

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

APPLICATION D'UN MODÈLE DE SIMULATION ET D'ANALYSE DE  
SENSIBILITÉ À L'ÉVALUATION D'UN PROJET DE NUMÉRISATION DES  
DOSSIERS PATIENTS

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN ADMINISTRATION DES AFFAIRES

RÉALISÉ PAR  
EL AYADI MOHAMMED ALAEDDINE

MARS 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal 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 Montréal 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.»

## TABLE DE MATIERE

LISTE DES ABRÉVIATION.....	iv
RÉSUMÉ.....	v
INTRODUCTION.....	1
DESCRIPTION DU PROJET.....	4
Partie I : Recension des écrits dans la littérature financière.....	8
1) Analyse Economique et Financière du Projet.....	8
1.1 Définition de l'analyse coûts-bénéfices.....	8
1.2 Le contexte historique de l'analyse coûts-bénéfices.....	9
1.3 Principe de base de l'analyse coûts-bénéfices.....	10
1.4 Identification des coûts et bénéfices dans l'analyse coûts-bénéfices.....	13
1.5 Analyse coûts-bénéfices économique versus analyse coûts-bénéfices financière.....	16
1.6 Comparaison des coûts et des bénéfices et choix des critères d'investissement.....	18
1.6.1 La valeur actuelle nette (VAN) .....	18
1.6.2 Le taux de rendement interne.....	20
2) Options réelles.....	22
2.1 Options d'abandon.....	31
2.2 Options de report.....	32
2.3 Options d'échange.....	33
2.4 Options de croissance.....	33
2.5 Options d'attente.....	35
2.6 Options interactives.....	35
3) La méthode de simulation historique.....	37
3.1 La simulation Monte Carlo.....	37
3.2 Modèle opérationnel pour la simulation de Monte Carlo.....	42

Chapitre II : La méthodologie.....	44
1) Estimation de la distribution de probabilité de la VAN.....	44
1.1 Principes et règles d'estimation.....	44
1.1.1 Les flux financiers sont indépendants.....	45
1.1.2 Les flux financiers sont parfaitement corrélés.....	46
1.1.3 Les flux financiers sont imparfaitement corrélés.....	46
2) Les options réelles.....	48
2.1 Le modèle de Black et Scholes.....	49
2.1.1 Les Hypothèses du modèle de Black et Scholes.....	49
2.2 La formule de Black et Scholes.....	50
2.3 Les types d'options réelles.....	52
2.3.1 Options de report ou de suivi.....	52
2.3.2 Options de croissance.....	53
2.3.3 Options d'abandon.....	55
3) Simulation de Monte Carlo.....	55
3.1 Étapes de la simulation Monte-Carlo.....	56
3.1.1 Développement du lemme d'Ito.....	58
Chapitre III : Analyse du projet.....	60
1) Analyse des Résultats.....	64
1.1 Projet de numérisation des dossiers patients (Analyse post-motem du Scénario 4).....	64
CONCLUSION.....	79
BIBLIOGRAPHIE.....	81

## **ABREVIATION**

**ACB : Analyse Coûts - Bénéfices**

**CHUS : Centre Hospitalier Universitaire de Sherbrooke**

**MC : Monte-Carlo**

**QMC : Quasi Monte-Carlo**

**TRI : Taux Rendement Interne**

**VAN : Valeur Actuelle Nette**

**VANA : Valeur Actuelle Nette Augmentée**

## REMERCIEMENTS

Je tiens avant tout à exprimer ma profonde gratitude envers mon directeur de mémoire, monsieur M. Michel Y Bergeron pour sa confiance, sa disponibilité et son appui tout au long de ce mémoire.

J'adresse également nos sincères remerciements à mon collègue Abdelkarim Bahadi, qui a mis à ma disposition les résultats de son étude ayant contribué en partie à la réalisation de mes recherches.

Je ne saurais terminer sans remercier messieurs Maher Kooli et Marko Savor, membres du jury, qui ont bien voulu évaluer ce travail.

Enfin, je remercie les membres de ma famille et mes collègues qui m'ont apportés leur soutien permanent et leurs conseils combien judicieux, qu'ils trouvent dans ce travail, l'expression de ma profonde gratitude.

## RÉSUMÉ

Le présent mémoire traite de l'évaluation financière de projets d'investissement publics mutuellement exclusifs dans le domaine de la santé. Il s'agit d'un projet de numérisation des dossiers patients du centre hospitalier de l'université de Sherbrooke (CHUS).

La remise en cause de certains modèles et méthodes traditionnels d'évaluation de projets d'investissements tels que l'analyse coûts-bénéfices et la VAN, nous a amené à proposer une démarche d'évaluation financière multifactorielle à l'intérieur d'une même analyse de projet. Cette démarche vise à déterminer un résultat probabiliste, ce qui offre aux gestionnaires la possibilité de prendre des décisions stratégiques optimales en matière d'investissement.

Cette démarche est basée sur le modèle traditionnel de la VAN en complémentarité avec l'application des modèles des options réelles et une analyse de sensibilité du projet par la simulation Monte Carlo. La combinaison de ces différentes méthodes permet de prendre en compte d'une part, les fluctuations possibles des différentes variables qui peuvent avoir une influence considérable sur le projet et d'autre part, évaluer les possibilités d'options offertes par les projets.

Le présent mémoire est divisé en trois grandes parties dont, la première partie porte sur la recension des écrits dans la littérature financière. La seconde élabore sur la méthodologie utilisée et enfin la dernière partie aborde l'analyse du projet.

Concernant le projet de numérisation des dossiers patients, il s'agit d'une extension des travaux débutés par Bahadi (2006), lesquels avaient abouti à cinq scénarios dont deux étaient jugés rentables (le scénario 1 avec une VAN de **3.005.473 \$** et le scénario 4 avec une VAN de **88.369\$** et un investissement initial de **1.080.000 \$**). En dépit de ces résultats, les gestionnaires avaient préféré choisir le scénario 4 en procédant à une réévaluation des flux financiers lesquels nous ont été soumis pour une analyse « post-mortem ».

**Mots clés:** évaluation des projets ; valeur actuelle nette ; options réelles ; simulation Monte-Carlo ;

## INTRODUCTION

En 1958, la finance corporative a vu le jour, grâce aux différents travaux et réalisations faites par F. Modigliani et M. Miller. Ils ont établi une indépendance entre les décisions d'investissement et de financement d'une entreprise dans le cadre de marchés de capitaux parfaits. Dans leur analyse, Modigliani et Miller ont démontré que la firme est un portefeuille des projets d'investissements, générant des revenus aléatoires sur lesquels chaque investisseur a la même information.

Au fil du temps, les modèles et les méthodes d'évaluation des projets d'investissements ont beaucoup évolué en même temps que les marchés financiers sont devenus de plus en plus complexes et de plus en plus risqués.

