



Université du Québec
à Rimouski

Sélection de portefeuilles de projets en présence d'incertitudes et avec prise en compte des interactions entre les projets

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en gestion de projet

en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences

PAR

© **Alpha Oumar Diallo**

Février 2025

Composition du jury :

Jalal El Fadil, président du jury, Université du Québec à Rimouski

Bruno Urli, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski

Érika Souza de Mélo, codirectrice de recherche, Université du Québec à Rimouski

Sylvain Bourassa, examinateur externe, Assemblée Nationale du Québec

Dépôt initial le 19 septembre 2024

Dépôt final le 18 février 2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, Abibou et Nafi, les figures centrales de mon parcours et de ma réussite. Dès mon enfance, vous avez su reconnaître et nourrir ma soif d'excellence, me guidant et m'encourageant sans relâche à donner le meilleur de moi-même. Également, par votre exemple de foi, vous m'avez appris à placer ma confiance en Dieu et à affronter les épreuves avec courage et sérénité.

Merci d'avoir toujours cru en moi !

REMERCIEMENTS

Au terme de la rédaction de ce mémoire, il m'est agréable d'exprimer en quelques lignes ma reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail. Qu'ils trouvent ici mes vifs respects et ma profonde gratitude.

Je tiens tout d'abord à remercier spécialement Bruno Urli et Erika Souza de Mélo pour l'encadrement et le soutien qu'ils m'ont apporté tout au long de ma recherche. Leur expertise, leurs conseils et leur disponibilité m'ont aidé à pouvoir mener à bien ce travail.

Je remercie également les professeurs Jalal El Fadil et Sylvain Bourassa de l'UQAR pour leurs commentaires et d'avoir accepté d'agir comme membres du comité d'évaluation de ce mémoire.

J'exprime aussi ma reconnaissance à l'UQAR pour les moyens mis à ma disposition ainsi qu'à l'ensemble du corps professoral.

Un grand merci à mes chers parents pour leur présence inestimable, leur soutien, leurs prières et leurs encouragements, ainsi qu'à ma chère sœur Aïda Diallo et mes chers petits frères.

Ma gratitude va également à l'endroit de mes familles à Louga et à la Médina pour l'accueil qu'elles m'ont réservé durant mes années d'études passées à leurs côtés.

Merci aussi à Koté Ndiaye, Madame Ndao, qui a toujours souhaité, avec bienveillance, me voir atteindre ce niveau dans mes études.

Je dis également merci à mon oncle et homonyme, Alpha Oumar Barry, pour son soutien moral sincèrement apprécié et ses conseils avisés.

Enfin, un clin d'œil à tous mes amis et camarades de promotion au Canada et au Sénégal !

AVANT-PROPOS

L'Université du Québec à Rimouski (UQAR), dénommée la « grande université de petite taille », a vu le jour en 1969. Elle fait partie de l'Université du Québec, considérée comme le plus grand réseau universitaire du Québec, avec à son actif près de 100 000 étudiants. D'après les statistiques de l'université, l'UQAR reçoit environ 7000 étudiants par an, dont plus de 950 étudiants internationaux issus de près de 50 pays.

Plusieurs programmes sont offerts dans cette université, parmi lesquels la maîtrise de recherche en gestion de projet. Ce mémoire s'inscrit ainsi dans cette perspective, en tant qu'exigence partielle en vue de l'obtention du diplôme.

Dans cette logique, le présent travail porte sur le thème « Sélection de portefeuilles de projets en présence d'incertitudes et avec prise en compte des interactions entre les projets ».

RÉSUMÉ

L'objectif du présent mémoire est de proposer un modèle de sélection de portefeuilles de projets prenant en compte les interactions entre les projets et les incertitudes liées aux critères de sélection.

Pour parvenir à cette fin, nous avons utilisé une approche de la sélection de portefeuille de projets consistant en premier lieu, pour un ensemble de projets donné, à choisir un ensemble de portefeuilles efficients et, en second lieu, à déterminer le « meilleur » portefeuille parmi ceux-ci. La sélection s'est faite sur la base de critères financiers, non financiers et stratégiques. Les méthodes adoptées dans cette étude sont la programmation multiobjectif, la méthode PROMETHEE, la simulation Monte Carlo et l'AHP.

Pour un ensemble de départ de 15 projets, les résultats de l'étude ont ressorti 18 portefeuilles efficients à la première étape de sélection. La seconde étape, destinée à l'analyse de ces derniers, a permis d'obtenir un meilleur portefeuille de compromis, composé de 9 projets.

Mots clés : Sélection de portefeuille de projets – Interactions – Incertitudes – Critères de sélection – Programmation multiobjectif – PROMETHEE – Monte Carlo – AHP

ABSTRACT

The aim of this thesis is to propose a project portfolio selection model that takes into account the interactions between projects and the uncertainties linked to the selection criteria.

To achieve this, we have used a project portfolio selection approach consisting firstly, for a given set of projects, in selecting a set of efficient portfolios, and secondly, in determining the "best" portfolio among these. Selection was based on financial, non-financial and strategic criteria. The methods used in this study are multi-objective programming, the PROMETHEE method, Monte Carlo simulation and AHP.

For a starting set of 15 projects, the results of the study revealed 18 efficient portfolios at the first selection stage. We analyzed these portfolios, and the second stage yielded a better compromise portfolio of 9 projects.

Keywords : Project portfolio selection - Interactions - Uncertainties - Selection criteria
- Multi-objective programming - PROMETHEE - Monte Carlo - AHP

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ix
AVANT-PROPOS.....	xi
RÉSUMÉ.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
TABLE DES MATIÈRES.....	xvii
LISTE DES TABLEAUX.....	xx
LISTE DES FIGURES.....	xxii
TABLE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xxiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE.....	6
1.1 GESTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS.....	6
1.1.1 Le portefeuille de projets.....	6
1.1.2 Historique de la gestion de portefeuille de projets.....	7
1.1.3 Objectifs de la gestion de portefeuille de projets.....	9
1.2 SÉLECTION DU PORTEFEUILLE DE PROJETS (SPP).....	12
1.2.1 Définition de la SPP.....	12
1.2.2 Différence entre sélection de portefeuille et sélection de projets.....	13
1.2.3 Typologie des méthodes de sélection de portefeuille.....	15
1.3 REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LA SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS.....	23
1.3.1 Les méthodes de sélection de portefeuille de projets.....	24
1.3.2 Les différents critères de sélection de portefeuilles.....	32
1.4 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE LA RECHERCHE.....	38

CHAPITRE 2 PROPOSITION D'UNE MÉTHODE DE SÉLECTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS AVEC INTERACTIONS ET EN PRÉSENCE D'INCERTITUDE	42
2.1 PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE	43
2.2 RECHERCHE DES PORTEFEUILLES NON DOMINÉS.....	45
2.2.1 Modélisation du programme non linéaire multiobjectif en nombres entiers.....	45
2.2.2 Problème d'optimisation avec Midaco	47
2.3 DÉTERMINATION DU PORTEFEUILLE DE MEILLEUR COMPROMIS.....	50
2.3.1 Méthode d'agrégation : PROMETHEE	50
2.3.2 Pondération des critères de sélection des portefeuilles de projets (AHP).....	54
2.3.3 Modélisation de l'incertitude : la méthode de simulation Monte Carlo.....	58
CHAPITRE 3 ILLUSTRATION DE LA MÉTHODE DE SPP PROPOSÉE	62
3.1 INTRODUCTION.....	62
3.2 PRÉSÉLECTION DES PROJETS	62
3.3 DÉTERMINATION DES PORTEFEUILLES NON DOMINÉS	63
3.3.1 Critères de la phase de sélection des portefeuilles.....	64
3.3.2 Phase de constitution des portefeuilles efficaces	65
3.4 CHOIX DU PORTEFEUILLE DE MEILLEUR COMPROMIS.....	66
3.4.1 Critères de la phase de détermination du portefeuille final	66
3.4.2 Analyse descriptive des portefeuilles.....	68
3.4.3 Modélisation de l'incertitude et choix du portefeuille final.....	72
3.4.4 Discussions	78
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	81
ANNEXE I : MATRICES D'INTERACTION.....	84
ANNEXE II : PROGRAMME MULTIOBJECTIF NON LINÉAIRE.....	88
ANNEXE III : NOMBRE DE PROJETS PAR PORTEFEUILLE.....	91
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Approche ‘Évaluation de projets’ des méthodes de SPP, tiré de Kandakoglu et al. (2023)	26
Tableau 2 : Approche ‘Évaluation du portefeuille’ des méthodes de SPP, tiré de Kandakoglu et al. (2023)	29
Tableau 3 : Typologies de sélection retenues pour notre étude	43
Tableau 4 : Nomenclature de Eilat et al. (2006)	46
Tableau 5 : Niveaux de hiérarchie de l'échelle de Saaty (1977)	56
Tableau 6 : Valeurs de la cohérence aléatoire en fonction des dimensions de la matrice (Saaty, 1977).....	58
Tableau 7 : Valeurs de Rc acceptables en fonction de la taille de la matrice (Saaty, 1977).....	58
Tableau 8 : Liste des projets et des critères de sélection associés.....	63
Tableau 9 : Sens de l'optimisation des différents critères	66
Tableau 10 : Liste des portefeuilles et des critères de sélection de portefeuille	69
Tableau 11 : Calcul de l'indice de centralité des projets et des portefeuilles obtenus.....	71
Tableau 12 : Pondération des critères en fonction des experts	73
Tableau 13 : Données d'entrée de la simulation Monte Carlo.....	76
Tableau 14 : Rang moyen de chaque portefeuille selon les flux nets	77
Tableau 15 : Rang de chaque portefeuille selon la mesure utilisée	78

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Modèle de gestion de portefeuille d'Archer et Ghasemzadeh (1999).....	11
Figure 2 : Les grandes approches de SPP (Urli et Terrien, 2010).....	25
Figure 3 : Étapes de la méthodologie proposée.....	44
Figure 4 : Fonctions de préférences de PROMETHEE (Gul et al.,2018)	53
Figure 5 : Diagramme de la conformité stratégique et du respect de l'environnement des différents portefeuilles.....	70
Figure 6 : Histogramme de l'indice de centralité des portefeuilles	72

TABLE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CI	<i>Core Index</i>
DEA	<i>Data Environment Analysis</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
ELECTRE	ÉLimination Et Choix Traduisant la RÉalité
GP	<i>Goal Programming</i>
IA	Intelligence Artificielle
IRC	Importance Relative des Critères
KMCM	Knapsack Multidimensionnel à Choix Multiples
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MCDM	<i>Multi-Criteria decision-making</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PMNL	Programme Multiobjectif Non Linéaire

PMOM	Programmation Mathématique à Objectifs Multiples
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations</i>
R-D	Recherche et Développement
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
RSE	Responsabilité Sociale des Entreprises
RSI	Retour Sur Investissement
SMAA	<i>Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis</i>
SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>
SPP	Sélection de Portefeuilles de Projets
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TRI	Taux de Rendement Interne
UTA	UTilité Additive
VAN	Valeur Actuelle Nette

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les organisations exercent leurs activités en ciblant celles qui peuvent leur procurer les meilleurs bénéfices. Pour y arriver, cela nécessite le développement de stratégies, en vue de contrecarrer les défis auxquels elles seront confrontées. Parmi ceux-ci, il y a les effets de la mondialisation, le développement technologique ou encore les changements socioéconomiques. Face à ces fléaux, une nouvelle forme de gestion plus efficace des activités s'impose aux organisations, sous le motif d'innovation, afin de leur permettre de se démarquer et de tirer profit des résultats qui vont en découler.

C'est ainsi par le recours à des projets que les organisations ont répondu à ces changements. Aujourd'hui, de plus en plus d'entreprises font appel, de manière plus ou moins intensive et plus ou moins régulière, aux projets pour maintenir ou améliorer leurs positions compétitives. C'est ce que Midler (1995) a qualifié de « projectification ».

La projectification est un terme qui désigne la tendance croissante des organisations à structurer et à gérer leurs activités sous forme de projets. Cela implique de voir chaque activité comme un projet distinct avec des objectifs clairs, un calendrier précis, des ressources allouées, et souvent une équipe dédiée. Elle fait référence à la gestion de projets.

Par ailleurs, il y a la notion de gestion de portefeuille de projets, qui va au-delà de l'aspect projet, dans la mesure où son essence est de gérer cet environnement en fournissant

une vue d'ensemble et une coordination centralisée. Elle s'assure que les projets ne sont pas seulement bien exécutés individuellement, mais aussi qu'ils contribuent de manière cohérente aux objectifs stratégiques de l'organisation. Finalement, elle vise à maximiser la valeur globale pour l'organisation.

Néanmoins, il est évident que les moyens dont disposent les organisations sont limités. Cela implique ainsi l'obligation de faire des choix afin de ne retenir que les meilleurs projets. La sélection de projets est alors vue comme un véritable défi qui implique de gérer des problèmes de concurrence entre les projets, notamment en termes de partage de coûts, de ressources humaines, de technologies. Ainsi, la sélection de projets peut être résumée en un problème d'optimisation sous contraintes.

Diverses méthodes ont été développées pour appréhender ce processus d'optimisation. Néanmoins, il n'y a pas de consensus concernant la meilleure à appliquer. Le choix d'une méthode donnée est alors l'œuvre des décideurs, compte tenu des données et de l'appréciation faite des méthodes existantes.

Dans ce sens, diverses classifications ont été proposées. On peut noter celle de l'article de Turkmen et Topcu (2021), qui traite d'une revue de littérature complète sur le problème de la sélection des projets de recherche et développement (R-D) depuis 1977, et qui présente un éventail de théories et méthodes utilisées pour la sélection de projets, regroupées en neuf groupes. Il y a également le cas de Hall et Nauda (1990) qui, eux aussi, fournissent une autre classification des différentes méthodes de sélection de projets en quatre grandes classes.

Auparavant, cette sélection se concentrait principalement sur la gestion individuelle des projets, de manière indépendante, avec des préoccupations liées à l'efficacité, au respect des budgets, échéanciers et spécifications techniques.

Cependant, dans les années 2000, les entreprises ont commencé à réaliser que la gestion collective de leurs projets était essentielle pour atteindre leurs objectifs stratégiques et sont demeurées plus que jamais préoccupées par la notion d'efficacité, axée sur l'alignement stratégique des projets, la gouvernance des projets et la gestion des bénéfices. En ce qui concerne l'évolution, une recherche sur la base Scopus révèle qu'avant 2005, moins de cinq études par an traitaient de la notion de portefeuilles de projets. Ces dernières années, cependant, l'intérêt des chercheurs pour ce sujet s'est fortement accru, avec par exemple plus de soixante études annuelles depuis 2020.

En outre, la gestion indépendante des projets fait abstraction des interdépendances pouvant exister entre les projets d'une même entreprise, alors que, dans la pratique, la réalité est toute autre. En effet, l'entreprise peut avoir des projets ayant des interactions qui pourraient soit lui être bénéfiques ou désavantageuses. Ainsi, la volonté de prendre en compte ces interactions est également une des raisons qui incitent les entreprises à regrouper leurs projets sous forme de portefeuilles, dans la quête d'une vision plus claire de l'atteinte des objectifs stratégiques. Dès lors, l'étude de ces interdépendances liées aux projets est l'une des préoccupations de cette recherche.

Ainsi, l'ensemble des pratiques consistant à organiser les projets de manière stratégique et holistique sous la forme d'un portefeuille est appelé gestion de portefeuille de projets. Elle a été initialement adoptée par des entreprises à forte intensité technologique, mais les organisations utilisent de plus en plus cette approche pour développer des produits et des

services à haute valeur ajoutée pour leurs clients et ainsi opérationnaliser leurs orientations stratégiques (Project Management Institute, 2017). Par cette approche, elles s'assurent que l'expertise et les ressources disponibles sont dédiées aux meilleurs projets, ce qui augmente leurs chances de voir leurs objectifs se concrétiser.

La première étape du processus de gestion de portefeuille de projets consiste à rassembler toutes les idées de projets potentielles et de les examiner pour s'assurer qu'elles sont alignées avec les objectifs stratégiques de l'organisation et qu'elles contribuent à la création de valeur. Par la suite, viennent les étapes d'évaluation puis de sélection des projets qui feront partie du portefeuille. Au niveau de cette dernière étape du processus, les organisations se basent sur des critères bien définis afin de procéder au choix final. Généralement, les valeurs prises par ces derniers sont considérées comme connues, ce qui traduit un environnement certain. Dans le cas incertain, les valeurs affectées aux critères ne reposent pas sur des données finies, discrètes, mais plutôt sur un ensemble de valeurs matérialisé par une fonction (Terrien, 2007).

Le principal objectif du présent travail consiste à développer un modèle de sélection de portefeuille de projets qui prend en compte aussi bien les interactions qui existent entre les différents projets que les incertitudes liées aux valeurs prises par les critères de sélection au cours du temps. En d'autres termes, la recherche se focalise précisément sur la problématique de sélection de portefeuilles de projets dans un environnement incertain et en présence d'interactions.

Pour atteindre cet objectif, nous allons scinder ce travail en trois chapitres. Après une introduction générale, le premier chapitre présentera le cadre général de l'étude, notamment en définissant les concepts clés et en réalisant une revue de la littérature des méthodes de

sélection de portefeuilles de projets existantes, ce qui nous permettra de préciser le contexte dans lequel nous proposerons une nouvelle méthode. Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la méthodologie adoptée. Le troisième chapitre illustrera cette méthodologie à travers un exemple didactique, avant de finir par une conclusion générale de l'étude.

CHAPITRE 1

CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE

Ce chapitre vise à éclairer les notions clés et à présenter les objectifs de l'étude. Ainsi, de manière détaillée, nous allons d'abord parler de la gestion de portefeuille, ensuite expliquer la notion de sélection de portefeuilles de projets, puis détailler la typologie des méthodes de sélection de portefeuilles et enfin présenter la revue de la littérature et les objectifs spécifiques de la recherche.

1.1 GESTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS

1.1.1 Le portefeuille de projets

D'un point de vue définitionnel, un portefeuille de projets est un ensemble de projets, de programmes ou de portefeuilles secondaires gérés sous forme d'un groupe au sein d'une organisation dans le but d'atteindre des objectifs stratégiques (Project Management Institute, 2017). En d'autres termes, il désigne, en quelque sorte, une matérialisation des plans futurs d'une entité, ainsi que des investissements à réaliser.

En outre, Fernez-Walch, Gidel et Romon (2004) définissent le portefeuille de projets comme un ensemble de projets en concurrence, dont les éléments ont les caractéristiques suivantes :

- Ils sont quantifiables ;
- Ils sont indépendants ou interdépendants ;
- Leurs objectifs peuvent être liés ou non ;

- Ils sont en compétition pour tout ou une partie d'un ensemble de ressources limitées.

Une organisation peut avoir plusieurs portefeuilles, chacun étant défini par des stratégies, des objectifs organisationnels uniques ou différents. Ainsi, la construction d'un portefeuille se fait de façon équilibrée en fonction des types de projets, du risque qu'ils représentent et de leur classement selon des critères précis, notamment leur alignement avec les plans futurs de ladite organisation (Gray, Langevin et Larson, 2007).

À l'instar des projets et des programmes, les portefeuilles ont également une durée de vie, mais elle reste plus longue et requiert une plus grande attention de la part de la direction. La clôture d'un portefeuille peut avoir lieu lorsqu'il n'est plus nécessaire, lorsque les objectifs visés ont été atteints ou lorsque les éléments du portefeuille sont déplacés vers un autre portefeuille (Project Management Institute, 2017).

1.1.2 Historique de la gestion de portefeuille de projets

Au cours des années 1980, le management de projet a connu un essor fulgurant et un grand nombre d'entreprises ont dû adopter ses méthodes et principes. Ses outils étaient utilisés pour les projets pris individuellement. Mais avec le temps, ils se sont répandus dans presque tous les secteurs d'activité. Par ailleurs, la quête de la valeur ajoutée et les progrès de la R-D ont entraîné une augmentation du nombre et de la variété des projets à gérer simultanément, et cette complexification dans la gestion des projets a précipité l'utilisation des modèles de plus en plus complets. Au début des années 90, les études se sont prolongées à l'ensemble des projets en cours au sein d'une organisation et un intérêt particulier est donné au portefeuille de projets, considéré comme une unité de gestion globale, aux interactions et aux relations entre les divers projets (Lahaye, 2009).

