

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI

**CONSTITUTION D'UN PORTEFEUILLE DE PROJETS À
PARTIR D'UN INDICE DE CENTRALITÉ DES PROJETS**

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI

Comme exigence partielle

Du programme de maîtrise en gestion de projet

PAR

NAOUM ANOUAR

Mai, 2010

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 l'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.

REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, j'aimerais remercier mon directeur de recherche, monsieur Bruno Urli, pour l'aide et l'encouragement prodigués tout au long de ma recherche. Son soutien, son expertise, ses conseils et sa disponibilité ont rendu mon travail plus riche et plus agréable. Je tiens aussi à remercier l'UQAR pour les moyens mis à ma disposition, le corps professoral et le personnel de la bibliothèque pour leur collaboration. J'aimerais spécialement présenter ma sincère reconnaissance au directeur de programme, le professeur Pierre Cadieux, pour son approche à l'enseignement et la bonne humeur qu'il a toujours témoigné à mon égard.

Je dédie cette thèse, à mes chers parents, à mes chers frères Zaim et Adel et à leurs épouses Samia et Wasila, à mes sœurs Rkia, Jihane et Rym et à son époux Djamel, pour leur amour et leur soutien indéfectible, et à mes deux chères grands-mères, que je remercie du plus profond de mon cœur, à mes chers tantes, mes oncles, leurs époux et épouses, à mes cousins et cousines en Algérie et en Europe et surtout à mon cher cousin Laroussi Mustapha qui n'a jamais cessé de m'encourager, que Dieu vous garde et vous protège. Je veux profiter de cette occasion, pour encore rendre témoignage à mon cher père qui m'a toujours servi de modèle, que j'admire et que j'aime tellement et pour mon affectueuse et admirable mère qui a tout fait pour moi et qui n'a jamais cessé de me couvrir de tendresse. Aussi dans ce mémoire, je voudrais dire toute ma reconnaissance à ma future épouse Asmaa, pour son précieux soutien et ses encouragements tout au long de mon cursus universitaire, et qui, sans sa présence à mes côtés, la réalisation de ce mémoire eût été et resterait impossible. Ces remerciements ne peuvent s'achever, sans une pensée particulière envers mes amis Krimo et Rédha qui m'ont toujours soutenu.

RÉSUMÉ

Un portefeuille de projets peut être défini comme un ensemble de projets en concurrence. Il regroupe des projets dépendants les uns des autres par les produits consommés ou fournis, les ressources mobilisées, les technologies ou les savoir-faire utilisés. La question posée concerne alors, pour une catégorie donnée de projets, le portefeuille à sélectionner. L'étape de sélection d'un portefeuille de projets revient à rechercher le sous-ensemble de projets qui contribue le mieux à l'atteinte des objectifs associés aux critères retenus, tout en respectant les contraintes de ressources, voire de dépendance entre projets. On peut considérer deux grandes approches pour la constitution des portefeuilles de projets. La première, choisie dans le cadre des travaux de Terrien (2007) et Lahaye (2009), consiste à générer, en premier lieu, un ensemble de portefeuilles ayant de belles propriétés (par exemple des portefeuilles efficaces, faisable en terme de ressources humaines, financières ou matérielles) puis à sélectionner un portefeuille qui représente un bon compromis pour le décideur. La seconde approche, celle qui est utilisée dans la pratique des organisations et qui serait plus une méthode de sélection de projets qu'une méthode de sélection de portefeuille de projets, consiste justement, dans une première étape, à sélectionner un sous ensemble des meilleurs projets puis à constituer un portefeuille à partir de ces projets considérés comme les meilleurs. Dans cette approche, les interdépendances entre projets ne sont pas prises en compte dans la phase de constitution du portefeuille mais pourraient être considérées de manière plus ad hoc dans la gestion du portefeuille. Dans ce mémoire, nous proposons une méthode de constitution de portefeuille de projets qui relève de cette dernière approche mais qui intègre, plus formellement, une analyse des interdépendances et qui est basée sur un concept de centralité du portefeuille de projet. Pour valider notre démarche, outre un exemple didactique qui illustrera la faisabilité technique de notre modèle, nous avons demandé, à quelques experts en gestion de portefeuille de projets, d'évaluer la proposition méthodologique que nous avons développée.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DE TABLEAUX.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : LA GESTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS.....	3
I.1 Le portefeuille de projets.....	3
I.2 La gestion de portefeuille de projets.....	5
I.3 Principaux problèmes à l'origine de l'approche de portefeuille de projets..	7
I.4 Les objectifs de la gestion de portefeuille de projets.....	8
La sélection de projets et la constitution du portefeuille.....	8
CHAPITRE II : LA SÉLECTION DE PROJETS ET LA SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS.....	13
II.1 La sélection de projets.....	13
II.2 Les principales méthodes de sélection de projets.....	18
II.3 L'interdépendance des projets et le portefeuille de projets.....	21
II.4 Recension des écrits et typologie des méthodes de sélection de portefeuilles de projets.....	24
CHAPITRE III : PROPOSITION D'UNE MÉTHODOLOGIE DE GESTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS.....	35
III.1 Présentation de la méthodologie de sélection de portefeuille de projets.....	39
III.1.1 <i>Choix d'une méthode d'agrégation – la méthode PROMETHEE</i>	39
III.1.2 <i>La génération des portefeuilles par la métaheuristique MOAMP</i>	43
III.1.3 <i>L'analyse des portefeuilles efficaces</i>	47
III.2 Illustration de la méthode de sélection de portefeuilles de projets proposée 57	57
III.2.2 <i>Étape de présélection des projets</i>	58
III.2.3 <i>Étape de Constitution des portefeuilles de projets efficaces et faisables..</i>	63
III.2.4 <i>Étape de sélection des portefeuilles de projets</i>	65
III.3 Conclusion sur la méthode DEA- l'Indice de Centralité des Portefeuilles de Projets.....	74
CONCLUSION.....	75
BIBLIOGRAPHIE.....	77
ANNEXE – I : La modélisation multicritère.....	88
ANNEXE II : Différents types de critères.....	95
ANNEXE III : L'exemple didactique.....	96
ANNEXE-IV : Graphe de domination des 15 «meilleurs» projets.....	98
ANNEXE-V : les matrices d'interactions de l'exemple didactique.....	99
ANNEXE – VI : Le programme multiobjectif non linéaire en nombres entiers..	102
ANNEXE – VII : les Outputs DEA.....	103

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Données de l'exemple didactique	59
Tableau 2 : Résultats de MOAMP avec les 15 projets candidats	64
Tableau 3 : matrice d'évaluation des portefeuilles non dominés.....	64
Tableau 4. Indices de centralité des projets et des portefeuilles de projets	66
Tableau 5. Indices de centralité des portefeuilles de projets selon l'opérateur choisi	67
Tableau 6 : Input oriented DEA	69
Tableau 7: Output oriented DEA	70

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les programmes et les projets font partie du portefeuille de projets	4
Figure 2: le modèle de l'entonnoir	5
Figure 3: La gestion du portefeuille de projet dans la gestion d'une organisation	6
Figure 4: La gestion de portefeuille de projets par Archer et al. (1999)	9
Figure 5: Track product progress through the Stage-Gate framework.....	12
Figure 6: Cycle de vie d'un projet.....	15
Figure 7: Classification des méthodes de sélection de projets.....	19
Figure 8: Les différentes typologies de la sélection de portefeuille de projets.....	30
Figure 9: Approches possibles pour les méthodologies de sélection de portefeuilles	31
Figure 10: Étapes de la méthodologie de sélection de portefeuille de projets.....	37
Figure 11: le processus interactif de sélection de portefeuilles de projets	49
Figure 12: Frontière efficient de la méthode DEA.....	51
Figure 13: Les flux de PROMOTHEE	61
Figure 14: Plan GAIA de Decision Lab	61
Figure 15 : l'intervalle de sensibilité.....	62
Figure 16: Les portefeuilles proposés sous CREST.....	72
Figure 17: Les portefeuilles proposés sous VREST.....	73

INTRODUCTION

La mondialisation, le contexte d'incertitude et la complexité dans lesquels évoluent les entreprises, combinés à un cycle de développement plus rapide des produits ont contribué à l'explosion du nombre de projets à gérer simultanément. Dans un tel contexte, la gestion par projets est devenue un choix incontournable pour les organisations innovantes qui veulent réaliser leurs objectifs stratégiques et leurs besoins d'affaires.

Cependant, faute de ressources, les organisations ne peuvent pas entreprendre et gérer tous les projets simultanément. Cette limitation des ressources conduit inéluctablement les organisations à un processus d'analyse et de priorisation des projets. En effet, la nature, la taille, les avantages et les exigences en ressources de chaque projet constituent un véritable défi pour les organisations en ce qui a trait au processus de sélection et de choix des projets pour constituer un portefeuille.

La constitution de portefeuilles de projets devient ainsi un cheminement indispensable, important et critique pour les organisations innovantes. Un choix judicieux quant à la constitution de son portefeuille permet à une organisation de développer des produits nouveaux, de faire la différence par rapport à ses concurrents, de gruger des parts de marché, d'accroître ses revenus et d'assurer sa pérennité économique.

Pendant plus de quarante ans, praticiens et chercheurs ont tenté de décortiquer, de mesurer et de comprendre le processus de sélection de projets. Beaucoup d'auteurs ont solutionné le problème en proposant une panoplie de modèles théoriques et pratiques des plus complexes. Cependant ces modèles, plutôt que des modèles de constitution de portefeuilles de projets, étaient pour la très grande majorité, des modèles de sélection de projets et non de sélection de portefeuilles de projets. C'est dans ce contexte que nous avons jugé qu'il était intéressant de revisiter ses procédures de sélection de projets en élaborant une méthode accessible et simple d'utilisation pour les gestionnaires afin de les aider à sélectionner des projets dans une perspective de portefeuille de projets.

CHAPITRE I : LA GESTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS

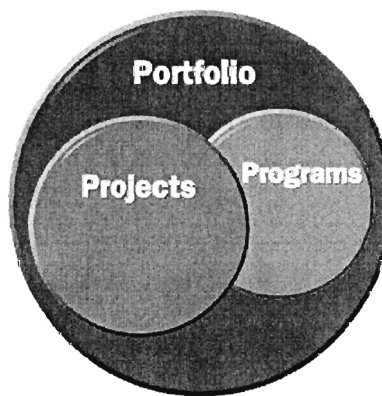
Depuis les années 80, les enjeux de la performance, de l'efficacité et de l'efficience ont poussé de nombreuses organisations à adopter les principes et les outils du management de projet. Loin d'être une affaire de mode ou de tendance, le management de projet s'est désormais imposé dans presque tous les secteurs d'activité : banque et assurance, informatique, secteur associatif, etc. Cependant, la quête de la productivité, l'accélération du développement des nouveaux produits et la course à l'innovation entraînent une augmentation du nombre et de la variété des projets à gérer simultanément. L'accroissement du nombre de projets à sélectionner et à gérer a fait émerger la notion de portefeuille de projets.

1.1 Le portefeuille de projets

Un portefeuille est un ensemble homogène de ressources ou d'actifs. Ces ressources peuvent être de toutes sortes : produits financiers, immeubles, machines terrains matières premières, brevets, compétences et bien sûr dans le cadre de cette étude, des projets. Dans cette perspective, un portefeuille est composé de projets ou même de programmes visant l'atteinte de différents objectifs (Figure 1). Le portefeuille représente, en quelque sorte, les plans futurs d'une entité ainsi que les investissements qui vont être réalisés.

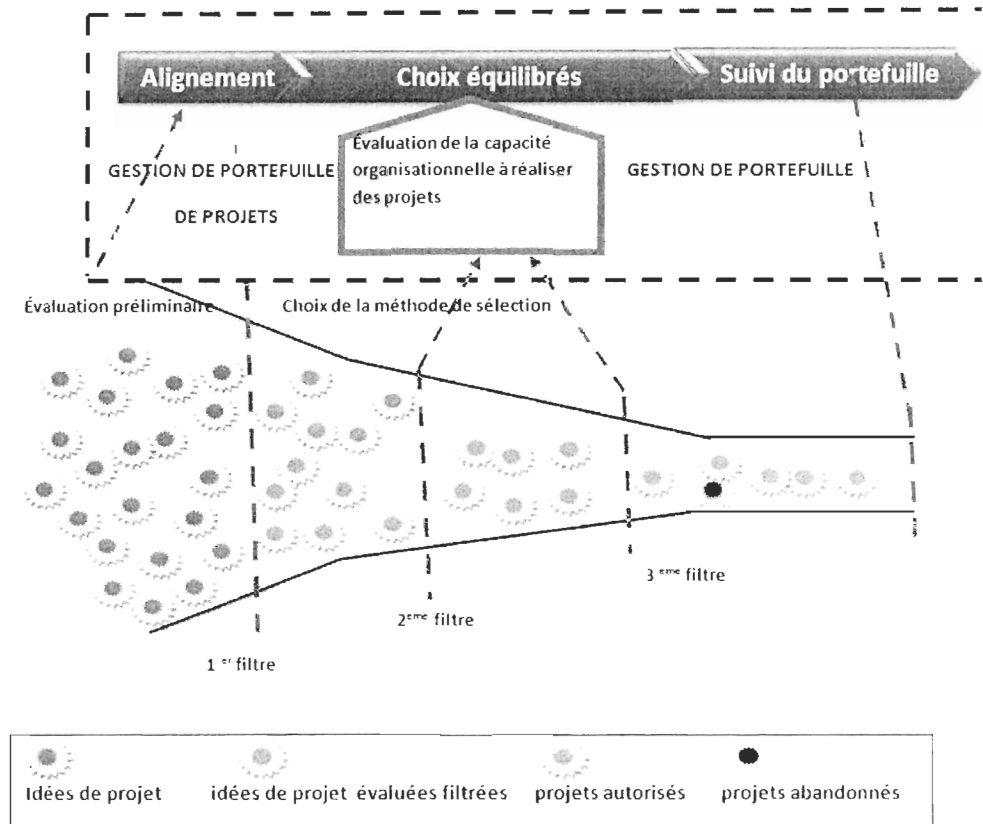
Le concept de portefeuille de projets véhicule l'idée d'optimisation, de compétition des projets pour des ressources rares. L'auteur Fernandez-Walch (2004) a défini le portefeuille de projets comme « un ensemble de projets en concurrence ». Il regroupe des projets dépendants les uns des autres par, les produits consommés ou fournis, les ressources mobilisées, les technologies ou les savoir-faire utilisés (De Maio *et al.* 1994).

Figure 1 : Les programmes et les projets font partie du portefeuille de projets



Ce concept de portefeuille de projets réfère également au modèle de l'entonnoir présenté dans la Figure 2. Les projets sont nombreux au début, puis s'effectue un écrémage progressif au fur et à mesure que l'on avance dans l'entonnoir. Pour des raisons de faisabilité techniques, financières ou de ressources humaines (disponibilité), de nombreux projets sont abandonnés. Seul un nombre limité de projets sera retenu et ces derniers donneront les cashflows futurs de l'organisation.

Figure 2: le modèle de l'entonnoir

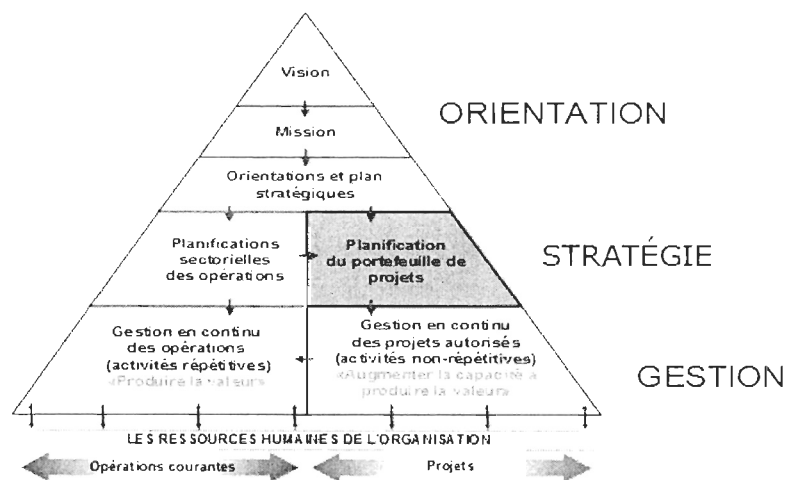


I.2 La gestion de portefeuille de projets

La gestion du portefeuille consiste en la gestion centralisée d'un ou de plusieurs portefeuilles. Elle comprend l'identification des projets, des programmes et d'autres travaux apparentés ainsi que l'établissement de leurs priorités, leur autorisation, leur gestion et leur maîtrise, dans la poursuite d'objectifs stratégiques spécifiques de l'entreprise (PMBOK, 2006).

La gestion de portefeuilles de projets est devenue un thème majeur du management et est de plus en plus considérée comme une nouvelle approche de la stratégie d'entreprise. Dans ce contexte, la gestion de portefeuille peut se définir aussi comme un processus de nature stratégique qui consiste principalement à identifier, prioriser, manager, contrôler, autoriser les projets qui permettront d'atteindre les objectifs stratégiques des organisations. La constitution d'un ou plusieurs portefeuilles de projets ne se fait pas de manière fortuite mais émane d'une décision volontariste du top management. A cet égard, le portefeuille ne doit inclure que des projets qui reflètent les intentions stratégiques de l'organisation. La Figure 3 illustre, de façon graphique, la position qui est dévolue à la gestion de portefeuille dans le cadre de gestion d'une organisation.

Figure 3: La gestion du portefeuille de projet dans la gestion d'une organisation



1.3 Principaux problèmes à l'origine de l'approche de portefeuille de projets

La gestion de portefeuille de projets devient pertinente au fur et à mesure que le nombre de projets croît. Les projets entrepris sont parfois abandonnés par manque de cohérence stratégique et tactique avec les objectifs de l'organisation. Certaines organisations peinent à distinguer les projets peu performants des investissements à haute valeur ajoutée. Notons aussi que les difficultés potentielles sont difficiles à prévoir et à identifier, et que les dépenses ne respectent pas les objectifs de départ. Enfin, la viabilité économique de l'entreprise risque d'être sérieusement compromise. Dans son ouvrage publié en 1997, Cooper *et al.* , ont identifié un certain nombre de problèmes qui sont à l'origine de l'approche portefeuille. Les problèmes les plus fréquemment énumérés sont les suivants :

- Inadéquation des projets avec les stratégies de l'organisation : Les projets ne sont pas alignés avec les orientations stratégiques et la priorité des projets ne correspond pas avec les priorités stratégiques de l'organisation.
- Une asymétrie entre les projets sélectionnés et la capacité organisationnelle : On réalise souvent tardivement que le nombre de projets à réaliser est trop élevé et qu'il ne reflète pas la capacité des ressources disponibles. On assiste alors à des dépassements de coûts.
- La faible qualité des projets sélectionnés : Pour plusieurs raisons certains projets sélectionnés ne représentent pas une valeur ajoutée à l'organisation.
- Le manque de synergie entre les projets : L'absence de vision systémique de l'ensemble des projets sélectionnés a pour effet de minimiser la synergie entre

les projets et parfois même de choisir des projets ayant un impact préjudiciable sur d'autres projets.

- Les déséquilibres occasionnés par le choix des projets : La sélection des projets fondée uniquement sur leurs caractéristiques individuelles a souvent pour conséquence de perdre en vue l'effet de diversification et par voie de conséquence de créer différents déséquilibres dans la composition du portefeuille de projets.

I.4 Les objectifs de la gestion de portefeuille de projets

La gestion de portefeuille vise à s'assurer que les bons projets sont réalisés et qu'ils soient bien réalisés. Réaliser les bons projets réfère à une sélection d'un ensemble de projets en complète adéquation avec les orientations stratégiques de l'organisation. Bien réaliser les projets réfère à l'efficacité et à l'efficience des processus et des outils qui vont permettre de bien gérer le portefeuille de projets.

La gestion de portefeuille de projets comporte deux principaux processus :

- La sélection de projets et la constitution du portefeuille
- Le pilotage de portefeuille de projets.

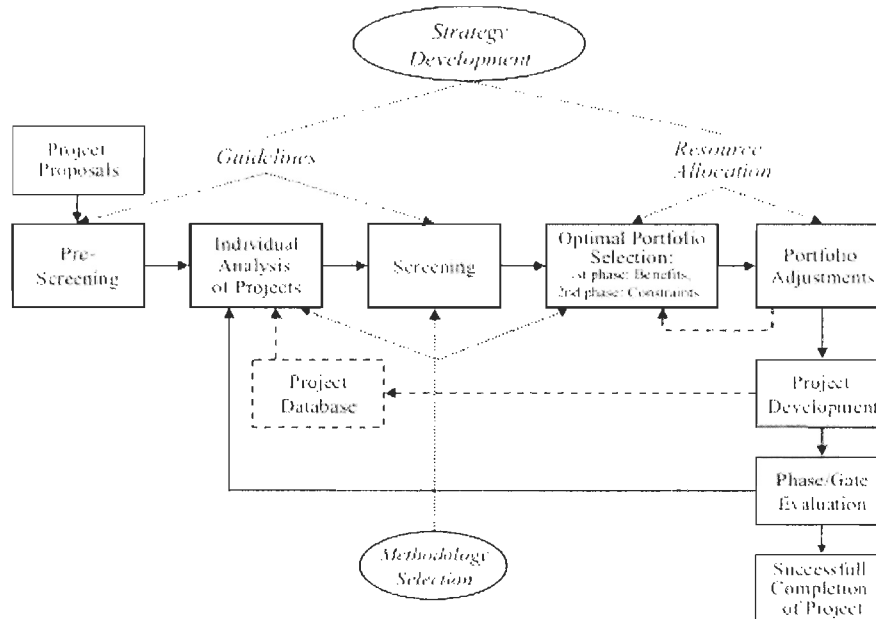
La sélection de projets et la constitution du portefeuille

Le processus de sélection et d'arbitrage entre les projets constitue une part importante de la gestion de portefeuilles de projets. Présenté en figure 4, le modèle d'Archer et Ghasemzadeh (1999) compose la gestion de portefeuille de projets de trois

phases : la phase de considération stratégique, l'évaluation individuelle des projets et enfin, la sélection du portefeuille.

Les étapes visant la proposition de projets (project proposal), la pré-analyse (pre-screening) et l'analyse individuelle des projets (individual project analysis) sont réalisées lors des études de pré-faisabilité et de faisabilité de chaque projet. La phase suivante est celle de sélection des portefeuilles de projets et c'est à cette phase particulière que nous allons nous intéresser par la suite. Elle correspond aux étapes de tamisage (screening), de sélection du portefeuille optimal (optimal portfolio selection) et d'ajustement du portefeuille (portfolio adjustment). Ce processus va être discuté de manière exhaustive dans les chapitres suivants car l'alimentation du portefeuille en projets (tri, critère, évaluation) va être le thème central de notre recherche.