Dans ce contexte, la problématique de l'évaluation financière des projets d'investissements est devenue une préoccupation majeure et une des étapes incontournables pour la réussite de ces projets, surtout vu l'importance considérable des sommes affectées. Ainsi, les échecs constatés dans l'évaluation financière de certains investissements et les conséquences monétaires qui en résultent, entravent parfois la concrétisation et la mise en œuvre d'autres projets. En conséquence, les gestionnaires financiers sont de plus en plus amenés à se questionner sur le bien fondé de la méthode utilisée, sur les lacunes traditionnelles d'évaluation des projets d'investissement, sur les critères de décision utilisés et la mise en place de nouveaux modèles capables de répondre aux exigences en matière d'évaluation des projets d'investissement.

Les projets qui nous intéressent plus particulièrement dans le présent mémoire sont les projets d'investissement qui s'inscrivent dans le domaine de la santé.

Même si la méthode de la VAN a fait l'objet de nombreuses critiques dans la littérature financière, son utilisation reste indispensable dans l'évaluation des projets d'investissement. Dans ce contexte, l'évaluation d'un projet se fait sur la base de l'approche traditionnelle avec l'appui d'autres approches permettant de prendre en compte les fluctuations possibles des différentes variables qui peuvent avoir une influence considérable sur le projet.

Ainsi, les modèles financiers plus probabilistes se basent sur les extensions du critère de décision traditionnel de la VAN. Pour cela, dans le présent mémoire, nous proposons une évaluation financière basée sur l'application de la VAN, des options réelles ainsi qu'un modèle de simulation Monte Carlo et d'analyse de sensibilité.



L'évaluation financière permet aux gestionnaires de prendre des décisions stratégiques en matière d'investissement et de les aider à faire un choix optimal concernant les actions à entreprendre, par exemple la nécessité d'allouer ou non un budget pour augmenter la production ? Ou encore la nécessité d'acheter ou non un nouvel équipement ? La minimisation ou non des coûts de main d'œuvre. La détermination de la valeur de l'opération et du projet est fondamentale car elle conditionne la performance globale de la firme.

Selon l'approche traditionnelle de la VAN, un projet sera jugé rentable et accepté par les entités visées si elle procure plus de bénéfices que de coûts. Cependant, malgré la popularité de cette méthode, il n'en demeure pas moins qu'elle comporte certaines lacunes. C'est dans cette perspective que de nouvelles approches ont vu le jour. C'est le cas de l'analyse coûts-bénéfices, approche purement économique dans l'évaluation de projets, basée sur le critère traditionnel de la VAN et de la théorie des options réelles. Cette dernière méthode, qui relève de la théorie financière, vient en complément à l'approche classique de l'analyse coûts bénéfices.

L'évolution du contexte classique d'actualisation des flux financiers permet d'apprécier l'impact de l'irréversibilité des décisions d'investissements et les principales utilisations de la théorie des options. L'évaluation d'un projet doit être faite dans son ensemble pour savoir s'il se traduit par un gain net ou par une perte nette d'une part, pour la société et d'autre part, pour les entités assujetties. Cette analyse peut sembler une tâche simple, mais encore, il faudrait arriver à un résultat jugé acceptable et exempt de tout biais pour aider les agents concernés à prendre une décision éclairée. Toute mauvaise évaluation de projet peut entraîner d'une part, des pertes financières importantes pour l'agent qui l'implante, d'autre part avoir des répercussions négatives sur d'autres acteurs sociétaux, surtout si le projet sur lequel cette étude est basée relève du domaine public.

Dans cette perspective, l'objectif poursuivi dans le présent mémoire n'est pas de fournir un point de vue final quand à la pertinence des projets qui seront étudiés, mais d'offrir de solides éléments de prise de décision. Comme toute démarche scientifique, l'éclairage ainsi jeté pourra soulever autant de questions qu'il fournira de réponses.

Le présent travail est composé de deux grands chapitres répartis en cinq sections :

➤ Le premier chapitre est divisé en trois sections : la première section sera consacrée à une présentation bien détaillée des deux projets d'investissements qui feront

l'objet de notre étude. La deuxième section consistera à une recension des écrits assez développée des différents modèles et théories utilisés dans notre étude et analyse, la troisième section donnera un cadre méthodologique des différents modèles et théories financiers utilisés dans la partie analyse.

➤ Le deuxième chapitre sera consacré à l'application des modèles sur le projet ainsi que l'analyse des résultats obtenus. Ce chapitre sera divisé en deux sections : la première section porte sur les résultats obtenus du projet alors que la deuxième section sert à analyser les résultats calculés précédemment.

## DESCRIPTION DU PROJET

Comme nous l'avons mentionné, le présent mémoire analyse un projet dit autofinancé mis en place par un centre hospitalier québécois : un projet de numérisation des dossiers patients. Il constitue une extension des travaux effectués dans le cadre d'un essai de maîtrise en finance appliqué par Bahadi (2006). Comme le précisait cet essai, la fusion de trois centres hospitaliers, notés ci-après A, B et C, a porté à près de 1.6 millions le nombre de **dossiers médicaux à gérer par le nouveau centre hospitalier**<sup>1</sup>. Ces dossiers étaient repartis sur deux sites distincts, ce qui posait d'importants défis en matière d'efficacité opérationnelle dans la gestion administrative, logistique et comptable des dossiers. Par exemple les renseignements médicaux d'un patient pouvaient être repartis dans plusieurs dossiers différents. Le personnel soignant devait déployer des efforts considérables pour tracer un portrait complet des antécédents médicaux du patient dans le but d'établir le programme de soins le mieux adapté à son état, ce qui bien entendu compliquait les mécanismes de décision. En raison du nombre croissant de patients, le centre hospitalier éprouvait des difficultés de plus en plus considérables à gérer les dossiers papier. Ainsi, plusieurs milliers de pages de documentation s'ajoutaient annuellement aux dossiers, les salles d'archives de l'établissement étaient remplies à pleine capacité, ce qui compliquait le processus de classement et de récupération des dossiers.

Etant donné que les salles d'archives occupaient déjà une portion importante du précieux espace du centre hospitalier, la problématique de la conservation des dossiers devenait de plus en plus grande. Par ailleurs, la concurrence dans l'utilisation des dossiers des patients constituait un autre problème. Il arrivait souvent que les médecins, des cliniciens et des membres du personnel administratif désirent consulter en même temps le dossier du même patient. Pour pallier à cette situation, plusieurs copies du dossier circulaient simultanément dans divers services, s'enrichissant de notes et de formulaires qui venaient compliquer la tâche de préposés aux archives, qui devaient éventuellement combiner ces diverses versions en un dossier de santé unique.

---

<sup>1</sup> Bahadi A., (2006), « évaluation d'un projet de numérisation des dossiers patients dans un centre hospitalier », Essai de maîtrise en Finance Appliquée, Université du Québec à Montréal, 85 pages

Face à cette problématique, une nouvelle stratégie s'imposait pour regrouper le personnel, les activités et les dossiers de différents services des archives en un groupe unifié qui appliquerait des processus de gestion des dossiers rationalisés pour offrir à tout le personnel autorisé un accès rapide et facile à des dossiers de santé à jour.

Ainsi, les gestionnaires du centre hospitalier ont commencé à examiner diverses solutions de gestion documentaire optimale. L'option qui semblait être plus appropriée fut la numérisation des dossiers patients, reposant sur une structure de télécommunications solide et fiable.