La problématique de la prise en compte de tous ces éléments relatifs au portefeuille de projets de manière coordonnée est la base de la naissance de la gestion de portefeuille. En effet, ce terme a commencé à prendre de l'ampleur depuis son utilisation par Markowitz en

1952 (Mashayekhi et Omrani, 2016). Il convient de noter que ce dernier appliquait la gestion de portefeuille aux portefeuilles financiers. Ce type de portefeuille est différent d'un portefeuille de projets. En effet, un portefeuille financier vise à optimiser les rendements des investissements et à minimiser les risques financiers d'une organisation, tandis qu'un portefeuille de projets vise à aligner les projets sur les objectifs stratégiques de l'organisation et à optimiser l'utilisation des ressources. De plus, le portefeuille financier comprend des actifs financiers en proportions variées, alors que le portefeuille de projets comprend des projets spécifiques. Par ailleurs, la gestion d'un portefeuille financier repose sur des analyses financières et des stratégies de marché, alors que la gestion d'un portefeuille de projets repose sur des méthodologies de gestion de projet et de gestion stratégique. Si dans un portefeuille financier, le rendement et le risque sont des critères de choix essentiels, dans un portefeuille de projets, la gestion des risques concerne surtout les risques liés à la réalisation des projets et à l'atteinte des objectifs organisationnels. La gestion de portefeuille financier diffère donc fondamentalement de la gestion de portefeuille de projets quant à ces objectifs.

L'application de la gestion de portefeuille à l'informatique a été l'œuvre de McFarlen en 1981 (Jafarzadeh, Akbari et Abedin, 2018). Après ces premiers pas, avec les progrès technologiques et la quête d'idées innovantes, d'importantes avancées ont été notées jusqu'à nos jours en termes de théories et d'applications destinées à choisir les meilleurs portefeuilles de projets.

Selon Cooper et al. (1997), il y a eu un certain nombre de problèmes à l'origine de la gestion de portefeuille ou de l'approche par portefeuilles :

- **L'inadéquation des projets avec les objectifs de l'organisation :** Les projets ne sont pas en adéquation avec les orientations stratégiques ou encore la priorité des projets ne correspond pas avec les priorités stratégiques de l'organisation.
- **L'asymétrie entre les projets sélectionnés et la capacité organisationnelle :** On peut constater tardivement que le nombre de projets à réaliser est trop élevé et donc qu'il ne

reflète pas la capacité dont dispose l'organisation en termes de ressources. Par conséquent, on fait face à des dépassements de coûts.

- **La faible qualité des projets :** Il peut arriver que certains projets n'apportent pas de valeur ajoutée à l'organisation, en raison de leur faible qualité.
- **Le manque de synergie entre les projets :** Une considération des projets d'une manière séparée traduit une certaine absence de vision systémique de l'ensemble des projets. Cela a pour effet de minimiser la synergie entre les projets, ou même de choisir des projets ayant un impact préjudiciable sur d'autres.
- **Les déséquilibres occasionnés par le choix des projets :** La sélection des projets, vu son caractère individuel, peut avoir pour conséquence une négligence de l'effet de diversification, et ainsi créer des déséquilibres dans la composition globale des projets au niveau de l'organisation. Pour rappel, en faisant l'équivalence avec la théorie de Markowitz en finance, la diversification se traduit par le fait que les différents projets constituant un portefeuille ne peuvent être sélectionnés individuellement. À la place, ils doivent être choisis en corrélation avec les autres projets du portefeuille.

1.1.3 Objectifs de la gestion de portefeuille de projets

La gestion de portefeuille est, selon le PMI¹ (2017, p.543), « la gestion centralisée d'un ou de plusieurs portefeuilles stratégiques ». Ainsi, elle vise à ce que les projets ne soient pas exécutés isolément, mais plutôt qu'ils soient sélectionnés et réalisés tout en étant en phase avec les orientations stratégiques de l'organisation.

Selon Mohagheghi, Mousavi, Antuchevičienė et Mojtahedi (2019), la gestion de portefeuille a comme objectifs principaux :

- L'atteinte des objectifs organisationnels ;

¹ PMI : Project Management Institute

- L'accroissement du retour sur investissement généré par les projets ;
- La maximisation des avantages non financiers ;
- La recherche du portefeuille équilibré ;
- L'obtention d'une hiérarchisation des projets en relation avec les enjeux stratégiques de l'organisation ;
- Le maintien d'un équilibre entre les risques liés aux projets et les bénéfices engendrés par ces derniers ;
- La gestion de l'incertitude et de l'imprécision ;
- Une surveillance permanente et l'assurance d'un portefeuille de projets sain.

Du point de vue de la composition, la gestion de portefeuille est, selon Archer et Ghasemzadeh (1999), constituée de trois éléments, à savoir :

- **La phase de consolidation stratégique :** La sélection d'un portefeuille de projets s'accompagne inéluctablement d'impacts stratégiques sur les objectifs d'une organisation. De ce fait, il nécessite au préalable de connaître l'environnement interne et externe de l'organisation, ainsi que ses forces et faiblesses, afin de déterminer son orientation stratégique. C'est sur cette base que l'on parvient à connaître l'état actuel de l'organisation et à pouvoir définir un plan d'actions futures, qui servira de base au choix des projets.
- **La phase d'évaluation individuelle des projets :** Dans un environnement caractérisé par des ressources limitées, les projets doivent être choisis sur la base de leur pertinence. En effet, beaucoup de projets peuvent être susceptibles de figurer dans le portefeuille de projets d'une organisation. Néanmoins, plus le nombre de projets est élevé, plus le processus de sélection devient complexe. Par conséquent,

une présélection des projets pris individuellement est nécessaire afin de supprimer au préalable ceux qui ne s'inscrivent pas dans la vision stratégique de l'organisation.

- **La phase de sélection du portefeuille :** La sélection de portefeuille de projets constitue la dernière étape du processus de gestion de portefeuille. Elle est décrite dans la partie suivante.

Ces étapes sont suivies par la phase d'ajustement dont le but est de parvenir à une certaine forme d'équilibre entre les projets sélectionnés. La figure 1, ci-dessous, permet d'illustrer ces différentes étapes, matérialisées par les formes à contours épais. Les formes ovales font référence aux phases de pré-traitement. Dans le cadre de notre étude, ce sont les étapes encadrées en rouge qui seront au centre de nos préoccupations.

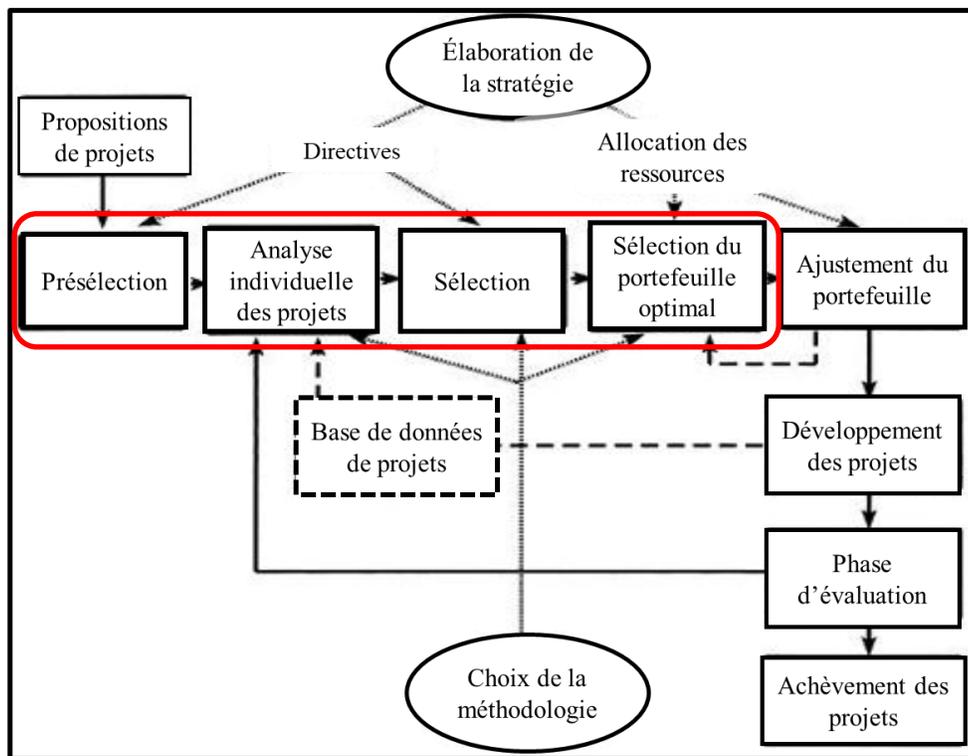


Figure 1 : Modèle de gestion de portefeuille d'Archer et Ghasemzadeh (1999)

1.2 SÉLECTION DU PORTEFEUILLE DE PROJETS (SPP)

Étant caractérisées par des ressources limitées, les organisations font face à un défi permanent, celui de décider des projets à prendre en priorité de sorte que leur productivité et leur rentabilité soient le mieux garanties. En effet, il est clair que les idées de projets sont toujours existantes et souvent pertinentes, mais elles ne peuvent pas toutes être mises en œuvre. C'est ce qui impose un choix éclairé visant à ne retenir que les projets dont la réussite a un impact significatif sur la finalité de l'organisation. Ceci est l'objet de la sélection de portefeuilles de projets ou SPP (Cooper, Edgett et Kleinschmidt, 2001).

1.2.1 Définition de la SPP

La sélection de portefeuilles de projets est un processus de prise de décision visant à choisir, parmi les projets candidats, un ensemble de projets qui devront renforcer les avantages concurrentiels d'une organisation et participer ainsi à l'atteinte de ses objectifs stratégiques (Bai, Bai et An, 2022). Ajoutons à cela, selon Archer et al. (1999), elle reste une activité périodique et continue qui consiste à choisir, parmi les propositions de projets disponibles et ceux en cours, un portefeuille répondant aux objectifs visés par l'organisation d'une manière souhaitable sans dépasser les ressources disponibles ou violer d'autres contraintes. La notion périodique de la sélection de portefeuilles est à l'origine de l'existence des choix statique et dynamique.

Par ailleurs, la sélection constitue une étape assez complexe de la gestion de portefeuille, en ce sens qu'elle implique d'évaluer chaque projet avec des méthodes bien définies, de les prioriser et enfin de sélectionner ceux qu'on doit conserver ou écarter. En outre, les projets d'un portefeuille donné ont souvent des interdépendances, ce qui fait que l'exécution d'un projet peut en impacter un autre. Cette dépendance peut être statistique, exprimée à l'aide de coefficients de corrélation des paires de projets sous la forme de quantités aléatoires, ou fonctionnelle avec l'exemple d'un projet qui ne peut être choisi que si un autre projet particulier figure déjà dans le portefeuille (Fotr, Plevný, Švecová et Vacík,

2013). Ceci fait qu'une analyse minutieuse des projets pris individuellement est d'abord nécessaire, sans pour autant négliger une étude des interactions qui pourraient exister entre eux.

1.2.2 Différence entre sélection de portefeuille et sélection de projets

Le modèle de sélection de portefeuille de projets qui sera proposé dans ce travail utilisera une approche qui impliquera dans un premier temps une sélection de projets suivie d'une seconde phase qui consistera à choisir les meilleurs projets à inclure dans le portefeuille. Ainsi, nous allons parler tantôt de sélection de projets, tantôt de sélection de portefeuille de projets. Vu cette présence du concept de sélection de projets dans le présent travail, il devient dès lors pertinent de l'élucider. En effet, cela est d'autant plus nécessaire vu que la sélection de projets et celle de portefeuille sont deux notions distinctes et fort complémentaires, notamment dans le cas d'une approche par portefeuilles, comme pour cette étude.

La sélection de projets fait généralement référence à l'évaluation et au classement de projets individuels en fonction de leurs mérites propres, souvent sans prendre en compte le contexte plus large des autres projets en concurrence pour les mêmes ressources. Un exemple typique est la méthode de notation où les projets sont classés indépendamment en fonction de leurs scores individuels, et les financements sont alloués en commençant par le projet le mieux classé jusqu'à épuisement du budget. Dans ce scénario, la sélection d'un projet n'influence pas directement la sélection des autres. Si l'évaluation des projets est parfois unicritère comme dans le cas où la sélection se fait à l'aide d'une variable financière comme la Valeur Actuelle Nette (VAN), la plupart du temps, la sélection se traduit par un problème multicritère, engendrant des soucis de concurrence et de complémentarité entre les projets et faisant intervenir des critères quantitatifs (contribution monétaire, part de marché) et qualitatifs (niveau de risque, impact environnemental, contribution sociale) (Cooper, Edgett et Kleinschmidt, 1998). La sélection de projets vise principalement à assurer la réalisation

des projets en se concentrant sur l'efficacité, le respect des budgets, des échéances et des spécifications techniques.

À l'inverse, la sélection de portefeuilles de projets adopte une perspective plus globale, en évaluant les projets non seulement de manière individuelle, mais aussi en tant qu'éléments d'un portefeuille. Cette approche prend en compte les interdépendances entre les projets, les synergies potentielles et leur contribution collective aux objectifs stratégiques de l'organisation. Par conséquent, le choix d'un projet particulier peut avoir un impact significatif sur la viabilité ou la valeur des autres projets du portefeuille. Par exemple, si un portefeuille comporte déjà un projet à haut risque, l'ajout d'un autre projet à haut risque pourrait être réévalué en raison de l'exposition globale aux risques.

Ainsi, plusieurs éléments distinctifs caractérisent la sélection de portefeuilles de projets par rapport à la sélection de projets individuels :

- **Synergies et interactions** : La sélection de portefeuilles de projets reconnaît que les projets d'un même portefeuille peuvent être interdépendants, partageant des ressources ou influençant les résultats des uns et des autres. Ces interactions doivent être soigneusement analysées, car elles peuvent générer des synergies positives (où le résultat global dépasse la somme des projets individuels) ou des impacts négatifs.
- **Alignement stratégique** : Alors que la sélection de projets individuels prend en compte l'adéquation de chaque projet avec les objectifs stratégiques, la sélection de portefeuilles met davantage l'accent sur l'alignement global des projets avec les priorités stratégiques de l'organisation. Cela exige une compréhension approfondie de la manière dont chaque projet contribue à la vision stratégique de l'organisation.
- **Équilibre et diversification** : Un portefeuille de projets équilibré intègre divers paramètres tels que la durée des projets, les niveaux de risque, l'allocation des ressources et l'adéquation stratégique à travers différents objectifs organisationnels. L'objectif est de diversifier le portefeuille afin de réduire les risques et d'optimiser les chances d'atteindre les objectifs stratégiques globaux.

En conclusion, la sélection de projets se concentre sur l'évaluation des mérites individuels des projets, tandis que la sélection de portefeuilles de projets met en avant l'alignement stratégique, les interdépendances et l'équilibre global des projets au sein du portefeuille, dans le but de réaliser les objectifs stratégiques de l'organisation.

1.2.3 Typologie des méthodes de sélection de portefeuille

Le processus de sélection de portefeuilles de projets implique la prise en compte de cinq (5) variables dichotomiques (Urli et Terrien, 2010).

1.2.3.1 Unicritère vs Multicritère

La SPP fait intervenir un ou plusieurs critères. Si le choix se fonde sur un seul critère, on parle de problème unicritère. Si toutefois la décision implique plusieurs critères, il s'agit d'un problème multicritère. Dans le cas unicritère, l'évaluation des critères se fait en fonction d'un seul et unique critère et peut se résumer en un problème d'optimisation, comme l'exemple de la programmation linéaire (Luenberger, 1998).

Les méthodes multicritères sont utilisées pour la prise de décision impliquant plusieurs critères souvent conflictuels. Elles peuvent être classifiées en fonction de leur approche opérationnelle, telle que décrite par Roy (1985) et approfondie par Bouyssou et al. (1993) comme suit :

- Approche du critère unique de synthèse (agrégation totale) : Cette approche cherche à réduire les multiples critères en un seul critère de synthèse, éliminant ainsi toute incomparabilité entre les alternatives. Les méthodes principales dans cette approche sont :
 - MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) qui vise à modéliser les préférences par des fonctions d'utilité globales ;
 - SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) qui utilise des scores pondérés pour chaque critère ;
 - UTA (UTilité Additive) qui construit des fonctions d'utilité additive ;

- TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) qui classe les alternatives en fonction de leur proximité à une solution idéale ;
 - AHP (*Analytic Hierarchy Process*) qui décompose le problème en une hiérarchie de critères et sous-critères, avec des comparaisons par paires ;
 - G.P. (*Goal Programming*) qui optimise les solutions en fonction des objectifs multiples.
- Approche du surclassement de synthèse (agrégation partielle) : Cette approche accepte l'incomparabilité en construisant des relations de surclassement (ou dominance) entre les alternatives. Les préférences sont représentées par des relations binaires qui ne sont pas nécessairement transitives ou complètes. Les plus connues de ces méthodes sont :
- ELECTRE (ÉLImination Et Choix Traduisant la RÉalité) qui vise à établir des relations de surclassement basées sur des indices de concordance et de discordance ;
 - PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) qui classe les alternatives en utilisant des flux de préférence positifs et négatifs.
- Approche du jugement local interactif avec itérations essai-erreur (agrégation locale) : Cette approche se concentre sur l'interaction continue avec le décideur, alternant entre les calculs des compromis et les dialogues pour affiner les préférences. Elle est souvent associée à la Programmation Mathématique à Objectifs Multiples (PMOM).

Chaque approche offre des outils et des techniques pour traiter les préférences et les décisions complexes de manière adaptée aux contextes spécifiques. Les méthodes de synthèse totale (comme MAUT et AHP) offrent des solutions globales en combinant les critères, tandis que les méthodes de surclassement (comme Electre et Promethee) permettent une comparaison plus flexible des alternatives. Les méthodes interactives apportent des solutions adaptatives et robustes aux défis de la décision multicritère.

1.2.3.2 Certitude vs Incertitude

La notion de certitude ou d'incertitude s'applique aux données disponibles du problème. En effet, dans tout processus de sélection de portefeuilles de projets, on note l'existence de deux principaux facteurs qui le rendent plus complexe. Le premier est celui des limites et des contraintes imposées au processus, et le second est l'incertitude relative à l'évaluation même des projets (Mavrotas et Pechak, 2013a, 2013b). Ce dernier traduit la difficulté de quantifier et/ou qualifier avec justesse les données liées aux projets. L'origine de l'imperfection de l'information peut avoir plusieurs sources et on considère généralement (Bouchon-Meunier, Yager et Zadeh, 1995) les 3 sources suivantes :

- **L'incertitude** : Elle est liée à un manque de connaissance ou à une ignorance quant à la véracité d'une information ou d'un événement. Elle représente la difficulté à prédire l'occurrence exacte d'un événement ou à établir avec certitude la vérité d'une proposition. La prise en compte repose sur la théorie des probabilités, utilisée pour modéliser l'incertitude aléatoire lorsque les probabilités des événements sont connues ou sur la théorie des possibilités lorsque les probabilités sont difficiles à définir.

La modélisation par la théorie des probabilités est l'approche la plus utilisée jusqu'à présent et concerne les incertitudes de nature aléatoire ou stochastique. En effet, elle constitue un moyen simple et performant, et représente l'incertitude par une distribution de probabilités. L'optimisation stochastique couvre un ensemble d'outils appliqués pour maximiser ou minimiser une fonction objective tout en prenant en considérant le caractère aléatoire (Davoudabadi, Mousavi, Šaparauskas et Gitinavard, 2019). Pour cette théorie, la méthode la plus utilisée est la simulation Monte Carlo. Cette dernière remonte au 18e siècle avec le problème de l'aiguille de Buffon. En effet, elle était utilisée dans le but de calculer la valeur de π , basée sur la réalisation d'expériences répétées. Sinon l'utilisation de la méthode a pris de l'ampleur à partir des années 1950 en se propageant dans plusieurs domaines (finance, physique, chimie, statistiques, etc) pour occuper aujourd'hui une place prépondérante au sein des outils destinés à modéliser l'incertitude dans le domaine de la

gestion de projet (Mavrotas et Pechak, 2013b). La simulation Monte Carlo consiste en un processus itératif qui vise à analyser les permutations stochastiques des incertitudes. Dans ce cas, l'analyse des incertitudes est effectuée à l'aide d'une fonction de distribution de probabilités appropriée. D'un point de vue pratique, il permet de réaliser un certain nombre d'itérations à la sortie desquelles une variable type, nommée variable de décision ou output, est extraite de chaque distribution de probabilités faite sur les inputs ou variables d'entrée.

Par ailleurs, la forme de distribution des variables tirées de façon aléatoire varie d'une variable à l'autre selon le degré de précision de l'information dont disposent les décideurs sur ces variables. Vu l'imprécision notée sur les informations, la simulation servira à la détermination d'un intervalle de confiance autour d'une valeur attendue, ce qui aboutira ainsi à l'établissement d'une mesure du risque liée à la dispersion de la distribution. Le but de la simulation Monte Carlo est alors de modéliser l'incertitude des paramètres utilisés par une distribution de probabilités.

La particularité de la simulation Monte Carlo réside dans le fait qu'elle effectue plusieurs itérations distinctes afin de pouvoir obtenir plusieurs résultats différents qui seront assez suffisants pour en ressortir une série de distributions de valeurs d'issues possibles. Cela impose alors de déterminer un nombre spécifique d'itérations (100, 500, 1000, etc).