Figure 4: La gestion de portefeuille de projets par Archer et al. (1999)



Le pilotage du portefeuille de projets

Le processus de pilotage du portefeuille de projets met le focus sur les méthodes nécessaires pour assurer que les projets soient enclenchés et bien réalisés. C'est ainsi que les processus de décision relatifs à l'avancement des projets dans le portefeuille (stop/go), de l'affectation des ressources, de l'alignement des projets avec les objectifs stratégiques de l'organisation, de la maîtrise des coûts et des délais, de la mesure du risque et du retour sur l'investissement (ROI), de l'animation des comités de revues et du choix des outils de pilotage de portefeuille sont tous des processus inhérents à la gestion de portefeuille de projets. La gestion de portefeuille de projets aide à atteindre les six objectifs principaux suivants :

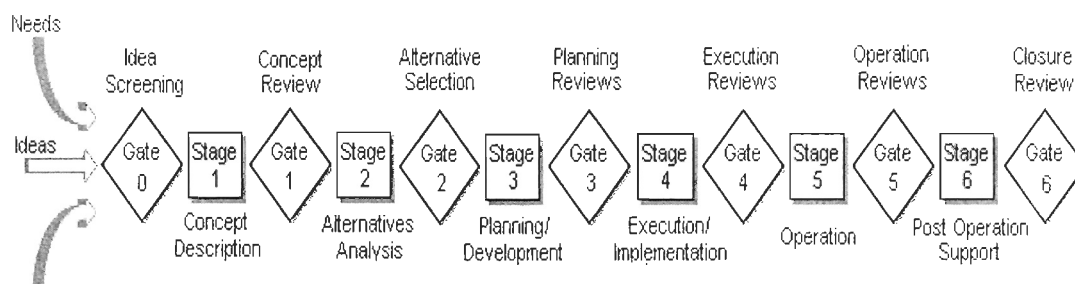
- Atteinte des objectifs organisationnels
- Accroissement du retour sur l'investissement dans le cadre des projets
- Avoir un portefeuille de projets équilibré
- Obtenir une hiérarchisation des projets en lien avec les objectifs stratégiques de l'entreprise
- Maintenir un équilibre entre les risques liés aux projets et les bénéfices tirés de ceux-ci
- Permettre une surveillance continue et un maintien d'un portefeuille de projets «sain »

L'approche « Stage Gate »

Il est devenu aujourd'hui presque impossible, en Amérique du Nord, de parler de gestion de portefeuille de projets sans pour autant mentionner l'approche « Stage Gate ». Le passage d'étape ou le « stage gate Process » est un processus opérationnel ad hoc intégré à la gestion de portefeuilles de projets. Ce processus a été mis au point par Cooper, R.G et théorisé en 1988 dans un article publié dans 'The Journal of Marketing Management'. Il permet de maîtriser les différentes étapes de développement des nouveaux produits, soit de l'idée jusqu'à la mise sur le marché du produit. Il existe un certain nombre d'étape ou de phase dans ce processus (figure 5). Chaque étape comporte un nombre d'activités qui doivent être effectuées avec succès avant d'obtenir l'acquiescement des décisionnaires pour procéder à la prochaine étape de développement du projet. L'entrée à chaque étape s'appelle une porte et c'est à ces différents moments que l'on vérifie la qualité d'exécution, les plans d'action et l'alignement du projet avec les objectifs de l'organisation. Les principales questions posées à ces moments sont : le projet respecte-t-il, les échéanciers et les budgets? Les livrables reçus sont-ils ceux attendus? C'est aussi à cette étape qu'est décidé si le projet doit se poursuivre, être modifié ou tout simplement arrêté.

L'approche « stage gate » est devenue une solution très populaire auprès de nombreuses entreprises innovantes car, une fois correctement implantée et clairement intégrée au pilotage du portefeuille de projets, elle contribue à améliorer de manière significative les délais de mise en marché des produits.

Figure 5: Track product progress through the Stage-Gate framework



Le chapitre I a traité, de façon globale, le concept de portefeuille de projets. Ce concept permet de s'assurer que l'on attribue adéquatement les ressources aux projets qui réalisent le mieux les objectifs stratégiques et d'affaires de l'organisation. Le chapitre I est aussi une bonne introduction pour ce qui est du thème de notre étude car il illustre la place et la pertinence de la sélection des projets dans la gestion efficace d'un portefeuille de projets.

CHAPITRE II : LA SÉLECTION DE PROJETS ET LA SÉLECTION DE PORTEFEUILLES DE PROJETS

Notre modèle de constitution d'un portefeuille de projets à partir d'un indice de centralité des projets comporte une première phase dans laquelle nous ne faisons que de la sélection de projets et une deuxième phase où l'on constitue et on sélectionne les portefeuilles de projets les plus intéressants. De fait, les portefeuilles que nous allons constituer, puis sélectionner, seront construits à partir des meilleurs projets que nous aurons retenus lors de la première phase. Il est parfois difficile de distinguer entre ces deux approches, tellement elles sont complémentaires. Tantôt, nous parlerons de la sélection de projets et tantôt de la sélection de portefeuilles de projets. Ainsi, nous avons jugé pertinent de définir, dans ce chapitre, les principes et les modèles les plus classiques de ces deux approches. Ce rappel devrait faciliter la compréhension du lecteur et lui permettre d'aborder plus aisément la démarche de constitution de portefeuille de projets que nous proposons dans ce mémoire.

II.1 La sélection de projets

La sélection de projets est une activité importante par laquelle les décideurs doivent sélectionner des projets parmi les nombreux projets proposés. Elle implique dans la plupart des cas un problème de décision multicritères et multiobjectifs, faisant intervenir des dimensions quantitatives (valeur actuelle nette, ventes, part de marché) et des dimensions qualitatives (niveau de risque, compétences du personnel, impact

environnemental, impact social). Les études empiriques montrent que la sélection de projets demeure un processus complexe et un véritable challenge pour les décideurs. En effet, les personnes qui ont la responsabilité de sélectionner les projets doivent gérer des problèmes de concurrence (ressources humaines ou financières) et de complémentarité (partage de composants, de technologies ou de savoir-faire) entre les projets regroupés dans une même catégorie (Cooper *et al.*, 1998). Dans ce contexte, le problème de sélection de projets peut être vu comme un problème d'optimisation sous contraintes. De nombreuses méthodes ont été développées pour gérer ce problème d'optimisation et aujourd'hui, on possède toute une panoplie de modèles d'aide à la sélection de projets. La recherche dans ce domaine demeure très active et, à ce jour, il n'y a pas un modèle qui a fait consensus chez les chercheurs et les praticiens.

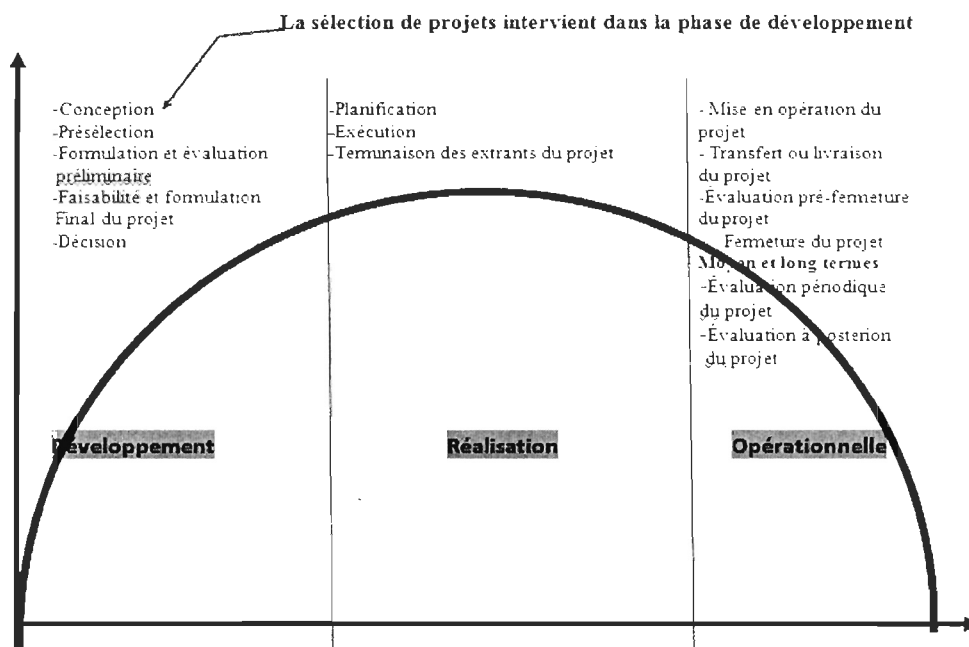
Le processus de sélection de projets s'insère dans ce que l'on appelle le cycle de vie du projet. Le cycle de vie représente les différentes phases franchies par le projet ainsi que les diverses activités qui la composent. Il schématise le processus de développement du projet. Dans un cycle de vie du projet, la transition d'une phase à l'autre implique généralement une forme de transfert technique ou de transmission de responsabilité, qui sert à la définir. Les livrables d'une phase sont généralement évalués pour s'assurer qu'ils sont complets, exacts et approuvés avant que le travail de la phase suivante commence (PMBOK, 2006).

Plusieurs auteurs ont proposé des nomenclatures différentes pour définir le cycle de vie d'un projet. Par exemple Adams *et al.* (1979) et Webster (1978) proposent quatre

phases distinctes : « Conception », « planification », « Exécution » et « Terminaison ». Pour sa part Archibald (1976) identifie six phases spécifiques dans le cycle de vie d'un projet : le « Concept », « Définition », « Design », « Développement », « Application » et Post-complétion ». O'Shaughnessy (1992), quant à lui, identifie trois phases distinctives (figure 6) :

- ❖ La phase de développement.
- ❖ La phase de réalisation.
- ❖ La phase opérationnelle.

Figure 6: Cycle de vie d'un projet



La phase de développement consiste à concevoir ou à définir les projets potentiels pour l'entreprise. Ceux-ci sont ensuite présélectionnés et priorisés. Une formulation et

une évaluation des projets prioritaires en profondeur sont alors effectuées. Ces résultats conduisent généralement à une décision relative à la poursuite ou non du projet. La sélection de projets se situe dans la phase de développement. La phase de réalisation a pour fonction de mettre tout en œuvre pour transformer en extrants les différentes ressources mises à la disposition du projet. Enfin, la phase opérationnelle consiste à mettre en service les extrants réalisés dans la phase précédente et à porter un jugement sur l'efficacité du projet à court, moyen et long termes.

Le processus de sélection de projets implique la réalisation de deux étapes que sont l'évaluation et la sélection proprement dit. L'étape d'évaluation devance toujours celle de la sélection des projets. Cette étape consiste particulièrement à analyser et évaluer tous les projets afin de faire une recommandation sur la sélection des projets les plus prioritaires pour l'organisation en utilisant plusieurs méthodes quantitatives. Pour Dean (1968), l'évaluation de projets consiste à collecter, synthétiser et analyser des données techniques, économiques, commerciales et toute information fournissant des indicateurs sur les projets devant faire l'objet d'une allocation de ressources. Cette étape précède l'étape de sélection de projets et doit se répéter dès que des informations nouvelles sont obtenues. Pour les auteurs D'Avignon et Martel (1982) l'évaluation de projets est un processus qui comporte les phases suivantes : la formulation d'un ensemble de critère; une appréciation de la performance anticipée de chaque projet en regard de chaque critère; le rangement par ordre de préférence des projets selon les appréciations des performances anticipées par rapport à l'ensemble des divers objectifs. Le concept de rangement se situe à la frontière de l'évaluation et de la sélection de projets, et qui pour certains auteurs et praticiens est une frontière virtuelle crée

uniquement pour des raisons didactiques. L'étape de l'évaluation est souvent fondue et confondue à celle de la sélection de projets et vice versa.

Lors de l'étape de sélection de projets, il s'agit d'analyser les recommandations fournies lors de l'étape de l'évaluation des projets et de sélectionner les projets les plus prioritaires en fonction de la capacité de l'organisation. Pour Baker et Pound (1964) et Dean (1968), la sélection de projets concerne l'allocation des ressources organisationnelles telles que les capitaux, les ressources humaines, les équipements, etc., à l'ensemble des projets retenus. Cette étape constitue un enjeu stratégique majeur lorsqu'il n'y a pas assez de ressources pour répondre efficacement aux exigences de tous les projets. Elle permet de s'assurer que l'on alloue adéquatement les ressources humaines et financières aux projets en accord avec les orientations stratégiques de l'organisation.

De nombreux auteurs ont proposé des critères à prendre en considération dans la sélection des projets de R&D, (Baker, 1975 ; Costello, 1983 ; Jiang, 1999). Il ressort de l'ensemble de ces travaux un consensus sur certaines catégories de critères à mesurer : les coûts de R&D, probabilité de succès technique et/ou commercial, contribution aux objectifs ou à la stratégie de l'entreprise, niveau de risque technique et/ou commercial, etc....Une autre étude de Meade et Presley (2002) a permis de mettre en évidence 4 principales considérations à prendre lors du processus de sélection de projets de R&D : (1) le besoin de rapprocher les critères de sélection des stratégies de l'entreprise. (2) le besoin de considérer les bénéfices et les risques de projets proposés. (3) Le besoin de

concilier et intégrer les besoins et les désirs des parties prenantes différentes. Et (4) le besoin de prendre en considération les recommandations des décideurs tout au long du processus de sélection des projets.

La sélection de projets est ainsi un processus décisionnel dynamique qui permet de sélectionner, de donner une priorité, de geler, de tuer un ou plusieurs projets. Keown, Taylor et Duncan (1979) et beaucoup d'auteurs insistent sur la difficulté et la pertinence de ce type de décision dans la sélection de projets. Un grand nombre de méthodes a donc été proposé dans la littérature scientifique et dans la partie suivante, nous verrons à les présenter.

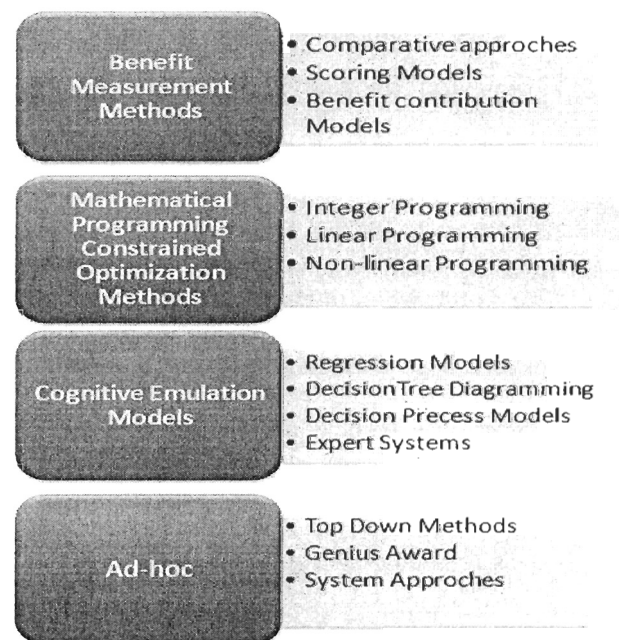
II.2 Les principales méthodes de sélection de projets

Le problème de la sélection de projets est souvent modélisé en termes de problème d'optimisation sous contraintes. De nombreuses études, aussi bien théoriques que pratiques, ont été produites et aujourd'hui, on possède une pléthore de méthodes d'aide à la sélection de projets que des auteurs comme Baker (1974), Liberatore et Titus (1983), Martino (1996), Bros (1994), Cuellar(1992) ou Danila (1989) ont décrites et classifiées.

Toutefois, il n'existe pas de consensus quant à la classification de ces méthodes. Hall et Nauda (1990) semblent classifier ces méthodes à l'intérieur de quatre types de méthodes (Figure 7) : Méthodes de mesures des bénéfices, modèles de programmation

mathématique, méthodes d'émulation cognitives et méthodes Ad-hoc. Les inconvénients majeurs des méthodes de mesures des bénéfices, c'est qu'elles ne tiennent pas compte des interactions entre projets et de la modélisation de l'attitude de décideur face au risque. Récemment, certains auteurs ont introduit les concepts de dominance stochastique (Ringuest *et al.* 2000), et le coefficient Gini (mean-Gini analysis) dans la sélection de projets pour faire face à aux risques ou à l'incertain (Ringuest *et al.* 2004).

Figure 7: Classification des méthodes de sélection de projets



Toutes ces méthodes citées ci-dessus, sont attrayantes sur le plan théoriques mais sont généralement compliquées et difficiles d'utilisation par les gestionnaires car les données exigées dans ces modèles sont trop précises et rarement disponibles (Hall et

Nauda, 1990). Le même phénomène a également été observé par Schmidt et Freeland (1992) et plus tard confirmé par Cooper (2001). Farrukh *et al.* (2000) ont donné dans leur étude les explications possibles quant à l'utilisation limitée de tels modèles dans la pratique et Lock *et al.* (2001) également, au travers d'une expérience effectuée en situation réelle.

Plus récemment, des modèles ont été proposés afin de combler certaines des lacunes qui ont été mentionnées plus tôt. Par exemple, Cooper *et al.* (1997) a utilisé la technique de l'arbre de décision et a incorporé des évaluations de la probabilité du succès technique et du succès commercial pour la valeur commerciale estimée. Henriksen et Traynor (1999) ont présenté une méthode de scoring améliorée qui incorpore explicitement des différences parmi les critères d'évaluation et qui calcule la valeur du projet en tenant compte du fait que cette valeur est une fonction du rendement et du coût. Schmidt (1993) a proposé un modèle qui tient compte des différentes sortes d'interactions entre les projets. Il a utilisé un programme non-linéaire de nombre entier pour l'attribution de ressource, et a proposé un algorithme Branch-and-Bound pour le résoudre. Verma et Sinha (2002) ont développé un cadre théorique en se basant sur de nombreux cas observés dans des entreprises de pointe pour analyser et comprendre les interdépendances entre les projets et leur relation avec la performance de projet dans des environnements multi-projets de R&D. Ce développement de modèles de sélection de projets se continue aujourd'hui notamment grâce au développement des méta-heuristiques.

II.3 L'interdépendance des projets et le portefeuille de projets

Le concept d'interdépendance des projets est au cœur même de la gestion de portefeuille de projets. Sans ce concept, la notion même de portefeuille perd son essence, car on se retrouverait devant un ensemble de projets devant être gérés de façon indépendante. La prise en compte de l'interdépendance permet de mieux caractériser les interactions entre chaque couple de projets et de visualiser les interactions afin d'effectuer les arbitrages entre ceux-ci. La caractérisation la plus complète des diverses formes d'interdépendances entre projets a sans doute été fournie par Gear et Cowie (1980) qui distinguent les interactions externes et internes. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons aux interactions internes, c'est-à-dire celles qui sont causées par des facteurs appartenant aux projets eux-mêmes (les ressources, les coûts et les bénéfices). Par contre, les interactions externes sont causées par des changements sociaux ou économiques.

Il existe plusieurs typologies pour qualifier les interactions internes entre projets. Les auteurs Aaker et Tyebee (1978), Gear et Cowie (1980), Baker et Bryan (1984), Czajkowski (1986), Fahrni et Spätig (1990) ou Ouellet et Martel (1995) s'entendent pour classifier les interactions internes en trois 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 des ressources.

Interactions au niveau technique ou de l'impact du résultat : Ces dernières surviennent lorsque le succès ou l'échec d'un projet contribue significativement à accélérer ou à retarder la progression de un ou plusieurs autres projets. Autrement dit, la probabilité de succès d'un projet donné dépend du résultat (échec ou succès) de un ou plusieurs autres projets.

Interactions au niveau des bénéfices ou des « play-offs » : Il y a interaction de ce type lorsque les conséquences de la réalisation de projets en termes de volume ou valeur des ventes, coûts, etc. ne sont pas additives et ceux-ci 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 synergie 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. Autrement dit, il y a eu concurrence entre les projets.

Weingartner (1966) identifie deux autres types d'interdépendances auxquels les catégories précédentes peuvent donner lieu à savoir, la mutuelle exclusion et la contingence entre projets.

La mutuelle exclusion : Dans le cas des projets mutuellement exclusifs, un premier projet peut être sélectionné seulement si le second n'est pas retenu.

La contingence des projets : Dans le cas de deux projets contingents, l'un est sélectionné seulement si le second l'est aussi.

Pour modéliser ces interactions entre projets, on recourt généralement au modèle développé par Schmidt (1993) et donc à des matrices d'interactions dont la diagonale représente la contribution du projet seul et les valeurs hors diagonale représentent les contributions dues à l'interaction entre le projet i et le projet j . Ces contributions dues aux interactions peuvent être positives, négatives ou nulles.

La présence d'interactions entre projets amène tout naturellement le modélisateur à considérer le problème de choix de projets au niveau d'un sous ensemble de projets interdépendants que l'on nomme un portefeuille et non au niveau des projets seuls. Ainsi, le portefeuille regroupe des projets dépendants les uns des autres par, les produits consommés ou fournis, les ressources mobilisées, les technologies ou les savoir-faire utilisés. La question posée concerne alors, pour une catégorie donnée de projets, le portefeuille à sélectionner (Cooper *et al.*, 1997).

La problématique de sélection peut alors se traduire, dans notre cas, de la façon suivante : Étant donné $P = \{p_j, j = 1, n\}$ l'ensemble des n projets retenus dans l'étape d'évaluation individuelle, $C = \{c_i, i = 1, m\}$ l'ensemble des m critères d'évaluation de la performance des projets et PP^q une partie de P (i.e. un sous-ensemble parmi les 2^n parties de P), alors, l'étape de sélection d'un portefeuille de projets revient à rechercher le sous-ensemble PP^{q*} qui contribue le mieux à l'atteinte des objectifs associés aux critères retenus, tout en respectant les contraintes de ressources, voire de dépendance entre projets. Ces dernières années, on a vu un nombre croissant de modèles visant à constituer et à sélectionner les meilleurs portefeuilles de projets.

II.4 Recension des écrits et typologie des méthodes de sélection de portefeuilles de projets

Plusieurs facteurs contribuent à la complexité du problème de sélection de portefeuille de projets : la multiplicité des critères, l'incertitude ou l'imprécision, les interactions entre projets ou encore de la dimension statique ou dynamique du problème. Dans cette partie, nous allons discuter de ces différentes dimensions de la complexité et recenser quelques-unes des méthodes qui ont été proposées en réponse à cette complexité.

Le problème de sélection de portefeuille de projets implique dans la plupart du temps des objectifs multiples. Les propositions de projets sont en effet généralement évaluées en regard de critères multiples et souvent contradictoires. Les projets peuvent être évalués en termes de critères quantitatifs (valeur actuelle nette, ventes, part de marché) et de critères qualitatifs (niveau de risque, compétences du personnel, impact environnemental, impact social). Pour prendre en compte cette multidimensionalité, on a assisté, depuis une trentaine d'année, au développement des méthodes d'aide à la décision multicritère¹ et ce, comme en témoignent le grand nombre et la qualité des publications traitant de ce sujet, qu'il s'agisse de recherche, de volumes ou d'article dans les revues scientifique (Pomerol et Romero, 1993). On distingue généralement les méthodes multicritères des méthodes multi-objectifs, ces dernières étant relatives à

¹ Pour une compréhension plus détaillée de l'aide multicritère à la décision, le lecteur pourra consulter l'annexe I.

l'utilisation de variables continues ou binaires. Ce développement a été observé aussi bien au niveau théorique et conceptuel qu'au niveau des applications. Kenney et Raiffa (1976) ont été les premiers auteurs à aborder et discuter des méthodes multicritères. Les méthodes sont aussi largement abordées dans les travaux Zeleny (1985), Haimes et Chankong (1985), Tabucanon (1992), Pomerol et Romero (1993). Le domaine de la décision multicritère est vaste et touche des domaines aussi variés que celui de la finance (Spronk et Hallerbach, 1997; Zopounidis, 1999; Hallerbach et Spronk, 2002; Steuer et Na, 2003), celui de la gestion de maintenance des routes, de même que les organisations industrielles (Stummer et Heidenberger, 2003; Thizy *et al.*, 1996), les hôpitaux (Focke et Stummer, 2003), la gestion forestière (Martell *et al.*, 1998), la gestion de l'environnement, l'ingénierie et la politique (Vaiadya, 2006). Parallèlement à cela on assiste à l'introduction de la modélisation multicritère dans la sélection de projets. En effet, l'approche multicritère s'est avérée comme l'une des voies les plus intéressantes et les plus prometteuses dans le domaine de la sélection de projets durant les deux dernières décennies car elle permet d'avoir une approche plus globale, plus réaliste pour arbitrer et sélectionner entre les projets candidats. Comme le nombre de méthodes multicritères est imposant, nous allons mentionner que les principales méthodes multicritères. On trouve dans la littérature, la méthode de la procédure d'analyse hiérarchique (AHP) élaborée par Saaty (1980, 1994). Bien qu'elle fasse l'objet de nombreuses critiques (Belton, 1986), cette méthode a dominé la littérature dans le domaine de la théorie multicritère depuis les années 1985 (Forman et Peniwati, 1998). Sa popularité est due principalement à sa simplicité, sa flexibilité, son appel intuitif ainsi qu'à sa capacité à mélanger les critères quantitatifs et qualitatifs dans le même cadre décisionnel (Wedly, 1990). La méthode AHP a été associée à de

nombreuses méthodes, notamment les méthodes de programmation mathématique à but multiple (goal programming) pour sélectionner de projets (Schniederjans, 1991; Ciptomulyono, 2000).