Ce concept s'articule autour d'un dossier patient électronique interfacé aux technologies médicales et contiendra l'ensemble des données cliniques du patient. Il fournirait une plate-forme unique de dossiers des patients cohérente permettant d'aboutir à une gestion documentaire centralisée afin de faciliter le stockage, la consultation et la récupération.

L'option de numérisation des dossiers des patients est porteuse de nombreux avantages pour la direction du centre hospitalier et offre une meilleure vision pour pouvoir prendre des décisions éclairées. En premier lieu, elle permet de libérer un espace physique considérable dans l'établissement qui peut être réutilisé pour la prestation de soins aux patients par exemple. En créant un dossier de santé unique et intégré, l'on élimine le problème de récupération des dossiers après leur classement et également celui lié à la collecte de renseignements sur les patients à partir de plusieurs sources, d'autant plus que les médecins peuvent désormais accéder au dossier intégral d'un patient en réseau. Par conséquent, il devient facile pour ceux-ci de mieux gérer le plan de soins, les interventions et les suivis sur un patient, car disposant à la fois d'une vision globale et spécifique d'un dossier. De même, la conservation et l'archivage des documents devraient être considérablement optimisés avec la numérisation des dossiers. Il est important de noter que le domaine hospitalier est soumis à des démarches d'accréditation qui intègrent le respect des normes de «record management» (ISO 15489)<sup>2</sup>. Le contenu d'un dossier archivé doit rester aisément accessible afin de garantir la continuité des soins, mais aussi en cas de poursuites judiciaires, ou pour les besoins de la recherche scientifique.

La gestion électronique des données sur le patient entraîne également une augmentation considérable de la productivité de tous les intervenants et pallie au problème lié à la perte de temps, d'où une optimisation de la collaboration des

---

<sup>2</sup><http://www.evolution-mag.com/article.php3>.

intervenants. Par ailleurs, elle contribue à maîtriser de façon optimale les coûts associés à la photocopie, à la télécopie et à la gestion des archives. Tous les intervenants sont rassurés sur l'intégrité des dossiers patients et la confidentialité de l'information est assurée.

Les travaux et résultats réalisés par Bahadi (2006) sur ce projet avaient porté sur cinq scénarios plausibles construits par le centre hospitalier. Au terme de son analyse, le scénario 1 était apparu comme le plus rentable. Celui-ci nécessitait un investissement initial d'un million quatre vingt mille dollars et n'impliquait ni pré numérisation, ni numérisation des dossiers antérieurs réadmis, mais seule la numérisation des dossiers actifs. La valeur actualisée nette dégagée dépassait de loin celle des autres scénarios avec **3.500.473 \$**, comparativement au scénario 4 classé deuxième avec **88.369 \$**<sup>3</sup>.

Antérieurement aux analyses présentées au paragraphe précédent, les gestionnaires du centre hospitalier avaient retenus le scénario 4. Puis, ces derniers ont procédé à une réévaluation des flux financiers du projet, ceci une année après son implantation et nous ont demandé d'effectuer une analyse post mortem sur la base de ces nouvelles données correspondant cette fois aux coûts réels observés après l'implantation du scénario 4 retenu. L'objectif principal de ce mémoire est de réévaluer la rentabilité financière de ce scénario pour voir s'il constitue bel et bien un choix financièrement viable pour le centre hospitalier concerné.

Dans tous les cas, on appliquera les modèles de simulation de Monte Carlo, d'analyse de sensibilité et d'options réelles à l'évaluation du projet. On propose ainsi dans ce mémoire un double critère d'acceptabilité : celui classique de la valeur actualisée nette et un critère plus probabiliste de la sensibilité de cette valeur actualisée aux différentes variables qui peuvent influencer la rentabilité du projet. Dans un tel cas, la VAN calculée devient moins abstraite du point de vue du décideur.

On va analyser par la suite quelques options possibles inhérentes au projet (option d'expansion et l'option d'abandon) pour prendre en compte la valeur associée au fait que les gestionnaires ont la possibilité, en début du projet de moduler le contenu de celui-ci en fonction des premiers résultats obtenus.

Outre l'analyse du projet, une contribution importante se trouve encore une fois dans l'intégration du modèle des options réelles pour les projets d'investissement relevant du domaine de la santé. La méthode proposée ci-dessus se distingue de plusieurs façons.

---

<sup>3</sup> Bahadi, A., (2006), Op. Cit., page 9, page 2

D'abord par l'emploi de plusieurs critères à l'intérieur d'une même évaluation financière du projet. Le résultat final ne saurait être unique contrairement à la plupart des analyses de projet basées sur le seul critère de la valeur actualisée nette. En effet, cette dernière méthodologie ne permet pas de juger de la rentabilité réelle du projet.

La pluralité des résultats et des prémisses utilisés permettra une plus grande robustesse et souplesse lorsque viendra le temps d'intégrer les conclusions de notre analyse à d'autres types de décision. L'utilisation des modèles de simulation de Monte Carlo et d'options réelles a été également motivée premièrement par le fait que les investissements dans le domaine de la santé s'étendent sur une longue période ; même s'il est possible de tenir compte de ces flux dans le critère traditionnel de la VAN, l'utilisation d'une perpétuité à cette fin apparaît subjective dans le présent contexte. L'actualisation peut ainsi réduire les coûts et bénéfices futurs de telle façon qu'il devient impossible de juger de la tendance future du projet. Or, dans le cas de la numérisation des dossiers patients et de l'implantation d'un entrepôt centralisé, l'analyse doit nécessairement être effectuée sur une longue période et les bénéfices dégagés de ce type de projet ne sont jamais immédiats. La réduction de ces flux, sous l'effet de l'actualisation ne peut donner qu'une image déformée des impacts réels du projet.

Dans un deuxième temps, un projet peut, au cours de son exécution être abandonné en cours de route s'il s'avère non rentable ou être projeté, ce qui occasionnerait des coûts additionnels pour les acteurs. Lesquelles options devront être prises en compte lors de l'analyse du projet.

## *Chapitre I : Recension des écrits dans la littérature financière*

### **1) Analyse Economique et Financière du Projet**

#### **1.1. Définition de l'analyse coûts-bénéfices**

Prest et Turvey (1965) définissent l'analyse coûts-bénéfices (ACB) comme une technique permettant de mesurer la désirabilité d'un projet, d'une disposition réglementaire ou de toute autre action dont il s'agit d'envisager les répercussions sur la société. Ils ajoutent par ailleurs que l'analyse coûts-bénéfices s'applique particulièrement à l'évaluation de projets dont la dimension temporelle est importante.

Lyn et al (1975) définissent l'ACB comme une méthode qui permet de présenter de manière commode et intelligible, les choix effectués dans l'affectation des ressources à tel ou tel emploi<sup>4</sup>. Par essence, elle consiste à déterminer les coûts et bénéfices qu'entraîne la réalisation d'un projet et à les réduire à un dénominateur commun. Si les bénéfices excèdent les coûts, les uns et les autres étant exprimés en fonction du dénominateur commun, le projet est acceptable ; si c'est l'inverse, le projet est à rejeter. En tant que telle, l'analyse de projets peut apparaître comme ne tenant compte ni de la poursuite des objectifs fondamentaux de l'économie, ni de la recherche d'une affectation différente de ces ressources dans le cadre d'autres projets. Cependant, les profits et les coûts sont définis de telle façon que les deux préoccupations susmentionnées sont intégralement retenues dans la décision d'accepter ou de rejeter le projet.