Les formes de distribution les plus souvent utilisées sont :

- La distribution normale : Elle est symétrique et permet de décrire la variation autour de la moyenne en définissant la moyenne et l'écart-type de cette variation. Les valeurs les plus proches de la moyenne sont les plus probables. Par ailleurs, elle constitue une bonne approximation pour de nombreuses distributions de lois (mais pas pour toutes) et, de surcroît, la base de nombreuses méthodes d'analyse statistique.
- La distribution normale logarithmique : Encore appelée distribution log-normale, elle permet d'avoir des valeurs toujours positives. Elle est utilisée pour représenter la distribution d'une variable aléatoire résultant de la multiplication d'un grand nombre de petits effets indépendants entre eux. Elle est généralement appliquée en finance

quantitative (pour les cours des actions par exemple) et en biologie (taille d'un animal).

- La distribution uniforme : Il s'agit d'une distribution dont la probabilité est constante sur un intervalle. En d'autres termes, elle permet de générer des événements de manière équiprobable. Elle est utilisée au niveau des jeux de hasard ou encore pour la détermination du coût de production d'un produit (par exemple) dans le secteur de la production.

Ces distributions précitées concernent les principales, mais il en existe d'autres également.

- **L'imprécision** : Elle concerne le flou de l'information. Elle survient lorsque les données ou les descriptions ne sont pas suffisamment détaillées ou exactes, par exemple avec des variables linguistiques (une température "chaude"). La logique floue permet de modéliser des informations imprécises en utilisant des ensembles flous et des degrés d'appartenance, représentant des valeurs dans une plage plutôt que des valeurs précises. Dans un contexte de SPP, l'imprécision des informations et le manque de données adéquates imposent le recours aux idées des experts. De nombreuses études ont fait usage de la théorie des ensembles flous pour traiter l'incertitude (Ebrahimnejad, Mousavi, Tavakkoli-Moghaddam, Hashemi et Vahdani, 2012). Toutefois, au fil des années, une amélioration de la théorie des ensembles a été motivée par l'évolution des problèmes rencontrés dans le monde réel. Dans ce sens, plusieurs extensions du modèle ont été proposées, comme les ensembles flous de type 2 qui utilisent une fonction d'appartenance floue. Néanmoins, la complexité de ce type de méthode a entraîné l'utilisation de nouveaux modèles flous dits de type 2 à intervalles, jugés plus simples (Mendel, John et Liu, 2006).

- **L'incomplétude** : Elle fait référence à l'absence d'une partie ou de la totalité des informations nécessaires pour prendre une décision ou modéliser un phénomène. Cela reflète une lacune dans les données disponibles ou dans la modélisation elle-même. On peut recourir à une approche par scénarios ou à la théorie des croyances de Dempster-Shafer.

De plus, ces trois concepts peuvent se superposer dans la modélisation des systèmes complexes. Par exemple, une information peut être à la fois imprécise et incertaine, ou une situation peut être caractérisée par une incertitude résultant d'une incomplétude des données disponibles. En conclusion, pour traiter les imperfections de l'information, les principales approches utilisées concernent les méthodes stochastiques, floues et grises, auxquelles on ajoute la théorie de l'incertitude de Liu introduite en 2007 (Mohagheghi et al., 2019).

1.2.3.3 Statique vs Dynamique

Selon Eilat, Golany et Shtub (2006), les problèmes de SPP peuvent être rangés en deux grandes catégories : les problèmes statiques et les problèmes dynamiques.

Pour le cas dynamique, on trouve dans le portefeuille, à différents instants, des projets qui sont déjà entamés, dits projets actifs, et un ensemble de propositions de projets appelées projets candidats.

Toutefois, pour le cas statique, au moment de la sélection, on essaie de voir seulement entre les projets actifs lesquels continuer ou interrompre, sans inclusion de nouveaux projets.

1.2.3.4 Interaction vs Sans interaction

Dans de nombreux cas, la prise en compte des interactions (synergies ou cannibalisation) entre projets est essentielle. Ignorer ces interactions revient à gérer des projets indépendamment les uns des autres plutôt que de considérer un portefeuille intégré,

ce qui pourrait entraîner un biais en faveur des projets plus risqués ou à long terme. Concernant les formes d'interactions, Gear et Cowie (1980) en ont fourni une caractérisation très utilisée dans la littérature. En effet, d'après eux, on distingue les interactions internes et les interactions externes. Dans le cadre de notre analyse, nous allons nous intéresser aux interactions internes, c'est-à-dire celles qui résultent de facteurs appartenant aux projets mêmes (les ressources humaines, les coûts, le TRI, la VAN). Néanmoins, les interactions externes sont celles causées par des changements sociaux ou économiques.

Il existe plusieurs typologies pour quantifier les interactions internes entre projets. En effet, les auteurs Gear et al. (1980) et Fahrni et Spätig (1990) proposent une classification des interactions internes en trois (3) grandes catégories :

- **Interactions au niveau des coûts ou des ressources :** Celles-ci sont présentes dans un ensemble de projets lorsque le coût total des projets est différent de la somme des coûts individuels, c'est-à-dire lorsque les projets partagent un nombre limité de ressources.
- **Interactions au niveau technique ou de l'impact du résultat :** ce type d'interactions est noté lorsque le succès ou l'échec d'un projet agit significativement sur l'accélération ou le retard de la progression d'un ou de plusieurs projets. Autrement dit, la probabilité de succès d'un projet donné dépend du résultat (échec ou succès) d'un ou de plusieurs projets. Il s'agit donc d'un risque en d'autres termes.

Interactions au niveau des bénéfices ou des rendements : Ce type d'interactions est noté lorsque les conséquences de la réalisation de projets en termes de volume de ventes, de bénéfices, de coûts, etc., ne sont pas additives. Dans ce cas, les projets sont dits complémentaires ou compétitifs. En effet, supposons la somme des chiffres d'affaires réalisés par les projets pris individuellement est inférieure au chiffre d'affaires de la somme des projets. Dans ce cas, l'accroissement du chiffre d'affaires est dû à la présence de synergies entre

les projets. Dans le cas inverse, si le résultat net est moins élevé que la somme des résultats pris isolément, c'est l'effet de cannibalisation. En d'autres termes, on parle de concurrence entre les projets.

L'approche portefeuille de projets permet donc d'éviter que deux projets performants individuellement ne perdent leur efficacité lorsqu'ils sont combinés, ce qui pourrait être contre-productif pour l'organisation. En intégrant la synergie, les organisations peuvent tirer des bénéfices supplémentaires grâce à la qualité des interactions au sein du portefeuille.

Il est possible de modéliser ces interactions efficacement à l'aide de matrices d'interactions, où la diagonale représente la contribution individuelle des projets et les valeurs hors diagonale représentent les contributions dues aux interactions entre projets (Schmidt, 1993). Cette approche permet d'évaluer les contributions en ressources, impacts ou bénéfices, qu'elles soient positives, négatives ou nulles. Ainsi, dans le cadre d'un portefeuille, il est crucial non seulement de considérer la somme des valeurs des critères, mais aussi d'ajuster ces valeurs en tenant compte des effets d'interaction.

1.2.3.5 Attribution partielle vs Attribution totale des ressources

L'aspect financier est l'un des facteurs clés dans le processus de SPP. En effet, tout projet a une valeur financière, un coût. Dans les données utilisées lors de la modélisation, l'attribution des fonds pour le projet peut être soit partielle, soit totale. Un exemple d'attribution partielle des fonds est la décision de ne donner à un projet qu'un certain pourcentage de son coût. En fonction des résultats de l'étude, le projet peut être arrêté ou prolongé et il recevra alors d'autres fonds, partiellement ou totalement. L'article de Santamaría, Barge-Gil et Modrego (2010) est un exemple d'application où l'allocation des ressources est partielle.

1.3 REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LA SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS

La sélection de portefeuilles de projets (SPP) est un problème complexe de décision stratégique et au fil des ans, de nombreuses méthodes ont été développées pour traiter les problèmes de SPP (Şahin Zorluoğlu et Kabak, 2021). Récemment, trois revues de littérature ont été publiées pour approfondir ce sujet. De Souza, Dos Santos, Soma et da Silva (2021) ont effectué une analyse détaillée de 66 articles, en se concentrant sur les portefeuilles de R-D, ce qui limite l'application de leurs résultats à d'autres domaines. Zorluoglu et Kabak (2021) ont réalisé une revue systématique de 253 articles, en les analysant avec un schéma de classification basé sur trois catégories : le type d'étude, les méthodes utilisées pour le problème de SPP et les types de projets. Liesiö, Salo, Keisler et Morton (2021) se sont concentrés sur les développements récents et les perspectives futures de l'analyse des décisions de portefeuille (PDA²). La PDA englobe l'ensemble des théories, méthodes et pratiques qui aident les décideurs à effectuer des sélections multiples parmi un ensemble d'options, en utilisant des modèles mathématiques qui tiennent compte des contraintes, préférences et incertitudes. Cette revue examine les avancées récentes dans la recherche en PDA, basée sur un échantillon représentatif de 148 articles publiés dans des revues de recherche opérationnelle et de sciences de gestion entre 2006 et 2019. L'analyse met en lumière le fait que la PDA est un domaine de recherche dynamique et lié à la pratique, car une part importante des articles présente des applications réelles ou des exemples illustratifs motivés par ces applications.

Dans cette partie, nous allons passer en revue les travaux sur divers aspects relatifs à notre champ d'étude. D'abord, nous allons décrire les principales approches de sélection de portefeuilles de projets et les méthodes correspondantes. Ensuite, nous allons présenter les différents critères de choix des portefeuilles de projets proposés dans la littérature scientifique

² Portfolio Decision Analysis

1.3.1 Les méthodes de sélection de portefeuille de projets

La sélection de portefeuilles de projets (SPP) a suscité une attention croissante, tant dans la pratique que dans le domaine de la recherche académique. Malgré le développement d'un grand nombre de méthodes et d'algorithmes destinés à étudier les problèmes de SPP, il faut noter l'inexistence d'un consensus sur la classification de ces méthodes ou plutôt reconnaître la diversité des typologies possibles compte tenu des différentes variables permettant la caractérisation des méthodes. Néanmoins, il est unanimement reconnu que les problèmes de SPP impliquent naturellement des critères multiples et généralement conflictuels et souvent incommensurables.

La sélection de portefeuilles de projets est un procédé constitué par un certain nombre d'étapes. Ainsi, diverses méthodes peuvent être adoptées dans ce sens. En effet, dans la littérature, on trouve une panoplie de techniques de résolution des problèmes de SPP.

Nombreux sont les ouvrages qui traitent des méthodes multicritères de prise de décision multicritères (MCDM : *Multi Criteria Decision Making*). On peut relier le cas de Zeleny (Zeleny, 1998) qui met l'accent sur le fait que la prise de décision se base, dans la réalité, sur du multicritère. En effet, la sélection d'un portefeuille est basée sur la réalité intrinsèque des projets, qui ne reposent jamais sur un seul et unique critère. Il s'impose alors d'être fidèle à cette réalité. Ainsi, vu l'importance que revêt cette prise de décision sur la bonne marche d'une organisation, il convient de donner une attention particulière à ce processus. Ceci part dans le sens d'éviter autant que possible une analyse subjective.

Les méthodes multicritères de SPP reposent sur différentes approches. En ce sens, Urli et Terrien (2010) ont proposé une classification de ces méthodes en deux approches (figure 2).

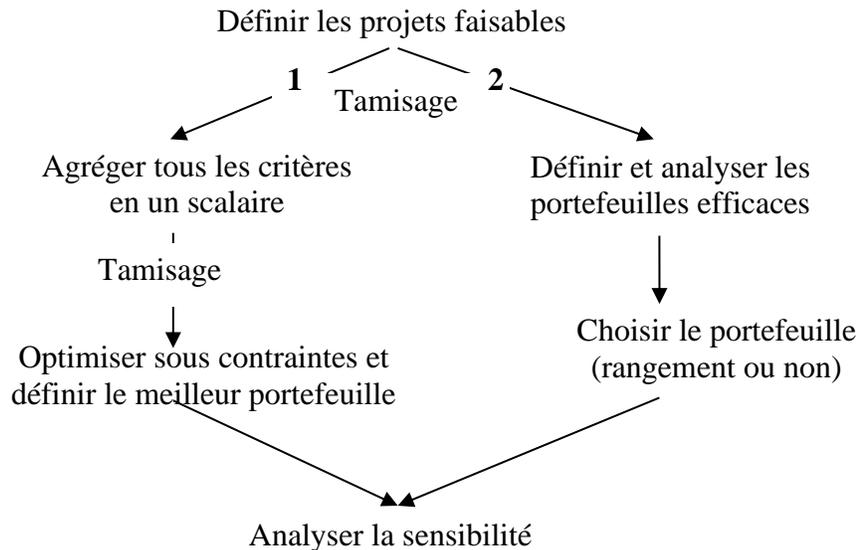


Figure 2 : Les grandes approches de SPP (Urli et Terrien, 2010)

1.3.1.1 L'approche 'Évaluation de projets'

Cette première approche s'organise en deux phases. D'abord, il s'agit d'effectuer une évaluation individuelle des projets, sur la base de critères bien définis au préalable. Ainsi, on obtient un certain nombre de projets candidats. Par la suite, avec ces derniers, il restera à définir comment les intégrer dans le portefeuille. En effet, certains auteurs définissent un score individuel permettant de mesurer l'importance de chaque projet dans le portefeuille, tandis que d'autres font recours à des méthodes qui génèrent un classement des projets en fonction de leur priorité dans le portefeuille, à l'image du processus de réseau analytique (*Analytic Network Process*), connu sous l'appellation ANP (Zhu, Dou et Sarkis, 2010) et de l'analyse multicritère hiérarchique ou AHP (Szilágyi, Sebestyén et Tóth, 2020). Cette approche est la plus prolifique dans la littérature scientifique comme le montre une synthèse récente réalisée par Kandakoglu, Walther et Ben Amor (2023) des articles publiés dans les

bases de données *Scopus* et *Web of Science* pour les publications de janvier 2005 à février 2022 (tableau 1). En effet, les articles retenus contenaient des termes liés aux portefeuilles de projets et à l'évaluation multicritère (MCDM). Après deux étapes de filtrage manuel pour éliminer les doublons et les études non pertinentes, 56 articles ont été finalement sélectionnés par ces auteurs et 46 de ces 56 articles concernaient cette première approche.

Tableau 1 : Approche 'Évaluation de projets' des méthodes de SPP, tiré de Kandakoglu et al. (2023)

Méthode MCDM	Technique d'optimisation	Références
ANP	–	Zhu et al. (2010)
AHP et ANP	–	Aragonés-Beltrán et al. (2014)
DEMATEL et ANP	–	Jeng et Huang (2015)
Théorie grise—TOPSIS	–	Bhattacharyya (2015)
DEMATEL et MABAC	–	Debnath et al. (2017)
Moyenne pondérée floue	–	Relich and Pawlewski (2017)
AHP et TOPSIS	–	Ahriz et al. (2018)
AHP et TOPSIS	–	Hashemizadeh et Ju (2019)
MAVT	–	Parreiras et al. (2019)
AHP	–	Szilágyi et al. (2020)
YODA	–	Kurttila et al. (2020)
TOPSIS flou	–	Ma et al. (2020)
AHP et WASPAS	–	Rudnik et al. (2021)
Rapport bénéfice/coût	–	Frej et al. (2021)
DEMATEL et Système d'inférence floue	–	Hajiagha et al. (2022)
ANP	Programmation par objectifs	Lee et Kim (2001)
ELECTRE-TRI	IP	Mavrotas et al. (2003)
PROMETHEE	IP	Mavrotas et al. (2006)
Fonction d'utilité additive	IP	Mavrotas et al. (2008)
TOPSIS	MOLP	Zandi et Tavana (2010)
PROMETHEE	IP	Shakhsi-Niaei et al. (2011)

Somme pondérée	Programmation non-linéaire 0-1	de Almeida et Duarte (2011)
MAUT	MONLP	Yu et al. (2012)
PROMETHEE	IP	Vetschera et de Almeida (2012)
PROMETHEE	IP	de Almeida et Vetschera (2012)
DEA et TOPSIS	Algorithme de colonie d'abeilles artificielle (ABC)	Chang et Lee (2012)
PROMETHEE	IP	Mavrotas et Pechak (2013b)
PROMETHEE	IP	de Almeida et al. (2014b)
DEA TOPSIS	IP	Tavana et al. (2015)
MAUT	IP	Lopes et de Almeida (2015)
AHP	IP	Parvaneh et El-Sayegh (2016)
Fonction d'utilité additive	IP	Martins et al. (2017)
AHP floue et PROMETHEE	IP (algorithme génétique)	Wu et al. (2018)
DEA et ANP floue	Programmation non linéaire multi-objectifs	Sharifighazvini et al. (2018)
AHP floue et somme pondérée	Programmation non linéaire 0-1 (algorithme génétique)	Wu et al. (2019a)
AHP floue	Programmation non linéaire 0-1 (algorithme génétique)	Wu et al. (2019b)
AHP floue	MOLP	Tavana et al. (2019)
DEMATEL et ANP	MOLP	Raad et Shirazi (2020)
ANP floue	MONLP	Demircan Keskin (2020)
VIKOR	Programmation par objectifs	Zhang et al. (2020)
TOPSIS	IP	Tavana et al. (2020)
AHP	MOLP	Raad et al. (2020)
Méthode de la moyenne pondérée	IP	Mavrotas et Makryvelios (2021)
MACBETH	Programmation non linéaire 0-1	Delouyi et Ashrafi (2021)
AHP et SMART	IP	Guangul et al. (2021)
AHP floue et TOPSIS	IP	Ranjbar et al. (2022)

La limite de cette approche réside dans la prise en compte des préférences des décideurs. En effet, la définition d'une fonction score qui agrège ces dernières doit se baser sur des critères assez pertinents, alors qu'il n'existe pas de méthode consensuelle pour ce faire.

1.3.1.2 L'approche 'Évaluation du portefeuille'

Celle-ci se focalise sur l'évaluation multicritère du portefeuille, plutôt que sur une évaluation individuelle des projets (tableau 1). Pour cette approche, la décision à prendre concerne le portefeuille, et non le projet. On retrouve également deux phases dans cette approche. La première phase consiste à générer d'abord tous les portefeuilles efficaces sur la base de l'optimisation de contraintes spécifiques. Un portefeuille est dit efficace, s'il est non dominé ou de compromis, à l'image d'un portefeuille optimal au sens de Pareto. Par ailleurs, un portefeuille est dominé lorsque tous ses extrants sont moins performants que les extrants d'un autre portefeuille. Puis, dans la seconde phase de cette approche, il s'agira d'évaluer les portefeuilles afin de choisir le meilleur possible. Une autre particularité de cette approche est la possibilité de prendre en compte les interactions entre les projets dans la phase de sélection de portefeuille. Le tableau 2 présente des exemples d'applications.

Tableau 2 : Approche ‘Évaluation du portefeuille’ des méthodes de SPP, tiré de Kandakoglu et al. (2023)

Méthodes MCDM	Technique d'optimisation	Références
DEA	<i>Branch and Bound</i>	Eilat et al. (2006)
DEA	Métaheuristique	Urli et Terrien (2010)
DEA	Algorithme génétique de tri non dominé II	Tavana et al. (2013)
SMAA	Non spécifié	Yang et al. (2015)
TOPSIS	Optimisation par essaim de particules à objectifs multiples	Rad et Rowzan (2018)
TOPSIS	MONLP	Zhang et al. (2019)
SMAA	Algorithme de retour en arrière	Song et al. (2019)
SMAA	Algorithme de recuit génétique et simulé	Song et al. (2021)
TOPSIS et AHP	Algorithme génétique	Mussoi et Teive (2021)
Approche robuste de la priorité ordinale	OWA et C-Means flous	Mahmoudi et al. (2022)

Ajoutons à cela, les méthodes multicritères ont été appliquées par divers auteurs pour procéder à une sélection de portefeuille prenant en compte les interactions entre projets et/ou les incertitudes liées aux critères.