Pour résoudre les problèmes multi-objectifs, beaucoup de chercheurs ont eu recours au modèle de programmation mathématique à but multiple « Goal programming ». C'est une méthode qui s'est avérée un excellent outil d'aide à la décision pour sélectionner des projets ayant plusieurs objectifs antagonistes. L'utilité du « goal programming » devient très pertinente dans des situations où les prises de décisions sur les variables et les contraintes se font de manière simultanée. Ainsi Santhanam (1989,1993) a appliqué la méthode du goal programming dans la sélection d'un projet de système d'information. Kampan et Bera (1995) ont utilisé la programmation mathématique à but multiple pour la sélection de projets miniers en Inde.

Les méthodes de surclassement (voir ANNEXE 1) ont connu de multiples applications dans le domaine de la sélection de projets. Ces méthodes consistent à faire la comparaison de deux actions face à un critère donné afin d'y chercher les surclassements. On dispose d'une suite de méthodes ELECTRE, numérotées I, II, III et IV et Tri. Plusieurs autres méthodes ont fait leur apparition par la suite, les principales d'entre elles sont : Oreste et PROMETHEE (Scharlig, 1985). Les applications d'ELECTRE et de PROMETHEE ont été nombreuses dans le domaine de la sélection de projets. Electre III a été utilisé en 1998 pour classer des projets d'une compagnie électrique en Nouvelle-Zelande (Buchanan et Vanderpooten, 1999), Mavrotas et

Diakoulaki (2003) ont utilisé une combinaison ELECTRE-TRI et ILP (programmation linéaire) pour sectionner des projets qui touchaient encore une fois le secteur de l'électricité. Les méthodes PROMEHEE seront traitées à part dans cette étude, car c'est à elles que nous allons nous intéresser par la suite. Toujours dans la famille des méthodes d'agrégation partielle, on y trouve la méthode MACBETH (Measuring Attractivness by a Categorical Based Evaluation Technique) de Bana e Costa et Vansnick (1997). Cette méthode reprend le principe de l'agrégation pour comparer deux ou plusieurs projets. Apparue dans les années 1990, cette approche reprend les principes de la méthode AHP (Saaty, 1977) et se fonde de plus sur la théorie de mesurage (Kranz *et al.*, 1971) pour garantir la cohérence entre les expressions élémentaires et agrégées (Bana e Costa *et al.*, 2004). Elle respecte ainsi les exigences de commensurabilité et de signifiante des évaluations de performance en vue de leur agrégation (Grabisch et Labreuche, 2004). Clivillé et Berrah (2006) ont appliqué MACBETH dans une de leur recherche sur la sélection de portefeuilles de projets.

Les projets sont très souvent interdépendants (effets de synergie ou de cannibalisation) et une analyse des projets pris isolément peut conduire à un biais envers les projets plus risqués ou à long terme (Graves et Ringuest, 1999).

L'incertitude et le risque peuvent également affecter les projets. La notion de certitude ou d'incertitude s'applique aux données du problème. En effet, que ce soit la planification ou encore certains objectifs, il est parfois difficile de quantifier et/ou qualifier avec justesse les données du problème. Lorsque l'on travaille en certitude, la valeur utilisée pour la donnée est la valeur qui lui a été attribuée, tandis qu'en

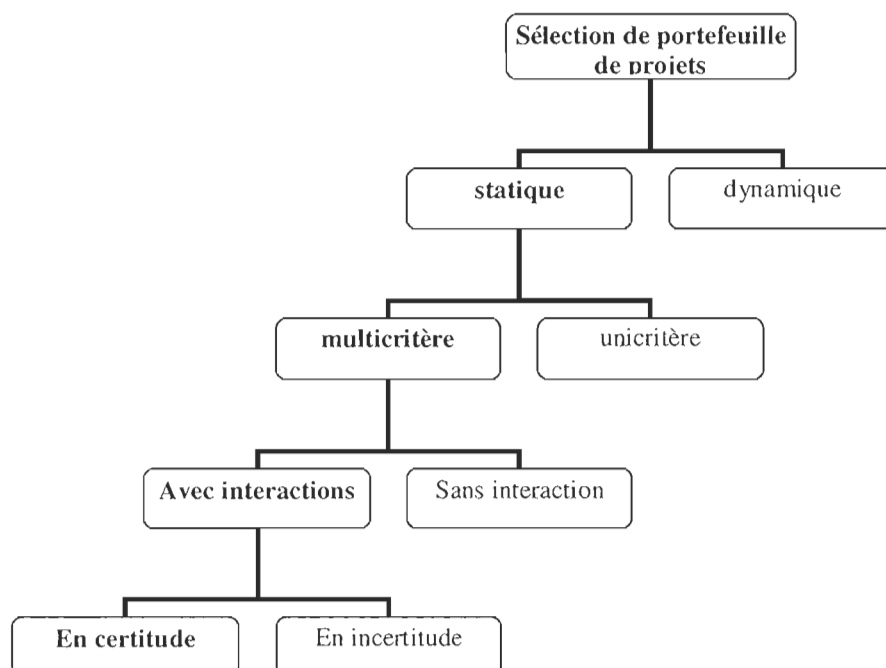
incertitude, la valeur utilisée répondra à une fonction représentant l'incertitude de la donnée (fonction gaussienne par exemple). La non certitude peut aussi traduire des situations que l'on dit imprécises, c'est-à-dire des situations où ce n'est pas l'incertitude qui prime mais plutôt le flou de la situation. Ce flou peut être relié, par exemple, à l'utilisation de variables linguistiques qualitatives. Dans un tel cas, on recourt à la logique floue. La logique floue (Fuzzy logic) s'appuie sur la théorie mathématique des ensembles flous (Fuzzy set). Elle a été formalisée par Zadeh (1965) et sert à représenter des connaissances imprécises. En effet, pour prendre en compte les inévitables imprécisions qui apparaissent dans les problèmes de décision, il est normal de se tourner vers des domaines tels que la théorie des ensembles flous (Fuzzy set). Une abondante littérature est déjà parue sur le sujet aussi bien dans les problèmes de modélisation et agrégation de préférences (Kacprzyk *et al.*, 1988 ; Leberling, 1981 ; Orlovsky, 1978 ; Roubens et Vincke 1983a, 1987) que dans la programmation mathématique à objectifs multiples (Slowinski, 1986 ; Zimmermann 1978, 1984, 1986). La théorie mathématique des ensembles flous a eu un impact sur les techniques de classification automatique, et a contribué à un certains renouvellement des approches existantes de l'aide à la décision. Perrone (1994) a utilisé le modèle Fuzzy d'aide à la décision multicritères (MCDM Fuzzy) pour évaluer des systèmes industriels. Coffin et Taylor (1995) ont été les premiers à utiliser la logique Fuzzy comme outil de sélection en multicritères des projets de R&D. Par la suite d'autres pionniers comme Chan *et al.* (2000) et Hsu *et al.* (2003), ont formulé et élaboré en univers multicritères des structures théoriques basées sur la logique floue pour faire de la sélection de projets. Huang *et al.* (2006), par exemple, ont utilisé une approche Fuzzy-AHP pour le gouvernement chinois afin de l'aider à sélectionner des projets en R&D.

Le problème de sélection de portefeuille de projets peut également être statique ou dynamique. Pour les problèmes dynamiques (Bard *et al.*, 1998; Cooper *et al.*, 1997), il y a, à différents moments dans le temps, des projets entamés, projets dits actifs, et un ensemble de propositions de projet, projets dits candidats. Cette situation est, dans la pratique, abordée par le recours à des méthodes ad hoc de gestion de portefeuille comme le « stage-gate » de Cooper *et al.* (1997) présentée auparavant. Si l'on s'intéresse au cas statique (Beaujon *et al.*, 2001; Basso et Peccati., 2001), on considère alors qu'au moment de la décision tous les projets sont candidats, alors qu'en dynamique, des projets déjà en cours interviennent dans le processus de prise décision. La majorité des techniques proposées dans la littérature relèvent de ce cas qui correspond par exemple au problème de concours de subventions ou d'appel de propositions de recherche. C'est également le cas qui nous intéresse dans ce mémoire.

Enfin, parmi les contraintes agissant sur les projets, le facteur financier est loin d'être un facteur négligeable. Ainsi 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 estimé, pour en mener l'étude de faisabilité. En fonction des résultats de l'étude, le projet peut être arrêté ou prolongé et il recevra alors d'autres fonds, partiellement ou totalement. Dans notre mémoire, nous ne considérerons qu'une allocation totale et non partielle.

Pour caractériser la production scientifique en modèles de sélection de projets ou de portefeuille de projets, on peut se baser sur la Figure 8. Elle présente les différentes dimensions de la complexité de ce problème et toute méthode peut être caractérisée dans cette figure. Dans le cadre de notre mémoire, la situation que nous avons retenue peut être représentée par les cases non hachurées de la Figure 8.

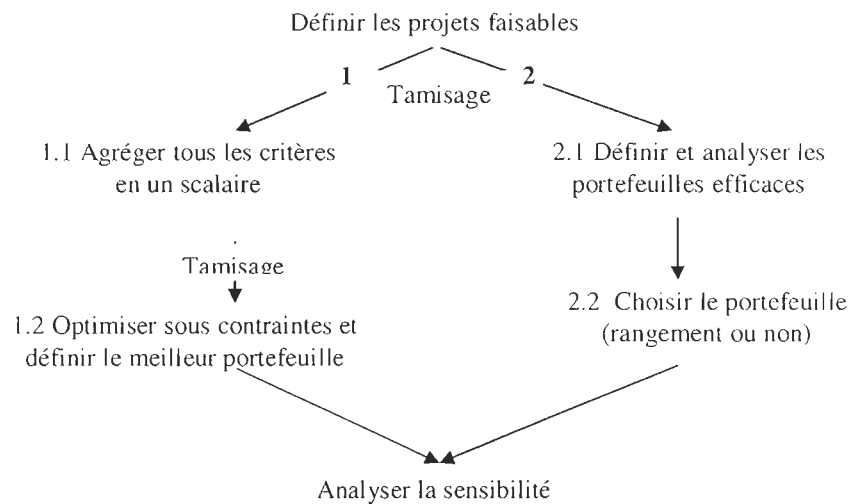
Figure 8: Les différentes typologies de la sélection de portefeuille de projets



On peut, dans la littérature scientifique, distinguer deux grandes approches possibles pour aborder cette problématique de sélection de portefeuille de projets (Figure 9). Dans un premier temps, on procède à une analyse individuelle des projets, à partir de seuils sur les critères, ce qui va permettre d'éliminer et de réduire à un certain nombre de projets pour la phase suivante. On peut recourir par exemple à

Electre-tri ou à une autre méthode de tri multicritère. Dans un second temps, soit on conserve l'ensemble de tous les critères de sélection du projet soit on les agrège, au moyen d'une fonction d'utilité multi-attribut, en un scalaire qui sera le "score" du projet. Plus ce scalaire est grand, plus le portefeuille est considéré optimal. Cette approche est privilégiée par les praticiens et décideurs, car une fois le score est établi, alors on peut prendre en compte, dans un modèle d'optimisation du portefeuille de projets (programmation linéaire ou goal programming en nombres entiers), toutes les contraintes de ressources, d'interactions en projets ou autres contraintes pertinentes au problème.

Figure 9: Approches possibles pour les méthodologies de sélection de portefeuilles



La seconde approche est à privilégier dans le cas où les décideurs n'ont aucune supposition sur leurs préférences et elle consiste alors à déterminer l'ensemble de tous les portefeuilles efficaces (non dominés), puis à explorer les portefeuilles efficaces afin de faire un choix ou un rangement total ou partiel des portefeuilles grâce à des méthodes

interactives d'agrégation totale (AHP) ou partielle (MACBETH, ELECTRE, PROMETHEE). La technique du 'branch-and-bound' peut aussi représenter une approche possible (Eilat *et al.*, 2005). Toutefois, le nombre de projets retenus dans cette étape peut compliquer l'utilisation de cette méthode. En effet, dans un cas où l'on aurait N projets, il y aurait alors (2^N) combinaisons de portefeuilles différents à évaluer et donc, à partir d'un certain nombre de projets, cette approche devient complexe, lourde, et le recours aux méta-heuristiques devient alors une avenue intéressante (Doerner *et al.*, 2004). Nous retiendrons d'ailleurs cette approche dans le cadre de notre proposition méthodologique.

La sélection de portefeuille de projets est devenue une étape critique et incontournable dans la stratégie d'une organisation. Une grande partie des organisations et des entreprises innovantes ont mis en place une méthodologie, qui ne leur permet de sélectionner que les meilleures combinaisons de projets, dans un portefeuille donné, en tenant compte des moyens financiers et des ressources mobilisables. Les recherches visant à améliorer les méthodes de sélection de projets continuent de passionner chercheurs et praticiens, car les méthodes de sélection existantes, sont dans la plupart des cas peu utilisées par les décideurs. D'un point de vue conceptuel, ces méthodes sont complexes et souvent perçues comme trop académique par les décideurs. Par exemple, Liberatore et Titus (1983) ont démontré que les méthodes de programmation mathématique comme la programmation de nombre entiers et linéaire ne sont pas généralement utilisées dans l'industrie à cause de la diversité de types de projet, des ressources et des critères utilisés. Ils ont aussi constaté que la plupart des sociétés utilisent les modèles financiers les plus traditionnelles pour évaluer les projets. Or, ces

méthodes n'offrent pas une solution 'optimale' car les méthodes financières ne se consacrent qu'à mesurer l'aspect de rentabilité des projets en se basant uniquement sur le critère financier. Plusieurs auteurs comme Dean (1968), Clark (1974), Baker (1974), Baker et Freeland (1975), Winkofsky, Mason et Souder (1980), Mehrez, Mossery et Sinuany-Stern (1982) ont essayé d'expliquer la faiblesse des modèles de sélection de projets (comme de portefeuille de projets) du fait de:

- Traitement inadéquat du risque et de l'incertitude.
- Traitement inadéquat des critères multiples, souvent inter-reliés
- Traitement inadéquat des projets interdépendants par rapport à la valeur de leur contribution et à l'utilisation des ressources.
- La non-reconnaissance et la non-prise en compte de l'expérience et de la connaissance des managers.
- Incapacité à traiter les aspects non monétaires des projets.
- Traitement inadéquat du facteur temps (aspect dynamique du processus).

Les mêmes propos ont été rapportés dans une étude plus récente menée par Chien (2002) :

- Un traitement inadéquat dans l'évaluation des critères de sélection.
- Un traitement inadéquat dans l'évaluation des critères de sélection.
- Une incapacité à traiter les éléments non monétaires et les indépendances entre les projets.
- Un manque de reconnaissance explicite des appréhensions, des préférences, des perceptions et des jugements des décideurs dans le processus de sélection de projets.

- Les perceptions des managers en R&D quant à leur complexité, difficiles à comprendre et à utiliser.

Toutefois, malgré ces difficultés que nous venons d'énumérer, l'utilisation d'une approche structurée, de méthodes analytiques et quantitatives adéquates demeure, à nos yeux, la meilleure avenue pour gérer efficacement le processus de sélection de portefeuille de projets. Nous pensons que la méthodologie que nous proposons dans le chapitre suivant peut constituer une réponse intéressante à plusieurs des problèmes inhérents à la sélection des portefeuilles de projets énoncés précédemment.

CHAPITRE III : PROPOSITION D'UNE MÉTHODOLOGIE DE GESTION DE PORTEFEUILLE DE PROJETS

Notre méthodologie visera à combler certaines faiblesses que nous avons formulées et facilitera la tâche des gestionnaires face à une décision d'investissement. Notre approche tiendra compte des préférences des décideurs tout au long du processus de sélection de portefeuille de projets.

On peut considérer, à cet égard, deux grandes approches pour la constitution des portefeuilles de projets. La première, consiste à générer en premier lieu, un ensemble de portefeuilles ayant de belles propriétés (par exemple des portefeuilles efficients, faisable en terme de ressources humaines, financières ou matérielles) puis à sélectionner un portefeuille qui représente un bon compromis pour le décideur. Puisque, cette approche tient compte de l'interdépendance des projets dans la phase de constitution du portefeuille, la taille de la matrice d'interaction risque d'être peu pratique d'utilisation si on traite un grand nombre de projets. Il est alors possible de réduire la taille de la matrice à l'ensemble des projets en interdépendance en éliminant tous les projets qui ne sont pas dans une situation d'interaction avec les autres projets. Cette opération peut malheureusement exclure des projets à haute valeur ajoutée.

La seconde approche, qui serait plus une méthode de sélection de projets qu'une méthode de sélection de portefeuille de projets, consiste justement, dans une première

étape, à sélectionner un sous ensemble des meilleurs projets puis à constituer un portefeuille à partir de ces projets considérés comme les meilleurs. Dans cette approche, les interdépendances entre projets ne sont pas prises en compte dans la phase de constitution du portefeuille mais pourrait être considérées de manière plus ad hoc dans la gestion du portefeuille.

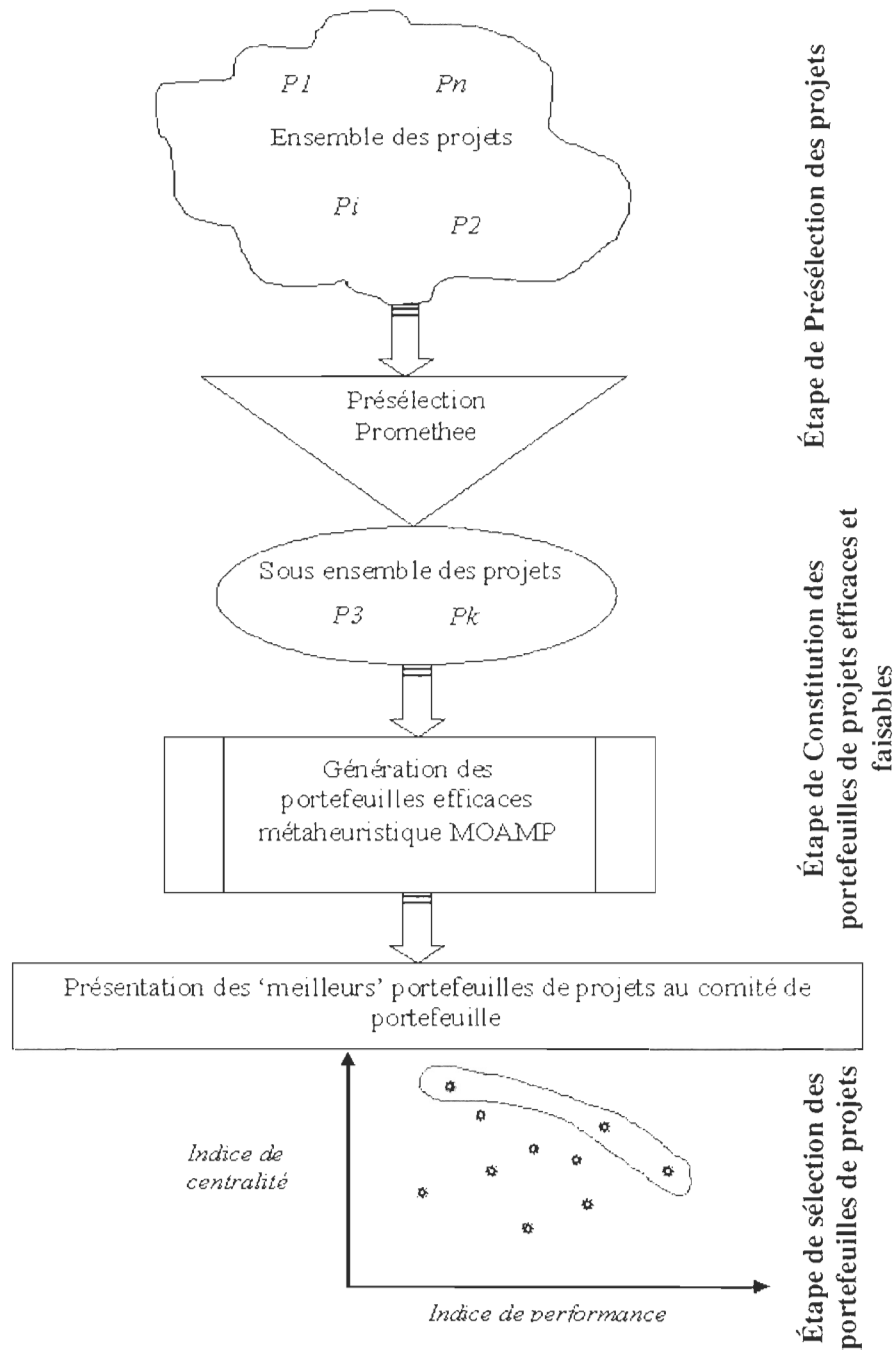
Dans ce mémoire, nous souhaitons développer une méthode de constitution de portefeuille de projets qui relèvera de cette dernière approche mais qui intégrera, plus formellement, une analyse des interdépendances et qui sera basée sur un concept de centralité du portefeuille de projet (Liesiö, Mild et Salo, 2007) et de performance du portefeuille de projets (score DEA²).

Concrètement, notre méthodologie répondra aux dimensions multicritère, statique, de certitude et d'attribution totale des ressources. Elle prendra en compte les interactions entre les projets lors de la phase de constitution des portefeuilles de projets mais non pas lors de la phase de présélection des projets. Notons, cependant que la méthodologie que nous proposons pourrait facilement prendre en compte la non certitude de l'information ou encore l'aspect dynamique du processus de pilotage de portefeuille de projets (Lahaye, 2009). Ces améliorations pourraient être menées dans des recherches futures.

² Pour la mesure de performance des différents portefeuilles de projets, nous utiliserons la méthode DEA (Data Envelopment Analysis) développée par Charnes, Cooper et Rhodes(1978)

La méthode proposée peut se décliner sous les différentes étapes représentées dans la Figure 10.

Figure 10: Étapes de la méthodologie de sélection de portefeuille de projets



Dans une première partie, nous allons présenter les différentes méthodes (PROMETHEE, MOAMP, DEA) et les principaux concepts (Indice de centralités des projets et des portefeuilles de projets) utilisés dans notre méthodologie de sélection de portefeuille de projets. Dans une deuxième partie, nous illustrerons, sur un exemple didactique, la méthodologie proposée. Cela implique :

- Application de la méthode **PROMETHEE** pour la présélection des meilleurs projets.
- Application de la méthode **MOAMP** pour la détermination des portefeuilles efficaces
- Application de la méthode **DEA** et détermination **des indices de centralité** pour la recommandation du ou des meilleurs portefeuilles.