Pour Desaignes et Point (1993), l'ACB d'un projet public consiste à évaluer l'ensemble de ses coûts additionnels nets, compte tenu si possible de ses avantages externes nets (externalités) traduits en termes monétaires. A la différence d'une analyse de rentabilité classique effectuée par un opérateur privé, une telle évaluation examine donc les répercussions économiques du projet sur l'ensemble des agents économiques, et pas seulement pour celui qui réalise le projet, en l'occurrence le pouvoir public auteur de projet.

Chevalier (1996)<sup>5</sup> identifie l'ACB comme une méthode de décision privilégiée par la théorie économique. Treich (2005)<sup>6</sup> l'a définit comme un outil d'évaluation

---

<sup>4</sup> Squire L. et Van Der Tak H., (1975), « analyse économique des projets », Banque Mondiale, pages 10-19

<sup>5</sup> Chevalier M., (1996), « Analyse Coût-Bénéfices et Environnement: Le Projet d'Aménagement du bassin de la rivière San Juan en République Dominicaine », Thèse de Maîtrise, Université d'Ottawa, Page 58

<sup>6</sup> Treich N., (2005), « Cost-Benefit Analysis of Risks Prevention », dans le cadre d'une collaboration scientifique et pédagogique avec l'Institut pour une Culture de la Sécurité Industrielle (ICSI), Université de Toulouse, Pages 5-9

standard qui permet la comparaison de différentes décisions entre elles. Elle permet l'identification de niveaux souhaitables de dépense et de rendre plus transparentes les décisions. Dans le cadre des décisions publiques, l'ACB peut ainsi réduire les possibilités de capture technocratique, politique et démagogique.

Drumaux (1971)<sup>7</sup> apporte des éléments d'ordre économiques quant à la définition de l'analyse coûts-bénéfices. En effet, elle définit l'ACB comme une généralisation de la rentabilité économique et financière. L'ACB regroupe un ensemble de méthodes pour choisir des projets collectifs optimaux en suivant la règle de la rentabilité sociale la plus élevée. En plus, elle vise l'évaluation des gains et des pertes consécutifs à une décision publique, l'évaluation étant menée du point de vue de l'ensemble de la société.

## **1.2 Le contexte historique de l'analyse coûts-bénéfices**

Comme le souligne Treich (2005) l'analyse coûts-bénéfices est une technique économique et sociale utilisée pour influencer les décisions publiques. Elle remonte à 1930 avec le développement d'importants travaux de construction des barrages électriques, de contrôle des eaux des inondations et d'irrigation des terres fermières aux Etats-Unis, puis ensuite au Livre Vert dans les années 50 fixant des règles pour comparer et agréger les bénéfices. Cependant, l'âge d'or remonte aux années 60 avec l'analyse de projets militaires aux Etats-Unis, et les travaux de la Rand Corporation. L'analyse coûts-bénéfices était le critère fondamental utilisé pour justifier l'allocation des ressources financières de l'État<sup>8</sup>. Après cette période, une autre récente utilisation de l'analyse coûts-bénéfices fut dans les études de construction routière dans l'État de l'Oregon juste après la seconde guerre mondiale. Dans les récentes dernières années, l'utilisation de l'analyse coûts-bénéfices s'est étendue à plusieurs autres domaines car, aucune autre technique ne permettait de quantifier aussi bien les bénéfices et les coûts en terme monétaires.

A cette époque, en Europe et en France notamment, l'analyse coûts-bénéfices fait partie d'un mouvement de rationalisation des choix budgétaires, et on la voit se développer pour des choix relatifs à la construction d'aéroport (Londres et Nice), pour construction d'autoroutes (l'A86 à l'ouest de Paris) ou pour l'élaboration de politiques de

<sup>7</sup> Drumaux A., (1971), « Analyse des coûts et avantages des décisions publiques », Solvay Business School, pages 5-12

<sup>8</sup> Dewhurst J. et ali., (1971), « Business cost-benefit analysis », school and and Business Studies, University of Warwick, Pages 11-15



santé (lutte contre la périnatalité). Cependant ce mouvement de rationalisation s'est fortement ralenti dans les années 1970, comme le mentionne Greffe (1997)<sup>9</sup> pour des raisons qui ne sont pas très claires dans la littérature scientifique. C'est d'ailleurs ce que mentionnent Adler et Posner (2001)<sup>10</sup> "*...it would be useful to have an explanation for the political fortunes of cost-benefit analysis - why it was relatively popular before and after the 1970s but it was unpopular during that decade*".

Certains auteurs pensent que l'ACB a été utilisée à nouveau au début des années 80 dans le but de mettre en évidence les coûts de certaines mesures de réglementation, et donc en liaison avec le mouvement général de déréglementation durant cette période aux Etats-Unis. L'analyse coûts-bénéfices reste à ce jour principalement développée en Amérique du Nord, en Angleterre et dans les pays scandinaves, toujours selon Greffe (1997).

### **1.3 Principe de base de l'analyse coûts-bénéfices**

Le principe est extrêmement simple. L'analyse coûts-bénéfices vise à réaliser toutes les décisions dont les bénéfices sont supérieurs aux coûts. Selon Treich (2005), l'ACB est vue comme un outil utile d'aide à la décision qui pourrait parfois être utilisé en amont ou en complément d'approches relevant davantage du social/éthique, et d'approches de type «engineering» ou organisationnel. Dans le domaine de la santé, la mesure monétaire des bénéfices est parfois délicate à obtenir, et est souvent plus controversée, que la mesure des coûts. L'analyse coûts-bénéfices vise à améliorer la qualité d'une décision au sens où celle-ci est jugée de meilleure qualité si elle génère un surplus monétaire net plus important pour la société. Mais il faut immédiatement ajouter un point fondamental, la qualité ne fait pas uniquement référence à un surplus monétaire, mais au bien-être que la décision génère pour les individus qui composent la société, c'est-à-dire au bien-être social.

L'analyse coûts-bénéfices dérive de l'analyse économique de projets. Selon Chevalier (1996), l'ACB sert essentiellement à comparer les avantages et les coûts des actions entreprises dans le cadre d'un projet en utilisant les outils fournis par la théorie économique. En règle générale, la théorie économique du bien-être servira de base

<sup>9</sup> Greffe X., (2005), « Historique de l'analyse coûts-bénéfices, une Revue de littérature », Université de Toulouse, 5 pages

<sup>10</sup> Adler M. et ali., (2001), « New Foundations Of Cost-Benefits Analysis », Harvard University Press, Pages 20-25

théorique à l'analyse coûts-bénéfices. Bien qu'il existe des méthodes d'évaluation concurrentes, comme par exemple la méthode des effets, laquelle prend en compte tous les effets d'un projet, qu'ils soient directs, indirects, induits, positifs ou négatifs. Ces effets se matérialisent sous forme de variation dans les valeurs ajoutées en amont et en aval du projet. De plus, la méthode permet également une appréciation des distorsions économiques que peut induire le projet dans l'économie d'une région ou d'un pays.