Eilat et al. (2006) effectuent une sélection de portefeuille de projets, en incluant dans l'étude les interactions entre les projets concernant les bénéfiques, les résultats et les ressources. La méthodologie est basée sur un modèle étendu d'Analyse par Enveloppement des Données (DEA) qui quantifie certains des concepts qualitatifs intégrés dans l'approche du tableau de bord prospectif (BSC). Elle comprend un schéma d'allocation des ressources, une évaluation des projets individuels, un filtrage des projets en fonction de leurs valeurs relatives et des exigences du portefeuille, et enfin une construction et une évaluation des portefeuilles. Le modèle DEA–BSC est utilisé en deux versions : d'abord pour évaluer les projets de R-D individuels, puis pour évaluer des portefeuilles de R-D alternatifs. Pour générer les alternatives de portefeuille, la technique du « *branch-and-bound* » est utilisée

mais elle présente une limite au niveau du nombre de projets. En effet, lorsque le nombre de projets est élevé, l'évaluation va rester compliquée, vu le nombre de portefeuilles qui en sera généré. En effet, dans un cas où l'on aurait N projets, il y aurait 2^N portefeuilles différents à évaluer et donc, à partir d'un certain nombre de projets, cette approche devient lourde et alors le recours aux métaheuristiques apparaît intéressant. Cela fait référence au principe d'explosion combinatoire présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Démonstration du principe d'explosion combinatoire

Projets	Portefeuilles
5	32
10	1024
20	1048576
30	1073741824
40	1,09951E+12

Lahaye (2009), dans son processus de SPP, utilise aussi la seconde approche et l'applique suivant une méthode à trois étapes. D'abord, il suit le processus Stage Gate de Cooper et al. (1997) pour le choix des projets à conserver dans le portefeuille initial. Ensuite, il se sert de la métaheuristique MOAMP (*Multiobjective Metaheuristic using an Adaptive Memory Procedure*) pour le choix des portefeuilles possibles. Enfin, il fait usage des méthodes PROMETHEE et Electre Tri lui permettant d'utiliser les critères et contraintes, et de parvenir à un compromis, représentant le portefeuille final. Concernant les aspects pris en compte dans ce travail, Lahaye (2009) prend en compte uniquement les interactions, et non les incertitudes. Ainsi, il a ouvert une brèche pour les études futures à travers une prise en compte de l'incertitude des données ou encore même de l'attribution partielle des fonds. Ceci donnerait, selon lui, une vision plus réaliste de la sélection de portefeuilles de projets.

Urli et al. (2007) proposent une méthode de SPP avec prise en compte des interactions entre les projets sous forme de matrices. La seconde approche, consistant à conserver tous

les critères, est également adoptée dans cette étude. Par ailleurs, la méthode MOAMP, qui appartient au groupe des méthodes de programmation non linéaire, est appliquée pour le choix des portefeuilles efficients. En effet, dans cette méthode, l'intérêt est de restreindre le nombre de portefeuilles prometteurs, de sorte à faciliter le choix aux décideurs.

Ghapanchi, Tavana, Khakbaz et Low (2012) utilisent la méthode DEA dans la sélection de portefeuilles de projets, en prenant en compte les incertitudes modélisées sous forme de variables floues, ainsi que les interactions entre les projets. Leur travail est appliqué au domaine des technologies de l'information.

Song, Yang et Xia (2019) ont pris en considération les incertitudes dans leur travail. Pour la méthode, ils ont choisi d'utiliser l'analyse stochastique d'acceptabilité multicritère, plus connue sous l'appellation SMAA. En effet, ils utilisent des valeurs stochastiques pour la modélisation des valeurs incertaines des critères et la distribution uniforme a été appliquée pour capturer les poids inconnus. L'exécution est basée sur deux procédures principales. En premier lieu, un algorithme de *backtracking* est proposé pour trouver tous les portefeuilles satisfaisants. En second lieu, le SMAA est utilisé pour évaluer les portefeuilles satisfaisants et aider les décideurs à sélectionner le portefeuille optimal. La même méthode est appliquée au niveau de l'article de Yang, Song, Huang et Xia (2015), mais avec un algorithme différent à la première étape de la procédure.

En conclusion, les études actuelles mettent en évidence la nécessité d'une compréhension plus profonde des méthodes existantes et d'une exploration de nouvelles approches pour répondre aux défis persistants dans le domaine de la SPP. Si les méthodes et les algorithmes de résolution des méthodes de sélection de projets et de sélection de portefeuille de projets sont semblables, elles diffèrent principalement dans leur approche, leur complexité du fait des interactions entre projets et les critères qu'elles prennent en compte. En effet, alors que les méthodes de sélection de projets prennent en compte des critères spécifiques à chaque projet, tels que la rentabilité, la faisabilité technique et le retour sur investissement, les méthodes de sélection de portefeuille de projets se basent non

seulement sur des critères spécifiques aux projets, mais aussi des critères qui mesurent l'atteinte des objectifs stratégiques de l'organisation.

1.3.2 Les différents critères de sélection de portefeuilles

Dans cette section, il sera question d'explorer les critères les plus utilisés dans la sélection de portefeuille de projets. Concernant l'approche unicritère, le choix d'une variable financière est le cas le plus fréquent. Ainsi, le coût est souvent considéré comme le critère d'évaluation (Mohagheghi et al., 2019).

Par ailleurs, Mohagheghi et al. (2020) ont rangé les problèmes de sélection de portefeuilles de projets en trois groupes de critères :

- Les critères financiers ;
- Les critères stratégiques ;
- Les autres critères.

1.3.2.1 Les critères financiers

Ils représentent un groupe de critères très présents au niveau des modèles de sélection de portefeuille de projets. En effet, à la différence des modèles de SPP qui incluent plusieurs types de critères, avec un fort intérêt donné à la notion stratégique, les critères financiers sont ceux privilégiés dans les modèles de sélection de projets. Ainsi, leur importance dans la validation et la sélection des projets fait qu'ils sont utilisés dans pratiquement tout processus impliquant la sélection de portefeuilles de projets. Parmi ceux cités par Archer et al. (1999), on trouve principalement la VAN, le Taux de Rendement Interne (TRI), le Retour Sur Investissement (RSI) et le délai de récupération.

Ghapanchi et al. (2012) utilisent la deuxième approche de SPP. À cet effet, le coût du projet est le critère financier utilisé comme intrant pour la première phase de sélection de portefeuilles de projets.

Tavana, Khalili-Damghani et Abtahi (2013) proposent une formulation floue du problème de Knapsack Multidimensionnel à Choix Multiples (KMCM) pour la sélection de portefeuilles de projets. Le problème de ce modèle KMCM se résume à trois objectifs, qui sont la maximisation du profit total, la minimisation du coût total et de la durée totale du portefeuille. Les variables utilisées comme critères financiers sont le coût et le profit net des projets.

Yang et al. (2015) appliquent leur modèle à une situation liée au besoin de la construction de stations d'épuration des eaux usées à Hefei, une ville industrielle en plein essor en Chine. Trois aspects ont été utilisés, en l'occurrence les coûts de maintenance considérés comme un critère financier.

Mashayekhi et Omrani (2016) utilisent, dans leur modèle, des critères typiquement financiers. En effet, ils sont au nombre de seize (16) et sont liés à la performance de l'entreprise, caractérisée par la rentabilité, l'utilisation des actifs, la liquidité, l'effet de levier et la croissance. La première et la dernière citée constituent les extrants du modèle, les trois autres les intrants. Comme exemples de critères, on a le chiffre d'affaires, le rendement des capitaux propres, le taux de croissance, etc.

Sharifghazvini, Ghezavati, Raissi et Makui (2018) ont également proposé une approche qualitative et quantitative pour la sélection optimale de portefeuilles de projets. Dans leur article, ils ont utilisé plusieurs critères financiers, dont le coût total (en millions) et le TRI.

Jafarzadeh et al. (2018) ont effectué leur étude en prenant en compte en même temps les interactions et l'incertitude. Pour les critères, les auteurs en ont utilisé quatorze (14), parmi lesquels la VAN, le coût de la mise en œuvre et le RSI.

Mohagheghi et al. (2019) ont présenté une revue des modèles de SPP allant de 1993 à 2019. Dans cette dernière, une dizaine d'auteurs ont été mentionnés, ayant utilisé les critères financiers. Parmi ceux-ci, on voit une grande utilisation des variables telles que le coût, le rendement et la VAN.

Song et al. (2019) travaillent sur un plan visant la construction d'hôpitaux dans une ville en Chine, qui a vu sa population augmenter rapidement en raison de l'urbanisation. Six (6) projets de construction ont été considérés et le gouvernement local s'est donné comme objectif de construire le meilleur portefeuille parmi ces derniers. Du point de vue méthodologique, le choix des portefeuilles obtenus à l'issue de l'optimisation est basé sur le coût des projets, la durée et le budget. A la deuxième étape d'évaluation, trois critères ont été également utilisés, dont le premier est le profit.

De Souza et al. (2021), présentant une revue systématique de portefeuilles de projets basés sur les méthodes multicritères, parlent également des critères utilisés. En effet, un éventail de 263 critères ont été recensés dans la revue et il s'est ensuivi un regroupement de ces derniers par des experts de cinq entreprises brésiliennes. Les résultats montrent que l'aspect financier est le plus utilisé, en termes de proportions. En effet, le revenu financier, matérialisé par les ressources financières nécessaires à la mise en œuvre du projet, est plus utilisé dans la sélection, soit à 79%. Des variables financières comme le coût, le budget, les flux de trésorerie constituent ce groupe. Un autre aspect est lié au retour financier du projet pour l'organisation. Il a été utilisé dans 67% des articles et est constitué par la VAN.

1.3.2.2 Les critères stratégiques

La sélection de portefeuille de projets est un processus de niveau stratégique. En effet, les critères stratégiques sont ceux qui permettent à l'entreprise de voir comment les projets pourraient arriver à leur faire atteindre leurs objectifs stratégiques. Il s'agit donc de critères importants dans la sélection de portefeuille de projets, qui tiennent compte des facteurs internes et externes à l'entreprise, y compris le marché, ainsi que de ses forces et faiblesses (Archer et al., 1999).

Dans leurs diverses études, Eilat et al. (2006), Sharifighazvini et al. (2018), Jafarzadeh et al. (2018) et Bai et al. (2022) ont également inclus dans leurs critères des considérations stratégiques, en l'occurrence l'alignement des projets avec les objectifs stratégiques des entreprises.

Par ailleurs, Cooper et Sommer (2023), dans leur article traitant d'une sélection dynamique de portefeuilles, ont fait usage d'un critère intitulé « Mission et stratégie », qui permet de déterminer si tel projet s'aligne avec les objectifs stratégiques de l'entreprise. Il s'agit d'un critère construit en termes de score à valeurs 1, 3 et 5.

1.3.2.3 Les autres critères

Les critères de choix de portefeuilles de projets sont assujettis aux conditions de l'environnement d'application. Ainsi, il s'avère quasiment impossible de définir tous les groupes de critères. Cette troisième catégorie regroupe les divers autres éléments utilisés dans la littérature afin de sélectionner les projets et les portefeuilles (Mohagheghi et al., 2020). Elle peut être subdivisée en trois sous-groupes, caractérisés par le risque, l'environnement et le social.

a) Le critère « risque »

Dans le domaine de la gestion de projets, la gestion des risques est un aspect essentiel pour assurer le succès des projets. La prise en compte du risque en tant que critère de sélection dans le choix de portefeuilles de projets a également été explorée par divers auteurs. Selon le PMI (2017, p.723), le risque désigne un événement ou une situation qui, en cas de survenance, a un impact positif ou négatif majeur sur au moins l'un des objectifs d'un portefeuille de projets. Il a été traité sous différentes facettes. Par exemple, le risque de mise en œuvre du projet, le risque d'investissement et le risque d'incertitude sont quelques divers aspects du risque évoqués.

Le risque du projet a été l'un des critères utilisés par Jafarzadeh et al. (2018) dans le processus de sélection de portefeuilles de projets. Archer et al. (1999) évoquent la matérialisation du risque sous forme de probabilité.

Dans leur analyse documentaire, Mohagheghi et al. (2019) ont énuméré une dizaine d'articles d'auteurs ayant utilisé le risque comme critère de SPP.

De Souza et al. (2021) évoquent la présence du risque parmi les critères utilisés de sa revue, soit dans 5% des articles de son échantillon.

Cooper et al. (2023) ont, pour leur part, pris en compte le risque sous la forme « rendement/risque ». En effet, ils ont utilisé trois variables pour constituer cet indice, notamment la VAN, le délai de remboursement et l'indice de productivité. En quelque sorte, ils ont fait appel à des critères financiers pour constituer un indicateur de risque, au lieu de mesurer le risque directement en termes de probabilité.

b) Les critères environnementaux

Durant ces dernières décennies, l'intégration de critères environnementaux dans la sélection de portefeuilles de projets est devenue une préoccupation majeure dans le contexte de la gestion de projets, notamment du fait de l'accent croissant mis sur le développement durable et la Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE). Une autre raison est le fait que les projets engendrent des impacts environnementaux qui nécessitent l'attention des décideurs.

Ainsi, plusieurs chercheurs ont eu à prendre en compte l'aspect environnemental dans leurs études. En effet, la lecture de Mohagheghi et al. (2019) montre que les critères retenus sont principalement orientés vers une même finalité : la protection de l'environnement.

Le critère « protection de l'environnement » peut être également retrouvé dans l'article de Bai et al. (2022).

De Souza et al. (2021) ont également évoqué la prise d'impacts environnementaux dans leur revue. En effet, 8% des documents de cette dernière incluent la notion environnementale dans les critères cités.

c) Les critères sociaux

Les impacts sociaux engendrés par les projets sont également appréhendés par plusieurs auteurs. En effet, une entreprise doit porter une grande attention sur les critères sociaux dans sa création de valeur (Frimousse et Peretti, 2020). Ainsi, divers facteurs peuvent souligner l'importance de ces critères dans la sélection de portefeuilles de projets, parmi lesquels on peut citer :

- L'alignement avec les valeurs de l'entreprise

Les projets qui intègrent des critères sociaux sont en meilleure adéquation avec les valeurs et la mission de l'entreprise. En effet, cela contribue à renforcer l'engagement des employés et à créer une culture organisationnelle cohérente.

- Impact sur la réputation de l'entreprise

La réputation d'une entreprise peut être améliorée par une intégration de critères sociaux dans le processus de sélection de portefeuilles de projets. En effet, la gestion responsable des projets peut contribuer à renforcer la confiance des parties prenantes, y compris les clients, les employés et les investisseurs.

- Réduction des risques sociaux

La prise en compte des critères sociaux peut également contribuer à anticiper et à gérer les risques sociaux associés aux projets. Cela inclut des aspects tels que les problèmes liés aux droits de l'homme, à la diversité, à l'éthique et à d'autres préoccupations sociales.

Dans la revue, on trouve bon nombre d'auteurs qui ont fait usage des critères sociaux dans le processus de sélection de portefeuilles de projets.

Eilat et al. (2006) choisissent la contribution sociale comme critère de sélection de portefeuilles de projets.

Ghapanchi et al. (2012) ont pris en compte deux critères sociaux, à savoir le degré d'amélioration du flux de travail dans l'organisation et la marge de contribution de l'état de préparation électronique. Le premier est établi sur la base d'une échelle de Likert en sept (7)

points, incluant la satisfaction des citoyens. Concernant le second critère, l'état de préparation électronique fait référence à la capacité et à l'état de préparation des citoyens d'un pays à participer au monde électronique. Il s'agit, en quelque sorte, de la probabilité que les citoyens, les entreprises, les responsables gouvernementaux soient plus actifs concernant les technologies de l'information.

Song et al. (2019) utilisent dans la deuxième phase de sélection de portefeuille, outre le profit, deux critères à vocation sociale. Il s'agit du nombre d'emplois possible d'être générés par les projets et de la capacité du service hospitalier.

Par ailleurs, Bai et al. (2022) ont utilisé divers critères sociaux, notamment la protection sociale, l'augmentation de la satisfaction des employés et l'amélioration de l'acceptation de la culture d'entreprise par les employés. On voit nettement en ces derniers des critères qui mesurent la fonction des projets à engendrer des impacts sociaux positifs.

1.4 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE LA RECHERCHE

La sélection de portefeuilles de projets (SPP) dans les organisations modernes implique souvent la prise en compte de nombreux critères, qui sont fréquemment multiples, conflictuels et incommensurables. De plus, ce processus de sélection se déroule dans un environnement incertain qui présente des défis complexes en raison de la variabilité et de l'imprévisibilité des critères de performance des projets comme des portefeuilles de projets. Ainsi, les méthodes multicritères de sélection de portefeuille de projets doivent non seulement gérer la multiplicité des critères, mais aussi intégrer l'incertitude inhérente aux prévisions et aux évaluations. Cette incertitude peut provenir de diverses sources, telles que les fluctuations économiques, les évolutions technologiques et les changements dans les priorités stratégiques des organisations. La difficulté réside dans le fait de développer une méthode multicritère de sélection de portefeuille de projets qui soit à la fois adaptable à différents environnements organisationnels, robuste face à la variabilité des critères, et capable d'intégrer les préférences et les interactions entre projets de manière équilibrée.

La question centrale est donc : Comment développer une méthode multicritère de sélection de portefeuille de projets qui permette d'optimiser la prise de décision en tenant compte de la diversité et de la complexité des critères, tout en assurant une flexibilité et une adaptabilité aux besoins spécifiques des organisations ?

Cette problématique soulève plusieurs enjeux importants :

- Adaptabilité et flexibilité : Comment concevoir une méthode qui peut être ajustée en fonction des caractéristiques uniques de chaque organisation et des spécificités des projets ?
- Intégration des critères multiples : Quelle approche permet de traiter efficacement la multiplicité des critères, y compris ceux qui sont conflictuels et incommensurables ?
- Prise en compte des préférences des décideurs : Comment intégrer de manière objective et fiable les préférences subjectives des décideurs dans le processus de sélection ?
- Gestion des interactions entre projets : Quelle méthode permet d'évaluer et d'optimiser les interactions potentielles entre projets au sein du portefeuille ?
- Modélisation de l'incertitude : Comment intégrer de manière robuste et flexible les différentes sources d'incertitude dans les critères de sélection des projets, tout en assurant la fiabilité des résultats ? Quelle approche permet de concilier l'évaluation des projets sur des critères multiples avec la gestion des incertitudes, notamment en utilisant des techniques telles que l'analyse de sensibilité ou la simulation Monte Carlo ?
- Prise en compte des préférences subjectives : Comment modéliser et intégrer les préférences des décideurs lorsqu'elles sont influencées par des conditions d'incertitude, et comment maintenir l'objectivité des décisions ?
- Optimisation des portefeuilles : Quelle méthode permet de concevoir des portefeuilles de projets robustes face à l'incertitude ?

Répondre à ces questions nécessite le développement de nouvelles méthodologies et l'amélioration des approches existantes pour mieux aligner les processus de sélection des

portefeuilles de projets avec les réalités complexes des organisations contemporaines. La revue de littérature nous a permis de faire un constat global lié à l'intérêt de notre sujet. En effet, malgré l'importance de l'étude des incertitudes dans le processus de sélection de portefeuilles de projets, les recherches effectuées ci-avant montrent qu'il y en a peu qui sont relatives à ce sujet, encore moins celles les associant à l'étude des interactions entre projets. Ce même constat est fait par Ghapanchi et al. (2012).

Ainsi, notre travail a pour objectif de proposer une méthode de sélection de portefeuille de projets qui :

- Prend en compte les interactions qui existent entre les projets ;
- Intègre des critères multiples ;
- Tient compte des préférences des décideurs notamment dans le choix des critères d'évaluation comme dans l'importance relative de ces critères d'évaluation des portefeuilles de projets ;
- Permet de modéliser les incertitudes liées aux critères de sélection des projets ainsi qu'aux poids qui leur sont associés.

CHAPITRE 2

PROPOSITION D'UNE MÉTHODE DE SÉLECTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS AVEC INTERACTIONS ET EN PRÉSENCE D'INCERTITUDE

Tel que mentionné plus haut, l'objectif général de cette recherche est de développer une méthode qui prend en compte les interactions et les incertitudes liées aux projets. Ainsi, elle vise à combler les limites que nous avons évoquées précédemment et servira de fer de lance à d'autres analyses effectuées en termes de sélection de portefeuilles de projets.

Dans ce chapitre, nous exposerons les choix faits dans la modélisation du problème de sélection de portefeuille retenu. Nous commencerons par une présentation succincte des étapes à suivre. Nous aborderons ensuite les différentes typologies de sélection de portefeuilles de projets, en précisant celles retenues pour notre analyse. Puis, nous décrirons les méthodes employées lors de la première phase de sélection, notamment celles permettant de choisir les portefeuilles optimaux en tenant compte des interactions. Enfin, nous examinerons les méthodes appliquées à la seconde phase de sélection des portefeuilles de projets, en mettant l'accent sur la modélisation des incertitudes pour déterminer le portefeuille final.

Les aspects de modélisation de la méthode proposée sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Typologies de sélection retenues pour notre étude

Dimensions	Modalité 1	Modalité 2
Unicritère vs Multicritère	Unicritère	Multicritère
Statique vs Dynamique	Statique	Dynamique
Certitude vs Incertitude	Certitude	Incertain
Avec interaction vs Sans interaction	Avec interaction	Sans interaction
Attribution des ressources	Partielle	Totale

Pour expliquer le tableau, la prise en compte des aspects incertitude et interaction est étroitement liée à notre objectif de recherche. Naturellement, le multicritère est basé sur la réalité intrinsèque de l’environnement en SPP, qui ne peut se réaliser qu’avec un seul critère. Par ailleurs, le choix des critères statique et attribution totale des ressources est, quant à lui, fait en guise de simplifications du modèle.