III.1 Présentation de la méthodologie de sélection de portefeuille de projets

III.1.1 Choix d'une méthode d'agrégation – la méthode PROMETHEE

Dans la première étape de notre méthodologie, il s'agit de sélectionner un sous ensemble de l'ensemble des projets faisables. Pour ce faire, nous considérons qu'il existe une famille de critères possiblement contradictoires pour lesquels chacun des projets est évalué et que la présélection consiste alors à choisir les projets les 'meilleurs' et donc choisir une méthode d'agrégation. Celles-ci sont nombreuses parce qu'il est dans la nature des choses qu'aucune méthode ne respecte la totalité des exigences qu'un utilisateur pourrait trouver "normales" (Schärlig, 1985).

Notre choix s'est porté sur une méthode d'agrégation partielle (voir Annexe I) répondant à une problématique de rangement des meilleurs projets³. Sur l'ensemble des méthodes d'agrégation partielle, notre choix s'est porté sur la méthode PROMETHEE. Outre sa simplicité, la méthode PROMETHEE exige peu d'information et exploite les divers inputs disponibles ou facilement accessibles. Elle respecte les principes de l'intransitivité et de l'incomparabilité. Roy (1985) et Maystre *et al.* (1994) l'appellent encore «approche du surclassement de synthèse acceptant l'incomparabilité» ou «méthodes de surclassement» (Vincke, 1989).

La méthode PROMETHEE de Brans et Vincke (1985) relève de la problématique de rangement $P(\gamma)$. Cela consiste à poser le problème en termes de rangement des

³ On aurait pu également choisir une méthode relevant de la problématique de choix ou de sélection plutôt que de rangement

actions, c'est-à-dire à orienter l'investigation vers la mise en évidence d'un classement défini sur un sous-ensemble de l'ensemble des actions (A). Cette problématique prépare une forme de recommandation visant à indiquer un ordre partiel ou complet portant sur des classes regroupant des actions jugées équivalentes.

La méthode PROMETHEE vise à construire une relation de surclassement évaluée en s'appuyant sur la comparaison des actions deux à deux dans le but de ranger les actions de la meilleure à la moins bonne.

Construction de la relation de surclassement évaluée

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

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

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

$$P_j(a, b) = F_j [d_j(a, b)] \quad \forall a, b \in A,$$

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$$

Pour estimer les $P_j(a,b)$, on propose au décideur de choisir, pour chaque critère, une des six formes de courbes représentées dans l'ANNEXE II. En fonction de la

manière dont sa préférence croît avec l'écart $g_j(a) - g_j(b)$, le décideur fixe donc, pour chaque critère, la forme de P_j et le(s) paramètre(s) associé(s). Les paramètres à estimer ont une interprétation simple puisque ce sont des seuils d'indifférence et de préférence; pour la 6^{ème} forme proposée, le paramètre à estimer est l'écart-type d'une loi gaussienne.

Exploitation de la relation de surclassement valuée

Deux préordres totaux peuvent être établis à partir du calcul de la matrice représentant la relation de surclassement : l'un consiste à ranger les actions dans l'ordre décroissant des nombres $\Phi^+(a)$ tels que :

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \lambda(a, b) \quad (\text{flux sortant})$$

Et l'autre dans l'ordre croissant des nombres $\Phi^-(a)$ tels que

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \lambda(b, a) \quad (\text{flux entrant}).$$

PROMETHEE I établit son rangement en cherchant l'intersection de ces deux préordres totaux afin d'obtenir un préordre partiel.

Par définition, on dira que

- l'action a surclasse l'action b si :

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ ou}$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) = \Phi^-(b), \text{ ou}$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ ou}$$

- l'action a est indifférent à l'action b si :

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) = \Phi^-(b)$$

- l'action de a est incomparable à l'action b si :

$$\Phi^+(a) \succ \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) \succ \Phi^-(b), \text{ ou}$$

$$\Phi^+(a) \prec \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) \prec \Phi^-(b), \text{ ou}$$

Quant à la méthode PROMETHEE II, elle range les actions dans l'ordre décroissant des nombres $\Phi(a)$ tels que :

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

Et donc l'action a surclasse l'action b $\Phi^+(a) \succ \Phi^+(b)$ et les actions a et b sont indifférentes si $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$. On génère dans ce cas un rangement complet, c'est-à-dire sans incomparabilité.

Le principal mérite de cette méthode est d'intégrer de façon très simple les idées récentes de la modélisation des préférences. Néanmoins, comme pour les autres méthodes de surclassement, il lui manque la base théorique qui permettrait de mieux apprécier les hypothèses implicites sur lesquelles elle repose.

Les applications de PROMETHEE

Les méthodes PROMETHEE ont été appliquées avec succès dans des disciplines variées dont notamment la gestion hospitalière (D'Avignon et Mareschal, 1989), la localisation d'usines (Mladineo *et al.*, 1987) et l'allocation budgétaire (Struys et Pastijn, 1988 ; Urli et Beaudry, 1995). Les méthodes ont été utilisées comme outil

d'aide à la décision multicritère pour sélectionner et classer les projets (Brans, Vincke et Mareschal, 1986) et gérer les différentes problématiques de sélection de projets (Al-Rashdan *et al.*, 1999; Goumas et Lygerou, 2000). D'autres auteurs ont exploité les méthodes PROMETHEE dans un contexte stochastique (Marinoni *et al.*, 2005) ou dans un contexte où les informations sont incertaines (Wang et Lin, 2003), en les associant avec les méthodes de programmation mathématique (Fernandez-Castro et Jimenez, 2005), en utilisant les nombres flous (Goumas et Lygerou, 2000; Radojevic et Petrovic, 1997; Srinivasan, 1995) et avec les intervalles (Geldermann *et al.*, 2000; Al-Rashdan *et al.*, 1999; Le Teno et Mareschal, 1998).

III.1.2 La génération des portefeuilles par la métaheuristique MOAMP

L'adaptation du méta heuristique pour résoudre les problèmes de sélection de portefeuilles de projets demeure un sujet de recherche important. Plusieurs méthodes ont été proposées et de nouvelles apparaissent régulièrement, notamment sous forme de métaheuristicques hybrides. Nous allons, dans cette étude, utiliser la métaheuristique MOAMP sur les projets sélectionnés par PROMETHEE afin de générer l'ensemble des portefeuilles efficaces.

Les métaheuristicques forment une famille d'algorithmes de type stochastiques dont l'objectif est la résolution des problèmes complexes d'optimisation. À la différence des heuristiques, qui sont programmées pour un problème donné, les métaheuristicques peuvent être utilisées pour la résolution de problèmes de natures différentes comme, par exemple, dans l'optimisation multiobjectif (ou multicritère). Dans ce cas, la recherche

visé alors non pas à trouver un optimum global, mais un ensemble d'optima "au sens de Pareto" formant la "surface de compromis efficaces" du problème.

Pour rappel, les heuristiques sont utilisées pour les recherches locales, elles se caractérisent par leur simplicité et par leur rapidité d'exécution encore plus élevée que les autres algorithmes classiques. Les heuristiques fournissent rapidement (en temps polynomial) un ensemble de solutions réalisables (pas nécessairement optimales) pour des problèmes d'optimisation difficiles. Parmi les métaheuristiques, on distingue la méthode du recuit simulé, les algorithmes génétiques, la méthode de recherche Tabou, les algorithmes de colonies de fourmis. Le recuit simulé a la caractéristique d'être assez complexe à mettre en œuvre du fait du grand nombre de paramètres à considérer et de leur grande sensibilité. Cette méthode a aussi le défaut de passer à côté de la solution optimale, sans le savoir et bien qu'en étant très proche. Les métaheuristiques de type tabou ne présentent pas cette faiblesse et sont très flexibles selon la nature du problème à résoudre. De ce fait, nous allons, dans le cadre de mémoire, ne nous intéresser qu'aux métaheuristiques basées sur la recherche Tabou. On commencera par une description générale du fonctionnement de la recherche tabou, pour ensuite faire la présentation de la métaheuristique MOAMP qui permet de générer les solutions efficaces de problèmes multiobjectifs et non linéaires.

Présentation de la métaheuristique en Recherche Tabou

La méthode de recherche Tabou est une métaheuristique d'optimisation proposée par Glover (1986). C'est une recherche itérative avec recherche locale. L'idée de la

Recherche Tabou consiste, à partir d'une position donnée, à en explorer le voisinage et à choisir la position dans ce voisinage qui minimise la fonction objectif. Il est essentiel de noter que cette opération peut conduire à augmenter la valeur de la fonction (dans un problème de minimisation) : c'est le cas lorsque tous les points du voisinage ont une valeur plus élevée. C'est à partir de ce mécanisme que l'on sort d'un minimum local. Pour éviter qu'à l'étape suivante, on retombe dans le minimum local auquel on vient d'échapper, la recherche mémorise ces événements désormais interdits (d'où le nom Tabou) et empêche ainsi de revenir sur des positions antérieurement explorées. Ces positions sont conservées dans une liste FIFO (First In First Out) appelée souvent liste Tabou. Le parcours est ainsi gardé en mémoire, ce qui permet de s'y référer pour la recherche et ainsi autoriser un processus décisionnel souple.

Cette solution de stockage en mémoire de toutes les positions peut rendre cette métaheuristique difficile à implémenter dans certains types de problèmes. En effet, cela exigerait des ressources importantes si la liste des tabous est importante. Cette difficulté peut néanmoins être résolue en ne gardant en mémoire que les mouvements précédents, associés à la valeur de la fonction à minimiser.

La métaheuristique MOAMP

MOAMP est une méthode qui a été développée par Caballero, Gandibleux et Molina (2004), elle est l'une des rares si ce n'est à ce jour, la seule méthode de Recherche Tabou qui utilise l'échantillonnage Pareto au lieu l'échantillonnage indépendant dans le cas de l'optimisation. Cette procédure, la MultiObjective

metaheuristic using an Adaptive Memory Procedure, se caractérise par rapport aux autres méthodes de Recherche Tabou, en cherchant les points efficaces par un processus d'intensification (qui constitue la seconde phase de la procédure) centré autour d'un premier ensemble de points efficaces (première phase de la procédure). Pour constituer ce premier ensemble de points efficaces, MOAMP procède à une série de Recherches Tabou liées entre elles, c'est-à-dire que le dernier point d'une recherche devient le premier point de la suivante. Tout ce parcours est mémorisé et chaque point visité peut être retenu dans l'ensemble final. Cela est possible grâce au contrôle qu'on peut exercer sur le critère de domination pour chaque solution autour de son voisinage. Les solutions efficaces (non dominées) sont déclarées « potentiellement efficaces » et sont ajoutées à une liste qu'on réactualise à chaque fois qu'on lui ajoute de nouveaux éléments.

Dans une deuxième phase, MOAMP exploite le concept d'optimalité de proximité (POP, Proximate Optimality Principle) qui traduit que les solutions bonnes à un niveau sont probablement proches des bonnes solutions à un niveau adjacent. Dans le cas des optimisations multiobjectifs, le POP peut être interprété comme étant un moyen de « connecter » les points efficaces par une courbe au sein de l'ensemble efficient. MOAMP va ainsi dans cette deuxième phase maximiser sa recherche autour du premier ensemble de points efficaces trouvé dans la première phase.

Un des nombreux avantages de la métaheuristique MOAMP réside dans sa capacité de donner une bonne approximation de l'ensemble des solutions efficaces pour les problèmes d'optimisations multiobjectifs. MOAMP n'a pas été développée pour

résoudre des problèmes particuliers mais pour être une méthode générique apte à procurer des bonnes performances pour une grande variété de problèmes, sans nécessiter de nombreux paramétrages. Son apport dans notre recherche va être d'une importance capitale, car en plus de sa simplicité, elle ne permet de constituer que des portefeuilles efficaces en un temps très raisonnable. De plus, MOAMP est une procédure interactive qui permet au décideur de choisir un ensemble de solutions possibles même si ses préférences ont évolué avec le temps. Toutefois, MOAMP ne permet pas de hiérarchiser les portefeuilles. Pour parer à cette lacune, nous avons privilégié dans cette étude d'utiliser une autre méthode interactive dite la méthode DEA et le concept de centralité des portefeuilles. Ces derniers vont nous permettre d'effectuer une analyse des portefeuilles efficaces et soumettre les meilleurs portefeuilles aux décideurs.

III.1.3 L'analyse des portefeuilles efficaces

Après avoir défini l'ensemble des portefeuilles faisables et efficaces, l'étape finale consiste à recommander, au comité de portefeuille ou aux décideurs, les meilleurs portefeuilles. Pour ce faire, nous proposons d'évaluer ces portefeuilles selon deux grandes dimensions : la centralité du portefeuille et la performance du portefeuille. Dans ce qui suit, nous allons proposer des mesures de ces dimensions de centralité et de performance.

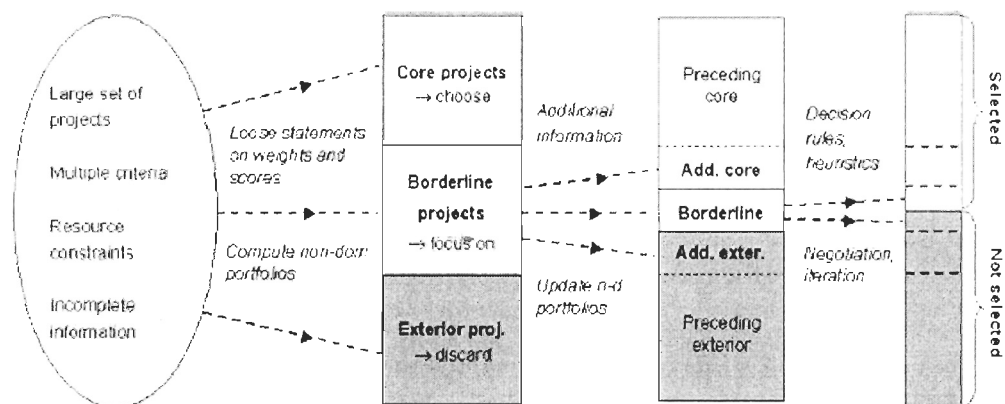
La mesure de la centralité d'un portefeuille de projets

Le concept de centralité des projets a été défini et publié par Liesiö *et al.* (2007) dans *European Journal of Operational Research*. Ce concept a été modélisé au moyen

d'un indice de centralité des projets ou « Core index ». Ce « Core index » va permettre sur la base des inputs disponibles et des préférences des décideurs d'illustrer schématiquement la fréquence avec laquelle un projet en particulier se retrouve dans l'ensemble des portefeuilles non dominés. Un projet qui se retrouve dans un grand nombre de portefeuilles non dominés offre un potentiel intéressant aux décideurs en vue de constituer le portefeuille réalisable qui va respecter les contraintes en ressources. On parlera dans ce cas d'un « projet central » d'où la notion de centralité des projets. Le 'core index' pour un projet (j), que l'on écrit (CI_j), représente donc le pourcentage de portefeuilles non dominés dans lesquels le projet (j) est inclus. L'intérêt de l'indice de centralité des projets, c'est qu'il permet 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 » vont sûrement être recommandés aux décideurs alors que les « exterior projects » vont être rejetés. La figure 11 illustre le processus interactif de sélection de portefeuilles de projets. Au départ, les décideurs fournissent des intervalles de points et des contraintes de poids assez larges de sorte que les « vraies » valeurs des paramètres soient contenues dans l'ensemble informationnel initial. En utilisant des algorithmes de programmation dynamique, les auteurs obtiennent alors un ensemble de portefeuilles non dominés. Quand l'information additionnelle est fournie, l'ensemble de portefeuilles non dominés peut être mis à jour par de comparaisons par paires. Les décideurs peuvent analyser les portefeuilles non dominés en termes de leurs critères spécifiques et de leurs intervalles globaux de valeurs. L'analyse des portefeuilles non dominés peut également être guidée par le « Core index » des projets et par les mesures de robustesse au niveau du portefeuille

(regret- max-min). Si les mesures de robustesse pour les portefeuilles non dominées ne semblent pas acceptables aux décideurs, ils peuvent chercher à réduire le nombre de portefeuilles non dominées en fournissant des informations additionnelles sur les poids et/ou d'intervalles plus étroits pour les « *borderline projects* », afin d'obtenir des résultats de dominance plus décisifs entre les portefeuilles. Les « *Core indexes* » permettent d'indiquer, sur la base des préférences des décideurs et de l'ensemble des inputs, les projets qui devraient être choisis ou rejetés. Ces index sont également utiles du fait qu'ils permettent aux décideurs de se concentrer sur des « *borderline projects* », ce qui réduit la complexité du problème de choix de portefeuille quand le nombre de projets est élevé.

Figure 11: le processus interactif de sélection de portefeuilles de projets



Source : Liesiö, L., Mild, P. and Salo, A., 2007, «Preference programming for robust portfolio modeling and project selection», *European Journal of Operational Research*.

Maintenant, si la notion de centralité pour un projet existe, elle n'existait pas pour un portefeuille et nous avons alors choisi de la définir, de manière analogue à la centralité d'un projet. Nous proposons de définir l'indice de centralité d'un portefeuille

(k), soit (CI_k) , comme la moyenne des indices de centralité des projets inclus dans le portefeuille (k). Autrement dit, et avec notre notation : $CI_k = \sum_{j \in k} CI_j / |k|$

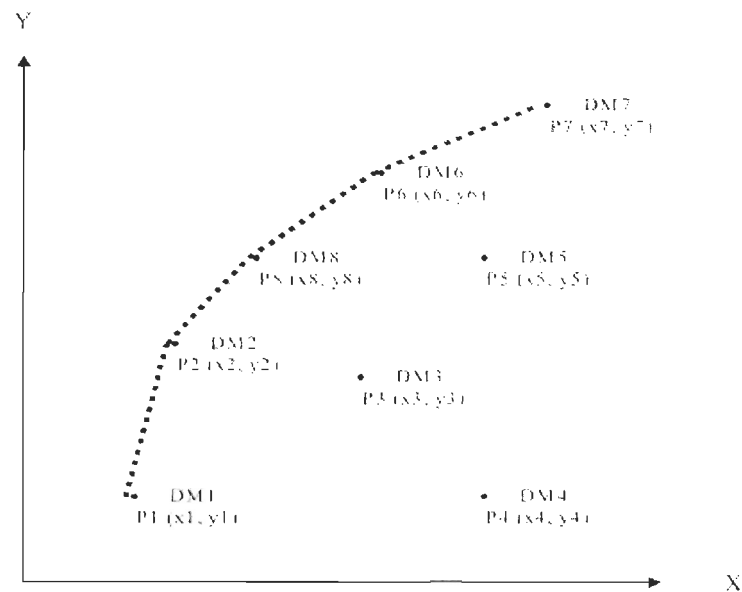
On aurait pu choisir un autre type d'opérateur pour calculer la centralité du portefeuille (le min, le max) mais, comme nous le verrons dans l'exemple didactique, ce choix peut parfois être sans conséquence. Dans une approche globale, il serait sans doute intéressant de voir à calculer cet indice sous différentes formes et à prendre en compte l'ensemble des résultats possibles.

La mesure de la performance d'un portefeuille de projets

La méthode d'analyse des données par enveloppement – DEA – est une méthode relativement nouvelle orientée sur les données réelles observées pour évaluer la performance d'organisations paires. Elle a été développée par les chercheurs Charnes, Cooper et Rhodes (1978). Cette méthode consistait à évaluer l'efficacité d'un programme fédéral d'allocation de ressources dans le système éducatif. Depuis lors, la méthode DEA a été affinée par plusieurs chercheurs. Elle est utilisée aujourd'hui pour évaluer l'efficacité d'entreprises privées et publiques à but lucratif ou non. De nature non paramétrique, le modèle DEA de base permet de déterminer la «frontière efficiente» de production d'un ensemble d'unités de prise de décision (DMU ou Decision Making Unit) en mesurant le rapport de la somme pondérée des extrants sur la somme pondérée des intrants. Les DMU les plus efficaces obtiennent un score DEA de 1. Pour illustrer graphiquement ce concept de frontière efficiente, considérons n différentes DMU produisant un output unique Y_1 au moyen de la consommation d'un

input unique X_1 . Le problème revient alors à déterminer quel sous-ensemble des n DMUs détermine la surface enveloppant le niveau de production efficient. Ici, évidemment, la frontière efficiente est définie par le trait en pointillé, à partir des coordonnées de chaque DMU (figure 12). Dans ce cas précis, les DMU 1, 2, 8, 6 et 7 sont efficientes et obtiendraient un score DEA égal à 1. La DMU3, par exemple, utilise le même niveau d'input X mais produit beaucoup moins de Y , elle est moins performante que la DMU6.

Figure 12: Frontière efficient de la méthode DEA



Dans le cas général où l'on considère un nombre plus important d'inputs et d'outputs, la mesure de l'efficience est alors égale à :

$$\frac{\text{Somme pondérée des outputs}}{\text{Somme pondérée des inputs}}$$

La frontière efficiente sera constituée des unités affichant des scores égaux à 1. Pour les autres DMU, il sera compris entre 0 et 1.

La méthode DEA peut être envisagée sous deux approches légèrement différentes: une approche orientée input et une approche orientée output. La première minimise la consommation des inputs pour un niveau d'outputs donné ; la seconde maximise les outputs pour un niveau constant des inputs. En termes de résultat, les deux approches affichent des scores très proches et un classement identique des firmes.

Chaque DMU consomme ainsi (m) différents inputs afin de produire (s) différents outputs. Le $DMU_{(j)}$ ($j = 1, \dots, n$) consomme des montants de m inputs différents (x_{ij} est la quantité observée d'inputs i utilisé par l'unité de décision j, $j=1, \dots, n$; $i = 1, \dots, m$) pour produire s outputs différents (y_{rj} est la quantité observée de l'output r produit par l'unité de décision $j=1, \dots, n$, $r = 1, \dots, s$). On notera u_r et v_i les pondérations relatives aux outputs r et aux inputs i dans la mesure de performance. Le programme consiste alors à chercher les pondérations qui optimisent la performance d'une DMU donnée (k) et donc, pour l'unité de décision k, cela revient à résoudre le programme fractionnaire suivant :

$$\begin{aligned}
\max h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \\
\text{S.t} \quad & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j=1, \dots, n \\
& u_r \geq \varepsilon, r=1, \dots, s \\
& v_i \geq \varepsilon, i=1, \dots, m
\end{aligned} \tag{1}$$

Où ε est un nombre positif suffisamment petit (constante positive non archimédienne) servant à imposer des bornes inférieures aux poids u_r et v_i (Charnes *et al.*, 1994). Le programme d'optimisation fractionnaire (1) est non convexe, non linéaire et fournit un nombre infini de solutions optimales. Il peut être transformé en un problème de programmation linéaire standard (Charnes et Cooper, 1962) équivalent du type :

$$\begin{aligned}
\max \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\
\text{S.t} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j=1, \dots, n \\
& \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\
& u_r \geq \varepsilon, r=1, \dots, s \\
& v_i \geq \varepsilon, i=1, \dots, m
\end{aligned} \tag{2}$$

(2) est un programme linéaire (primal) orienté input. En faisant appel à la dualité en programmation linéaire, on peut obtenir son équivalent (3) sous la forme enveloppe (duale) suivante :

$$\begin{aligned}
& \min \theta - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \\
\text{S.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}, \quad r=1, \dots, s \\
& - \sum_j \lambda_j x_{ij} + \theta x_{ik} \geq 0, \quad i=1, \dots, m \\
& \lambda_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n \\
& \theta \in \mathbb{R} \\
& s_r^+ \geq 0 \\
& s_i^- \geq 0
\end{aligned} \tag{3}$$

S_r^+ est le vecteur des variables d'écart «slack variables» associé à l'inégalité sur les outputs, S_i^- le vecteur associé à l'inégalité sur les inputs et ε est, comme noté précédemment, une quantité suffisamment petite pour que la maximisation des variables d'écart demeure un objectif secondaire par rapport à la minimisation du coefficient θ . La frontière de production est atteinte quand $\theta = 1$. Autrement dit, chaque DMU ayant pour score $\theta=1$ est une DMU efficiente. En résolvant l'équation (3) pour l'ensemble des DMU, la méthode DEA détermine une frontière d'efficacité qui permet d'évaluer la performance de chaque DMU.