Contrairement aux précédents auteurs, Van Der Tak (1975)<sup>11</sup> pense plutôt que, l'analyse coûts bénéfices s'appuie sur la théorie néoclassique du bien-être et cherche à mesurer l'enrichissement net des facteurs de production d'un pays c'est-à-dire des gains salariaux, des rentes, des profits, des intérêts et des variations des surplus des consommateurs. Dans ce contexte, les coûts sont constitués des coûts d'opportunité des facteurs de production utilisés.

Plusieurs travaux ont été développés sur la méthode de l'ACB, c'est le cas de Dewhurst (1972) qui avait fait une application théorique de l'analyse coûts bénéfices sur un programme sanitaire de traitement préventif et curatif des maladies. Les résultats de son étude révèlent qu'il est difficile pour un gouvernement de répartir son budget dans un système de santé multidisciplinaire. Ainsi, cette complexité s'explique par le fait que les coûts relatifs au programme sanitaire entraînent toujours d'autres coûts sociaux. Par conséquent, pour évaluer un tel projet, on devra regarder du point de vue de la société dans son ensemble, ce qui rend encore l'analyse plus difficile.

Cette logique rentre bien entendu dans le cadre même de l'évaluation économique d'un projet tel que le définit Prest et Turvey (1965). Dans ce cas, la décision d'investir les fonds dans un nouveau projet devra être justifiée seulement si, d'après le résultat de l'analyse coûts-bénéfices, les bénéfices de ce projet sont supérieurs à ceux d'un projet semblable à celui d'un autre secteur public. Le problème de l'allocation du budget nécessaire pour entreprendre un projet dans le domaine de la santé demeure et aucune étude n'a été réellement effectuée pour déterminer les sommes à dépenser en raison des difficultés opérationnelles que présentent ce domaine.

Cependant, la recherche faite autour de la méthode de l'analyse coûts-bénéfices mentionne qu'entre quatre milles et dix milles projets sanitaires ont fait l'objet d'une étude sur l'analyse coûts-bénéfices. La plupart de ces travaux concernaient les mesures et les méthodes de prévention d'une maladie spécifique.

---

<sup>11</sup> Van Der Tak H., (1975), « Analyse Économique de Projets », Une publication des Services de Recherche de la Banque Mondiale, Page 23

Les travaux entrepris par Brent (1996)<sup>12</sup> vont dans le même sens. Ce dernier a utilisé l'analyse coûts-bénéfices pour évaluer l'efficacité économique d'un programme de traitement intensif néo-natal. Selon l'auteur, la première étape à considérer dans l'évaluation d'un projet est la faisabilité dudit projet. Il convient par la suite de mesurer les catégories de coûts et leurs conséquences dans la situation sans projet. Dans le cas par exemple de son étude, il a d'abord cherché à savoir si le traitement actuel avait un effet sur la maladie. Lors d'une telle analyse, tous les coûts et les bénéfices doivent être attribués exclusivement au projet en question. Ce qui veut dire que dans l'analyse coûts-bénéfices, la situation « avec projet » doit être comparée à la situation « sans projet », ce qui n'est pas la même chose qu'une situation « avant projet » et « après projet ».

La situation « sans projet » est la seconde meilleure alternative pour le projet. Les bénéfices nets de la seconde meilleure alternative doivent être déduits des bénéfices nets du projet. Un point de vue qui rejoint celui de Brent (1996) qui soutient que l'évaluation d'un projet sanitaire requiert l'utilisation et la transformation des ressources importantes dans le but d'améliorer l'infrastructure disponible. Laquelle amélioration de l'infrastructure se traduit par une amélioration des conditions de vie.

Dans le cas de notre étude, autant la numérisation des dossiers patients que l'implantation d'un entrepôt centralisé devrait améliorer la productivité des utilisateurs, l'efficacité de la gestion opérationnelle et ainsi réduire les coûts afférents.

Une autre application de la méthode coûts-bénéfices a été faite par Viscusi (1998) mais cette fois-ci, dans le secteur automobile. Cette étude visait à évaluer l'intérêt de la mesure de sécurité relative à l'introduction d'un réservoir à l'avant des voitures Ford Pinto dans les années 70. Le bénéfice total dégagé a été estimé par Ford à \$49.6 millions, largement inférieur au coût de \$121 millions que nécessitait le projet. Par conséquent, le projet de Ford Pinto avec un réservoir à l'avant n'a pas été adopté.

Les auteurs du « **Handbook for economic analysis of health sector projects (1997)**<sup>13</sup> » ont également développé des lignes directrices en vue d'évaluer un projet du secteur sanitaire. Le raisonnement entrepris par ce groupe de chercheurs rejoint la démarche de Brent (1996). Selon ces directives, l'évaluation d'un projet avec le modèle

---

<sup>12</sup> Brent Robert J., (1997), « Applied cost-benefit analysis », Fordam University USA, Pages 3-23

<sup>13</sup> Belli et ali., (1997), « Handbook On Economic Analysis Of Investment Operations », Operating Policy Department, Chapter 8, Pages 78-80

d'analyse coûts-bénéfices devrait être faite en comparaison à l'évaluation du projet d'un autre secteur concurrent. Cette procédure de comparaison permet d'estimer le rendement économique des projets mutuellement exclusifs et permet de mieux informer l'agent qui implante le projet sur les conséquences du choix d'investissement qu'il veut entreprendre. Les auteurs recommandent qu'une évaluation des bénéfices soit faite pour illustrer le potentiel du rendement économique du projet.

#### **1.4 Identification des coûts et bénéfices dans l'analyse coûts-bénéfices**

La décision de réaliser un projet a pour effet de modifier l'ensemble des flux monétaires actuels et futurs. Ainsi, lors de l'évaluation d'un investissement projeté, il faut considérer ces modifications et décider si oui ou non, elles ajoutent de la valeur à l'entité ou à l'agent qui l'implante. La démarche de l'analyse coûts-bénéfices consiste donc à décider quels flux monétaires sont pertinents et lesquels ne le sont pas.

Prest et Turvey (1965) dans leur article, identifient les coûts comme étant l'ensemble des conséquences défavorables du projet et par bénéfices, l'ensemble des conséquences favorables. Ces deux éléments sont ainsi exprimés à l'aide d'une unité de mesure permettant la comparaison : l'unité monétaire. À la suite d'une telle analyse, on obtient un solde dont le signe éclaire sur la rentabilité, voire la désirabilité du projet et qui permet aux décideurs de pouvoir faire un choix judicieux.

Lyn et al (1975) définissent les bénéfices en fonction de leur contribution à la réalisation des objectifs fondamentaux du projet. Quant aux coûts, ils sont définis en fonction des coûts d'opportunité qui représente le bénéfice auquel on renonce en n'utilisant pas les ressources disponibles pour des investissements constituant les meilleures des solutions de rechange possibles, lesquelles ne peuvent être envisagées si les fonds sont exprimés en fonction de ce qu'aurait été leur contribution aux objectifs fondamentaux. En définissant ainsi les coûts et les bénéfices dans l'analyse coûts-bénéfices, l'agent qui implante le projet s'assure que l'acceptation d'un projet n'a pas pour résultat de détourner les ressources qu'il mobilisera d'un autre projet qui aurait produit des résultats meilleurs sur le plan des objectifs recherchés par les décideurs.