Concernant l’approche de sélection de portefeuille de projets, nous nous pencherons sur l’approche ‘Évaluation du portefeuille’. En effet, avec cette dernière, nous pourrons répondre convenablement au besoin d’évaluation multicritère des projets comme un tout, notamment sous la forme d’un portefeuille, ainsi qu’à celui de la prise en compte des interactions, contrairement à la première approche (‘Évaluation des projets’) qui se focalise plus sur l’évaluation individuelle des projets avant de procéder à la sélection.

2.1 PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE

La figure 3, ci-après, illustre les différentes étapes de notre méthodologie :

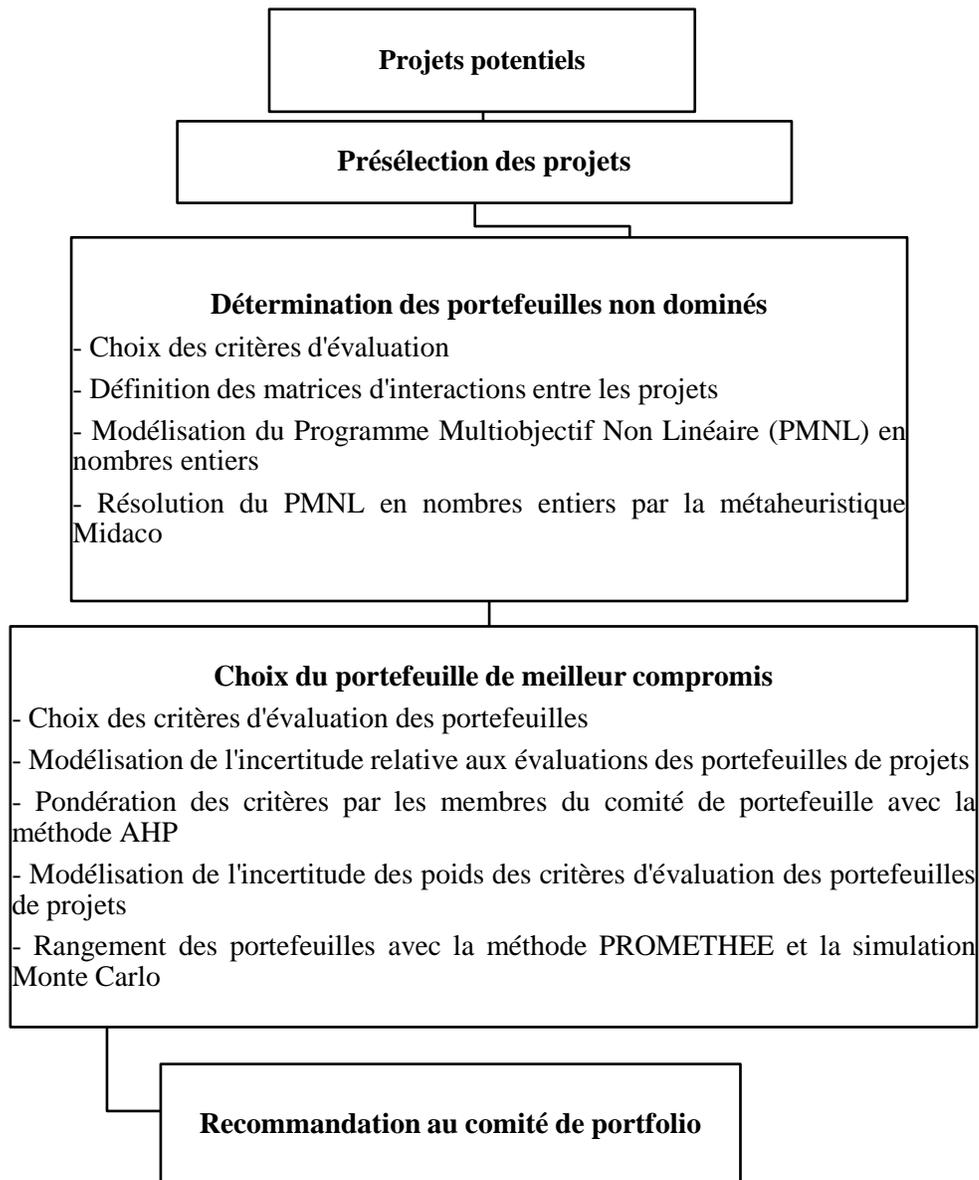


Figure 3 : Étapes de la méthodologie proposée

La figure ci-dessus fait référence à la seconde approche de SPP, notamment l'approche 'Évaluation du portefeuille', adoptée dans cette étude. Après une présélection des projets du portefeuille global de l'organisation, la prochaine étape vise à générer l'ensemble des

portefeuilles efficaces et faisables tout en tenant compte des interactions possibles entre les projets. Concrètement, ce problème peut s'écrire sous la forme d'un Programme Multiobjectif Non Linéaire (PMNL) en nombres entiers et pour le résoudre, nous allons recourir à la métaheuristique implantée dans Midaco. La dernière étape consiste à émettre une recommandation quant au choix du portefeuille de meilleur compromis. Pour ce faire, nous allons utiliser la méthode de rangement PROMETHEE pour comparer les portefeuilles évalués. Cette procédure sera plus détaillée dans les lignes suivantes.

2.2 RECHERCHE DES PORTEFEUILLES NON DOMINÉS

Comme précisé au niveau de l'approche de SPP choisie, il conviendra d'abord de trouver l'ensemble des portefeuilles non dominés en tenant compte de l'évaluation multicritère des projets sélectionnés sur l'ensemble des critères retenus et des interactions entre ces projets, avant de pouvoir procéder à la sélection du portefeuille final ou de compromis.

Ainsi, pour la première phase, il s'agira de déterminer les portefeuilles qui respectent les contraintes établies. En termes plus clairs, nous allons adopter une méthode d'optimisation sous contraintes. Pour ce faire, nous allons adopter la méthode de la programmation non-linéaire multiobjectif. Nous nous servirons du logiciel Midaco à cet effet.

2.2.1 Modélisation du programme non linéaire multiobjectif en nombres entiers

Cette modélisation, appartenant au groupe des méthodes d'optimisation, est très utilisée en pratique, surtout en cas d'adoption de la seconde approche de SPP. Contrairement à la programmation à un objectif qui fait ressortir une seule solution comme optimum global, la programmation multiobjectif présente un résultat représenté par un ensemble de solutions non dominées, appelées solutions optimales de Pareto, formant ainsi une courbe de compromis, encore appelée frontière de Pareto. En prenant le cas d'un problème à deux

objectifs, une solution obtenant de meilleurs résultats qu'une autre sur deux objectifs sera dite non dominée, donc optimale. Par conséquent, l'autre solution est dite dominée, donc non optimale et ne sera pas alors retenue (Lachance, 2018). Dans le cadre d'un problème de génération des portefeuilles de projets prenant en compte plusieurs critères ou objectifs et des interactions entre les projets, Eilat et al. (2006) ont proposé une modélisation en un problème multiobjectif non linéaire en nombres entiers avec la formulation mathématique suivante :

$$\begin{aligned} & \text{'max'} \sum_{j=1}^{np} Z_{jk} \left(\sum_{l=1}^{np} P_{jl} Z_{lk} \right) \left[O_{rj} + \sum_{i=1}^{j-1} V_{ji}^r \left(\sum_{l=1}^{np} P_{il} Z_{lk} \right) Z_{ik} \right] , r = 1, \dots, n \\ & \text{st } Z_k' U^i Z_k \leq R_i , i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Tableau 5 : Nomenclature de Eilat et al. (2006)

n	Nombre de critères pour un projet / portefeuille (objectifs)
m	Nombre de ressources / intrants pour un projet / portefeuille (contraintes)
np	Nombre total de projets
R _i	Quantité totale d'intrant / ressource i disponible
O _{rj}	Score attendu du projet j pour les critères r obtenus avec succès
I _{ik}	Quantité d'intrant (ressource) i requise pour le portefeuille k
O _{rk}	Score attendu du portefeuille k pour les critères r obtenus avec succès
U ⁱ	Matrice d'interaction des ressources des intrants / ressources i
V ^r =(v ^r _{ji})	Valeurs de la matrice d'interaction du critère r. Les éléments diagonaux v ^r _{jj} représentent la valeur du critère (r) pour le projet individuel (j). Les éléments non diagonaux v ^r _{ji} représentent les valeurs d'interaction entre les projets (j) et (i) de l'extrait (r).

$P=(p_{ji})$	Matrice d'interaction des probabilités. Les éléments diagonaux p_{jj} représentent la probabilité de succès de chaque projet individuel (j). Les éléments non diagonaux p_{ji} sont les changements marginaux dans la probabilité que le projet (j) réussisse étant donné que le projet (i) est entrepris. En général, P n'est pas symétrique car le projet (j) peut avoir un impact plus important sur le projet (i) que l'inverse.
Z_k	Vecteur représentant une sélection particulière de projets du portefeuille k ($z_{jk} = 1$ si le projet j est inclus dans le portefeuille k, sinon $z_{jk} = 0$)

Dans le cas de notre exemple didactique, le critère risque ne s'exprime pas par une probabilité et c'est pourquoi le PMNL en nombres entiers s'écrit alors :

$$'max' \sum_{j=1}^{np} Z_{jk} \left[O_{rj} + \sum_{i=1}^{j-1} V_{ji}^r Z_{ik} \right] , r = 1, \dots, n$$

$$st \quad Z_k' U^i Z_k \leq R_i , i = 1, \dots, m$$

2.2.2 Problème d'optimisation avec Midaco

Après avoir analysé et modélisé un problème, il est essentiel de déterminer la méthode de résolution à utiliser. Les méthodes de résolution (ou d'optimisation) se divisent en deux grandes catégories : les méthodes exactes et les méthodes approchées, comme illustré dans la figure ci-dessous. Les méthodes exactes garantissent l'optimalité des solutions en explorant l'intégralité de l'espace de recherche. Bien que cette précision soit idéale, elle n'est applicable que lorsque le nombre de portefeuilles possibles est restreint, car un espace de recherche plus vaste rend cette approche coûteuse en termes de ressources. Dans notre situation, le phénomène d'explosion combinatoire mentionné précédemment rend impraticable l'utilisation d'une méthode exacte. Pour contourner ce problème, nous optons pour une métaheuristique, plus précisément une version adaptée de l'algorithme des colonies de

fourmis (*Ant Colony Optimization*, ACO). Cette méthode appartient à la catégorie des méthodes approchées, car elle offre des solutions de qualité satisfaisante dans un délai de calcul raisonnable, même face à la complexité d'un espace de recherche de grande dimension.

Midaco est un logiciel numérique de haute performance utilisé pour l'optimisation globale de problèmes à un ou plusieurs objectifs, linéaire ou non. Le logiciel fonctionne avec plusieurs types de variables, en l'occurrence les variables continues, les variables entières, mixtes et avec des contraintes d'égalité et d'inégalité.

Son fonctionnement se base sur un algorithme évolutif hybride, composé de la méthode d'optimisation métaheuristique des colonies de fourmis et d'une ligne de recherche de retour en arrière. L'idée de base des algorithmes en colonie de fourmis est d'imiter ce comportement biologique avec des fourmis artificielles, qui recherchent de manière aléatoire au départ et utilisent ensuite un paramètre de type phéromone pour explorer le domaine de recherche défini par un problème d'optimisation. À l'issue du processus, cet algorithme soumettra les solutions de Pareto optimales.

L'une des caractéristiques notables de Midaco est sa capacité à résoudre des problèmes multi-objectifs non linéaires en nombres entiers. La formulation mathématique de ce type de problème dans un contexte de minimisation est la suivante : les fonctions $f_1, \dots, f_o(x)$ représentent les objectifs à minimiser, tandis que les vecteurs $g_1, \dots, g_m(x)$ expriment les contraintes du problème. De plus, certaines contraintes de boîte comme limites inférieure x_l et supérieure x_u sont supposées pour les variables de décision x .

Minimize $f_1(x), f_2(x), \dots, f_o(x)$

Subject to: $g_i(x) = 0, \quad i = 1, \dots, m_e$
 $g_i(x) \geq 0, \quad i = m_e + 1, \dots, m$
 $x_l \leq x \leq x_u$

En résumé, nous obtenons à partir de tous les portefeuilles de projets générés (solution réalisable), un sous-ensemble de portefeuilles efficaces ou non dominés (solution

Pareto) qui forment la frontière d'efficience (ou optimum) de Pareto. À cette étape, il n'existe pas de portefeuille meilleur qu'un autre, car toute amélioration sur un objectif se fait au détriment d'un autre.

Midaco peut résoudre des problèmes composés de plus de 100 000 variables et peut gérer des milliers de contraintes et des centaines d'objectifs. Il fonctionne avec une variété de langages, comme Excel, VBA, Java, C#, R, Matlab, Octave, Python, Julia, C/C++ et Fortran. Dans le cas de cette recherche, le problème est étudié avec Matlab et est à objectifs multiples.

Concernant les étapes du processus, dans un premier temps, il sera question de déterminer les dimensions du problème, ses limites et le point de départ du vecteur des variables. En ce qui concerne les dimensions, elles sont représentées par le nombre d'objectifs, le nombre total de variables, le nombre de variables entières, le nombre total de contraintes et le nombre de contraintes d'égalité, et ce dans cet ordre. Il convient de préciser que les interactions entre les projets, représentées par des variables construites à partir des variables de base, sous la forme d'un produit, feront partie du nombre total de variables évoquées précédemment. Par ailleurs, les limites inférieure et supérieure de chaque variable seront indiquées et le point de départ du vecteur des variables de décision, coïncidant en général avec les limites inférieures du problème, sera déterminé.

Dans un second temps, il faudra choisir les critères d'arrêt, tels que le nombre maximal d'évaluations de la fonction d'optimisation, le temps limite d'évaluation et les options d'impression, soit la fréquence à laquelle la meilleure solution actuelle est imprimée à l'écran, et le choix de créer un fichier de sortie ou non.

Par la suite, la fonction du problème d'optimisation sera inscrite dans le langage de programmation approprié et ne prend en considération que les trois vecteurs mentionnés plus haut, notamment le vecteur des variables de décision, le vecteur des fonctions objectifs F , et le vecteur des contraintes G . Enfin, les fonctions objectifs, les contraintes d'égalité et les contraintes d'inégalité seront ajoutées, dans cet ordre.

2.3 DÉTERMINATION DU PORTEFEUILLE DE MEILLEUR COMPROMIS

Avec la programmation multiobjectif, il va ressortir un ensemble de portefeuilles correspondant aux solutions non dominées. Par la suite, il sera question de choisir, parmi les portefeuilles non dominés, celui qui sera retenu comme le meilleur compromis. Pour ce faire, nous allons choisir une méthode d'agrégation partielle, qui nous permettra de procéder au rangement des portefeuilles et ainsi de parvenir, par surclassement, à retenir un portefeuille final.

2.3.1 Méthode d'agrégation : PROMETHEE

La méthode PROMETHEE appartient à la famille des méthodes d'agrégation partielle ou de surclassement. Selon Hyde, Maier et Colby (2003), son application suit les étapes suivantes :

- Identification des parties prenantes dans le processus d'aide à la décision ;
- Identification des différents critères ;
- Formulation des alternatives ;
- Pondération des critères ;
- Évaluation des différentes alternatives en fonction des critères ;
- Sélection des critères appropriés en prenant en compte les préférences du décideur pour chaque critère ;
- Application de la méthode PROMETHEE ;
- Analyse de la sensibilité ;
- Le choix d'une recommandation finale.

Pour les mêmes auteurs, la méthode PROMETHEE préconise l'utilisation de fonctions de critères généralisés permettant de prendre en compte l'incertitude, ce qui est d'ailleurs l'un des éléments les plus importants de notre analyse.

Selon Brans et Vincke (1985), on recense six (6) versions de la méthode PROMETHEE :

- PROMETHEE I utilisé pour un rangement partiel des actions de manière naturelle. Dans ce cas lorsque le rangement est fait, certaines actions sont incomparables.
- PROMETHEE II utilisé pour un rangement complet de toutes les actions et ce rangement est établi de façon décroissante. Ici on ne tient pas compte de l'incomparabilité. Notons qu'il existe une différence entre PROMETHEE I et II au niveau du rangement des actions.

Les deux méthodes adoptent la même procédure, mais PROMETHEE I dégage des relations partielles de classement alors que le II fournit un classement de toutes les actions.

- PROMETHEE III est une extension de Prométhée II, à la seule différence que la notion d'indifférence y est amplifiée.
- PROMETHEE IV permet le classement complet ou partiel des actions.
- PROMETHEE V a été proposé par Brans et Marshall en 1992 pour des problèmes multicritères avec contraintes de segmentation.
- PROMETHEE VI pour la représentation cérébrale humaine. Et on a deux autres extensions de Prométhée qui furent développées récemment par Figueira et al. (2004). Il s'agit précisément de PROMETHEE TRI pour les problèmes de tri et PROMETHEE CLUSTER pour la classification nominale.

2.3.1.1 Mécanisme de fonctionnement

La méthode PROMETHEE de Brans et Vincke (1985) consiste à établir des comparaisons par paire de chaque action (chaque portefeuille pour notre cas) par rapport à toutes les autres actions en fonction de chaque critère donné, permettant d'obtenir des relations binaires partielles aboutissant au calcul du degré de préférence associé à la meilleure action possible. Les résultats obtenus desdites comparaisons permettent par la suite de

procéder au rangement ordonné de ces actions. Les auteurs Brans et Mareschal (1994) décrivent la procédure PROMETHEE suivant trois (3) étapes :

- **L'enrichissement de la structure de préférence** : La structure de préférence fait référence aux fonctions de critères généralisés. En effet, la notion de critère généralisé permet d'agréger et de prendre en compte les amplitudes des écarts entre les évaluations faites sur les critères choisis par le décideur. Ce critère généralisé repose sur le développement d'une fonction de préférence $P(a ; b)$ qui permet de déterminer le degré de préférence qui est compris entre 0 et 1.
- **L'enrichissement de la relation de dominance** : Au niveau de cette étape, une relation de la valeur de surclassement est construite, en incluant tous les critères. À ce stade, pour chaque paire d'actions, un degré de préférence globale d'une action sur l'autre est défini.
- **L'exploitation de l'aide à la décision** : Cette étape consiste à évaluer le comportement de chaque action en fonction de $(n - 1)$ actions. En effet, cela revient à ranger les actions de façon partielle ou totale en utilisant les méthodes PROMETHEE I et II. L'application de ces deux méthodes est basée sur le calcul des flux de surclassement.

2.3.1.2 Construction de la fonction de surclassement

Pour chaque critère de sélection j , on lui associe un poids w_j proportionnel à son importance relative et, pour chaque couple (a,b) d'actions de l'ensemble des actions noté A , le degré de surclassement de l'action a sur l'action b est donné par :

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j, \text{ où}$$

$P_j(a, b)$ est un nombre compris entre 0 et 1, d'autant plus grand que $g_j(a) - g_j(b)$ est grand et nul si $g_j(a) \leq g_j(b)$. Concrètement, $P_j(a, b)$ est calculé de la manière suivante :

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)], \text{ où } d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b).$$

Pour estimer les $P_j(a, b)$, le décideur peut choisir, pour chaque critère, une des six formes de courbes représentées dans la figure suivante :

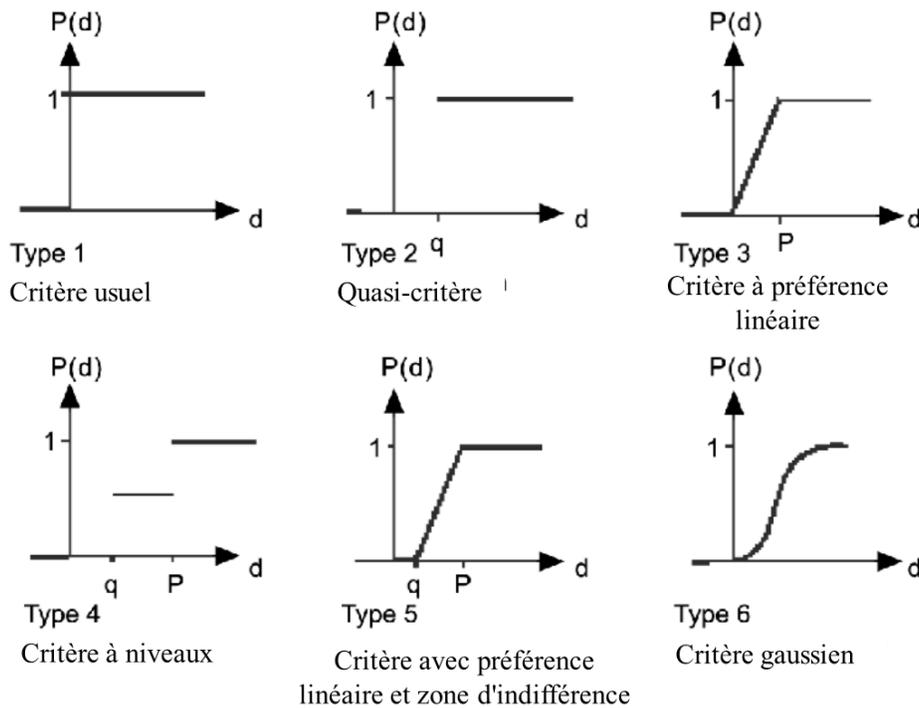


Figure 4 : Fonctions de préférences de PROMETHEE (Gul et al., 2018)

Le choix du type de fonction devrait être fait selon un mode interactif entre le décideur et l'élément d'étude, afin de modéliser au mieux les degrés de préférence du décideur. En effet, en fonction de la manière dont sa préférence croît avec l'écart $g_j(a) - g_j(b)$, le décideur fixe, pour chaque critère, la forme de P_j et le(les) paramètre(s) associé(s). Les paramètres à estimer ont une interprétation simple puisque ce sont des seuils d'indifférence

q et de préférence p. Par exemple, pour la forme gaussienne, le paramètre à estimer est l'écart-type.