Nous avons raisonné jusqu'à présent dans l'hypothèse de rendements d'échelle constants selon le modèle de Charnes, Cooper et Rhodes (1978). Cependant, Banker, Charnes et Cooper (1984) ont élargi le concept de la mesure de l'efficacité aux rendements d'échelle variables en introduisant une contrainte additionnelle dans le programme (3) qui est :

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

Cette amélioration permet de mesurer les scores DEA sous l'hypothèse des deux principaux modèles, l'un à rendements d'échelle constants et l'autre à rendements d'échelle variables. Le premier modèle se base sur l'hypothèse que toutes les DMU évoluent dans des situations de rendements d'échelle constants, c'est-à-dire que la consommation des ressources par unité produite (la consommation moyenne) est constante quel que soit le volume des prestations produit, autrement dit que les ressources consommées croissent proportionnellement lorsque le volume produit augmente (Charnes, Cooper et Rhodes, 1978). Le second modèle pose l'hypothèse que les unités analysées se situent dans un environnement de rendements d'échelle variables, c'est-à-dire que la consommation moyenne de ressources varie, autrement dit que les ressources consommées plus proportionnellement ou moins proportionnellement lorsque le volume produit augmente (Banker, Charnes et Cooper, 1984). Selon cette hypothèse, les organisations opèrent par conséquent à des tailles différentes qui ne sont pas forcément optimales. Coelli *et al.* (2005) relèvent que cette hypothèse est vraisemblable lorsque les organisations considérées évoluent dans un marché soumis à une concurrence imparfaite ou lorsque les régulations étatiques sont présentes. S'il y a une différence dans les scores d'efficacité mesurés par ces deux types de DEA, ceci indique que la firme n'opère pas à une échelle optimale. L'inefficacité d'échelle est alors donnée par la différence entre l'inefficacité technique (rendements d'échelle échelle constant) et l'inefficacité technique pure (rendements d'échelle variables) (Coelli, 1998 ; Amara *et al.*, 2000).

La méthode DEA possède quelques avantages marqués:

- Elle est particulièrement convenable avec un échantillon de petite taille.
- Elle n'impose pas de spécification de coûts a priori.
- Elle permet la gestion simultanée d'inputs et d'outputs et ceci grâce à sa capacité de maximiser la relation entre eux.
- Elle est capable de distinguer entre l'inefficience technique et l'inefficience d'échelle et d'envergure.

Il s'agit d'une méthode relativement simple d'emploi. Il faut relever que la difficulté de ce type d'analyse ne provient pas de la méthode elle-même, mais des données qu'il faut obtenir pour la mettre en œuvre. Dès le moment où l'on dispose d'une information chiffrée sur les inputs et les variables de résultats, la mise en œuvre s'opère assez facilement.

La méthode DEA s'est imposée comme un outil analytique et quantitatif puissant en relativement peu de temps pour évaluer la performance des organisations. Elle a été appliquée dans de nombreux domaines, notamment les systèmes bancaires, les assurances, le commerce du détail, l'agriculture, l'économie forestière, la distribution d'eau, l'éducation, la santé, le social, la défense et la sécurité. Cooper, Seiford et Zhu (2006) passent en revue les applications récentes dans un certain nombre de ces domaines. Concernant notre domaine de recherche, Oral *et al.* (1991) ont présenté une méthodologie d'évaluation et de sélection de projets R&D dans un cadre décision collective. Ils ont utilisé la méthode DEA pour déterminer la valeur relative d'un projet en particulier à partir du point de vue des autres projets de R&D. Linton *et al.* (2002)

ont proposé une méthode pour l'analyse, le classement et la sélection des projets de R&D en utilisant le principe de la méthode DEA pour constituer à partir des scores individuels de chaque projet des sous-groupes des projets «à considérer ultérieurement » et des projets «à rejeter ». Plus récemment, Eilat *et al.* (2005) ont proposé une méthodologie basée sur la méthode DEA-BSC pour générer des portefeuilles de projets.

Dans le cadre de notre méthodologie, les scores DEA viseront à évaluer la performance relative des portefeuilles de projets qui seront considérés comme des DMU. Afin d'illustrer notre méthode de sélection de portefeuille de projets, nous allons, dans le chapitre qui suit, reprendre un exemple réel publié par Eilat *et al.* (2005).

III.2 Illustration de la méthode de sélection de portefeuilles de projets proposée

III.2.1 L'exemple didactique

Supposons qu'une importante entreprise œuvrant dans le secteur des hautes technologies, décide dans le cadre de sa planification stratégique d'accroître ses parts de marché par le développement de plusieurs nouveaux produits. Pour atteindre ses objectifs, l'entreprise décide de se constituer un portefeuille avec les meilleurs projets. Une trentaine de projets lui sont soumis et tous sont des projets potentiels et faisables. Chacun de ces projets étant évalué (tableau 1) par 3 critères : la contribution

économique mesurée en terme monétaire (1000\$), la contribution scientifique et la contribution sociale, mesurées sur une échelle 0-100. Par ailleurs, ces projets mobilisent des ressources humaines mesurées en équivalent temps complet (ETC) et des ressources matérielles mesurées en terme monétaire (1000\$) Enfin, une probabilité de succès est également associée à chaque projet et cette probabilité sera utilisée pour calculer les valeurs espérées des critères.

III.2.2 Étape de présélection des projets

Supposons maintenant que l'organisation décide de ne garder que les 15 projets les plus performants. Cette décision se traduit, dans notre méthode, par la phase de présélection et utilise la méthode PROMETHEE.

Tableau 1 : Données de l'exemple didactique

Projets	Contenu de travail (ETC)	Coûts en matières (1000\$)	Contribution économique	Contribution scientifique	Contribution sociale	Probabilité
Projet1	10	8	158	30	40	0.60
Projet2	11	18	3101	90	95	0.30
Projet3	114	5	1240	70	20	0.60
Projet4	13	7	137	10	20	0.70
Projet5	54	21	1312	90	40	0.70
Projet6	63	7	429	95	25	0.80
Projet7	49	20	785	95	20	0.90
Projet8	19	4	276	15	10	0.50
Projet9	11	13	85	10	10	0.80
Projet10	111	3	107	90	95	0.40
Projet11	99	15	985	35	90	0.90
Projet12	35	9	382	25	15	0.50
Projet13	74	14	516	70	95	0.50
Projet14	22	8	218	20	10	0.60
Projet15	36	9	25	20	15	0.70
Projet16	42	14	111	24	22	0.40
Projet17	35	20	24	21	16	0.40
Projet18	88	12	200	37	54	0.50
Projet19	38	23	117	11	45	0.30
Projet20	15	21	20	25	16	0.30
Projet21	40	14	115	12	43	0.43
Projet22	50	15	250	19	56	0.70
Projet23	55	9	99	20	25	0.40
Projet24	32	15	75	13	10	0.89
Projet25	67	19	111	13	64	0.54
Projet26	98	13	220	18	85	0.50
Projet27	20	20	80	9	45	0.53
Projet28	20	25	60	12	13	0.32
Projet29	25	15	70	13	34	0.59
Projet 30	15	20	22	18	46	0.60

Les contraintes budgétaires et de ressources humaines, à savoir 60 000 \$ et 300 ETC, ainsi que les interactions entre projets n'interviendront pas dans cette phase de présélection. Toutefois, ces données seront pertinentes lors de la phase de génération

des portefeuilles efficaces et faisables. Les méthodes PROMETHEE I et II ont été implémentées à l'aide du logiciel Decision Lab.

Parmi les six fonctions de préférence disponible, nous avons convenu de retenir la « V-shape » mais dans un cas réel, ce choix se devrait d'être compris et supporté par les décideurs. Le choix concernant la pondération des critères s'est fait selon les préférences des décideurs. Ces derniers peuvent à tout moment les modifier. Le tableau de l'annexe III présente les poids donnés pour chacun des critères ainsi que les allocations en ressources pour chaque projet. Rappelons que par cette méthode, nous souhaitons un classement systématique de tous les projets pour en choisir les 15 meilleurs qui vont nous permettre de générer notre ensemble de portefeuilles efficaces. Les graphes de surclassement obtenus par PROMETHEE I et II donnent le classement suivant (voir Annexe IV): les projets 2, 10, 6, 5, 13, 7, 3, 1, 8, 4, 14, 12, 11, 15, 9.

La Figure 13 des flux net est une autre façon d'illustrer ce classement. Le flux net d'un projet est un nombre compris entre -1 et +1. Les meilleurs projets ont un flux net positif et les moins bonnes un flux net négatif. On peut alors voir que les résultats de ce classement correspondent à ceux effectués précédemment par les graphes de surclassement.

Le plan GAIA (Figure 14) est très utile pour repérer les critères conflictuels et les bons compromis. Le paramètre Delta représente le pourcentage d'information contenue dans le plan GAIA. En pratique, si le Delta est supérieur à 70%, le plan GAIA fournit dans ce cas une bonne représentation du problème de décision. Pour des valeurs de

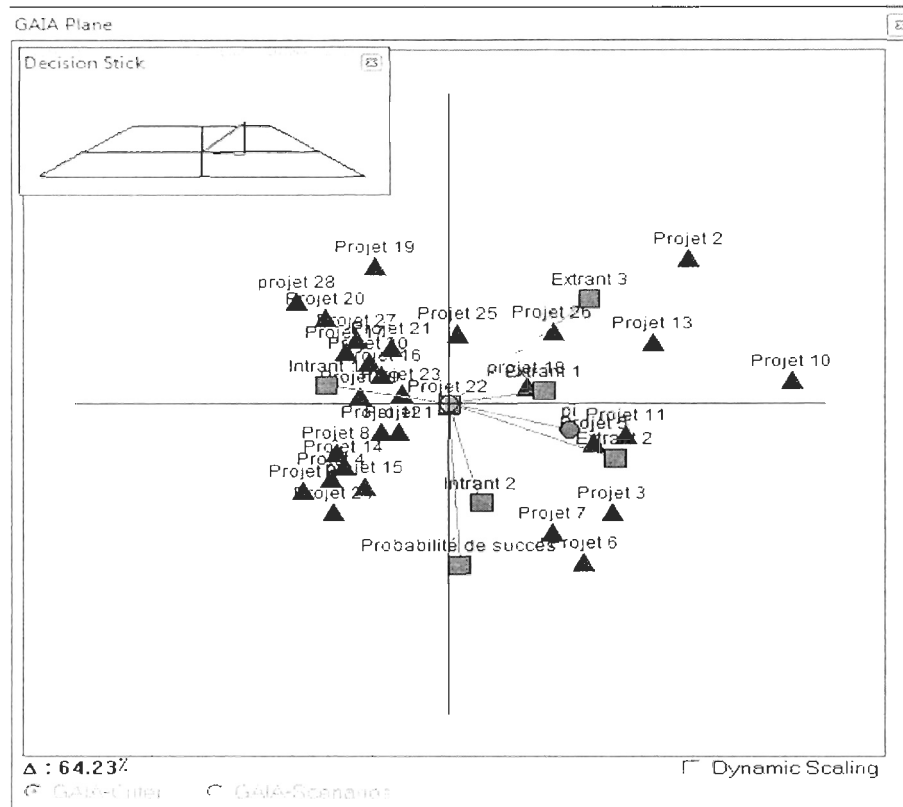
Delta inférieures à 70%, il devient moins fiable et plus difficile à interpréter. Dans notre cas, nous avons décidé d'ignorer le plan GAIA, car son plan Delta est de 64,23%.

Figure 13: Les flux de PROMOTHEE

Preference Flows

	$\Phi+$	$\Phi-$	Φ
Projet 2	0.5506	0.0482	0.5024
Projet 10	0.4395	0.1363	0.3032
Projet 6	0.2562	0.0965	0.1597
Projet 5	0.2678	0.1265	0.1412
Projet 13	0.2241	0.1190	0.1052
Projet 7	0.2261	0.1310	0.0951
Projet 3	0.2724	0.1804	0.0920
Projet 1	0.1707	0.0821	0.0885
Projet 8	0.1519	0.1148	0.0471
Projet 4	0.1380	0.1212	0.0168
Projet 14	0.1247	0.1149	0.0098
Projet 12	0.1202	0.1108	0.0094
Projet 11	0.1302	0.1781	0.0021
projet 15	0.0938	0.1344	-0.0408
Projet 9	0.0971	0.1502	-0.0531

Figure 14: Plan GAIA de Decision Lab



Decision Lab génère également un intervalle de sensibilité pour chaque critère permettant d'appréhender la sensibilité du classement obtenu (Figure 15). À l'intérieur de cet intervalle sont indiquées les limites de poids de chaque critère pouvant être modifiées (toutes choses étant égales par ailleurs) sans provoquer d'incidence sur le classement. Dans la recommandation finale, ces informations présentent un intérêt certain pour les décideurs en vue de choisir la 'meilleure' action ou pour les rassurer dans le rangement obtenu.

Figure 15 : l'intervalle de sensibilité

Stability Intervals

Stability Level: first actions

	Weight	Interval		% Weight	% Interval	
		Min	Max		Min	Max
Intrant 1	2.0000	1.9302	2.0339	20.00%	19.84%	20.27%
Intrant 2	2.0000	1.9012	2.0441	20.00%	19.20%	20.35%
Extrant 1	3.0000	2.9027	3.0842	30.00%	29.32%	30.58%
Extrant 2	2.0000	1.9280	2.0426	20.00%	19.42%	20.34%
Extrant 3	1.0000	0.9714	1.0332	10.00%	9.74%	10.30%
Probabilité de suc	0.0000	0.0000	0.0808	0.00%	0.00%	0.80%

III.2.3 Étape de Constitution des portefeuilles de projets efficaces et faisables

La deuxième étape de notre méthodologie consiste à générer l'ensemble des portefeuilles efficaces et faisables tout en tenant compte des interactions possibles entre les projets. Ces interactions entre projets sont modélisés par des matrices d'interactions et dans le cas de notre exemple didactique, on dispose ainsi des matrices U1 et U2 pour les ressources, V1, V2 et V3 pour les contributions aux critères et enfin de P pour les effets sur les probabilités de succès (Annexe V). Nous allons maintenant exécuter l'algorithme de MOAMP⁴ sur les 15 projets candidats sélectionnés par PROMETHEE I et II. Les contraintes budgétaires de 60 K\$ et de 300 FTE vont être à présent très pertinentes dans la composition des portefeuilles efficaces et faisables. MOAMP opère grâce à 5 paramètres de configuration. La programmation des paramètres ainsi que les résultats obtenus sont le fruit de la collaboration des professeurs Molina et Caballero de l'Université de Malaga. Les paramètres et les valeurs que les professeurs ont données :

⁴ Pour utiliser MOAMP, il est nécessaire de reformuler le problème sous la forme d'un problème d'optimisation multiobjectif non linéaire en nombres entiers. Le lecteur peut consulter, en ANNEXE VI, la formulation de ce problème (Urli et Terrien, 2009)

- Nombre de cycle : 3
- Nombre d'itérations Tabou initiales : 2500
- Taille de la liste Tabou : 50
- Nombre maximum de non-améliorations : 5
- Nombre d'intensification maximum : 500

Tableau 2 : Résultats de MOAMP avec les 15 projets candidats

Portfolio#	Projet #														Nombre de projets	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	6
4	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6
5	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6
6	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
7	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	6
8	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
9	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	5
11	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
12	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6
13	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	6
14	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	6
15	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4
Fréquence	8	12	13	6	5	11	3	7	0	0	8	1	5	3	1	

Tableau 3 : matrice d'évaluation des portefeuilles non dominés

Portfolio#	Intrants		extrants		
	I1	I2	O1	O2	O3
1	292	59	5195,3	217,5	203
2	265	59	5380	291,6	196,4
3	291	58	5444,6	274,5	171,9
4	278	58	4773,7	252,8	201,9
5	289	60	4653,2	255	199,9
6	264	60	5245,6	294,3	154,4
7	278	59	5384,4	274	184,8
8	292	53	5150,9	239,5	213
9	296	51	5152	231,3	211,4
10	289	60	2487	256,5	200
11	290	60	2946,5	296,1	132,4
12	262	60	4588,2	185,3	221,4
13	258	56	4623	182,3	221,4
14	293	60	2006,1	202,5	225,5
15	294	52	4524,1	201,5	245

L'algorithme a créé 15 portefeuilles efficaces sans bien sûr établir de hiérarchie entre eux (Tableaux 2 et 3). Le temps de calcul a été rapide, il est de 70,21 secondes. Même si aucun portefeuille n'a dépassé la limite de l'intrant 1 (300 FTE), on constate que 6 portefeuilles nécessitent 60 K\$ de l'intrant 2 soit la contrainte budgétaire. Les projets 2, 3, et 6 semblent très satisfaisants, ils apparaissent respectivement 12, 13 et 11 fois. Vu le nombre de portefeuilles obtenus, nous devons à présent aider les décideurs à choisir et retenir les meilleurs portefeuilles parmi les 15 potentiellement satisfaisants. Ceci nous amène à la dernière étape de notre processus de proposition d'un modèle de constitution de portefeuilles de projets.

III.2.4 Étape de sélection des portefeuilles de projets

À ce stade-ci du processus de constitution d'un portefeuille de projets, le décideur (ou les décideurs du comité de portefeuille) se trouve encore une fois dans une problématique de choix, car la méthode MOAMP permet de générer l'ensemble des portefeuilles efficaces et faisables mais sans proposer de classement entre eux. Nous proposons alors d'évaluer ces portefeuilles selon deux grandes dimensions : la centralité du portefeuille et la performance du portefeuille.

Evaluation de la centralité relative des portefeuilles de projets efficaces

Notre mesure de centralité d'un portefeuille de projets est basée à partir de la notion de 'core project' proposée par Lieslo *et al.* (2004). L'indice de centralité d'un projet j (CI_j) représente le pourcentage de portefeuilles non dominés dans lequel le projet (j) est inclus.

Tableau 4. Indices de centralité des projets et des portefeuilles de projets

# portfolio	projet #															CI _k
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0,60
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,62
3	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,54
4	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,61
5	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0,58
6	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,58
7	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0,57
8	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,69
9	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,67
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0,45
11	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,53
12	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0,56
13	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0,60
14	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0,43
15	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0,63
CI _k	0,53	0,80	0,87	0,40	0,33	0,73	0,20	0,47	0	0	0,53	0,07	0,33	0,20	0,07	

Par exemple, si l'on s'intéresse au projet (2), il est inclus dans les portefeuilles 1 à 9, 12, 13 et 15. Son indice de centralité est donc égal à 12/15, soit 80%. De manière analogue, nous avons proposé de définir l'indice de centralité d'un portefeuille de projets (k) ou encore (CI_k) comme la moyenne des indices de centralité des projets inclus dans le portefeuille en question, soit : $CI_k = \sum_{j \in k} CI_j / |k|$. Ainsi, l'indice de centralité du portefeuille (13) est égal à $(.53+.80+.87+.40+.47+.53)/6 = 60\%$. Plus la centralité du portefeuille est grande, plus il est constitué de projets que l'on retrouve dans beaucoup de portefeuilles de projets. À partir de cet indice de centralité, si l'on avait à faire un choix parmi l'ensemble des portefeuilles de projets efficaces, ce serait, dans l'ordre, les portefeuilles (8 - 9 - 15 - 2 - 4 - 1 ou 13 - 5 ou 6 - 7 - 12 - 3 - 11 - 10 - 14) qui seraient proposés. Bien évidemment, au lieu de prendre la moyenne des indices de centralité des projets, un autre opérateur pourrait être choisi et par exemple, ce

pourrait être, le produit des centralités des projets, le maximum des centralités des projets du portefeuille.

Tableau 5. Indices de centralité des portefeuilles de projets selon l'opérateur choisi

# portfolio	CI(k)		
	Moyenne	Max	Produit
1	0,6	0,87	0,057
2	0,62	0,87	0,042
3	0,54	0,87	0,006
4	0,61	0,87	0,036
5	0,58	0,87	0,018
6	0,58	0,87	0,019
7	0,57	0,87	0,016
8	0,69	0,87	0,143
9	0,67	0,87	0,108
10	0,45	0,73	0,012
11	0,53	0,87	0,022
12	0,56	0,87	0,016
13	0,6	0,87	0,037
14	0,43	0,73	0,002
15	0,63	0,87	0,122

On peut voir, dans le Tableau 5, que les 3 meilleurs portefeuilles restent les portefeuilles 8, 9 et 15 et que les deux moins bons sont les portefeuilles 10 et 14, quel que soit l'opérateur choisi (le Max étant peu discriminant).

Evaluation de la performance relative des portefeuilles de projets efficaces

Pour évaluer la performance des portefeuilles de projets, nous avons repris une idée proposée par Eilat *et al.* (2005) consistant à utiliser la méthode DEA et les scores générés par cette méthode comme indicateurs de performance. Dans l'exemple qui nous intéresse, nous disposons de 3 extrants et de 2 intrants. Ce sont ces mesures qui seront utilisées dans la méthode DEA. Par ailleurs, nous avons utilisé la méthode DEA selon

les deux approches : une approche orientée input et une approche orientée output. Dans la première approche, les scores d'efficacité seront mesurés sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants (CREST) et variables (VREST). Dans la seconde approche les scores d'efficacité seront selon l'hypothèse de rendements d'échelle constants. Concernant les données d'entrée, nous utiliserons dans cette partie empirique les résultats obtenus par MOAMP. Chaque portefeuille est une DMU ayant ses propres inputs et outputs. Enfin, la méthode DEA a été implémentée à l'aide du logiciel Win4DEAP version 1.1.2. Étant donné que notre première analyse du modèle DEA est orientée input, l'efficacité technique désigne dans ce cas la capacité d'un portefeuille de projets à utiliser un minimum d'inputs pour produire un niveau donné d'outputs. Les résultats obtenus pour l'efficacité technique sont illustrés dans le tableau 3 et montrent que les portefeuilles sont techniquement efficaces à 97 % dans l'hypothèse de rendement d'échelle constant (CREST). Autrement dit, les portefeuilles analysés pourraient économiser près de 3% des intrants mis à leur disposition tout en maintenant constant leur niveau de résultats (contribution économique, scientifique et sociale). Globalement, les bons ratios obtenus témoignent du niveau satisfaisant des projets et des portefeuilles retenus jusqu'à maintenant, toutefois nous constatons que seulement 5 portefeuilles (les portefeuilles 2, 6, 9, 13, 15) affichent des scores d'efficacité égaux à 1, c'est-à-dire se retrouvant sur la frontière efficiente. Les autres portefeuilles qui affichent des scores inférieurs à 1 signifient que ces derniers devraient utiliser un peu moins de leurs inputs pour devenir efficaces. C'est ainsi que les portefeuilles 3, 7, 8, 11 et 12 obtiennent des scores d'efficacité de respectivement 0.98, 0.98, 0.99, 0.99 et 0,98. Les portefeuilles 1, 4, 5, 10 et 14 obtiennent des scores d'efficacité en dessous de la moyenne.