Les travaux de Williams (1978) portant sur les principes pratiques de l'analyse coûts-bénéfices diffèrent de ceux de Brent (1996) en termes de considération de coûts dans l'évaluation d'un projet. En effet, l'auteur recommande de considérer dans l'évaluation du projet comme coûts pertinents seulement ceux qui interviennent pendant

la durée de vie du projet. Ces coûts sont appelés coûts d'opportunité du projet. Parallèlement, les bénéfices du projet sont des revenus supplémentaires dégagés si le projet est choisi. Hormis ces coûts d'opportunité, il convient par ailleurs de considérer les coûts marginaux dans l'analyse coûts-bénéfices d'un projet. Ces coûts représentent le montant additionnel à dépenser pour produire une unité supplémentaire.

Ross et al (1993)<sup>14</sup> définissent ces flux monétaires sous l'appellation de flux monétaires différentiels. Il s'agit pour ces auteurs de toutes les variations des flux monétaires à venir qui découlent directement de l'acceptation du projet selon que l'agent accepte ou rejette le projet. Ces flux monétaires sont aussi appelés flux monétaires marginaux.

Les travaux de Brent (1996) en ce qui a trait à l'ACB prennent en considération trois catégories de coûts dans l'évaluation de projet basée sur l'analyse coûts-bénéfices. Il s'agit des coûts directs, des coûts indirects et enfin des coûts tangibles. Ces coûts et bénéfices sont ensuite exprimés en terme monétaires et de prix au marché. En ce qui concerne les coûts directs, ce sont les coûts qui font partie directement du programme de santé. Les résultats de son étude se sont traduits par une augmentation des bénéfices nets de l'ordre de 8 à 9% avec un bénéfice net de **24.700 \$**. Ce résultat a pu être observé sur une période de 27 ans et ce, grâce à l'implantation du programme de traitement néo-natal. Contrairement à Brent (1996) qui détermine trois catégories de coûts à prendre en considération lors de l'évaluation d'un projet sanitaire, les travaux de Ross et al (1993) sur l'évaluation de projets recommande d'exclure de l'ACB les coûts irrécupérables. Ces coûts sont définis par les auteurs comme coûts déjà engagés qui ne peuvent être récupérés. La décision d'accepter ou de refuser un projet ne fait aucunement varier ce type de coûts. Autrement dit, l'entité qui implante le projet devra le payer quoi qu'il arrive. Tout comme les coûts de financement, ces derniers doivent également être exclus de l'analyse.

Ross et al (1993) prennent en considération de l'analyse, les coûts de renonciation ou coût d'opportunité. Il s'agit du manque à gagner associé à l'option la plus valable à laquelle l'on doit renoncer si l'agent décide d'effectuer l'investissement. En ce qui a trait à l'inflation, Ross et al (1993) recommandent de tenir compte de celui-ci. Pour eux, le fait que les projets requièrent un investissement en capital de longue durée, il y aura probablement l'inflation ou la déflation des prix pendant la durée de vie du projet par

---

<sup>14</sup> Ross et al., (1999), «Fundamentals and Corporate Finance », McGraw-Hill Higher Education, 356 Pages

conséquent, les estimations de bénéfices anticipés doivent aussi tenir compte de l'inflation. La non prise en considération de l'inflation dans l'analyse des bénéfices entraînerait un rejet quasi systématique du projet lors du choix des investissements.

Par ailleurs, les mêmes auteurs recommandent de tenir également compte de l'action gouvernementale dans l'analyse coûts-bénéfices. Il s'agit par exemple des subventions, des crédits d'impôt à l'investissement, de meilleurs taux d'amortissement du coût en capital et des prêts à taux bonifiés. Comme ces mesures modifient les bénéfices anticipés d'un projet, il faut les inclure dans l'évaluation du projet. Cet argument vient en contradiction à celui de Drumaux (2001) en ce qui a trait au traitement de l'inflation dans l'analyse coûts-bénéfices. En effet, l'auteur recommande d'ignorer l'inflation dans l'analyse. Pour elle, seuls les coûts supportés par l'organisation mettant en œuvre le projet, les agents qui y participent ou à priori les agents non concernés devront être pris en compte.

Boardman et Al (2001)<sup>15</sup> définissent les coûts du projet comme les bénéfices abandonnés à la non utilisation des ressources de ce projet. En mesurant les coûts et les bénéfices du projet dans l'analyse coûts-bénéfices, l'un ou l'autre peut donner une bonne indication sur le rendement économique et financier et par conséquent, sur la pertinence du choix du projet. Si le résultat net du projet est positif, ou du moins pas négatif, ceci est une bonne indication que les ressources du projet seront utilisées de façon efficiente. L'analyse coûts-bénéfices doit tenir compte du coût d'opportunité, du coût de dépréciation et également du coût marginal.

A propos des coûts à considérer dans l'ACB, les auteurs de « **Handbook for economic analysis for health care project** » recommandent d'inclure uniquement ceux qui sont générés pendant la durée de vie du projet. Ceux-ci doivent être évalués à la fois en termes de prix financiers et économiques. La dépréciation des charges comptables est exclue dans l'analyse. Les coûts d'investissement sont inclus au fur et à mesure qu'ils surviennent dans le projet. Les charges d'intérêt ainsi que les paiements de taxes sont également exclues. Cependant, l'on devra inclure la taxe sur les inputs et les produits importés comme le matériel médicamenteux lorsqu'on procède avec les prix financiers. Par contre, avec les prix économiques, les taxes doivent être exclus. Chaque fois qu'il y a des distorsions économiques, les travaux du Handbook recommandent d'évaluer le projet sur la base de l'analyse coûts-bénéfices à la fois avec les prix économiques et financiers.

---

<sup>15</sup> Brent Robert J., (1996), Op. Cit., page 22, page 18

L'analyse coûts-bénéfices économique et financière va donner des informations différentes du projet.

### **1.5 Analyse coûts-bénéfices économique versus analyse coûts-bénéfices financière**

Une analyse financière coûts-bénéfices est faite selon la perspective de personne, groupe ou unité directement impliquée dans le projet<sup>16</sup>, c'est le cas de notre mémoire qui implique les cadres professionnels d'un centre hospitalier. Comme nous l'avons mentionné, seuls les coûts et bénéfices réalisés par l'exploitation du projet, externalités non comprise,s seront pris en compte dans l'analyse financière, ceci simplifie l'analyse coûts-bénéfices.

Quant à l'analyse économique coûts-bénéfices, elle est faite selon la perspective plus large de la société, ce qui a plusieurs implications pour le calcul des coûts et des bénéfices. D'abord, tous les coûts et bénéfices sont pris en compte, y compris les externalités (coûts et bénéfices attribuables au projet mais supportés ou profitant à des parties tierces). Ensuite, dans le calcul des prix, ce n'est pas le prix du marché d'un coût ou d'un bénéfice qui est utilisé mais ce qu'on appelle le « prix réel» c'est à dire sa valeur pour la société. Ces prix sont aussi appelés prix implicites (shadow prices), coûts d'opportunité. Par exemple, dans le calcul des coûts du travail, c'est le coût d'opportunité de ce travail qui est utilisé. Il arrive souvent que le résultat de l'analyse financière soit négatif alors que celui de l'analyse économique est positif.