2.3.1.3 Construction des flux et explication de la fonction de surclassement

Deux préordres totaux peuvent être établis à partir du calcul de la matrice représentant la fonction de surclassement. L'un consiste à ranger les actions dans l'ordre décroissant des nombres $\phi^+(a)$ tels que $\phi^+(a) = \sum_{b \in a} \pi(a, b)$, qui représente le flux sortant, et l'autre dans l'ordre croissant des nombres $\phi^-(a)$ tels que $\phi^-(a) = \sum_{b \in a} \pi(a, b)$, soit le flux entrant.

Pour le rangement, PROMETHEE I cherche l'intersection de ces deux préordres totaux afin d'obtenir un préordre partiel. Par définition, les trois critères sont les suivants :

- L'action a surclasse l'action b si $\phi^+(a) > \phi^+(b)$ et $\phi^-(a) < \phi^-(b)$, si $\phi^+(a) > \phi^+(b)$ et $\phi^-(a) = \phi^-(b)$, ou encore si $\phi^+(a) = \phi^+(b)$ et $\phi^-(a) < \phi^-(b)$;
- L'action a est indifférente à b si $\phi^+(a) = \phi^+(b)$ et $\phi^-(a) = \phi^-(b)$;
- L'action a est incomparable à b si $\phi^+(a) > \phi^+(b)$ et $\phi^-(a) > \phi^-(b)$ ou encore si $\phi^+(a) < \phi^+(b)$ et $\phi^-(a) < \phi^-(b)$.

Quant à la méthode PROMETHEE II, elle consiste à trouver un préordre total des actions basé sur l'ordre décroissant des flux nets $\phi(a)$ tels que $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$. Dans ce cas de figure, un rangement complet, soit sans incomparabilité, est généré.

2.3.2 Pondération des critères de sélection des portefeuilles de projets (AHP)

Les poids des critères sont des données essentielles qui reflètent les exigences ou préférences du décideur. Ils traduisent l'importance relative des critères et sont définis

indépendamment des échelles de mesure. Le meilleur critère est celui qui a le poids le plus élevé et la normalisation des poids se fait de telle sorte que leur somme soit égale à 1 (100%).

Pour déterminer les poids de nos critères, nous allons adopter la méthode AHP, avec l'échelle de Saaty. En effet, la méthode AHP a été l'œuvre de Saaty en 1970 (Lmoussaoui et Jamouli, 2015). Le développement de cette méthode fut motivé par l'intention d'avoir une technique simple de résolution de problèmes complexes, où le jugement et l'expérience seraient pris en compte, tout en accélérant et facilitant le processus de décision (Saaty, 1977, 1980).

La méthode AHP se déroule selon trois (3) phases :

- Construction des hiérarchies
- Structuration des priorités
- Cohérence logique

a) Construction des hiérarchies

Dans cette phase, il s'agit de décomposer le problème en différentes composantes. Par la suite, la construction de la hiérarchie se fait suivant une démarche descendante. Elle conduit à structurer la réalité complexe en une arborescence hiérarchique.

b) Structuration des priorités

La définition des priorités est effectuée par le biais de comparaisons binaires entre les critères d'un même niveau de la hiérarchie. C'est dans cette étape que l'on retrouve la notion d'Importance Relative des Critères (IRC) ou « poids » appliquée à une hiérarchie, et qui correspond à la préférence du décideur à un critère donné par rapport à un autre en utilisant l'échelle dite de Saaty, présentée dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Niveaux de hiérarchie de l'échelle de Saaty (1977)

Valeur	Définition
9	Ligne extrêmement plus importante
8	Ligne très fortement à extrêmement plus importante
7	Ligne très fortement plus importante
6	Ligne fortement à très fortement plus importante
5	Ligne fortement plus importante
4	Ligne modérément à fortement plus importante
3	Ligne modérément plus importante
2	Ligne également importante à modérément plus importante
1	Ligne et colonne également importantes
1/2	Colonne d'importance égale à modérément plus importante
1/3	Colonne modérément plus importante
1/4	Colonne modérément à fortement plus importante
1/5	Colonne fortement plus importante
1/6	Colonne fortement à très fortement plus importante
1/7	Colonne très fortement plus importante
1/8	Colonne très fortement à extrêmement plus importante
1/9	Colonne extrêmement plus importante

À partir des valeurs de l'IRC, on définit la matrice carrée, réciproque, de dimension N, notée $M=(m_{i,j})$, où $m_{i,j}$ représente l'importance du risque R_i par rapport à R_j suivant les valeurs du tableau précédent.

La matrice M possède les propriétés suivantes :

$$m_{ii} = 1 \quad \text{et} \quad m_{ji} = \frac{1}{m_{ij}}, \text{ avec } i,j=1,2,3,\dots, N$$

Après avoir effectué les comparaisons binaires, on calcule le vecteur propre droit W relatif à la matrice M, permettant d'obtenir les poids relatifs aux différents critères.

Ce processus de comparaison est appliqué à tous les niveaux de la hiérarchie. Le poids ainsi obtenu est agrégé selon une démarche ascendante pour aboutir à un critère unique de synthèse en racine de l'arborescence.

c) Cohérence logique

La construction de la hiérarchie et la structuration des priorités doivent respecter ou garantir une cohérence relativement à deux aspects principaux :

- L'homogénéité et la pertinence des groupements
- La cohérence des intensités de préférence

Ainsi, l'indice de cohérence est calculé par la formule suivante :

$$I_c = \frac{C_m - N}{N - 1}$$

Où C_m est la cohérence moyenne des cohérences C_i calculées par la formule :

$$C_m = \frac{\sum_{j=1}^N r_{ij}}{w_i}$$

Avec : $R = (r_{ij})$, $i, j=1, 2, \dots, N$, la matrice définie par le produit de chaque colonne de M et le poids du critère correspondant.

Le ratio de cohérence est déduit par la formule :

$$R_c = \frac{I_c}{C_a}$$

Où C_a est la cohérence aléatoire dont la valeur dépend de la dimension de la matrice selon les valeurs présentées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Valeurs de la cohérence aléatoire en fonction des dimensions de la matrice (Saaty, 1977)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ca	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Concernant l'interprétation, la hiérarchie est dite cohérente si R_c respecte les valeurs assignées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Valeurs de R_c acceptables en fonction de la taille de la matrice (Saaty, 1977)

Taille de la matrice	Ratio de cohérence acceptable
3	0,05
4	0,08
5 et plus	0,1

2.3.3 Modélisation de l'incertitude : la méthode de simulation Monte Carlo

La simulation Monte Carlo, décrite plus haut, a été retenue comme outil de modélisation de l'incertitude. L'intérêt d'utiliser la simulation de Monte Carlo se retrouve dans le fait qu'elle permet d'obtenir des valeurs approximatives sur ce qui pourrait arriver et dans quelle mesure cela peut se réaliser, ce qui est d'ailleurs l'idée des méthodes probabilistes. Ainsi, dans notre étude, son application permettra de fournir, de manière plus avertie, des résultats sur les valeurs prises par les projets dans le temps, malgré les incertitudes. Par conséquent, elle permet aux décideurs d'avoir plus de clarté sur leurs processus décisionnels.

De manière plus détaillée, l'application de la simulation Monte Carlo comporte cinq grandes étapes :

Identification des paramètres incertains et de leur distribution : Nous avons proposé un modèle et identifié les incertitudes dans les données de base. Ces données incluent les poids des critères et les évaluations. Nous allons également identifier la forme de distribution associée : la distribution uniforme, dans le cadre de cette étude, qui consiste à choisir les valeurs minimales et maximales pour les poids et les évaluations. Cela permet ainsi la construction sous forme d'intervalles, sachant qu'il s'agit d'une distribution dont la probabilité est constante sur un intervalle donné.

Paramétrage du logiciel : Nous allons paramétrer le calcul des données grâce au logiciel MatLab. Une fois que nous appliquons pour les poids, une valeur min et une valeur max pour chaque critère dans le fichier input, c'est le Monte Carlo qui choisira par la suite les valeurs. Pour les seuils et type de fonctions de préférence, nous les entrerons dans le fichier MatLab et le logiciel exécutera automatiquement les étapes qui suivent.

Échantillonnage : Cette étape marque le début des itérations. Pour chaque élément de données d'entrée, un nombre de valeurs est choisi aléatoirement à partir des distributions. Ce qui va nous permettre de générer N échantillons de chacun des paramètres (N= 1000 pour notre cas).

Détermination des outputs : L'exécution du modèle avec le jeu de données choisies aléatoirement donne N valeurs des variables de sortie (les flux et les rangements), ce qui permet de construire leur distribution.

Itération et vérification des résultats : Le total calculé à l'étape précédente est sauvegardé et le processus est répété à partir de la troisième étape jusqu'à obtention d'un résultat. En effet la détermination de l'estimation de la plage de confiance de 95% permettra d'estimer avoir obtenu un résultat suffisamment stable pour les observations. La distribution des données simulées donne une estimation de la fonction de densité de probabilité du

résultat. On attribue à chaque donnée simulée un rang k ce qui permet de classer par ordre croissant les différents portefeuilles. Rappelons que nous allons effectuer 1000 itérations.

CHAPITRE 3

ILLUSTRATION DE LA MÉTHODE DE SPP PROPOSÉE

3.1 INTRODUCTION

Nous allons illustrer notre méthodologie à travers un exemple didactique. En effet, l'étude s'inspire des données issues de l'article Sharifighazvini et al. (2018). Dans ce dernier, on s'intéresse à une entreprise iranienne leader dans la production de tôles d'acier. Elle dispose de sept complexes industriels répartis à travers le pays hôte et compte plus de 200000 employés dans ses différents démembrements. Selon les auteurs, cette entreprise a une préoccupation majeure liée à sa vision stratégique, ce qui fait que son unité d'ingénierie se concentre beaucoup sur la sélection régulière de portefeuilles de projets optimaux pour l'investissement.

3.2 PRÉSÉLECTION DES PROJETS

Pour la présélection des projets, nous allons partir d'un portefeuille global avec quinze (15) projets candidats (tableau 6), sur lequel nous appliquerons la méthode décrite dans le chapitre précédent. Ainsi, tous ces projets sont considérés comme candidats à la sélection de portefeuilles de projets.

Tableau 9 : Liste des projets et des critères de sélection associés

Numéro du projet	Coût total	Nombre de ressources humaines	Temps estimé (en mois)	VAN	Risque	Conformité aux objectifs stratégiques (sur 5)	Respect des normes environnementales (sur 5)
Projet 1	2500	25	7	600	27,3	3	5
Projet 2	3500	10	20	700	12,9	5	4
Projet 3	2000	8	18	500	14,3	4	2
Projet 4	5500	7	6	1800	16,4	4	3
Projet 5	3100	4	10	950	21,9	2	2
Projet 6	1920	6	12	461	14,5	1	4
Projet 7	48000	10	6	5500	19,8	3	3
Projet 8	11120	12	4	2891	19,6	2	2
Projet 9	6900	9	8	1725	14,4	3	4
Projet 10	5100	15	12	1428	10,9	1	4
Projet 11	4310	10	7	1293	30,4	2	1
Projet 12	1980	8	9	436	21,2	3	3
Projet 13	1200	22	8	450	33	1	2
Projet 14	74370	5	4	7000	31,5	3	2
Projet 15	12000	4	5	2750	31,4	3	3

3.3 DÉTERMINATION DES PORTEFEUILLES NON DOMINÉS

Chacun des projets est évalué par divers critères. D'une part, il y a des critères plus orientés projets qui permettront de prendre les meilleures combinaisons de projets afin de construire les portefeuilles efficaces, respectant les contraintes d'optimisation imposées par l'organisation. D'autre part, on dispose de critères orientés portefeuilles qui permettront de choisir, parmi les portefeuilles efficaces déjà obtenus, celui qui conviendrait le mieux à la vision globale de l'organisation.

3.3.1 Critères de la phase de sélection des portefeuilles

Dans la première phase de notre analyse, puisque nous ferons recours à un processus d'optimisation, il convient alors de préciser les contraintes. Pour les variables qui vont intervenir dans cette première étape, nous avons :

3.3.1.1 Coût total

Il représente le coût associé à chaque projet.

3.3.1.2 Nombre de ressources humaines

Chaque projet requiert la mobilisation d'un certain nombre de ressources humaines, c'est cette valeur que représente ce critère.

3.3.1.3 VAN

Cet indicateur nous permettra de savoir ce que va rapporter la réalisation de chaque projet. Par exemple, en finance, on note qu'un projet dont la VAN est négative ou nulle n'est pas rentable.

Par ailleurs, cette variable sera également utilisée dans la deuxième phase de sélection, notamment celle du portefeuille final, en raison de son caractère important lié aux apports financiers.

3.3.1.4 Risque

Le risque, noté RPN (acronyme de « *Risk Priority Number* ») dans le document source, est un critère calculé sur la base de trois critères, notamment l'impact, la notion de la proximité et le niveau de gestion du risque. Concernant l'impact, il est défini par le produit de la probabilité et de la gravité du risque, avec des modalités (très lent, faible, ..., très haut). Pour la proximité, il s'agit de la distance du risque avec l'heure actuelle et se scinde en

catégories loin, moyen terme, imminent, en retard. Pour le niveau de gestion du risque, il est soit facile, modéré ou difficile.

Ainsi, avec ces trois critères, les auteurs sont parvenus à construire cet indicateur de risque, sous forme d'une valeur absolue, qui nous permettra d'évaluer le risque associé à chaque projet.

3.3.2 Phase de constitution des portefeuilles efficaces

Dans cette étape, la résolution du programme d'optimisation multiobjectif va nous permettre d'obtenir un ensemble de portefeuilles Pareto-optimaux.

Comme mentionné dans la méthodologie, le problème est modélisé sous forme matricielle. Les termes diagonaux correspondent aux valeurs d'intrants, notamment le coût en termes monétaires et le nombre de ressources humaines, ainsi que d'extrants, notamment la VAN et le risque associé à chaque projet. Par ailleurs, les termes non diagonaux indiquent les interactions entre deux projets.

Pour ce faire, nous avons construit quatre (4) matrices d'interactions relatives à ces différents critères d'optimisation du choix, présentées dans l'annexe I. Ces interactions ont pour effet de réduire le coût du portefeuille lorsque deux projets ayant une interaction dans la matrice d'intrants des coûts se retrouvent dans le portefeuille final. De la même manière, la VAN du portefeuille peut être augmentée si un projet a un autre avec lequel il interagit et qui figure également dans un portefeuille généré.

Concernant le sens de l'évaluation des critères, il est consigné dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Sens de l'optimisation des différents critères
de sélection

Critère de sélection	Sens de l'optimisation
VAN	À maximiser
Risque	À minimiser

Par ailleurs, les contraintes du problème d'optimisation sont représentées par le coût et le nombre de ressources humaines. Elles sont respectivement fixées à **136350** et à 75 individus. La formulation du problème multiobjectif non linéaire est décrite à l'annexe II. La résolution du programme Midaco nous a permis d'obtenir 18 portefeuilles, comportant entre 3 et 9 projets.

En conclusion de cette partie, on retient que l'analyse ne retient donc pas un seul portefeuille optimal. Elle réduit plutôt le nombre de portefeuilles potentiels en un nombre gérable de choix alternatifs. Notre objectif étant d'avoir un seul portefeuille jugé meilleur parmi ces 18 précités, nous allons procéder à la seconde phase de sélection.

3.4 CHOIX DU PORTEFEUILLE DE MEILLEUR COMPROMIS

3.4.1 Critères de la phase de détermination du portefeuille final

Il s'agit ici d'évoquer les critères qui seront utilisés pour comparer les portefeuilles optimaux afin d'en choisir le meilleur compromis. On a comme critères :

- La VAN, déjà décrite plus haut ;
- La conformité aux objectifs stratégiques ;
- Le respect des normes environnementales ;
- L'indice de centralité.

3.4.1.1 Conformité aux objectifs stratégiques

Comme on l'a noté dans la revue, ce critère demeure très important dans la phase de détermination du portefeuille final. En effet, la SPP attribue un grand intérêt à l'alignement des portefeuilles avec les objectifs stratégiques des organisations. Ainsi, cette variable permet d'évaluer, pour chaque portefeuille, la valeur affectée à son niveau de conformité avec la mission de l'organisation mère. Elle est construite sous la forme d'une notation entière allant de 1 à 5. Le portefeuille ayant la plus grande valeur sera considéré comme étant plus adapté d'un point de vue stratégique.

3.4.1.2 Respect des normes environnementales

Dans un monde où le développement durable est au centre des débats et des préoccupations, ce critère retrouve tout son sens. En effet, choisir un portefeuille se fait dans l'esprit d'une prévision de plusieurs années. Ainsi, considérer seulement des aspects financiers ou économiques semblerait incomplet. En effet, cette variable permettra de connaître, pour un portefeuille donné, son impact environnemental, d'un point de vue chiffré. Parlant de chiffre, ce critère est construit de la même manière que la variable précédente, c'est-à-dire de 1 à 5.

3.4.1.3 Indice de centralité

La notion de centralité est redevable à Liesiö, Mild et Salo (2007). Cela s'est traduit par sa modélisation à travers un indice, dit de centralité ou « *core index* » (CI). Cet indicateur permet d'illustrer la fréquence à laquelle un projet en particulier se retrouve dans l'ensemble des portefeuilles non dominés. D'ailleurs, c'est ce qui fait qu'avant obtention de l'indice de centralité des portefeuilles, on va d'abord calculer celui des projets. Pour l'interprétation, un projet qui se retrouve dans un grand nombre de portefeuilles non dominés présente un fort potentiel aux décideurs en vue de constituer le portefeuille réalisable qui va respecter les contraintes en ressources. On parlera ainsi de « projet central », d'où la notion de centralité

des projets. L'indice de centralité d'un projet représente alors le pourcentage de portefeuilles non dominés dans lesquels il est inclus.

L'intérêt de ce critère, c'est qu'il permet aussi d'identifier les projets qui ne se retrouvent dans aucun des portefeuilles non dominés, les « *exterior projects* », et les projets qui se retrouvent dans quelques portefeuilles non dominés ou les « *borderline projects* ». Les « *core projects* » ou « projets centraux » seront prioritaires et sûrement être recommandés aux décideurs, alors que les « *exterior projects* » vont être rejetés.

Le calcul de l'indice de centralité d'un portefeuille va découler de cela, en nous inspirant de Naoum (2010). Ainsi, l'indice de centralité d'un portefeuille k , noté CI_k , peut se définir comme la moyenne des indices de centralité des projets j inclus dans ce portefeuille.

$$CI_k = \frac{\sum_{j \in k} CI_j}{k}$$

On aurait pu adopter une autre méthode de calcul de la centralité du portefeuille (le min, le max) mais, comme l'a expérimenté Naoum (2010), ce choix est généralement sans impact sur le résultat. De ce fait, nous avons basé notre choix sur la moyenne qui résume bien les informations contenant dans un portefeuille.