Tableau 6 : Input oriented DEA

Input orientated DEA				
Scale assumption: VRS				
Single-stage DEA - residual slacks presented				
Portefeuille	CREST	VREST	SCALE	
Portefeuille 1	0.939	0.943	0.996	IRS
Portefeuille 2	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 3	0.989	1.000	0.989	DRS
Portefeuille 4	0.941	0.973	0.967	IRS
Portefeuille 5	0.907	0.940	0.965	IRS
Portefeuille 6	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 7	0.983	0.987	0.996	DRS
Portefeuille 8	0.997	1.000	0.997	DRS
Portefeuille 9	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 10	0.910	0.940	0.968	IRS
Portefeuille 11	0.999	1.000	0.999	DRS
Portefeuille 12	0.988	0.989	0.999	DRS
Portefeuille 13	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 14	0.922	0.922	1.000	-
Portefeuille 15	1.000	1.000	1.000	-
MEAN	0.972	0.980	0.992	

Comme on peut le remarquer, parmi les 15 portefeuilles constituant notre échantillon, cinq apparaissent techniquement efficaces (33%) et ont de ce fait un score d'efficacité maximal. Il est à noter qu'un portefeuille est efficace ne signifie pas qu'il produit nécessairement un niveau maximum d'outputs à partir d'un niveau donné d'inputs mais il présente la meilleure performance de production d'outputs et constitue une référence pour les autres.

Pour ce qui est de la mesure de la performance des portefeuilles de projets sous l'hypothèse de rendement variable (VREST), les résultats obtenus montrent que les portefeuilles sont techniquement efficaces à 98 %. De plus, on constate que 8

portefeuilles affichent des scores d'efficacité égal à 1 (contre 5 avec rendement d'échelle constant 2, 6, 9, 13, 15). Les portefeuilles 2, 3, 6, 8, 9, 11, 13 et 15 se retrouvent sur la frontière efficiente. Les autres portefeuilles qui affichent des scores inférieurs à 1 signifient que ces derniers devraient minimiser l'utilisation de leurs inputs pour devenir efficaces. Il est important de noter qu'au niveau de chaque portefeuille, les rendements d'échelle variable sont légèrement plus élevés que ceux en échelles constant. Cela signifie d'une part, que les portefeuilles utilisent des inputs dans des proportions optimales. Autrement dit, les portefeuilles utilisent des ratios inputs qui se trouvent près de la minimisation des coûts. De l'autre part, ces résultats suggèrent que les portefeuilles n'opèrent pas à une échelle optimale. Une mauvaise utilisation des inputs explique ce genre de résultats, nous suggérons par ailleurs aux décideurs une meilleure gestion des coûts en matières et une meilleure répartition du temps de travail.

Approche orientée output sous l'hypothèse de rendement constant (CREST)

Les scores d'efficacité sont analysés à présent sous l'orientation output et selon l'hypothèse de rendements d'échelle constants (efficacité technique). Les résultats obtenus pour l'efficacité technique sont illustrés dans le Tableau 7 et montrent des résultats identiques à ceux de l'approche orientée input. Par définition, nous savons qu'en termes de résultat, les deux approches donneraient des résultats très similaires.

Tableau 7: Output oriented DEA

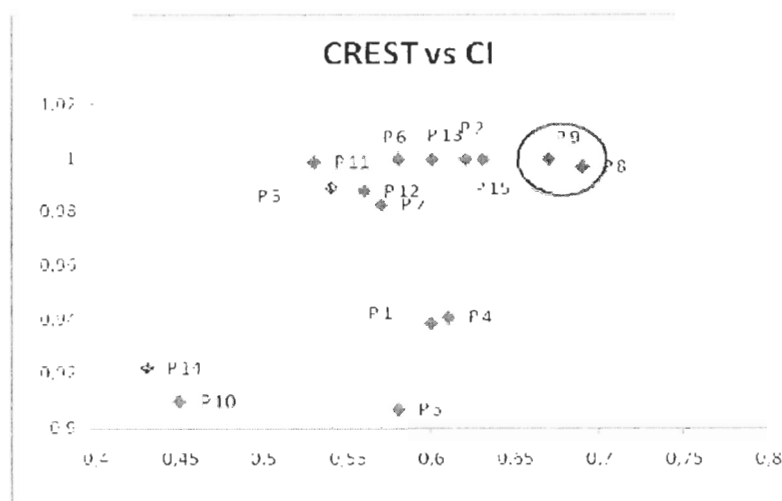
Output orientated DEA	
SCALE ASSUMPTION: CRS	
Single-stage DEA - residual slacks presented	
Portefeuille	TE

Portefeuille 1	0.939
Portefeuille 2	1.000
Portefeuille 3	0.989
Portefeuille 4	0.941
Portefeuille 5	0.907
Portefeuille 6	1.000
Portefeuille 7	0.983
Portefeuille 8	0.997
Portefeuille 9	1.000
Portefeuille 10	0.910
Portefeuille 11	0.999
Portefeuille 12	0.988
Portefeuille 13	1.000
Portefeuille 14	0.922
Portefeuille 15	1.000
MEAN	0.972

Nous avons mesuré l'efficacité technique des portefeuilles de projets développement à l'aide de la méthode non paramétrique du Data Envelopment Analysis. Il est possible à ce stade de notre méthodologie de soumettre les portefeuilles se trouvant sur cette frontière qui détermine les meilleurs pratiques, c'est-à-dire ceux qui affichent des scores d'efficacité égal à 1. Il semble donc évident que les portefeuilles 2, 3, 6, 8, 9, 11, 13 et 15 seraient proposés au comité de portefeuille, si le seul critère était la performance du portefeuille. Maintenant, pour déterminer les portefeuilles qui seraient proposés in fine au comité de portefeuille, nous allons classer les portefeuilles non dominées selon deux critères : la centralité des projets et la performance mesurée par le DEA. Notre approche singulière va permettre d'affiner les résultats obtenus précédemment en intégrant et combinant l'approche DEA au concept de centralité des portefeuilles de projets.

L'évaluation de la centralité et de la performance des portefeuilles non dominés sous l'hypothèse de rendement constant (CREST vs CI)

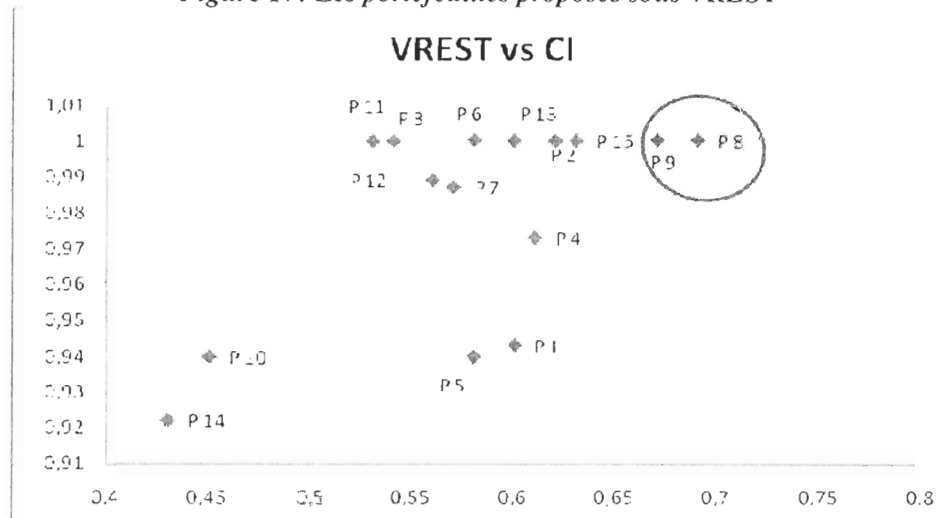
Figure 16: Les portefeuilles proposés sous CREST



La Figure 16 illustre les résultats obtenus suite aux estimations avec les méthodes DEA sous l'hypothèse de rendement à échelle constant et l'indice de centralité des portefeuilles de projets. L'ajout du concept de l'indice de centralité a entraîné une modification de la frontière 'efficiente'. Désormais ce sont respectivement les portefeuilles 2, 6, 8, 9, 11, 13 et 15 qui se trouvent sur la frontière efficiente et tous les autres portefeuilles se trouvant sous cette courbe sont dominés. Les décideurs gardent toujours l'option de privilégier un portefeuille par rapport à un autre, cependant nous leur suggérerons fortement les portefeuilles 8 et 9, ces derniers dominent les autres sur la base de l'indice de la centralité des portefeuilles de projets et de la performance mesurée par DEA. Ensuite viennent par ordre de classement les portefeuilles 15, 2, 13, 6 et 11.

L'évaluation de la centralité et de la performance des portefeuilles non dominés sous l'hypothèse de rendement variable (VREST vs CI)

Figure 17: Les portefeuilles proposés sous VREST



La représentation graphique 17 illustre la frontière 'efficiente' de l'approche orientée input sous l'hypothèse de rendement variable (VREST). Il sera possible aux décideurs de choisir parmi les portefeuilles de la frontière efficiente, un ou des portefeuilles optimaux. Il est important de rappeler au lecteur que la performance mesurée par DEA et la centralité des projets sont des critères de sélection dans l'ensemble des portefeuilles réalisables. Par conséquent, si les décideurs avaient à choisir un seul portefeuille parmi les 15 potentiellement satisfaisant, ce portefeuille existe, il s'agit du portefeuille 8. Celui-ci domine et surclasse tous les autres portefeuilles sur la base de l'indice de centralité des projets. Il doit contenir les projets les plus fréquents, ensuite viennent dans l'ordre les portefeuilles 9, 15, 2, 13, 6, 3 et 11.

III. 3 Conclusion sur la méthode DEA- l'Indice de Centralité des Portefeuilles de Projets

Dans cette dernière partie de notre processus de constitution de portefeuilles de projets, nous avons cherché à mesurer l'efficacité d'un sous-ensemble de portefeuilles non dominées par rapport à la performance mesurée par le score DEA et l'indice de centralité des portefeuilles de projets. L'intérêt de proposer une évaluation bidimensionnelle était de faire un classement des portefeuilles obtenus précédemment par la méthode MOAMP. Il ressort des résultats empiriques, un classement hiérarchique de tous les projets réalisables et une mesure de l'efficacité de chaque portefeuille. L'illustration des différentes options que peut permettre la méthode DEA a permis de tester la robustesse de notre modèle et les résultats étaient plus que probants.

CONCLUSION

Compte tenu du nombre d'objectifs souvent conflictuels et des difficultés pour les décideurs de recueillir des données précises et quantifiables, la sélection de portefeuilles de projets s'avère un processus critique et relativement complexe qu'il faut bien gérer. C'est dans ce contexte que nous avons proposé dans le cadre de cette recherche un modèle pratique de sélection de portefeuille de projets qui s'efforce d'atteindre une large variété d'objectifs, et de satisfaire les critères de sélection en même temps que les contraintes.

Nous avons proposé un modèle intégré combinant la méthode d'aide multicritère à la décision PROMETHEE, dans une phase de présélection des projets, avec un puissant outil de programmation mathématique non-linéaire (l'algorithme MOAMP) permettant de générer l'ensemble des portefeuilles non dominés et faisables. Remarquons que nous avons-nous même choisi les poids des critères dans la méthode PROMETHEE mais que dans un exercice réel, ces poids devraient être définis par les membres du comité de portefeuille. Par la suite, et dans une logique basée sur celle d'un comité de portefeuille, nous avons proposé de classifier les portefeuilles faisables et non dominés selon deux grandes dimensions, une dimension de performance, mesurée par le score DEA du portefeuille, et la centralité du portefeuille, mesurée par un indice de centralité que nous avons défini. Ainsi, cette méthodologie prend en compte les préférences des décideurs et répond aux objectifs initiaux de proposition d'une méthode simple de sélection de portefeuille de projets. Elle tient compte de la dimension

multicritère et des interactions entre projets et elle permet aux décideurs et aux experts de suivre une démarche structurée, rationnelle et interactive de sélection de portefeuilles de projets.

Dans l'exemple réel d'Eilat et al. (2005) que nous avons utilisé pour illustrer notre méthodologie, avec 15 projets après la phase de présélection avec PROMETHEE, les calculs ont duré moins de 1,5 minutes et les quelques simulations que nous avons réalisées suggèrent que cette approche est applicable à des problèmes avec un nombre de projets relativement important (50 projets ou moins). Néanmoins, la détermination de tous les portefeuilles non-dominés pour des problèmes avec des centaines de projets reste difficile. À cet égard, notons que c'est la raison qui nous a amené à proposer, dans notre méthodologie, une phase initiale de présélection, pour laquelle le nombre de projets retenus pourrait toujours être fixé à 50 ou moins.

Néanmoins, il est une dimension que nous n'avons pas directement considérée et qui est importante dans la réalité de la gestion de portefeuilles de projets, c'est la dimension dynamique de ce processus. Par contre, et en s'inspirant du travail de Lahaye (2009), il serait facilement envisageable de 'dynamiser' cette approche de sélection de portefeuilles de projets.

BIBLIOGRAPHIE

Aaker, D. et Tyebjee, T.T., 1978, «A Model for the Selection of Interdependent R&D Projects», IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-25, p. 30-36.

Adams, J.R., Barnt, S.E., Martin, M.D., 1979, «Managing by project management Universal Technology Corporation».

Al-Rashdan, D., Al-Kloub, Dean, B., Al-Shemmeri, A.T., 1999, «Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan», European Journal of Operational Research 118, p.30-45.

Amara, N. et Romain, R., 2001, «Mesure de l'efficacité technique», une Revue de la littérature, SR.007, Centre de Recherches en Economie Agroalimentaire (CREA), Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, p.32.

Archer, N.P., Ghasemzadeh, F., 1999, «An Integrated Framework for Project Portfolio Selection», International Journal of Project Management, Vol. 17, p. 207 – 216.

Archibald, R.D., 1975, «Managing High Technology Programs and Projects», John Willes & Sons.

Baker, N., Fox, G. et Bryant, J., 1984, «Economic Models for R and D Project Selection in the Presence of Project Interactions», Management Science, n° 7, vol. 30, p. 890-902.

Baker, N., Freeland, J., 1975, «Recent advances in R&D benefit measurement and project selection methods», Management Science, 21(10), 1164-1175.

Baker, N.R., 1974, «R&D project selection models: an assessment», IEEE Transactions on Engineering Management.

Baker, N.R. and Pound, W. H., 1964, «R&D project selection: where we stand», I. E. E. E, Transactions on Engineering Management.

Bana e Costa, C.A. *et al.*, 2004, «On the mathematical foundations of Macbeth. In MCDA», Multiple Criteria Decision Analysis, Kluwer Academic Publishers, p. 409-442.

- Bana e Costa, C.A. and Vansnick, J.C., 1997, «Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model», *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 6 (2), p. 107-114.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984, « Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis», *Management Science*, 30(9), 1078–92.
- Bard, J.F., Balachandra, R., Kaufmann, P.E., 1988, «An interactive approach to R&D project selection and termination», *IEEE Transactions on Engineering Management* EM-35, p. 139–146.
- Basso, A., Peccati, L.A., 2001, «Optimal resource allocation with minimum activation levels and fixed costs», *European Journal of Operational Research* 131, p. 536–549.
- Beaujon, G.J., Marin, S.P., McDonald, G.C., 2001, «Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects», *Naval Research Logistics* 48, p. 18–40.
- Belton, V., 1986, «A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function», *European Journal of Operational Research* 26, p. 7–21.
- Brans, J.P., Vincke, P., Mareschal, B., 1986, «How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method», *European Journal of Operational Research*, Vol. 28, p. 228 – 238.
- Bros, T., 1994, «Le Management Global de la Recherche et Development», Thèse de 3^{ème} Cycle. École Centra de Paris.
- Buchanan, J., Sheppard, P. and Vanderpooten, D., 1999, «Project ranking using Electre III, Department of Management Systems, Research Report Series.
- Caballero, R., Gandibleux, X. and Molina, J., 2004, «MOAMP- A Generic Multiobjective Metaheuristic using an Adaptive Memory», Technical Report, University of Valenciennes, France.
- Chan, F.T.S, Chan, M.H, Tang, N.K.H, 2000, «Evaluation methodologies for technology selection», *Journal of Materials Processing Technology*, 107-330–7.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A., Seiford, L.M., 1994, «Data envelopment analysis: theory, methodology and applications. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers».
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978, «Measuring the efficiency of decision making units», *European Journal of the Operational Research*, 2, p. 429–444.

Charnes, A. and Cooper, W.W, 1962, «Programming with Linear Fractional Functionals», *Naval Research Logistics Quarterly*.

Chien, C.F., 2002, «A portfolio-evaluation framework for selection R&D projects », *R&D Management*, 32(4)–359–69.

Ciptomulyono, U., 2000, «Un Modèle d'aide à la Sélection des Projets: L'intégration de la Procédure Analyse Hiérarchique (AHP) et la Programmation Mathématique à Objectif Multiple», *Application Aux Projets de Développement de Centrales Électriques en Indonésie*, ADB-LOAN-1342.

Clarke, T.E., 1974, «Decision-making in technologically based organizations: A literature survey of present practice», *ZEEE Transactions on Engineering Management*, EM-21, 9-23.

Cliville, V. et Lamia, B., 2006, « Une approche multicritère pour l'aide à la sélection de portefeuilles de projets ».

Coelli, T., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J. and Battese, G.E., 2005, «An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis (second ed.)», Kluwer Academic Publishers, Boston.

Coelli, T., 1998, «A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models», *Operations Research Letters*.

Coffin, M.A, Taylor, W.T, 1996, «Multiple criteria R&D project selection and scheduling using fuzzy logic», *Computers and Operations Research* 23(3):207–20.

Cooper, R.G., 2001, «Winning at New Products—Accelerating the Process from Idea to Launch», third ed, Perseus Publishing, Cambridge, MA.

Cooper, R.G., Edgett, S.J., and Kleinschmidt, E. J., 1998, «Best Practices for Managing R&D Portfolios», *Research-Technology Management*.

Cooper, R. G., Edgett, S. J. and al., 1997, « Portfolio management in new product development: lessons from the leaders», *Research Technology Management*.

Cooper, R.G., 1988, «Stage-Gate Commercialization Method, *The Journal of Marketing Management*».

Cooper, W.W., Li, S., Seiford, L.M., Tone, K., Thrall, R.M., Zhu, J., 2001, «Sensitivity and stability analysis in DEA: Some recent developments», *Journal of Productivity Analysis* 15, p. 217–246.

Costello, D.A., 1983, «Practical approach to R&D project selection», *Technological Forecasting and Social Change* 23, p. 353-368.

Cueillar, G., 1992, « Le management de R&D : Une approche méthodologique par la gestion de projet », Thèse de 3^{ème} Cycle Faculté des Sciences et Technique de Saint Jerome, Faculté de Droit, d'Économie et des Sciences, Université d'Aix Marseille III, France.

Czajkowski, A. F. and Jones, S., 1986, «Selecting Interrelated R&D Projects in Space Technology Planning», IEEE Transactions on Engineering Management.

Danila, N., 1989, «Strategic evaluation and selection of R&D projects», R&D Management.

D'Avignon, G.R. and Mareschal, B., 1989, «Specialisation of hospital services in Québec: An application of the PROMOTHEE and GAIA methods», Mathematical and Computer Modelling.

De Maio, A., Verganti, R., Corso, M., 1994, «A multi-project management framework for the new product development», European Journal of Operational Research, vol. 78, n° 1, p. 178-191.

Dean, B.V. and Schniederjans, M.J., 1991, «A Multiple Objective Selection Methodology for Strategic Industry Selection Analysis», IEEE transaction on Engineering Management, Vol.38, N°1, p.53-62.

Dean, B.V., 1968, «Evaluating, Selecting and Controlling R&D Projects, New York : American Management Association.

Doerner, K., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Strauss, C. and Stummer, C., 2004, «Pareto Ant Colony Optimization: A Metaheuristic Approach to Multiobjective Portfolio Selection».

Eilat, H., Golany, B., Shtub, A., 2005, «Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology», European Journal of Operational.

Fahrni, P. et Spätig, M., 1990, «An Application-Oriented Guide to R&D Project Selection and Evaluation Methods», R&D Management, n° 20, vol. 2, p. 155-170.

Farrukh, C., Phaal, R., Probert, D., Gregory, M., Wright, J., 2000, «Developing a process for relative valuation of R&D programmes», R&D Management 30 (1), p.43-53.

Fernandez-Castro, A.S., Jimenez, M., 2005, «PROMETHEE: An extension through fuzzy mathematical programming», Journal of the Operational Research Society 56, p. 119-122.

- Fernez, W.S., 2000, «Management de nouveaux projets», Panorama des outils et pratiques, éditions AFNOR, p.239
- Focke, A., Stummer, C., 2003, «Strategic Technology Planning in Hospital Management, OR Spectrum», Vol. 25, p. 161 – 182.
- Forman, E.H. and Peniwati, K., 1998, «Theory and Methodology : Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process», European Journal of Operational Research 108, p. 165–169.
- Gear, T. et Cowie, G.A., 1980, «Note on Modeling Project Interdependence in Research and Deve-lopment», Decision Science, vol. 11, p. 738-748.
- Geldermann, J., Spengler, T., Rentz, O., 2000, «Fuzzy outranking for environmental assessment, case study: Iron and steel making industry», Fuzzy Sets and Systems 115, p.45–65.
- Goicoecha, A., Hansen, D.R., Duckstein, L., and al., 1982, «Multi-objective Decision Analysis with Engineering and Business Applications», Wiley, New York.
- Goumas, M., Lygerou, V., 2000, «An extension of PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of action energy exploitation projects», European Journal of Operational Research 123, p.347–357.
- Glover, F., 1986, «Future paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence», Computers and Operations Research, 5, p. 533-549.
- Grabisch, M., and Labreuche, C., 2004, «Fuzzy measures and integrals. In MCDA. Multiple Criteria Decision Analysis», Figueira J., Greco S. Ehrgott M. (eds), Kluwer Academic Publishers, p.563-608.
- Haimes, Y.Y., Chankong, V., 1985, «Decision making with multiple objectives Springer».
- Hall, D.L, Nauda, A., 1990, «An interactive approach for selecting R&D projects», IEEE Transactions on Engineering Management.
- Hallerbach, W., Spronk, J., 2002, « The Relevance of MCDM for Financial Decisions», Journal of MultiCriteria Decision Analysis, Vol. 11, p. 187 - 195.
- Henriksen, A.D., Traynor, A.J., 1999, « A practical R&D project-selection scoring tool». IEEE Transactions on Engineering Management 46, p. 158–170.
- Hsu, Y.G., Tzeng, G.H, Shyu, J.Z., 2003, «Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects», R&D Management 2003, 33(5), p.539–50.

Huang, H.H., Chu, P.C., Chiang, Y.H., 2006, « A fuzzy AHP application in government», sponsored R&D project selection.

Hwang, C. L. and Yoon, K., 1981, «Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications», Berlin.

Hwang, C.L., Masud, 1979, «Multiple objective decision making : Methods and Applications», Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, No.164, Springer Verlag, Berlin.

Jiang, J.J., Klein, G., 1999, «Project selection criteria by strategic orientation, Information & Management», 36, p. 63-75.