Selon les travaux réalisés par les auteurs de «**Handbook for health care project**», l'analyse coût bénéfices financière présente les coûts sur le point de vue budgétaire, pendant que l'analyse économique présente les impacts sur la société dans son ensemble. Ils ajoutent cependant qu'il faudrait inclure dans l'analyse coûts-bénéfices économique tous les coûts qui ne peuvent être incorporés dans les prix financiers comme par exemple le taux de change. D'autres coûts comme par exemple le temps d'attente des patients, la distance parcourue pour un traitement médical ne peuvent être inclus dans le calcul financier, mais devrait l'être dans l'analyse économique du projet. D'autres coûts pertinents comme les coûts de capital (les hôpitaux, les cliniques, les laboratoires, les équipements, les voitures, l'assistance technique, la formation etc.) ainsi que les coûts d'opération sont considérés dans l'analyse coûts-bénéfices financière. Ces coûts

---

<sup>16</sup> Salverda M., « Analyse Financière et Analyse Economique », ([www.icra-edu.org](http://www.icra-edu.org)), 6 pages

d'opération ou coûts récurrents incluent les fournitures, et les médicaments, le temps de travail. Par contre, la valeur résiduelle de l'équipement et des machines doit être considérée dans l'analyse comme les coûts négatifs à la fin du projet.

Lyn et al (1975) aborde différemment la question de l'analyse coûts-bénéfices économique versus l'analyse coûts-bénéfices financière. En effet, selon eux, l'analyse coûts-bénéfices économique des projets est semblable en sa forme à l'analyse financière puisque l'une comme l'autre visent à déterminer le bénéfice à attendre d'un investissement. Cependant, les auteurs soulignent que le concept de bénéfice financier n'est toutefois pas le même que le bénéfice pour la collectivité obtenu par l'analyse économique. L'analyse financière a pour but de dégager le bénéfice monétaire que l'agent du projet retirera, ce qui est le cas de l'étude des projets qui constituent l'objectif de notre mémoire. Tandis que selon les mêmes auteurs, l'ACB économique vise à déterminer le bénéfice du projet pour la collectivité, c'est-à-dire son incidence sur la réalisation des objectifs fondamentaux de l'économie toute entière

La différence au niveau de ces deux notions de bénéfice est illustrée par le fait que les éléments retenus pour le calcul des coûts et bénéfices et la valeur qui est attribuée à ceux-ci, sont différents dans les deux approches. Par exemple le versement de salaires en espèces par l'agent du projet est par définition un coût financier. Mais il ne constituera un coût pour la collectivité que dans la mesure où l'utilisation de la main-d'œuvre dans le projet entraînera dans un autre secteur de l'économie un sacrifice en termes de production ou d'autres objectifs recherchés par le pays.

A l'inverse, si le projet comporte un coût pour la collectivité sans pour autant entraîner pour l'agent une sortie de fonds correspondante, par exemple, à cause des effets sur l'environnement ou des subventions reçues, le coût n'est pas un coût financier<sup>17</sup>. Les deux types de coûts ne coïncident pas nécessairement. Les coûts économiques peuvent être supérieurs ou inférieurs aux coûts financiers. Le même raisonnement s'applique aussi aux bénéfices économiques et financiers. Comme le souligne Bergeron (2001), les bénéfices et les coûts économiques sont mesurés à l'aide des prix de référence qui peuvent fort bien différer des prix du marché, qui sont les prix à utiliser pour l'évaluation des coûts et bénéfices financiers.

Boardman et al (2001) pensent qu'il ne suffit pas dans la pratique, de retenir comme acceptable un projet dont les bénéfices paraissent excéder les coûts. Il faut

---

<sup>17</sup> Bergeron M., (2005), « Évaluation Financière dans le Domaine de la santé », Une Revue de la littérature, Pages 1-6.



rechercher des solutions de rechange dont les bénéfices semblent encore supérieurs lorsqu'on les compare aux coûts. Si l'on trouve de tels projets, cela signifie que le coût d'opportunité du projet tel qu'on l'a évalué dans le projet que l'on considérait à l'origine comme acceptable, a été en fait sous-estimé, voire complètement négligé.

## **1.6 Comparaison des coûts et des bénéfices et choix des critères d'investissement**

La technique de base consiste à actualiser les coûts et les bénéfices se rapportant à chaque période et les exprimer tous en une valeur commune à un moment donné.

Les travaux effectués sur l'analyse coûts-bénéfices utilisent la valeur actuelle nette, le taux de rendement interne ainsi que le ratio coûts-bénéfices comme critères économiques fondamentaux du choix d'un projet d'investissement.

### *1.6.1 La valeur actuelle nette (VAN)*

D'après Harberger (1976), toutes les formes d'investissement devront être choisies selon le critère de la VAN, pour pouvoir déterminer leur faisabilité. La VAN est le critère de base d'acceptabilité du projet. Si la VAN nette du projet est négative, c'est-à-dire que la valeur actualisée des bénéfices est inférieure à la valeur actualisée des coûts, le projet doit être rejeté. D'autre part, cette VAN, doit être plus élevée que celle d'un projet mutuellement exclusif. Toutefois, les travaux de Lyn et al (1975) montrent qu'en pratique, les projets dont la valeur actualisée nette est positive ou nulle ne sont pas nécessairement acceptables et ce pour deux raisons principales:

La première en est que les prix de référence de certains intrants ne peuvent pratiquement pas être appréciés indépendamment du processus d'évaluation proprement dite du projet. Il s'ensuit que le coût d'opportunité de ces intrants risque d'être sérieusement sous-estimé puisque l'on peut ne pas avoir identifié les meilleures autres options qui s'offrent à leur emploi. En principe, celles-ci doivent faire l'objet d'une étude approfondie couvrant toutes les possibilités concevables. Dans la pratique, on ne peut en couvrir qu'un petit nombre, il faut se rappeler néanmoins qu'un projet peut avoir une valeur actualisée nette élevée, non point parce qu'il est potentiellement valable, mais parce que l'on n'a pas poussé suffisamment loin la recherche de variantes susceptibles de le remplacer.

Les travaux menés par Ray (1984) vont dans le même sens. L'évaluation des coûts et des bénéfices pertinents du projet nécessite une analyse minutieuse pour pouvoir choisir la meilleure alternative parmi plusieurs options du projet qui sont par leur nature généralement exclusives. D'après les conclusions de ces travaux, la VAN d'un projet peut-être très élevée simplement parce que les coûts pertinents n'ont pas été considérés. Cela peut conduire à un choix inadéquat et par conséquent à rejeter un projet potentiellement rentable. Si un projet est choisi, l'autre ne le sera pas<sup>18</sup>. La nécessité de comparer les projets mutuellement exclusifs est la raison fondamentale pour l'utilisation de l'analyse coûts-bénéfices à l'étape primaire du cycle de vie du projet<sup>19</sup>.