3.4.2 Analyse descriptive des portefeuilles

À l'issue de la première étape, nous avons obtenu un ensemble de 18 portefeuilles efficients, dont les données sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Liste des portefeuilles et des critères de sélection de portefeuille

Portefeuilles	VAN	Conformité aux objectifs stratégiques (sur 5)	Respect des normes environnementales (sur 5)	Indice de centralité
Portefeuille 1	14225	4	4	0,7407
Portefeuille 2	14300	5	3	0,7593
Portefeuille 3	15391	3	2	0,6852
Portefeuille 4	15653	3	3	0,7500
Portefeuille 5	15728	3	4	0,7639
Portefeuille 6	16025	4	4	0,7500
Portefeuille 7	16114	2	5	0,6444
Portefeuille 8	16228	4	3	0,6333
Portefeuille 9	17028	3	3	0,7000
Portefeuille 10	17594	3	4	0,7222
Portefeuille 11	18294	4	4	0,6429
Portefeuille 12	18894	3	3	0,6825
Portefeuille 13	19355	2	3	0,6250
Portefeuille 14	19594	3	3	0,6181
Portefeuille 15	20055	3	4	0,5741
Portefeuille 16	20187	3	3	0,6181
Portefeuille 17	20648	2	3	0,5741
Portefeuille 18	20687	3	3	0,5617

Les portefeuilles obtenus sont ordonnés suivant la valeur de la VAN. Cela veut dire que le portefeuille 18 a une VAN supérieure à celle du portefeuille 17, qui a sa VAN supérieure à celle de 16, ainsi de suite. Dans cette section, nous allons faire une analyse descriptive des portefeuilles, avant de procéder à la sélection proprement dite. Cela permettra d'avoir une idée des portefeuilles, de manière visuelle, avant d'en extraire un à la fin.

a) Conformité stratégique et normes environnementales

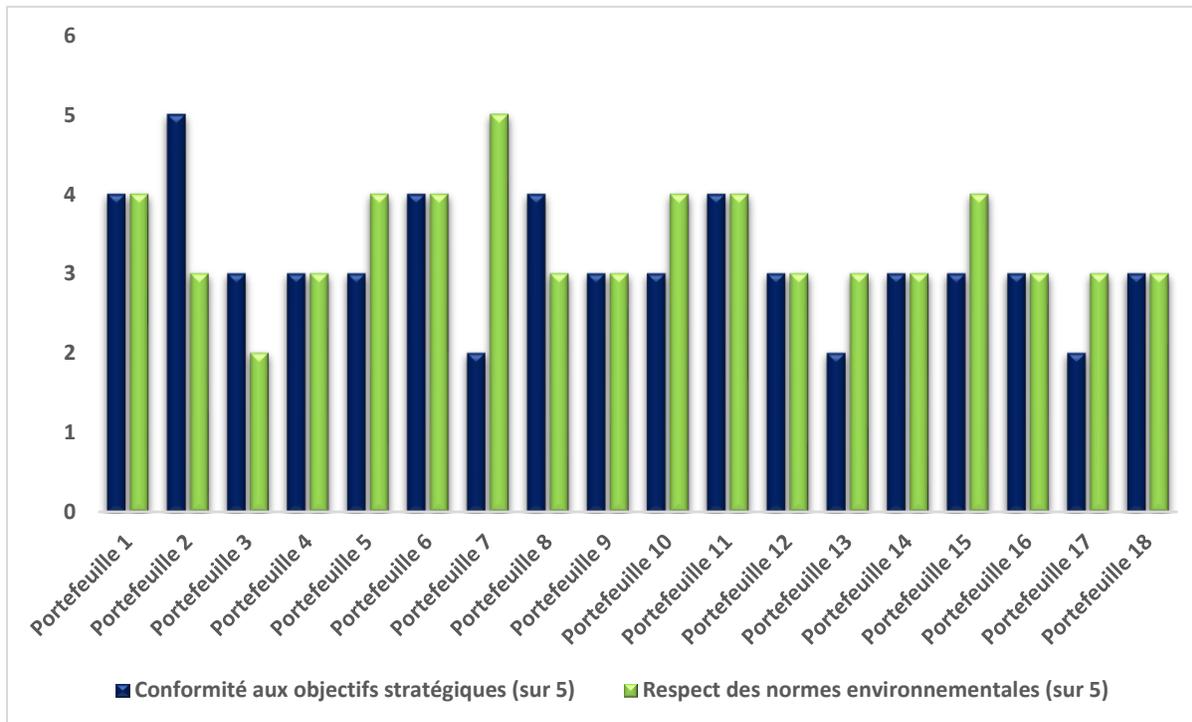


Figure 5 : Diagramme de la conformité stratégique et du respect de l'environnement des différents portefeuilles

Le graphe ci-dessus nous permet de comparer les différents portefeuilles, en fonction de la conformité stratégique et du respect des normes environnementales. Ainsi, on note que le portefeuille 2 a le niveau le plus élevé de conformité aux objectifs stratégiques de l'entreprise, égal à 5, même si sa VAN est la 2^{ème} la plus petite. Concernant le respect des normes environnementales, sa valeur est de 3 sur 5 pour ce portefeuille, ce qui est acceptable. Concernant cette même variable, la plus haute valeur (5) est détenue par le portefeuille 7, avec tout de même une conformité stratégique de 2 sur 5. On note que les portefeuilles 1, 5, 6, 11 et 15 ont une bonne combinaison des valeurs, soit une note entre 3 et 5 pour tous les deux critères.

b) Indice de centralité

Le calcul de l'indice de centralité est effectué avec la méthode de Liesiö et al. (2007).

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Calcul de l'indice de centralité des projets et des portefeuilles obtenus

Ptf	Projets															CI _k (%)
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	
P1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	74,07
P2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	75,93
P3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	68,52
P4	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	75,00
P5	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	76,39
P6	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	75,00
P7	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	64,44
P8	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	63,33
P9	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	70,00
P10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	72,22
P11	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	64,29
P12	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	68,25
P13	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	62,50
P14	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	61,81
P15	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	57,41
P16	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	61,81
P17	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	57,41
P18	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	56,17
CI _j (%)	0	16,7	11,1	77,8	44,4	22,2	50,0	55,6	72,2	77,8	16,7	0	0	100	50,0	

On constate que les projets 1,12 et 13 ont un CI égale à 0%. Cela signifie qu'ils ne sont présents dans aucun portefeuille. En revanche, le projet 14 est, quant à lui, noté dans tous les 18 portefeuilles efficients, d'où une centralité égale à 100%. Il sera alors forcément présent dans le portefeuille final, contrairement aux portefeuilles 1, 12 et 13 qui n'y seront pas.

Pour les portefeuilles, nous allons visualiser la centralité à travers le graphe suivant :

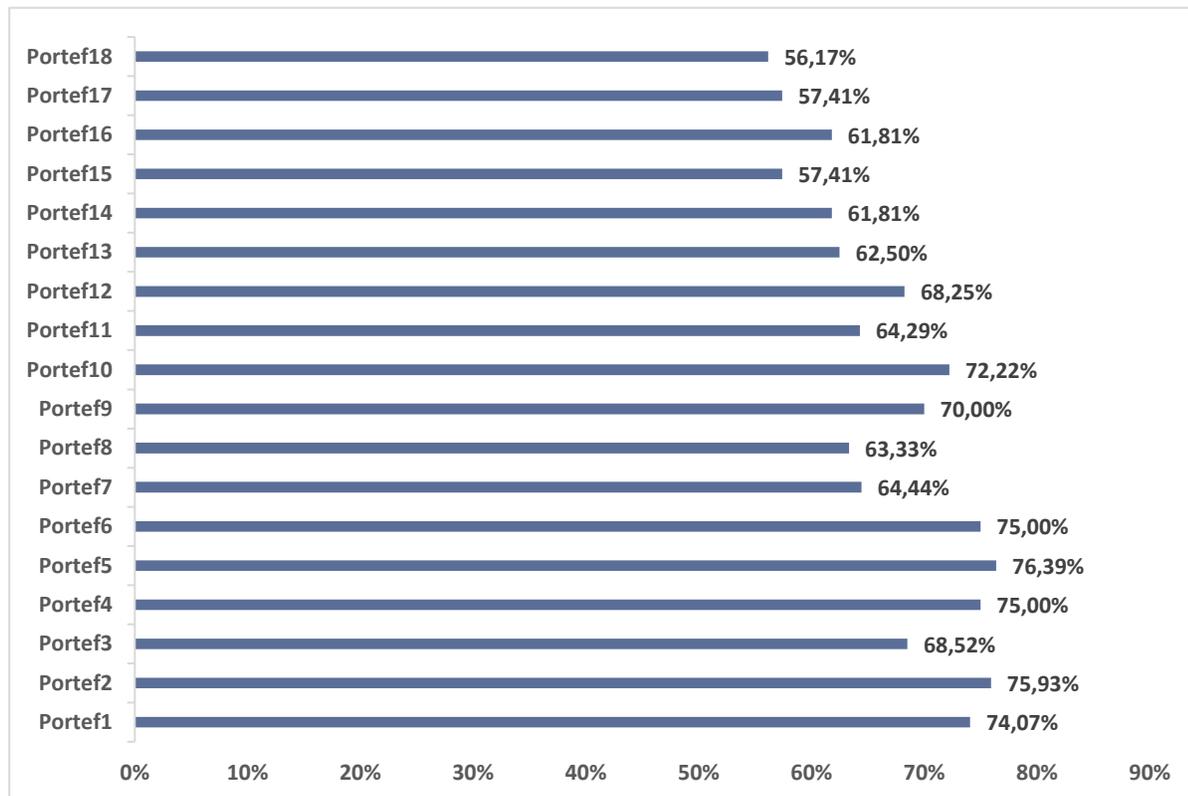


Figure 6 : Histogramme de l'indice de centralité des portefeuilles

La plus grande valeur du CI est détenue par le portefeuille 5, soit 76,39%. Donc, c'est le meilleur portefeuille au sens de l'indice de centralité. En effet, plus la centralité d'un portefeuille est élevée, plus il est composé de projets qui se retrouvent dans beaucoup de portefeuilles, qui sont alors des projets désirés.

3.4.3 Modélisation de l'incertitude et choix du portefeuille final

a) Pondération des critères

La méthode AHP, avec l'échelle de Saaty, nous a permis de déterminer les poids. Pour la structuration des priorités, nous avons recueilli l'avis de trois (3) experts, qui ont

différentes positions. Dans notre cas, nous nous sommes mis dans une situation où les différents experts ont un même niveau de rangement des critères, mais avec des niveaux de priorité différents, soit :

VAN > Respect des normes environnementales > Conformité aux objectifs stratégiques > Indice de centralité. Le symbole « > » signifie « préféré à ».

Le tableau suivant présente les résultats des pondérations effectuées par chacun des trois différents experts décideurs de notre étude :

Tableau 13 : Pondération des critères en fonction des experts

Critère de sélection	Expert 1	Expert 2	Expert 3
VAN	46,6%	44,4%	49,4%
Normes environnementales	16,1%	11,9%	15,1%
Atteinte stratégique	27,7%	31,9%	24,7%
Indice de centralité	9,6%	11,8%	10,7%

b) Modélisation des préférences

À l'aide de MatLab, les préférences des décideurs sont représentées à l'aide de la matrice Monte Carlo. Cette dernière est chargée et la simulation s'ensuivra. Les C_i correspondent aux différentes colonnes de la matrice qui se présente sous la forme suivante :

$$\begin{array}{cccccc}
 C1 & C2 & C3 & C4 & C5 & C6 \\
 \left(\begin{array}{cccccc}
 1 & 5 & 100 & 5000 & 0 & W(1) \\
 1 & 3 & 0 & 2 & 0 & W(2) \\
 1 & 3 & 0 & 2 & 0 & W(3) \\
 1 & 3 & 0 & 0,2 & 0 & W(4)
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Avec : $C1 = \max$ ou \min (1 ou -1) ;

$C2 =$ Type de fonction de préférence ;

$C3 =$ Seuil q ;

C4 = Seuil p ;

C5 = Valeur de sigma (écart-type) si la fonction choisie est gaussienne ;

C6 = Poids des critères.

Pour la colonne 1 (C1), l'omniprésence du chiffre 1 est due au fait que les quatre variables de sélection sont toutes à maximiser.

Pour le type de préférence, la préférence associée à la VAN est considérée comme suivant une fonction de type 5, plus précisément une fonction linéaire avec une zone d'indifférence. Ainsi, on considère que si la différence entre deux portefeuilles est inférieure ou égale à 100, alors on est dans une situation d'indifférence. Si elle est supérieure à 5000, alors on a une préférence stricte, assez significative pour justifier le choix d'un portefeuille au lieu d'un autre. Entre 100 et 5000, on dira que la préférence est faible. Cela veut dire qu'on a une préférence d'un portefeuille sur un autre, mais insuffisante pour en déduire une préférence stricte, ni une indifférence entre les deux. Pour les trois autres critères, la fonction choisie est de type linéaire, de type 3. Par exemple, pour le cas de la 4^{ème} ligne qui correspond à l'indice de centralité, l'explication à donner est qu'en deçà de 20% de différence entre deux portefeuilles, on est dans une situation de faible préférence. À plus de 20%, la préférence devient stricte.

c) Détermination du portefeuille final

Dans cette pratique, nous allons parler de la dernière étape du processus de SPP, qui va mener au choix d'un portefeuille final.

De ce fait, la méthode de génération des portefeuilles utilisée est PROMETHEE II. En effet, avec cette méthode, nous pouvons trouver un rangement complet des portefeuilles. Pour la modélisation de l'incertitude, nous avons utilisé, pour rappel, la simulation Monte Carlo. D'ailleurs, dans la revue, on note que c'est une des principales méthodes adoptées pour la prise en compte de l'incertitude en gestion de portefeuilles de projets. Ainsi, pour

l'utilisation conjointe des deux méthodes, nous avons fait usage du logiciel MatLab, avec un programme qui permet d'effectuer les simulations sur les valeurs des critères et des poids associés et d'appliquer la méthode PROMETHEE pour chaque simulation.

Pour chaque critère, une valeur minimale et une valeur maximale sont renseignées, permettant de construire un intervalle dans lequel se trouve la valeur exacte prise par le portefeuille associé. Concernant la VAN et l'indice de centralité, le minimum et le maximum sont construits en prenant un risque de 5% sur la valeur du portefeuille. Pour la conformité aux objectifs stratégiques et le respect des normes environnementales, nous avons construit les intervalles avec un risque égal à l'écart-type des observations. En effet, les données de ces deux variables étant comprises entre 1 et 5, le choix de l'écart-type permet d'avoir des intervalles avec des bornes entières différenciées et incluant les observations de base, ce qui ne sera pas le cas si on prend le risque de 5%, comme pour la VAN et la centralité.

Par ailleurs, s'agissant des poids attribués à chacun des quatre (4) critères, la valeur minimale correspond à la plus petite valeur parmi les trois (3) propositions de valeurs des experts, et la valeur maximale à la plus grande de ces dernières. Les données d'entrée, pour l'application de la simulation Monte Carlo sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Données d'entrée de la simulation Monte Carlo

Critères	VAN	Conformité aux objectifs stratégiques (sur	Respect des normes environnementales	Indice de centralité
Poids	[0,44-0,49]	[0,12-0,16]	[0,25-0,32]	[0,1-0,12]
Portef1	[13513-14936]	[3,21-4,79]	[3,3-4,7]	[0,7-0,78]
Portef2	[13585-15015]	[4,21-5]	[2,3-3,7]	[0,72-0,8]
Portef3	[14621-16160]	[2,21-3,79]	[1,3-2,7]	[0,65-0,72]
Portef4	[14870-16435]	[2,21-3,79]	[2,3-3,7]	[0,71-0,79]
Portef5	[14941-16514]	[2,21-3,79]	[3,3-4,7]	[0,73-0,8]
Portef6	[15223-16826]	[3,21-4,79]	[3,3-4,7]	[0,71-0,79]
Portef7	[15308-16919]	[1,21-2,79]	[4,3-5]	[0,61-0,68]
Portef8	[15416-17039]	[3,21-4,79]	[2,3-3,7]	[0,6-0,67]
Portef9	[16176-17879]	[2,21-3,79]	[2,3-3,7]	[0,67-0,74]
Portef10	[16714-18473]	[2,21-3,79]	[3,3-4,7]	[0,69-0,76]
Portef11	[17379-19208]	[3,21-4,79]	[3,3-4,7]	[0,61-0,68]
Portef12	[17949-19838]	[2,21-3,79]	[2,3-3,7]	[0,65-0,72]
Portef13	[18387-20322]	[1,21-2,79]	[2,3-3,7]	[0,59-0,66]
Portef14	[18614-20573]	[2,21-3,79]	[2,3-3,7]	[0,59-0,65]
Portef15	[19052-21057]	[2,21-3,79]	[3,3-4,7]	[0,55-0,6]
Portef16	[19177-21196]	[2,21-3,79]	[2,3-3,7]	[0,59-0,65]
Portef17	[19615-21680]	[1,21-2,79]	[2,3-3,7]	[0,55-0,6]
Portef18	[19652-21721]	[2,21-3,79]	[2,3-3,7]	[0,53-0,59]

Avec ces données, nous avons réalisé 1000 itérations afin de générer une distribution de probabilités des flux et des rangements. La forme de distribution utilisée est la distribution uniforme. Nous avons également pris en compte les fonctions et seuils de préférences présentés plus haut. Pour les résultats, le temps de traitement est inférieur à une minute pour chaque simulation. Ils permettent d'obtenir les flux positifs et négatifs, ce qui permet de calculer les flux nets. En effet, conformément à la méthode utilisée (PROMETHEE II), ces derniers permettent d'effectuer un rangement complet pour chaque simulation.

Pour la détermination du portefeuille efficient, nous avons utilisé les rangs basés sur les flux nets. De fait, trois mesures de tendance centrale ont été utilisées : la moyenne, le mode et la médiane. Ces résultats sont donnés par les tableau suivants :

Tableau 15 : Rang moyen de chaque portefeuille selon les flux nets

Portefeuille	Moyenne	Mode	Médiane
P1	13,8	15	14
P2	16,0	17	16
P3	17,9	18	18
P4	16,0	17	16
P5	12,5	12	13
P6	9,6	10	10
P7	10,9	11	11
P8	13,3	14	14
P9	13,2	13	13
P10	7,1	8	7
P11	3,5	2	3
P12	7,8	8	8
P13	8,5	9	9
P14	5,9	5	6
P15	1,8	1	1
P16	4,5	3	4
P17	5,3	6	5
P18	3,5	2	3

Tableau 16 : Rang de chaque portefeuille selon la mesure utilisée

Tri selon			
Rang	Moyenne	Mode	Médiane
1	P15	P15	P15
2	P11	P11	P11
3	P18	P18	P18
4	P16	P16	P16
5	P17	P14	P17
6	P14	P17	P14
7	P10	P10	P10
8	P12	P12	P12
9	P13	P13	P13
10	P6	P6	P6
11	P7	P7	P7
12	P5	P5	P5
13	P9	P9	P9
14	P8	P8	P8
15	P1	P1	P1
16	P2	P2	P2
17	P4	P4	P4
18	P3	P3	P3

Au vu de ce classement, le **portefeuille 15** est le portefeuille le plus efficient. Il est suivi des portefeuilles **18** et **11**. Les plus mauvais portefeuilles sont P3, P4, P2, P1 et P8, quelle que soit la mesure utilisée.

3.4.4 Discussions

Pour le portefeuille 15, on note certains critères qui pourraient être la raison de choix. Déjà, pour la VAN, il s'agit du 4e portefeuille qui en détient la valeur la plus forte. Cela veut dire que l'organisation va prêter attention à ce portefeuille qui va beaucoup lui rapporter sur le long terme.

Concernant le respect de l'environnement, ce portefeuille est noté 4 sur 5. Cela le place parmi les deuxièmes portefeuilles les mieux notés pour ce critère, après le portefeuille 7 qui a une note de 5/5.

Par ailleurs, l'analyse du nombre de projets par portefeuille, présentée à l'annexe III, pourrait s'avérer décisive. En effet, cette analyse permet d'observer que le portefeuille retenu a le nombre le plus élevé de projets détenus par les différents portefeuilles générés. En effet, le portefeuille 15 contient 9 projets, en même temps que les portefeuilles 17 et 18, qui sont moins performants sur d'autres variables importantes, plus particulièrement le respect des normes environnementales.

En effet, le nombre de projets d'un portefeuille peut susciter l'idée selon laquelle on peut le percevoir comme un indice de risque du portefeuille. En effet, a priori, on peut avancer que plus le nombre de projets est grand, moins l'échec d'un projet aura d'impact sur le portefeuille. Tout de même, il convient de vérifier également les projets qui rentrent dans ces portefeuilles, afin de voir s'ils sont bien notés en fonction des critères ou encore les interactions pouvant exister entre eux.

Ainsi, les projets constituant ces portefeuilles peuvent également faire la différence. Par exemple, on remarque que le portefeuille 15 contient le projet 2, qui ne figure pas dans les portefeuilles 17 et 18. Et pourtant, ce projet paraît fort désirable en raison de ses critères, notamment la conformité aux objectifs stratégiques (5/5) et le respect des normes environnementales (4/5). Le risque associé à ce projet est également minime (12,9), comparé aux autres. Somme toute, on peut dire que ce projet devrait figurer dans le portefeuille final, en raison de ses caractéristiques qui encouragent sa sélection : ce qui est le cas avec le portefeuille 15 qui a été choisi.

On peut aussi noter un exemple avec l'inverse. En effet, le projet 11 est inclus dans les portefeuilles 17 et 18, et non dans le portefeuille 15. Pour les caractéristiques, sa conformité aux objectifs stratégiques et son respect aux normes environnementales ont des notes très faibles, soit respectivement 2/5 et 1/5. De plus, il a un risque très élevé (30,4). Avec ces

remarques, on peut avancer que ce projet est indésirable. Ainsi, l'organisation ne souhaiterait pas avoir un tel projet dans son portefeuille final.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour la rédaction du présent mémoire, il a été question pour nous de proposer un modèle de sélection de portefeuille de projets qui prend en compte les interactions qui existent entre les différents projets ainsi que les incertitudes liées aux valeurs prises par les critères au cours du temps. Cette problématique est précipitée par le constat selon lequel il a été soupçonné un manque d'études traitant conjointement les interactions et les incertitudes.

