

Le ranking	Projet i	A_i
1	P4	93.9017
2	p12	87.3988
3	P6	86.7120
4	P2	85.3325
5	P13	81.9448
6	P15	81.4475
7	P5	80.2466
8	P9	80.0215
9	P7	78.9606
10	P20	76.9216
11	P23	76.6426
12	P11	74.1988
13	P16	74.0977
14	P10	70.9143
15	P8	70.6930
16	P21	68.8788
17	P1	66.3927
18	P14	65.0393
19	P27	53.3103
20	P28	52.5138
21	P18	51.5994
22	P17	50.2866
23	P22	47.8267
24	p24	43.2057
25	P26	41.6392
26	P25	37.6346
27	P3	36.2726
28	P19	34.3265

TABLE 5.8 – Classement des projets

5.8 Discussion des résultats :

Les méthodes de surclassement reposent sur l'utilisation de la relation de surclassement. Leur intérêt dépend de la possibilité pour le décideur d'examiner l'ensemble des relations de surclassement entre les différentes actions pour lui laisser la possibilité d'explorer et de résoudre ces zones de contradictions et de conflits.

5.8.1 Méthode SAW

L'analyse des résultats montre que le meilleur projet proposé est le PROJET 19, avec un score de 0.7438, suivi par le PROJET 25 avec un score de 0.6770 et en troisième lieu vient le PROJET 26 avec une performance de 0.6401.

Au dernier lieu vient le projet 28 avec un score 0.199.

5.8.2 Méthode Topsis

Le meilleur projet selon SAW est le projet 5, avec un score de 0.8825, suivi par le projet 4 avec un score de 0.6970 et en troisième lieu vient le projet 12 situé au Bassin Centre avec une performance de 0.6917

Et en dernière classe vient le projet 19 avec un score de 0.2256

5.8.3 Méthode Vikor

Selon la méthode VIKOR, le meilleur projet est le projet 3 avec une performance de 0, ensuite vient le projet 25 avec un score de 0.1068, le troisième projet est le projet 19 avec un score de 0.1654.

5.8.4 Méthode Smart

Les résultats obtenues par SMART montrent que le meilleur projet est le projet 4 avec un score de 93.9017, suivi par le projet 12 avec une performance de 87.3988 et le troisième projet c'est le projet 6 avec un score de 86.7120.

En dernière position se situe le projet 19 avec un score de 34.3265

Le tableau ci-dessus représente le résultat du classement obtenu des 04 méthodes exploitées :

le Ranking	SAW	TOPSIS	VIKOR	SMART
1	P19	P5	P3	P4
2	P25	P4	P25	P12
3	P26	P12	P19	P6
4	P24	P9	P26	P2
5	P3	P2	P22	P13
6	P17	P7	P28	P15
7	P22	P6	P24	P5
8	P18	P1	P17	P9
9	P28	P13	P18	P7
10	P27	P23	P27	P20
11	P14	P20	P14	P23
12	P16	P15	P8	P11
13	P21	P16	P1	P16
14	P10	P21	P10	P10
15	P11	P11	P11	P8
16	P8	P10	P21	P21
17	P23	P27	P16	P1
18	P15	P8	P20	P14
19	P20	P24	P23	P27
20	P7	P14	P7	P28
21	P9	P28	P15	P18
22	P13	P26	P13	P17
23	P1	P22	P9	P22
24	P12	P18	P5	P24
25	P6	P17	P6	P26
26	P2	P3	P2	P25
27	P4	P25	P12	P3
28	P5	P19	P4	P19

TABLE 5.9 – Classement des projets avec les 4 méthodes

On peut déduire à partir de ce tableau que le résultat des méthodes diffèrent et que chaque méthode aboutit à un classement précis

conclusion

Il est à noter que ces scores représentent la performance de chaque projet, d'une façon simultanée, suivant tous les critères d'évaluation. Ainsi une analyse de l'étendue des scores des projets pour chaque méthode présentée dans la table suivant montre une plage très

vaste entre les scores des projets. Ceci nous laisse conclure que les écarts de performance entre les projets sont très importants.