Joerin, F., Rey, M.C., Desthieux, G., Nembrini, A., 2002, « Participation et information en aménagement du territoire urbain, Potentiels des instruments d'aide à la négociation et à la décision », Revue Internationale de Géomatique.

Juuso, L., Mild, P. and Salo, A., 2007, «Preference programming for robust portfolio modeling and project selection», European Journal of Operational Research.

Kacprzyk and Fedrizzi, 1988, «A soft measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences», European Journal of Operational Research, v34, p. 315-325.

Kampan, M. and Bera, A., 1995, «Application of goal programming in project selection decision — A case study from the Indian coal mining industry», European Journal of Operational Research, vol. 82, issue 1, p. 18-25

Keeney, R.L. and Raiffa, H., 1976, «Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs», Wiley and Sons, New York.

Keown, B.W., Taylor, I. and Duncan, C.D, 1979, « Allocation of research and development funds: a zero-one goal programming approach», Management Science 7.

Kranz, D.H. *et al.*, 1971, «Foundations of measurement», Vol. 1: Additive and Polynomial Representations, Academic Press.

Lahaye, D., 2009, « Sélection dynamique de portefeuille de projets», Thèse de mémoire en Science de Gestion, Université du Québec à Rimouski.

Lee, W.L., Kim, S.H., 2001, «An integrated approach for interdependent information system project selection», International Journal of Project Management, Vol. 19 No.2, pp.111-8.

Leberling, H., 1981, «On finding compromise solutions in multicriteria problems using the fuzzy min-operator», Fuzzy Sets and Systems6, p. 105-118.

Le Teno, J.F., Mareschal, B., 1998, «An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products», design with ill-defined data on environment quality, *European Journal of Operational Research* 109, p. 522–529.

Liberatore, M.J., Titus, G.J., 1983, «The practice management science in R&D project management», *Management Science*.

J. Liesiö, P. Mild and A. Salo, 2007, «Preference Programming for Robust Portfolio Modeling and Project Selection», *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, Issue 3, pp. 1488-1505.

Linton, J.D., Walsh, S.T., Morabito, J., 2002, « Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio», *R&D Management* 32, p. 139–148.

Loch, C.H., Pich, M.T., Terwiesch, C., Urbschat, M., 2001, «Selecting R&D projects at BMW: A case study of adopting mathematical programming models». *IEEE Transactions On Engineering Management* 48 (1), p. 70–80.

Marinoni, O., 2005, «A stochastic spatial decision support system based on PROMETHEE», 19:1, p. 51-68.

Martell, D.L., Gunn, E.A., Weintraub, A., 1998, « Forest Management Challenges for Operational Researchers», *European Journal of Operational Research*, Vol. 104, p.1 – 17.

Martel, J.M. and D'Avignon, G.R., 1982, «Projects ordering with multicriteria analysis». *European Journal of Operational Research* 10, p.56-69.

Maystre, L.Y., Pictet, J.J, Simos, J., 1994, « Méthodes multicritères Electre - Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale», p. 83-106, p.145-154, *Collection Gérer l'environnement*, Presses Polytechniques et universitaires romandes, Première Edition, Lausanne.

Mavrotas,G., Diakoulaki, D., Capros, P., 2003, «Combined MCDA-IP approach for project selection in the electricity market», *Annals of Operations Research* 120, p. 159-170.

Meade, L.M., Presley, A., 2002, «R&D project selection using theanalytic network process ». *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49(1), p. 59–66.

Mehrez, A., Mossery, S. and Sinuany-Stern, Z., 1982, « Project selection in a small university R & D laboratory», *R & D Management* 12, p. 169-174.

Mladineo, N. J., Margeta, J.P, Brans and Mareschal, B., 1987, «Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants», *European Journal of Operational Research* 31, p. 215–222.

- Oral, M., Kettani, O., Lang, P., 1991, « A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects», *Management Science* 37(7), p. 871–885.
- Orlovsky, S.A, 1978, «Decision-making with a fuzzy preference relation», *Fuzzy Sets and Systems* 1, p.155–167.
- O'Shaughnessy, W., 1992, «La faisabilité de projet», Les Editions SMG, Trois-Rivières, Québec.
- Ouellet, F. et Martel, J.M., 1995, «Méthode multicritère d'évaluation et de sélection de projets de R&D interdépendants », *Canadian Journal of Administrative Sciences*, vol. 12, 3.
- Ouellet, F., 1989, «Thèse : Méthode multicritère d'évaluation et de sélection de projets de R & D».
- Perrone, G., 1994, «Fuzzy multiple criteria decision model for the evaluation of AMS», *Computer Integrated Manufacturing Systems* 7(4), p. 228–239.
- Pomerol, J.C. et Barba-Romero, S., 1993, «Choix multicritère dans l'entreprise», Hermès, Paris.
- Radojevic, D., Petrovic, S., 1997, «A fuzzy approach to preference structure in multicriteria ranking», *International Transactions in Operational Research* 4, p. 419–430.
- Ringuest, J.L, Graves, S.B., Case, R.H., 2004, «Mean-Gini analysis in R&D portfolio selection», *European Journal of Operational Research* 154(1), p. 157–169.
- Ringuest, J.L, Graves, S.B, Case, R.H., 2000, «Conditional stochastic dominance in R&D portfolio selection». *IEEE Transactions on Engineering Management* 47(4), p. 478–484.
- Roubens, M. and Vincke, P., 1985, «Fuzzy Preferences in an Optimization Perspective».
- Roubens, M. and Vincke, P., 1983, «Linear fuzzy graphs, *Fuzzy Sets and Systems*».
- Roy, B., 1985, «Méthodologie multicritère d'aide à la décision», *Economica*.
- Roy, B. and Bouyssou, D., 1993, «Aide Multicritère à la décision».
- Roy, B., 1975, «Vers une méthodologie générale d'aide à la décision », *Revue METRA*, Vol. XIV, n° 3,

Saaty, T.L., 1994, «Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process », RWS Publications, Pittsburgh, PA.

Saaty, T.L., 1980, «The Analytic Hierarchy Process», McGraw-Hill, New York.

Santhanam, R., Muralidhar, K., and Schniederjans, M., 1989, «A Zero-One Goal Programming Approach for Information System Project Selection», OMEGA International Journal of Management Science ,Vol.17. No.6, p. 583-593.

Scharlig, A., 1985, «Décider sur plusieurs critères», Panorama de l'aide à la décision multicritère, Coll. «Diriger l'entreprise» no1, Lausanne: Presses polytechniques romandes, p. 304.

Schniederjans, M. and Santhanam, R., 1993, «A multi-objective constrained resource information system project selection method », Eur J Opl Res 70, p. 244-253.

Schmidt, R.L., Freeland, J.R., 1992, «Recent progress in modeling R&D project-selection processes, IEEE Transactions on Engineering Management 39, p. 189–201.

Schmidt, R.L., 1993, «A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions», IEEE Transactions on Engineering Management 40, p. 403–410.

Slowinski, R., 1986, « A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning», Fuzzy Sets and Systems.

Spronk, J., Hallerbach, W., 1997, « Financial Modelling: Where to Go? With an Illustration for Portfolio Management», European Journal of Operational Research, Vol. 99, p. 113 – 125.

Srinivasa, R. K., 1995, «Fuzzy multicriterion decision making irrigation planning », Irrigation and Draining 54/4, p. 455–465.

Steuer, R.E., Na, P., 2003,« Multiple Criteria Decision Making Combined with Finance: A Categorized Bibliographic Study», European Journal of Operational Research, Vol. 150, p. 496 - 515.

Stewart, T.J., 1991, «A multi-criteria decision support system for R&D project selection», Journal of Operational Research Society 42.1, p. 17-26.

Struys, W. and Pastijn, H., 1988, « The recourse to several criteria in determining a fair burden sharing within an alliance: The case of NATO», In: Rand, G.K., Editor, Operational Research '87, North-Holland, Amsterdam, p. 566–581.

Stummer, C., Heidenberger, K., 2003, «Interactive RD Portfolio Analysis with Project Interdependencies and Time Profiles of Multiple Objectives», IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 50, p. 175 -183.

- Tabucanon, M.T., 1988, «Multiple criteria decision making in industry», Elsevier.
- Talbi, E.G., 2002, « A Taxonomy of Hybrid Metaheuristics», *Journal of Heuristics* 8(5), p. 541–564.
- Thizy, J.M., Lane, D.E., Pissarides, S., Rawat, S., 1996, « Interactive Multiple Criteria Optimization for Capital Budgeting in a Canadian Telecommunications Company, Multi-objective programming and Goal programming theories and applications, Springer-Verlag lecture notes », *Economics and Mathematical Systems*, p. 128 - 147.
- Urli, B., Beaudry, D., 1995, Une approche multicritère d'allocation des ressources financières dans le domaine de la santé, *RAIRO-Operations research*, vol. 29, n.4.
- Vaidya, O.S., Kumar, S., 2004, «Analytic Hierarchy Process: An overview of applications », *European Journal of Operational Research*, forthcoming.
- Verma, D., Sinha, K.K., 2000, «Toward a theory of project interdependencies in high tech R&D environments», *Journal of Operations Management* 20, p. 451–468.
- Vincke, P., 1989, «L'aide multicritère à la décision».
- Wang, J., Lin, Y.L., 2003, « A fuzzy multicriteria group decision making approach to select configuration items for software development », *Fuzzy Sets and Systems* 134, p. 343–363.
- Webster, F.M., 1978, «The Management of Projects: An examination of the State of the Art as Represented by Current Literature», Thèse de doctorat (inédit), Michigan State University.
- Wedley, W.C., 1990, «Combining qualitative and quantitative factors : an analytic hierarchy approach», *Socio.-Econ.plann.*, Vol.24, p.57-64.
- Weingartner, H. M., 1966, «Capital Budgeting of Interrelated Projects: Survey and Synthesis», *Management Science*, 12, no. 7.
- Winkofsky, E.P., Mason, R.M. and Souder, W.E., 1980, «R & D budgeting and project selection: A review of practices and models», In B.V Dean & J.L. Goldhar (Eds.), *Ems Studies in the Management Sciences*, Vol. IS, *Management of research and innovation*, New York North Holland Publishing Co, p.183-197.
- Zadeh, L.A., 1965, «Fuzzy set Information and Control», 8(3), p.338–353.
- Zeleny M., 1985, «Multiple criteria decision making», New York, Mc Graw-Hill.
- Zeleny, M., 1982, «Multiple Criteria Decision Making», McGraw-Hill.

Zimmermann, H.-J., 1986, «Fuzzy set theory and mathematical programming», in Jones, Kaufmann, A., Zimmermann, A.H.-J., Reidel, D., Fuzzy Sets Theory and Applications, Boston, MA.

Zimmermann, H.-J., 1983, «Fuzzy mathematical programming», Computers and Operations Research.

Zimmermann, H.J., 1978, «Fuzzy programming and linear programming with several objective functions», Fuzzy Sets and Systems.

Zopounidis, C., 1999, «Multicriteria Decision Aid in Financial Management», European Journal of Operational Research, Vol. 119, p. 404 - 415.

ANNEXE – I : La modélisation multicritère

La littérature foisonne d'ouvrages consacrés à la modélisation multicritère. Les auteurs Zeleny (1982) et Shärlig (1985) ont expliqué l'engouement pour cette science en faisant remarquer que la réalité elle-même était multicritère et que toute décision impliquait « de peser le pour et le contre ». Dans un contexte de gestion d'une organisation ou d'une entreprise, la prise de décision revêt une importance capitale. Une mauvaise décision au niveau de la gestion peut avoir une incidence fatale sur la viabilité économique de l'organisation. Qu'elle soit stratégique, opérationnelle ou dans un cas particulier de sélection de projets, une décision peut toujours être motivée par des forces non rationnelles (émotion, intuition, instinct). Bien que les critères d'évaluation soient objectifs, il est fort possible que les chances de sélection des projets soient affectées par la subjectivité. Dans la plupart des cas, la formulation classique d'un problème de décision intervient lorsqu'on désire trouver des solutions optimales pour l'ensemble des solutions possibles afin de mettre en place ses actions. Les décideurs ont alors besoin d'outils et de méthodes d'aide à décision qui vont leur permettre d'extraire, d'analyser et de tester des scénarios pour enfin choisir la meilleure option.

Les méthodes de prise de décisions multicritères MCDM (Multi Criteria Decision Making) organisent et synthétisent l'information détenues par les décideurs (Joerin, 2002). Elles permettent aussi de structurer le processus de décision et de modéliser les préférences des décideurs. Les méthodes multicritères appelées généralement MCDM se divisent en deux grandes catégories Hwang et Masud (1979) :

- Les méthodes d'aide à la décision multi-attribut (MADM).
- Les méthodes de décision à objectifs multiples (MODM).

Ces méthodes d'analyse multicritères ont été développées pour apporter une aide à la décision lors de problème faisant intervenir :

- De multiples critères.
- Critères conflictuels.
- Unités incommensurables (Ciptomulyono, 2000).

Lorsque la problématique est définie et le problème formulé en termes d'alternatives et de critères, la question est de savoir quelle méthode pour utiliser pour répondre à l'objectif. Les auteurs Vincke (1989) et Shärlig (1985) ont divisé les méthodes en 3 grandes familles :

- ❖ La théorie du multiattribut ou approche du critère unique : l'école nord américaine.
- ❖ Les méthodes de surclassement : l'école française.
- ❖ Les méthodes itératives ou locales.

La théorie multiattribut (MAUT)

La théorie de l'utilité multiattribut est essentiellement d'inspiration anglo-saxonne et est largement utilisée aux États-Unis dans les problèmes d'aide à la décision que dans les problèmes d'économie de finances ou d'actuariat. Cette théorie repose sur l'axiome fondamental suivant : les préférences du décideur peuvent être modélisées par une fonction unique qui agrège tous les points de vue à prendre en compte Vincke (1989).

$$U=U (g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_n)$$

g_j : un critère appartenant à la famille des critères F

Par cette approche, on cherche donc une agrégation complète des critères pour les réduire à un critère unique représenté par une fonction d'utilité multiattribut. Les méthodes basées sur la théorie multiattribut conduisent à une fonction qui permet de ranger toutes les actions de la meilleure à la moins bonne.

Deux problèmes, essentiellement, sont étudiés dans le cadre de la théorie multiattribut :

1. Quelles propriétés doivent posséder les préférences du décideur pour être représentables par une fonction U ayant une forme analytique donnée (additive, multiplicative, mixte,.....) ?
2. Comment construire les fonctions et estimer les paramètres intervenant dans la forme analytique choisie ?

Il est aussi pertinent d'insister sur les deux aspects suivants :

- La théorie de l'utilité multiattribut a surtout été développée dans le cas incertain et fait largement usage des probabilités pour représenter les phénomènes d'imprécision et d'incertitude qui peuvent apparaître dans un problème de décision.
- La théorie de l'utilité concerne des fonctions g_j qui sont des vrais-critères. Par conséquent toute situation éventuelle d'incomparabilité est évacuée et exige que les jugements ou les relations de préférences soient transitifs.

Les méthodes de surclassement

La notion de surclassement a été introduite par Roy (1985) pour modéliser les préférences des décideurs. Cette approche respecte à la fois l'intransitivité et l'incomparabilité. Elle ne permet pas en général, d'obtenir immédiatement un meilleur

compromis ou un rangement des actions Vincke (1989). Comme on se contente dans ce cas d'appréhender partiellement les conséquences des divers jugements, cette attitude est dite d'agrégation partielle. Autrement dit, les jugements sont agrégés partiellement c'est-à-dire que le résultat n'est pas complètement représentatif des jugements de départ. Le plus souvent, on procède en deux temps. On effectue d'abord des comparaisons, en général deux à deux : comparaison d'actions potentielles, par exemple pour voir si l'une surclasse l'autre ; ou encore comparaison de classements d'actions, pour voir lequel est le plus en accord avec la donnée. Ensuite, on essaye dans une deuxième, d'opérer une synthèse de toutes ces comparaisons. Selon Roy (1985), la prise de décision multicritère s'articule nécessairement autour de l'une des quatre problématiques suivantes (voir Tableau I) :

Tableau I: Les quatre problématiques de référence dans la prise de décision multicritère

Problématique	Objectif	Résultat
P.α	Éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action, ce sous-ensemble contenant des « meilleures » actions ou, à défaut des actions « satisfaisantes »	Un choix ou une procédure de sélection
P.β	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies a priori en fonction de normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un tri ou une procédure d'affectation
P.γ	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou (les « plus satisfaisantes » des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences	Un rangement ou une procédure de classement

P.8	Éclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences.	Une description ou une procédure cognitive
------------	--	--

L'agrégation locale ou itérative

Lorsque l'ensemble A des actions potentielles devient trop grand et surtout s'il est continu, c'est une troisième approche qui s'impose, pour sortir de l'imbroglio multicritère : celle de d'agrégation locale ou itérative Shärlig (1990). Cette approche consiste dans un premier temps de chercher une solution de départ aussi bonne que possible et de voir "autour" de cette solution s'il n'y en a pas de meilleure. C'est à cause de cette exploration autour d'une action potentielle qu'on parle d'agrégation locale. Cette approche contient un ensemble de méthodes souvent interactives entre l'homme d'étude et les décideurs. C'est pourquoi on nomme ces méthodes aussi « approche du jugement local interactif avec itérations essais-erreur » Roy (1985); Maystre *et al.* (1994) ou encore "méthodes interactives" Vincke (1989).

Bernard Roy (1975) distingue trois phases dans le déroulement d'une itération :

- une phase de recherche : l'homme d'étude exploite les informations recueillies au cours de l'itération précédente, pour se faire une meilleure idée des préférences implicites du décideur;
- une phase de réinitialisation : l'homme d'étude "repart à zéro" sur base de toutes les informations acquises lors des itérations précédentes et élabore une nouvelle proposition pour la soumettre au décideur ;

– une phase de réaction : le décideur donne un avis sur la dernière proposition et l'homme d'étude incorpore cette nouvelle information dans une nouvelle itération. Le processus ne prend fin que lorsque le décideur se montre satisfait de la solution offerte par l'homme d'étude.

Tableau 2: Exemples de méthodes multicritères d'aide à la décision

Approches	Exemples
Agrégation complète La théorie multiattribut	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP), MULTI ATTRIBUT UTILITY THEORY (MAUT), ZIONS-WALLENIOUS,
Agrégation partielle Méthode de surclassement	ELECTRE, QUALIFEX, ORESTE, PROMETHEE, REGIME, PRAGMA/MACCAP, Macbeth
Agrégation locale ou itérative	STEM (POP), Geoffrien, Dyer, Feinberg, Goal Programming, Vanderpooten, PREFCALC

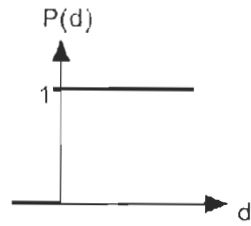
Dans le sujet qui nous intéresse, à savoir la sélection de projets, Baker (1974), parle d'un problème de décision multicritère. Avant l'apparition de l'analyse multicritère, les problèmes de décision se ramenaient le plus souvent à l'optimisation d'un seul critère. Dans ce cadre, l'approche « monocritère » devient incompatible avec la réalité de la sélection de projets car :

1. La comparaison de plusieurs actions possibles se fait rarement suivant un seul critère ;
2. Les préférences sur un critère sont, dans bien des cas, difficilement modélisables par une fonction.

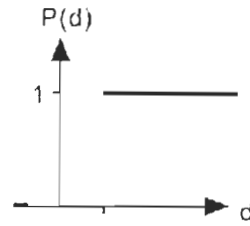
3. Lorsqu'il y a plusieurs objectifs, il est impossible de les atteindre tous à la fois (Maystre *et al.*, 1994).

En sélection de projets, les décideurs doivent faire face au problème de l'incertitude des résultats lié avec ceux de l'indivisibilité des projets, de la multitude des objectifs, généralement conflictuels, et des contraintes de niveau des fonds disponibles, des facilités et des chercheurs qualifiés (Ouellet, 1989). Les propositions de projets sont donc évaluées en regard de critères multiples (souvent conflictuels) et dans la majorité des cas, seul un sous-ensemble des projets proposés peut être financé avec les ressources disponibles. Ce cadre décisionnel est connu sous l'appellation MCCB ou Multiple Criteria Capital Budgeting.