Pour l'application, elle a été faite sur la base d'un exemple didactique. En effet, nous avons utilisé les données issues de l'article Sharifighazvini et al. (2018) qui se composent de 15 projets.

La méthodologie adoptée est composée de deux phases : une première permettant de déterminer l'ensemble des portefeuilles efficaces résultant d'une combinaison des 15 projets et une seconde réservée au choix du portefeuille final. Concernant les méthodes, la programmation multiobjectif nous a permis de prendre en compte les interactions entre les projets et de ressortir 18 portefeuilles efficaces. Par la suite, l'application conjointe de PROMETHEE et de la simulation Monte Carlo a permis d'appréhender les incertitudes liées aux critères de sélection et d'obtenir un portefeuille final, composé de 9 projets. L'étude des incertitudes a impliqué la construction des critères sous forme d'intervalles. Dans cette phase, nous avons également à modéliser les poids associés aux critères. Pour ce faire, nous avons eu à utiliser l'AHP de Saaty (1984), qui a impliqué de confronter les évaluations de trois experts et débouché sur des pondérations de ces critères. Les préférences des décideurs ont également été prises en compte, avec des seuils bien précis. Les critères, les poids et les fonctions de préférences sont les inputs de la matrice utilisée pour la simulation de Monte Carlo.

Néanmoins, ce travail n'est pas exempt de limites. Les pistes à explorer sont les suivantes :

- **Modélisation dynamique du portefeuille** : La dynamique des portefeuilles de projets, incluant l'ajustement continu des projets en fonction de leur avancement et des conditions changeantes, représente un domaine de recherche prometteur. L'élaboration de modèles permettant de capturer ces dynamiques et d'évaluer l'impact des décisions à chaque étape du cycle de vie du portefeuille est essentielle pour améliorer la prise de décision.

- **Incorporation de l'Intelligence Artificielle (IA)** : L'utilisation de techniques d'intelligence artificielle, comme l'apprentissage automatique, pour prédire les interactions entre projets ou pour améliorer la précision des modèles d'incertitude pourrait révolutionner la manière dont les portefeuilles de projets sont sélectionnés. L'IA pourrait également faciliter l'adaptation en temps réel des portefeuilles en réponse à des événements imprévus.

- **Prise en compte des aspects humains et organisationnels** : Une avenue de recherche importante consiste à étudier comment les aspects humains, tels que la résistance au changement et les préférences des décideurs, peuvent être mieux intégrés dans les modèles de sélection de portefeuille. Cela inclut la recherche sur la manière dont les outils de décision peuvent être conçus pour être plus intuitifs et alignés avec les besoins organisationnels.

- **Exploration de nouvelles techniques de modélisation d'incertitude** : Le développement de nouvelles techniques pour modéliser l'incertitude, en particulier celles qui sont plus adaptées à des environnements hautement volatiles ou à des informations imparfaites, pourrait améliorer la robustesse des décisions de SPP. Des approches basées sur la théorie des jeux, l'incertitude floue ou la théorie de l'information sont des possibilités.

Somme toute, la recherche sur la sélection de portefeuille de projets avec interactions et incertitudes est un domaine en pleine évolution qui nécessite des solutions innovantes pour faire face aux défis complexes du monde réel. L'exploration de nouvelles approches, ainsi que l'amélioration des méthodes existantes, continuera d'être essentielle pour améliorer la prise de décision stratégique et opérationnelle dans les organisations.

M2, matrice d'interactions des coûts

2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1000	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	5500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-750	0	0	0	-275	1920	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	48000	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	11120	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	6900	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	5100	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4310	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1980	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1200	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74370	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000

M3, matrice d'interactions de la VAN

600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
425	0	0	1800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	350	950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	461	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5500	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	2891	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1725	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1428	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1293	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	436	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	450	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7000	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2750

Le critère de maximisation de la contribution économique d'un portefeuille s'écrira :

Max $600 p_1 + 700 p_2 + \dots + 7000 p_{14} + 2750 p_{15} + 425 p_1 * p_4 + 350 p_4 * p_5$ avec p_1, \dots, p_{15} étant des variables binaires égales à 1 si le projet est retenu dans le portefeuille et à 0 autrement.

M4, matrice d'interactions du risque

27,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	12,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-2,4	14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	16,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	21,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-3,4	14,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	19,8	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	19,6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	14,4	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30,4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,4

Le critère de minimisation du risque d'un portefeuille s'écrira :

Min $27,3 p_1 + 12,9 p_2 + \dots + 31,5 p_{14} + 31,4 p_{15} - 2,4 p_2 * p_3 - 3,4 p_5 * p_6$ avec p_1, \dots, p_{15} étant des variables binaires égales à 1 si le projet est retenu dans le portefeuille et à 0 autrement.

ANNEXE II : PROGRAMME MULTIOBJECTIF NON LINÉAIRE

Problem_Name : Study

Number_of_variables (15 variables and 6 combinations of variables) : 21

Number_of_Objectives : 2 (VAN, Risque)

Number_of_constraints : 2 (Coût, Nombre de ressources humaines)

Constraints_Matrix :

25	10	8	7	4	6	10	12	9	15	10	8	22	5	4	-5
-4															

<= 75

2500	3500	2000	5500	3100	1920	48000	11120	6900	5100	4310	1980
1200	74370	12000	-750	-1000	-275						

<= 136350

Variable_Bounds :

0 1^e+10

0 1^e+10

Objective_Functions :

Max	600	700	500	1800	950	461	5500	2891	1725	1428	1293
	436	450	7000	2750	425	350					

Min	27,3	12,9	14,3	16,4	21,9	14,5	19,8	19,6	14,4	10,9	30,4
	21,2	33	31,5	31,4	-2,4	-3,4					

Variables names

x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7 x8 x9 x10 x11 x12 x13 x14 x15 x16 x17
x18 x19 x20

x16=x1x4

x17= x2x3

x18= x4x5

x19= x5x6

x20=x1x6

x21= x2x6

Formulation dans Midaco :

% Objective functions F(X)

f(1)=-600*x(1)-700*x(2)-500*x(3)-1800*x(4)-950*x(5)-461*x(6)-5500*x(7)-2891*x(8)-
1725*x(9)-1428*x(10)-1293*x(11)-436*x(12)-450*x(13)-7000*x(14)-2750*x(15)-
425*x(16)-350*x(18);

f(2)=27.3*x(1)+12.9*x(2)+14.3*x(3)+16.4*x(4)+21.9*x(5)+14.5*x(6)+19.8*x(7)
+19.6*x(8)+14.4*x(9)+10.9*x(10)+30.4*x(11)+21.2*x(12)+33*x(13)+31.5*x(14)+31.4*x(
15)-2.4*x(17)-3.4*x(19);

% Equality constraints G(X) = 0 MUST COME FIRST in g(1:me)

g(1) = x(16)-x(1)*x(4);

$$g(2) = x(17) - x(2) * x(3);$$

$$g(3) = x(18) - x(4) * x(5);$$

$$g(4) = x(19) - x(5) * x(6);$$

$$g(5) = x(20) - x(1) * x(6);$$

$$g(6) = x(21) - x(2) * x(6);$$

% Inequality constraints $G(X) \geq 0$ MUST COME SECOND in $g(m+1:m)$

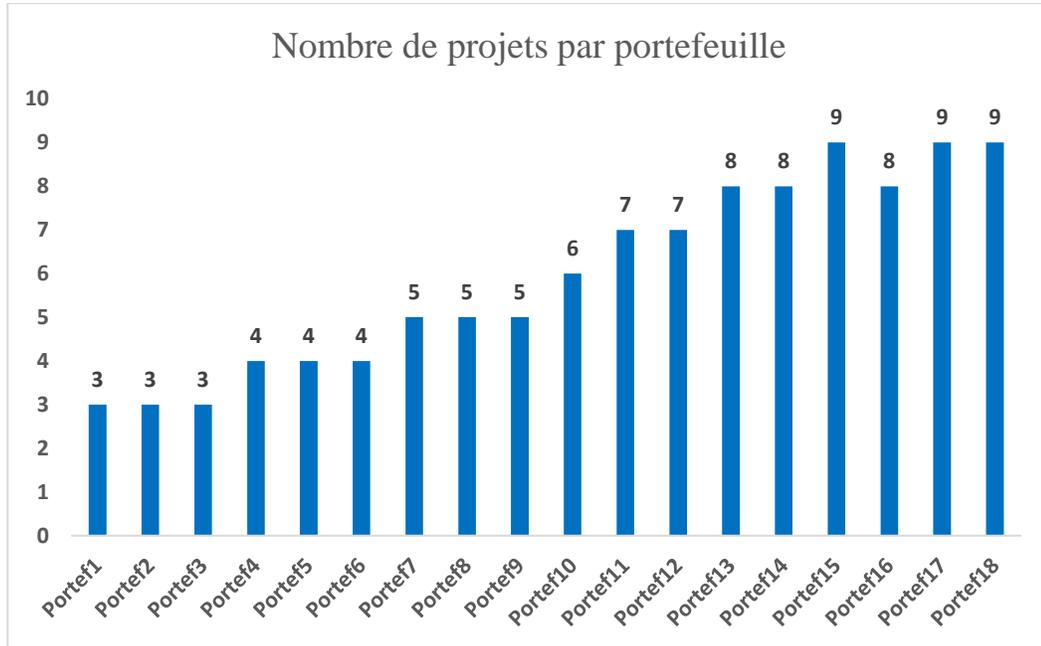
$$g(7) = -25 * x(1) - 10 * x(2) - 8 * x(3) - 7 * x(4) - 4 * x(5) - 6 * x(6) - 10 * x(7) - 12 * x(8) - 9 * x(9) - 15 * x(10) - 10 * x(11) - 8 * x(12) - 22 * x(13) - 5 * x(14) - 4 * x(15) + 5 * x(16) + 4 * x(21) + 75;$$

$$g(8) = -2500 * x(1) - 3500 * x(2) - 2000 * x(3) - 5500 * x(4) - 3100 * x(5) - 1920 * x(6) - 48000 * x(7) - 11120 * x(8) - 6900 * x(9) - 5100 * x(10) - 4310 * x(11) - 1980 * x(12) - 1200 * x(13) - 74370 * x(14) - 12000 * x(15) + 750 * x(20) + 275 * x(19) + 1000 * x(17) + 136350;$$

$$g(9) = 600 * x(1) + 700 * x(2) + 500 * x(3) + 1800 * x(4) + 950 * x(5) + 461 * x(6) + 5500 * x(7) + 2891 * x(8) + 1725 * x(9) + 1428 * x(10) + 1293 * x(11) + 436 * x(12) + 450 * x(13) + 7000 * x(14) + 2750 * x(15) + 425 * x(16) + 350 * x(18) - 14000;$$

avec $x(i) = 1$ si le projet (i) fait partie du portefeuille et 0 sinon

ANNEXE III : NOMBRE DE PROJETS PAR PORTEFEUILLE



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Archer, N. P., et Ghasemzadeh, F. (1999). An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4), 207-216. [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00032-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00032-5)
- Bai, L., Bai, J., et An, M. (2022). A methodology for strategy-oriented project portfolio selection taking dynamic synergy into considerations. *Alexandria Engineering Journal*, 61(8), 6357-6369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2021.11.056>
- Bouchon-Meunier, B., Yager, R. R., et Zadeh, L. A. (1995). *Fuzzy logic and soft computing* (Vol. 4): World Scientific.
- Brans, J.-P., et Mareschal, B. (1994). The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. *Decision support systems*, 12(4-5), 297-310.
- Brans, J.-P., et Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management science*, 31(6), 647-656.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., et Kleinschmidt, E. J. (1997). Portfolio management in new product development: Lessons from the leaders—I. *Research-Technology Management*, 40(5), 16-28.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., et Kleinschmidt, E. J. (1998). Best practices for managing R&D portfolios. *Research-Technology Management*, 41(4), 20-33.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., et Kleinschmidt, E. J. (2001). Portfolio management for new products.
- Cooper, R. G., et Sommer, A. F. (2023). Dynamic Portfolio Management for New Product Development: Companies can use a Value Based Scorecard, developed using proven, research-based criteria, to select and prioritize NPD projects effectively. *Research Technology Management*, 66(3), 19-31. <http://dx.doi.org/10.1080/08956308.2023.2183004>

- Davoudabadi, R., Mousavi, S. M., Šaparauskas, J., et Gitinavard, H. (2019). Solving construction project selection problem by a new uncertain weighting and ranking based on compromise solution with linear assignment approach. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(3), 241-251.
- de Souza, D. G. B., Dos Santos, E. A., Soma, N. Y., et da Silva, C. E. S. (2021). Mcdm-based r&d project selection: A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <http://dx.doi.org/10.3390/su132111626>
- Ebrahimnejad, S., Mousavi, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., et Vahdani, B. (2012). A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling*, 36(9), 4197-4217.
- Eilat, H., Golany, B., et Shtub, A. (2006). Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. *European Journal of Operational Research*, 172(3), 1018-1039. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2004.12.001>
- Fahrni, P., et Spätig, M. (1990). An application-oriented guide to R&D project selection and evaluation methods. *R&D Management*, 20(2), 155-171.
- Fernez-Walch, S., Gidel, T., et Romon, F. (2004). Le management de portefeuilles de projets d'innovation (MPPI). *Gestion 2000*, 21(1).
- Fotr, J., Plevný, M., Švecová, L., et Vacík, E. (2013). Multi-criteria project portfolio optimization under risk and specific limitations. *E a M: Ekonomie a Management*, 16(4), 71-88.
- Frimousse, S., et Peretti, J.-M. (2020). Impact social positif et création de valeur. *Question(s) de management*, 27(1), 91-130. <http://dx.doi.org/10.3917/qdm.201.0091>
- Gabla, E. K. (2016). *La sélection de projet dans un contexte de développement durable en présence d'incertitude*. Disponible chez ProQuest Dissertations & Theses Full Text.

- Gear, T. E., et Cowie, G. C. (1980). A note on modeling project interdependence in research and development. *Decision Sciences*, 11(4), 738-748.
- Ghapanchi, A. H., Tavana, M., Khakbaz, M. H., et Low, G. (2012). A methodology for selecting portfolios of projects with interactions and under uncertainty. *International Journal of Project Management*, 30(7), 791-803. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.01.012>
- Gray, C. F., Langevin, Y., et Larson, E. W. (2007). *Management de projet*: Chenelière McGraw-Hill.
- Hall, D. L., et Nauda, A. (1990). An Interactive Approach for Selecting IR&D Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 37(2), 126-133. <http://dx.doi.org/10.1109/17.53715>
- Hyde, K., Maier, H. R., et Colby, C. (2003). Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12(4-5), 245-259.
- Jafarzadeh, H., Akbari, P., et Abedin, B. (2018). A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency – combination of fuzzy QFD and DEA. *Expert Systems with Applications*, 110, 237-249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.028>
- Kandakoglu, M., Walther, G., et Ben Amor, S. (2023). The use of multi-criteria decision-making methods in project portfolio selection: a literature review and future research directions. *Annals of Operations Research*. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-023-05564-3>
- Lachance, G. A. (2018). *Proposition d'une méthodologie multicritère pour la résolution du problème d'ordonnancement d'un projet avec prise en compte des compétences et des ressources*. Disponible chez ProQuest Dissertations & Theses Full Text.
- Lahaye, L. (2009). *Sélection dynamique de portefeuilles de projets*. Disponible chez ProQuest Dissertations & Theses Full Text.

- Liesiö, J., Mild, P., et Salo, A. (2007). Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 181(3), 1488-1505.
- Liesiö, J., Salo, A., Keisler, J. M., et Morton, A. (2021). Portfolio decision analysis: Recent developments and future prospects. *European Journal of Operational Research*, 293(3), 811-825.
- Liu, D. B. (2007). *Uncertainty theory*: Springer.
- Lmoussaoui, H., et Jamouli, H. (2015). *Evaluation des risques-projet par une approche AHP/WPM: Application à un projet réel BTP*. Communication présentée QUALITA'2015.
- Luenberger, D. G. (1998). Products of trees for investment analysis. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22(8-9), 1403-1417.
- Mashayekhi, Z., et Omrani, H. (2016). An integrated multi-objective Markowitz-DEA cross-efficiency model with fuzzy returns for portfolio selection problem. *Applied Soft Computing Journal*, 38, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.018>
- Mavrotas, G., et Pechak, O. (2013a). Combining mathematical programming and Monte Carlo simulation to deal with uncertainty in energy project portfolio selection *Assessment and simulation tools for sustainable energy systems: theory and applications* (pp. 333-356): Springer.
- Mavrotas, G., et Pechak, O. (2013b). The trichotomic approach for dealing with uncertainty in project portfolio selection: combining MCDA, mathematical programming and Monte Carlo simulation. *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 3(1), 79-96.
- Mendel, J. M., John, R. I., et Liu, F. (2006). Interval type-2 fuzzy logic systems made simple. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 14(6), 808-821.
- Midler, C. (1995). "Projectification" of the firm: the Renault case. *Scandinavian Journal of management*, 11(4), 363-375.

- Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., Antuchevičienė, J., et Mojtahedi, M. (2019). Project portfolio selection problems: A review of models, uncertainty approaches, solution techniques, and case studies. *Technological and Economic Development of Economy*, 25(6), 1380-1412. <http://dx.doi.org/10.3846/tede.2019.11410>
- Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., et Mojtahedi, M. (2020). Project portfolio selection problems: Two decades review from 1999 to 2019. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(2), 1675-1689. <http://dx.doi.org/10.3233/jifs-182847>
- Naoum, S. E. A. (2010). *Constitution d'un portefeuille de projets à partir d'un indice de centralité des projets*. Disponible chez ProQuest Dissertations & Theses Full Text.
- Project Management Institute. (2017). *Guide du corpus des connaissances en management de projet (guide PMBOK)*.
- Roy, B. (1985). Méthode multicritère d'aide à la décision, Paris. *Economica*.
- Roy, B., et Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*: Economica Paris.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. *Agricultural Economics Review*, 70(804), 10.21236.
- Saaty, T. L. (1984). *Décider face à la complexité: une approche analytique multicritère d'aide à la décision* (Vol. 7): Esf Editeur.
- Şahin Zorluoğlu, Ö., et Kabak, Ö. (2021). A literature survey on project portfolio selection problem. *Multiple Criteria Decision Making: Beyond the Information Age 25*, 387-411.

- Santamaría, L., Barge-Gil, A., et Modrego, A. (2010). Public selection and financing of R&D cooperative projects: Credit versus subsidy funding. *Research Policy*, 39(4), 549-563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.011>
- Schmidt, R. L. (1993). A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40(4), 403-410.
- Sharifighazvini, M. R., Ghezavati, V. R., Raissi, S., et Makui, A. (2018). Integration of a new mcdm approach based on the dea, fanp with monlp for efficiency-risk assessment to optimize project portfolio by branch and bound: A real case-study. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 52(1), 261-278. <http://dx.doi.org/10.24818/18423264/52.1.18.16>
- Song, S., Yang, F., et Xia, Q. (2019). Multi-criteria project portfolio selection and scheduling problem based on acceptability analysis. *Computers and Industrial Engineering*, 135, 793-799. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.056>
- Szilágyi, I., Sebestyén, Z., et Tóth, T. (2020). Project Ranking in Petroleum Exploration. *Engineering Economist*, 65(1), 66-87. <http://dx.doi.org/10.1080/0013791X.2019.1593570>
- Tavana, M., Khalili-Damghani, K., et Abtahi, A. R. (2013). A fuzzy multidimensional multiple-choice knapsack model for project portfolio selection using an evolutionary algorithm. *Annals of Operations Research*, 206(1), 449-483. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-013-1387-3>
- Turkmen, G. F., et Topcu, Y. I. (2021). RESEARCH AND DEVELOPMENT PROJECT SELECTION: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE TRENDS AND METHODS. *South African Journal of Industrial Engineering*, 32(4), 28-43. <http://dx.doi.org/10.7166/32-4-2452>
- Urli, B., Gbodossou, A., et Terrien, F. (2007). Sélection de portefeuille de projets: une approche pratique2.
- Urli, B., et Terrien, F. (2010). Project portfolio selection model, a realistic approach. *International Transactions in Operational Research*, 17(6), 809-826.

Yang, F., Song, S., Huang, W., et Xia, Q. (2015). SMAA-PO: project portfolio optimization problems based on stochastic multicriteria acceptability analysis. *Annals of Operations Research*, 233(1), 535-547. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-014-1583-9>

Zeleny, M. (1998). Multiple criteria decision making: Eight concepts of optimality. *Human Systems Management*, 17(2), 97-107.

Zhu, Q., Dou, Y., et Sarkis, J. (2010). A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process. *Supply Chain Management*, 15(4), 306-319. <http://dx.doi.org/10.1108/13598541011054670>