	Max des scores	Min des scores	L'étendue
SAW	0.7438	0.199	0.5448
TOPSIS	0.8825	0.2256	0.6569
VIKOR	0.9878	0	0.9878
SMART	93.9017	34.3265	59.572

TABLE 5.10 – Analyse de l'étendue des scores des projets

Conclusion générale

Arrivé au terme de notre travail, nous avons commencé par présenter la Sonatrach comme force économique, ayant des stratégies adéquates à son développement. Cette industrie peut faire face à des dilemmes concernant la rentabilité de ses activités. Dans le but de contribuer à la résolution du choix stratégique d'investissements nous avons eu recours à des méthodes d'aide à la décision multicritères.

Il existe différentes méthodes d'analyse multicritères, chacune proposant des modalités particulières. Nous avons essayé de montrer dans ce modeste travail que l'application d'une méthodologie rigoureuse d'aide à la décision permet d'obtenir des éléments de réponses satisfaisantes pour le décideur et répondants au mieux à ses exigences.

En proposant un modèle générique d'aide à la décision multicritère pour la pondération des critères par le biais de la méthode AHP nous avons établi ensuite un classement des différents projets proposés par la Sonatrach. Notre choix s'est porté sur ces quatre méthodes (SAW, SMART, TOPSIS et VIKOR) qui ont établi un classement du meilleur au moins bien.

Afin d'aboutir à des résultats nous avons utilisé MATLAB comme outil de programmation. Nous remarquons à travers les résultats obtenus, que les méthodes d'aide à la décision multicritères utilisées apportent une réelle transparence et représentent des outils efficaces, sophistiqués, mais également objectifs qui permettent d'établir une bonne hiérarchisation des projets.

Cependant, En fin nous nous sommes rendus compte que notre but n'était pas de leur imposer une solution mais d'en proposer une autre de compromis afin de répondre à la problématique posée, donc le but d'un travail de recherche n'est pas forcément de donner des réponses concrètes mais d'essayer de contribuer, même d'une façon limitée, aux problématiques actuelles.

Bibliographie

- [1] <http://www.wikipédia.org>.
- [2] <http://www.joradp.dz/Jo6283/1968/061/FP884.pdf>.
- [3] Cour les relations université d'avignon faculté de sciences licence mi et c-sp,s1 algèbre.
- [4] Documents internes de sonatrach-division exploration.
- [5] «the economist». *Le magazine britannique.*, juillet.
- [6] Farouk Aissanou. *Décisions multicritères dans les réseaux de télécommunications autonomes*. PhD thesis, Institut National des Télécommunications, 2012.
- [7] Denis Babusiaux. *Recherche et production du pétrole et du gaz : réserves, coûts, contrats*. Editions TECHNIP, 2002.
- [8] Denis Babusiaux. *Recherche et production du pétrole et du gaz : réserves, coûts, contrats*. Editions TECHNIP, 2002.
- [9] Denis Babusiaux. *Décision d'investissement et création de valeur*. *Éditions Technip, Paris*, 2005.
- [10] Bernard Biju-Duval. *Géologie sédimentaire : bassins, environnements de dépôts, formation du pétrole*. Editions Technip, 1999.
- [11] Jean-Jacques Biteau and François Baudin. *Géologie du pétrole : Historique, genèse, exploration, ressources*. Dunod, 2017.
- [12] Ward Edwards. Social utilities. *Engineering Economist*, 6 :119–129, 1971.
- [13] Vincent Editeur Giard and Bernard Roy. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Editions Economica, 1985.
- [14] Romualdas Ginevičius, Valentinas Podvezko, and Saulius Raslanas. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 14(4) :217–226, 2008.