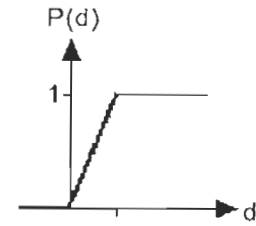
ANNEXE II : Différents types de critères



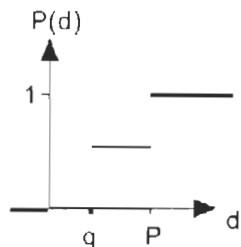
Type 1
Usual criterion



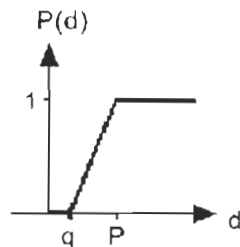
Type 2 q
Quasi-criterion



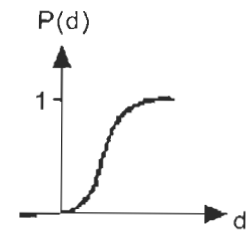
Type 3 P
Criterion with
linear preference



Type 4
Level criterion



Type 5
Criterion with linear
preference and indifference
area



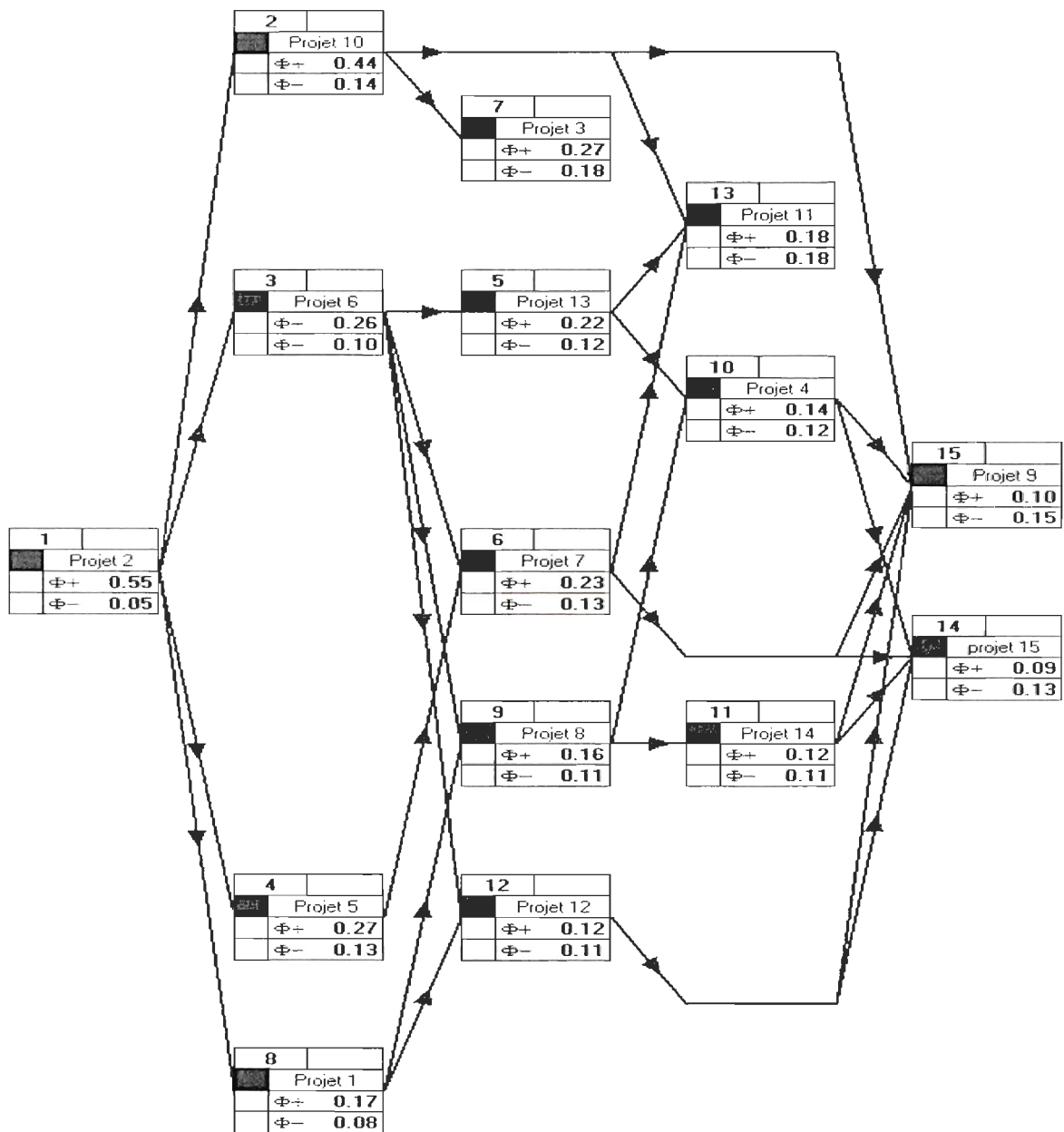
Type 6
Gaussian criterion

ANNEXE III : L'exemple didactique

	Contenu du travail (ETC)	Coûts en matières (1000 \$)	Contribution économique	Contribution scientifique	Contribution sociale
Fonction	V-Shape	V-Shape	V-Shape	V-Shape	V-Shape
	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize
Seuil de préférence	104	22	3076	85	85
Weight	3	2	3	2	1
Projet 1	10	8	158	30	40
Projet 2	11	18	3101	90	95
Projet 3	114	5	1240	70	20
Projet 4	13	7	137	10	20
Projet 5	54	21	1312	90	40
Projet 6	63	7	429	95	25
Projet 7	49	20	785	95	20
Projet 8	19	4	276	15	10
Projet 9	11	13	85	10	10
Projet 10	111	3	1700	90	95
Projet 11	99	15	985	35	90
Projet 12	35	9	382	25	15
Projet 13	74	14	516	70	95
Projet 14	22	8	218	20	10
projet 15	36	9	25	20	15
Projet 16	42	14	111	24	22
Projet 17	35	20	24	21	16
projet 18	88	12	200	37	54
Projet 19	38	23	117	11	45
Projet 20	15	21	20	25	16
Projet 21	40	14	115	12	43
Projet 22	50	15	250	19	56
Projet 23	55	9	99	20	25
Projet 24	32	15	75	13	10
Projet 25	67	19	111	13	64
Projet 26	98	13	220	18	85
Projet 27	20	20	80	9	45
projet 28	20	25	60	12	13

Projet 29	25	15	70	13	34
Projet 30	15	20	22	18	46

ANNEXE-IV : Graphe de domination des 15 «meilleurs» projets



ANNEXE-V : les matrices d'interactions de l'exemple didactique

U^1 , matrice d'interactions des ressources humaines (ETC)

$$\begin{pmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 114 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & 0 & 13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 54 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 63 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 49 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 111 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -15 & 0 & 0 & 0 & 99 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 74 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 22 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 36 \end{pmatrix}$$

U^2 , matrice d'interactions des ressources matérielles (milliers de \$)

$$\begin{pmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 & 21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \end{pmatrix}$$

V^1 , matrice d'interactions de l'extrant Contribution économique (milliers de \$)

ANNEXE – VI : Le programme multiobjectif non linéaire en nombres entiers

Problem_Name: Sample

Number_of_variables (15 variables and 22 combinations of variables) : 15 variables 0-1

Number_of_Objectives : 3

Number_of_Constrains : 2

Constrain_Matrix

10	11	114	13	54	63	49	19	11	111	99	35	74	22	36	-1
	-2	0	0	-4	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	<=	300							
8	18	5	7	21	7	20	4	13	3	15	9	14	8	9	0
	0	0	0	0	0	-4	0	-1	0	0	0	0	-1	0	-1
	0	0	0	0	0	0	<=	60							

Variable_Bounds

0 1e+10

0 1e+10

Objective_Functions

Max 94,8	930,3	744	95,9	918,4	343,2	706,5	138	68	680	886,5	191	258	174,4		
	17,5	0	155,4	31,6	0	1550,5	0	0	225,6	0	108	27,6	0	0	0
	0	0	103,2	51,8	0	0	0	376							
Max 1827	42	7	56	76	85,5	7,5	8	36	31,5	12,5	35	16	14	0	
	0	10,2	0	45	1,05	0	0	0	0	1,5	28	0	0	0	0
	14	0	1,4	0	1,75	0									
Max 2428,5	12	14	28	20	18	5	8	38	81	7,5	47,5	8	10,5	0	
	0	8	14,4	47,5	3,15	0	0	0	0	1	0	22,4	0	19,2	0
	19	0	0	4,8	5,25	0									

Variable_Names

z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z10	z11	z12	z13	z14	z15	
	z1z2	z1z4	z1z5	z1z9	z2z3	z2z4	z2z5	z2z6	z3z4	z3z7	z3z8	z4z9	z5z6	z5z7	
		z6z14	z8z12	z11z13	z1z4z5	z1z5z5	z1z5z9	z2z3z4	z2z3z6						

ANNEXE – VII : les Outputs DEA

Résultats des calculs effectués par le logiciel Win4Deap pour la mesure de l'efficacité technique des portefeuilles.

Results from DEAP Version 2.1

Instruction file = \$\$TEMP\$\$\INS

Data file = \$\$TEMP\$\$\DTA

Input orientated DEA

Scale assumption: CRS

Single-stage DEA - residual slacks presented

EFFICIENCY SUMMARY	
FIRM	TE
Portefeuille 1	0.939
Portefeuille 2	1.000
Portefeuille 3	0.989
Portefeuille 4	0.941
Portefeuille 5	0.907
Portefeuille 6	1.000
Portefeuille 7	0.983
Portefeuille 8	0.997
Portefeuille 9	1.000
Portefeuille 10	0.910
Portefeuille 11	0.999
Portefeuille 12	0.988
Portefeuille 13	1.000
Portefeuille 14	0.922
Portefeuille 15	1.000
MEAN	0.972

SUMMARY OF OUTPUT SLACKS:

FIRM OUTPUT	1	2	3
Portefeuille 1	0.000	40.234	0.000
Portefeuille 2	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 3	0.000	0.000	36.881
Portefeuille 4	135.275	0.000	0.000
Portefeuille 5	287.029	0.000	0.000

Portefeuille 6	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 7	0.000	8.685	16.214
Portefeuille 8	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 9	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 10	2481.579	0.000	0.000
Portefeuille 11	2516.525	0.000	67.031
Portefeuille 12	64.342	0.000	0.000
Portefeuille 13	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 14	2693.212	0.000	0.000
Portefeuille 15	0.000	0.000	0.000
MEAN	545.197	3.261	8.008

SUMMARY OF INPUT SLACKS:

FIRM INPUT	1	2
Portefeuille 1	0.000	0.000
Portefeuille 2	0.000	0.000
Portefeuille 3	1.386	0.000
Portefeuille 4	0.000	0.000
Portefeuille 5	0.000	0.000
Portefeuille 6	0.000	0.000
Portefeuille 7	0.000	0.000
Portefeuille 8	0.000	0.000
Portefeuille 9	0.000	0.000
Portefeuille 10	0.000	0.000
Portefeuille 11	20.478	0.000
Portefeuille 12	0.000	3.060
Portefeuille 13	0.000	0.000
Portefeuille 14	0.000	0.000
Portefeuille 15	0.000	0.000
MEAN	1.458	0.204

SUMMARY OF PEERS:

FIRM	PEERS				
Portefeuille 1	1	9	13	2	
Portefeuille 2	2	2			
Portefeuille 3	3	9	2		
Portefeuille 4	4	13	15	2	
Portefeuille 5	5	9	15	2	
Portefeuille 6	6	6			
Portefeuille 7	7	9	2		

Portefeuille 8	8	13	9	15	2
Portefeuille 9	9	9			
Portefeuille 10	10	9	15	2	
Portefeuille 11	11	2			
Portefeuille 12	12	13	2		
Portefeuille 13	13	13			
Portefeuille 14	14	15	13	2	
Portefeuille 15	15	15			

SUMMARY OF PEER WEIGHTS:
(In same order as above)

FIRM	PEER WEIGHTS			
Portefeuille 1	0.370	0.089	0.534	
Portefeuille 2	1.000			
Portefeuille 3	0.430	0.601		
Portefeuille 4	0.021	0.270	0.667	
Portefeuille 5	0.059	0.228	0.671	
Portefeuille 6	1.000			
Portefeuille 7	0.191	0.818		
Portefeuille 8	0.018	0.720	0.091	0.177
Portefeuille 9	1.000			
Portefeuille 10	0.074	0.212	0.675	
Portefeuille 11	1.015			
Portefeuille 12	0.980	0.023		
Portefeuille 13	1.000			
Portefeuille 14	0.297	0.575	0.130	
Portefeuille 15	1.000			

PEER COUNT SUMMARY:
(i.e., no. times each firm is a peer for another)

FIRM	PEER COUNT
Portefeuille 1	0
Portefeuille 2	10
Portefeuille 3	0
Portefeuille 4	0
Portefeuille 5	0
Portefeuille 6	0
Portefeuille 7	0
Portefeuille 8	0
Portefeuille 9	6

Portefeuille 10	0
Portefeuille 11	0
Portefeuille 12	0
Portefeuille 13	5
Portefeuille 14	0
Portefeuille 15	5

SUMMARY OF OUTPUT TARGETS:

FIRM OUTPUT	1	2	3
Portefeuille 1	5195.300	257.734	203.000
Portefeuille 2	5380.000	291.600	196.400
Portefeuille 3	5444.600	274.500	208.781
Portefeuille 4	4908.975	252.800	201.900
Portefeuille 5	4940.229	255.000	199.900
Portefeuille 6	5245.600	294.300	154.400
Portefeuille 7	5384.400	282.685	201.014
Portefeuille 8	5150.900	239.500	213.000
Portefeuille 9	5152.000	231.300	211.400
Portefeuille 10	4968.579	256.500	200.000
Portefeuille 11	5463.025	296.100	199.431
Portefeuille 12	4652.542	185.300	221.400
Portefeuille 13	4623.000	182.300	221.400
Portefeuille 14	4699.312	202.500	225.500
Portefeuille 15	4524.100	201.500	245.000

SUMMARY OF INPUT TARGETS:

FIRM INPUT	1	2
Portefeuille 1	274.246	55.413
Portefeuille 2	265.000	59.000
Portefeuille 3	286.329	57.345
Portefeuille 4	261.669	54.593
Portefeuille 5	262.021	54.399
Portefeuille 6	264.000	60.000
Portefeuille 7	273.280	57.998
Portefeuille 8	291.109	52.838
Portefeuille 9	296.000	51.000
Portefeuille 10	262.918	54.585
Portefeuille 11	269.090	59.910
Portefeuille 12	258.835	56.215
Portefeuille 13	258.000	56.000

Portfeuille 14	270.000	55.290
Portfeuille 15	294.000	52.000

Results from DEAP Version 2.1
Instruction file = \$\$TEMP\$\$INS
Data file = \$\$TEMP\$\$DTA
Output orientated DEA
Scale assumption: CRS
Single-stage DEA - residual slacks presented

EFFICIENCY SUMMARY	
FIRM	TE
Portfeuille 1	0.939
Portfeuille 2	1.000
Portfeuille 3	0.989
Portfeuille 4	0.941
Portfeuille 5	0.907
Portfeuille 6	1.000
Portfeuille 7	0.983
Portfeuille 8	0.997
Portfeuille 9	1.000
Portfeuille 10	0.910
Portfeuille 11	0.999
Portfeuille 12	0.988
Portfeuille 13	1.000
Portfeuille 14	0.922
Portfeuille 15	1.000
MEAN	0.972

SUMMARY OF OUTPUT SLACKS:

FIRM OUTPUT	1	2	3
Portfeuille 1	0.000	42.838	0.000
Portfeuille 2	0.000	0.000	0.000
Portfeuille 3	0.000	0.000	37.302
Portfeuille 4	143.718	0.000	0.000
Portfeuille 5	316.583	0.000	0.000
Portfeuille 6	0.000	0.000	0.000
Portfeuille 7	0.000	8.835	16.494
Portfeuille 8	0.000	0.000	0.000
Portfeuille 9	0.000	0.000	0.000
Portfeuille 10	2727.753	0.000	0.000

Portefeuille 11	2520.284	0.000	67.131
Portefeuille 12	65.129	0.000	0.000
Portefeuille 13	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 14	2922.632	0.000	0.000
Portefeuille 15	0.000	0.000	0.000
MEAN	579.740	3.445	8.062

SUMMARY OF INPUT SLACKS:

FIRM INPUT	1	2
Portefeuille 1	0.000	0.000
Portefeuille 2	0.000	0.000
Portefeuille 3	1.402	0.000
Portefeuille 4	0.000	0.000
Portefeuille 5	0.000	0.000
Portefeuille 6	0.000	0.000
Portefeuille 7	0.000	0.000
Portefeuille 8	0.000	0.000
Portefeuille 9	0.000	0.000
Portefeuille 10	0.000	0.000
Portefeuille 11	20.508	0.000
Portefeuille 12	0.000	3.097
Portefeuille 13	0.000	0.000
Portefeuille 14	0.000	0.000
Portefeuille 15	0.000	0.000
MEAN	1.461	0.206

SUMMARY OF PEERS:

FIRM	PEERS				
	1	13	2	9	
Portefeuille 1	1	13	2	9	
Portefeuille 2	2	2			
Portefeuille 3	3	2	9		
Portefeuille 4	4	2	15	13	
Portefeuille 5	5	2	9	15	
Portefeuille 6	6	6			
Portefeuille 7	7	2	9		
Portefeuille 8	8	15	2	9	13
Portefeuille 9	9	9			
Portefeuille 10	10	2	9	15	
Portefeuille 11	11	2			
Portefeuille 12	12	2	13		

Portefeuille 13	13	13			
Portefeuille 14	14	2	15	13	
Portefeuille 15	15	15			

SUMMARY OF PEER WEIGHTS:
(In same order as above)

FIRM	PEER WEIGHTS			
Portefeuille 1	0.095	0.569	0.394	
Portefeuille 2	1.000			
Portefeuille 3	0.607	0.435		
Portefeuille 4	0.709	0.287	0.023	
Portefeuille 5	0.740	0.065	0.251	
Portefeuille 6	1.000			
Portefeuille 7	0.832	0.194		
Portefeuille 8	0.091	0.177	0.722	0.018
Portefeuille 9	1.000			
Portefeuille 10	0.742	0.082	0.233	
Portefeuille 11	1.017			
Portefeuille 12	0.023	0.991		
Portefeuille 13	1.000			
Portefeuille 14	0.141	0.322	0.624	
Portefeuille 15	1.000			

PEER COUNT SUMMARY:
(i.e., no. times each firm is a peer for another)

FIRM	PEER COUNT
Portefeuille 1	0
Portefeuille 2	10
Portefeuille 3	0
Portefeuille 4	0
Portefeuille 5	0
Portefeuille 6	0
Portefeuille 7	0
Portefeuille 8	0
Portefeuille 9	6
Portefeuille 10	0
Portefeuille 11	0
Portefeuille 12	0
Portefeuille 13	5
Portefeuille 14	0

Portefeuille 15	5
-----------------	---

SUMMARY OF OUTPUT TARGETS:

FIRM OUTPUT	1	2	3
Portefeuille 1	5531.637	274.419	216.142
Portefeuille 2	5380.000	291.600	196.400
Portefeuille 3	5506.771	277.634	211.165
Portefeuille 4	5215.358	268.578	214.501
Portefeuille 5	5448.903	281.256	220.483
Portefeuille 6	5245.600	294.300	154.400
Portefeuille 7	5477.403	287.568	204.486
Portefeuille 8	5166.673	240.233	213.652
Portefeuille 9	5152.000	231.300	211.400
Portefeuille 10	5461.464	281.945	219.840
Portefeuille 11	5471.186	296.542	199.729
Portefeuille 12	4709.440	187.566	224.108
Portefeuille 13	4623.000	182.300	221.400
Portefeuille 14	5099.621	219.750	244.709
Portefeuille 15	4524.100	201.500	245.000

SUMMARY OF INPUT TARGETS:

FIRM INPUT	1	2
Portefeuille 1	292.000	59.000
Portefeuille 2	265.000	59.000
Portefeuille 3	289.598	58.000
Portefeuille 4	278.000	58.000
Portefeuille 5	289.000	60.000
Portefeuille 6	264.000	60.000
Portefeuille 7	278.000	59.000
Portefeuille 8	292.000	53.000
Portefeuille 9	296.000	51.000
Portefeuille 10	289.000	60.000
Portefeuille 11	269.492	60.000
Portefeuille 12	262.000	56.903
Portefeuille 13	258.000	56.000
Portefeuille 14	293.000	60.000
Portefeuille 15	294.000	52.000

Instruction file = \$\$TEMP\$\$INS

Data file = \$\$TEMP\$\$DTA

Input orientated DEA
Scale assumption: VRS
Single-stage DEA - residual slacks presented

EFFICIENCY SUMMARY				
Portefeuille	CREST	VREST	SCALE	
Portefeuille 1	0.939	0.943	0.996	IRS
Portefeuille 2	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 3	0.989	1.000	0.989	DRS
Portefeuille 4	0.941	0.973	0.967	IRS
Portefeuille 5	0.907	0.940	0.965	IRS
Portefeuille 6	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 7	0.983	0.987	0.996	DRS
Portefeuille 8	0.997	1.000	0.997	DRS
Portefeuille 9	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 10	0.910	0.940	0.968	IRS
Portefeuille 11	0.999	1.000	0.999	DRS
Portefeuille 12	0.988	0.989	0.999	DRS
Portefeuille 13	1.000	1.000	1.000	-
Portefeuille 14	0.922	0.922	1.000	-
Portefeuille 15	1.000	1.000	1.000	-
MEAN	0.972	0.980	0.992	

Note: crste = technical efficiency from CRS DEA

vrste = technical efficiency from VRS DEA

scale = scale efficiency = crste/vrste

Note also that all subsequent tables refer to VRS results

SUMMARY OF OUTPUT SLACKS:

FIRM OUTPUT	1	2	3
Portefeuille 1	0.000	37.365	2.246
Portefeuille 2	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 3	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 4	381.657	0.000	3.655
Portefeuille 5	521.685	0.000	5.180
Portefeuille 6	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 7	0.000	9.003	5.529
Portefeuille 8	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 9	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 10	2698.570	0.000	4.738
Portefeuille 11	0.000	0.000	0.000

Portefeuille 12	49.893	0.000	0.000
Portefeuille 13	0.000	0.000	0.000
Portefeuille 14	2684.566	0.000	0.000
Portefeuille 15	0.000	0.000	0.000
MEAN	422.425	3.091	1.423

SUMMARY OF INPUT SLACKS:

FIRM INPUT	1	2
Portefeuille 1	0.000	0.000
Portefeuille 2	0.000	0.000
Portefeuille 3	0.000	0.000
Portefeuille 4	0.000	0.000
Portefeuille 5	0.000	0.000
Portefeuille 6	0.000	0.000
Portefeuille 7	0.000	0.000
Portefeuille 8	0.000	0.000
Portefeuille 9	0.000	0.000
Portefeuille 10	0.000	0.000
Portefeuille 11	0.000	0.000
Portefeuille 12	0.000	3.352
Portefeuille 13	0.000	0.000
Portefeuille 14	0.000	0.172
Portefeuille 15	0.000	0.000
MEAN	0.000	0.235

SUMMARY OF PEERS:

FIRM	PEERS			
	1	9	13	2
Portefeuille 1	1	9	13	2
Portefeuille 2	2	2		
Portefeuille 3	3	3		
Portefeuille 4	4	13	9	2
Portefeuille 5	5	9	2	13
Portefeuille 6	6	6		
Portefeuille 7	7	3	9	2
Portefeuille 8	8	8		
Portefeuille 9	9	9		
Portefeuille 10	10	9	2	13
Portefeuille 11	11	11		
Portefeuille 12	12	13	15	2
Portefeuille 13	13	13		
Portefeuille 14	14	15	2	13

Portefeuille 15	15	15		
-----------------	----	----	--	--

SUMMARY OF PEER WEIGHTS:

(In same order as above)

FIRM	PEER WEIGHTS		
Portefeuille 1	0.368	0.133	0.499
Portefeuille 2	1.000		
Portefeuille 3	1.000		
Portefeuille 4	0.227	0.232	0.541
Portefeuille 5	0.255	0.551	0.194
Portefeuille 6	1.000		
Portefeuille 7	0.286	0.062	0.635
Portefeuille 8	1.000		
Portefeuille 9	1.000		
Portefeuille 10	0.257	0.564	0.180
Portefeuille 11	1.000		
Portefeuille 12	0.952	0.025	0.023
Portefeuille 13	1.000		
Portefeuille 14	0.312	0.130	0.558
Portefeuille 15	1.000		

PEER COUNT SUMMARY:

(i.e., no. times each firm is a peer for another)

FIRM	PEER COUNT
Portefeuille 1	0
Portefeuille 2	7
Portefeuille 3	1
Portefeuille 4	0
Portefeuille 5	0
Portefeuille 6	0
Portefeuille 7	0
Portefeuille 8	0
Portefeuille 9	5
Portefeuille 10	0
Portefeuille 11	0
Portefeuille 12	0
Portefeuille 13	6
Portefeuille 14	0
Portefeuille 15	2

SUMMARY OF OUTPUT TARGETS:

FIRM OUTPUT	1	2	3
Portefeuille 1	5195.300	254.865	205.246
Portefeuille 2	5380.000	291.600	196.400
Portefeuille 3	5444.600	274.500	171.900
Portefeuille 4	5155.357	252.800	205.555
Portefeuille 5	5174.885	255.000	205.080
Portefeuille 6	5245.600	294.300	154.400
Portefeuille 7	5384.400	283.003	190.329
Portefeuille 8	5150.900	239.500	213.000
Portefeuille 9	5152.000	231.300	211.400
Portefeuille 10	5185.570	256.500	204.738
Portefeuille 11	2946.500	296.100	132.400
Portefeuille 12	4638.093	185.300	221.400
Portefeuille 13	4623.000	182.300	221.400
Portefeuille 14	4690.666	202.500	225.500
Portefeuille 15	4524.100	201.500	245.000

SUMMARY OF INPUT TARGET

FIRM INPUT	1	2
Portefeuille 1	275.465	55.659
Portefeuille 2	265.000	59.000
Portefeuille 3	291.000	58.000
Portefeuille 4	270.619	56.460
Portefeuille 5	271.549	56.377
Portefeuille 6	264.000	60.000
Portefeuille 7	274.333	58.222
Portefeuille 8	292.000	53.000
Portefeuille 9	296.000	51.000
Portefeuille 10	271.699	56.408
Portefeuille 11	290.000	60.000
Portefeuille 12	259.044	55.971
Portefeuille 13	258.000	56.000
Portefeuille 14	270.126	55.144
Portefeuille 15	294.000	52.000