-
- [15] D Hamdadou. Un modèle d'aide à la décision en aménagement du territoire, une approche multicritère et une approche de négociation. *Oran University, PhD thesis*, 2008.
- [16] Abdelkader Hammami. *Modélisation technico-économique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne ; Université Laval, 2003.
- [17] Laurent Henriet. *Systèmes d'évaluation et de classification multicritères pour l'aide à la décision : Construction de modèles et procédures d'affectation*. PhD thesis, Université Paris Dauphine-Paris IX, 2000.
- [18] Ching-Lai Hwang and Kwangsun Yoon. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making*, pages 58–191. Springer, 1981.
- [19] Pierre LEVINE and J CP. Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts (hermès ed.). *Paris. Loi sur la sécurité dans les édifices publics, chap. S-3 (16 février 1993)*, 1990.
- [20] Lucien Yves Maystre, Jacques Pictet, and Jean Simos. *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*, volume 8. PPUR presses polytechniques, 1994.
- [21] F Mohamed and AN Ahmed. A vikor approach for project selection problem. *Life Science Journal*, 9(4), 2012.
- [22] Salma Mostefai and Dihia Mohamed Yahiaoui. *Etude de la rentabilité d'un projet pétrolier exploration-production Cas de la SONATRACH «IAP» de Boumerdes*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2021.
- [23] Amir Nafi and Caty Werey. Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type electre. *Module d'ingénierie financière, EN-GEES*, 2010, 2009.
- [24] Etou Obami and Voltaire Brice. Comptabilisation et audit des coûts pétroliers dans une société non opératrice : Cas d'un contrat de partage de production (cpp). *Comptabilisation et audit des coûts pétroliers dans une société non opératrice*, pages 1–96, 2015.
- [25] Bernard Roy. *L'aide à la décision aujourd'hui : que devrait-on en attendre ?* Université de Paris Dauphine-Laboratoire d'analyse et modélisation de ..., 1997.
- [26] Thomas L Saaty. A scaling method for priorities in hierarchy structures. *Journal of mathematical psychology*, 15 :234–281, 1977.
- [27] Hanene Ben Salah. *Gestion des actifs financiers : de l'approche Classique à la modélisation non paramétrique en estimation du DownSide Risk pour la constitution d'un portefeuille efficient*. PhD thesis, Université Claude Bernard-Lyon I, 2015.
-

-
- [28] Mahmoud Saremi, S Farid Mousavi, and Amir Sanayei. Tqm consultant selection in smes with topsis under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 36(2) :2742–2749, 2009.
- [29] Daniel K Schneider. *Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle*. PhD thesis, éditeur non identifié, 1996.
- [30] Vincke. *L'aide à la décision multicritère*. 1998.
- [31] P. Vincke. *La modélisation des préférences*. 1985.
- [32] Philippe Vincke. *La modélisation des préférences*. PhD thesis, Institut de mathématiques économiques (IME), 1985.
- [33] Philippe Vincke. *La modélisation des préférences*. PhD thesis, Institut de mathématiques économiques (IME), 1985.
- [34] Philippe Vincke. *L'aide multicritère à la décision*. Editions de l'ULB et Editions Ellipses, 1989.
- [35] Yoram Wind and Thomas L Saaty. Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7) :641–658, 1980.
-

Résumé

L'objectif de cette étude est d'établir un classement de la rentabilité potentielle de projets pétroliers proposés par la SONATRACH. La problématique est par conséquent la suivante : comment établir ce classement en prenant en compte les différents critères et variables ? Dans ce contexte les coûts totaux du projet , la probabilité de trouver un réservoir économiquement exploitable , le volume et le type (pétrole gaz) des hydrocarbures trouvés , et les prix de vente futurs de la production. Tous ces paramètres doivent être pris en considération pour établir notre étude.

Pour répondre à la problématique, nous allons faire recours à différentes méthodes de résolution d'aide à la décision multicritères. Ces méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un bon choix et dans notre cas faire un classement du meilleur au pire. Nous allons donc identifier certaines de ces méthodes, voir leurs avantages et leurs inconvénients d'un point de vue théorique. Puis les concrétiser sur les projets proposés par l'entreprise afin d'obtenir les résultats nécessaires.

A partir de ces résultats, on a pu en première position répondre à la problématique posée par l'entreprise et en deuxième position faire une discussion à propos des méthodes pour aboutir à la meilleure méthode.

Abstract

The objective of this study is to establish a ranking of the potential profitability of oil projects proposed by SONATRACH. The problem is therefore the following : how to establish this ranking by taking into account the different criteria and variables ? In this context, the total costs of the project, the probability of finding an economically exploitable reservoir, the volume and type (oil and gas) of hydrocarbons found, and the future selling prices of the production. All these parameters must be taken into consideration to establish our study.

answer the problem, we will use different methods of resolution of multi-criteria decision support. These methods have been proposed in order to allow the decision makers to make a good choice and in our case to make a ranking from the best to the worst. We will therefore identify some of these methods, see their advantages and disadvantages from a theoretical point of view. Then we will concretize them on the projects proposed by the company in order to obtain the necessary results.

these results, we were able in first position to answer the problematic posed by the company and in second position to make a discussion about the methods to arrive at the best method.