La deuxième raison énoncée dans les travaux de Lyn et al (1975) tout comme le mentionne d'ailleurs Ray (1984) et Bergeron (2005), de par leur nature, beaucoup de projets s'excluent mutuellement : si l'on choisit l'un, on ne peut entreprendre l'autre. Tel est le cas lorsqu'on a plusieurs options, différentes par leur conception, l'envergure ou le calendrier d'exécution de ce qui est au fonds qu'un seul et même projet. Dans tous les cas où les projets s'excluent mutuellement, il ne suffit pas de sélectionner le projet qui a une valeur actualisée nette positive, mais plutôt celui qui a la valeur actualisée nette la plus élevée parmi les variantes s'excluant mutuellement qui devrait être retenu. Et l'analyse ne doit pas aller trop facilement à l'hypothèse selon laquelle il n'existe pas de variantes de ce type, mutuellement exclusives, du projet qu'il évalue.

Lyn et al (1975) porte également leur discussion sur le problème de la sélection des projets en fonction de leur ordre de priorité décroissante lorsqu'on utilise une analyse coûts-bénéfices. Dans cette discussion, pour un budget d'investissement donné, et compte tenu des prix de référence associé, notamment le taux d'intérêt de référence, de deux choses l'une : ou bien les projets sont acceptables sur la base des critères ci-dessus et ils doivent figurer dans le programme d'investissement, ou bien ils ne le sont pas, et ils doivent être écartés. Ce principe s'applique aussi bien dans le cas des projets s'excluant mutuellement, où seule est retenue la variante ayant la valeur actualisée nette la plus élevée, que dans celui des autres projets, où il suffit que ladite valeur ne soit pas négative.

Une question plus intéressante posée par le classement des projets consiste à déterminer ceux qui devraient être successivement écartés (ou retenus) si le budget d'investissement était réduit (ou accru). A ce niveau, tout comme le montre Lyn (1975),

---

<sup>18</sup> Bergeron M., (2006), « Analyse de Faisabilité », Une Revue de la littérature, Pages 4-8.

<sup>19</sup> Anandarup R., (1984), « Cost benefit analysis Issues and Methodologies », Editions HOPKINS, World Bank publication, 176 pages

dans ses travaux, une modification du budget d'investissement impliquera une modification du taux d'intérêt de référence ainsi qu'une modification corrélative des autres prix de référence, qui affecteront la valeur actualisée nette des différents projets de façon différente selon le moment où elles se produisent et la nature des intrants et de la production du projet.

De ce fait, certains projets dont la valeur actualisée nette était élevée dans la gamme originelle des projets acceptés (ou programme), peuvent maintenant être rejetés ; certains autres à valeur actualisée nette plus modeste peuvent être conservés, et d'autres enfin, qui étaient exclus, peuvent être retenus. Il n'y a pas un classement unique où l'on ajoute ou d'où on exclut les projets faisant partie d'un programme en fonction de l'envergure de ce dernier. Les modifications du projet d'investissement altèrent généralement sa structure globale et n'affectent pas seulement les projets marginaux.

Enfin, les travaux de Ross et al (1993)<sup>20</sup> portant sur l'analyse de projets et l'évaluation introduisent la notion de risque prévisionnel ou risque d'estimation dans le calcul de la VAN d'un projet. En effet, le fait de se baser sur les bénéfices anticipés futurs peut entraîner de nombreux biais dans l'analyse coûts-bénéfices. Si les bénéfices projetés contiennent de nombreuses erreurs, on peut se retrouver facilement avec un système classique du type «données inexactes», «résultats erronés». Dans ce cas, peu importe le soin qu'on met à disposer les chiffres et à les manipuler, le résultat risque d'induire l'analyste du projet en erreur. C'est un risque inhérent à l'utilisation d'une technique aussi complexe que celle de l'évaluation des flux monétaires actualisés. Ainsi, la possibilité de prendre une mauvaise décision erronée est grande. A cause de ce risque prévisionnel, on peut penser que la VAN d'un projet est positive alors qu'elle ne l'est pas. Cette situation arrive lorsqu'on envisage l'avenir trop optimiste et que, par conséquent, les bénéfices projetés ne reflètent pas de façon réaliste les flux monétaires à venir.

### *1.6.2 Le taux de rendement interne*

Comme le mentionne Ross et al (1999), dans la pratique traditionnelle de l'analyse coûts-bénéfices, on calcule le taux de rentabilité économique, c'est-à-dire le taux d'actualisation pour lequel la valeur actuelle nette du projet est égale à zéro. Si ce taux de rentabilité excède le taux d'intérêt de référence, le projet (non mutuellement exclusif d'autres projets) est acceptable, sa valeur actualisée nette du projet est alors positive.

---

<sup>20</sup> Ross et ali., (1999), Op. Cit., page 27, page 21

Pour Squire (1975), le taux de rendement interne est un instrument défectueux pour mesurer les bénéfices respectifs des projets s'excluant mutuellement. Il ajoute par ailleurs que si l'on prend pour critère l'importance du surplus dégagé, un taux de rentabilité supérieur n'indique pas nécessairement une meilleure variante, lorsque les bénéfices et les coûts sont actualisés au taux d'intérêt de référence. Le TRI peut donc induire en erreur lorsque l'on veut comparer les bénéfices économiques respectifs de plusieurs projets. Cependant, le TRI reste un concept largement compris qui a le mérite d'exprimer sous une forme simplifiée et globalisée les résultats économiques d'un projet. Ne serait-ce qu'à cause de cela, il faut continuer à l'utiliser.

Ray (1984) définit le TRI comme le taux de rendement pour lequel la VAN est nulle. Si ce taux est égal ou supérieur au taux du marché, alors la VAN ne sera pas nulle. Selon les mêmes travaux, le critère de TRI devra être évité, lorsqu'on compare les projets mutuellement exclusifs. Un projet avec un TRI plus élevé n'est pas nécessairement celui qui a la VAN le plus élevé et n'est pas nécessairement le meilleur projet. Bien que le TRI permette d'éclairer le choix du projet d'investissement dans certains cas, mais il n'est pas satisfaisant et il peut conduire à des erreurs de jugement. Il ajoute qu'une analyse de risque ou l'analyse de probabilité permet de mieux éclairer l'effet combiné d'un changement de toutes les variables ou la probabilité de différents changements intervenant en même temps dans le projet analysé. Cette analyse de risque permet également de capturer la corrélation entre les changements des différentes variables du projet étudié.

Le résultat de la distribution de la VAN ou du TRI donne aux preneurs de décisions un meilleur aperçu du degré de risque encouru dans le projet. D'où, la pertinence de faire intervenir dans notre mémoire les analyses par simulation de type Monte Carlo, la sensibilité de la VAN aux différentes variables qui peuvent influencer les projets et finalement une analyse par options réelles. Les trois modèles devraient nous conduire à une conclusion justifiée.

Les deux critères d'analyse que sont la VAN et le TRI sont parfois mal interprétés. Le but essentiel de l'ACB des projets est de dégager, grâce, à un TRI, la meilleure des variantes possibles, c'est-à-dire le projet qui apporte la plus grande contribution à la réalisation des objectifs de base du projet. Une fois que la sélection est faite en fonction de ce critère, on peut par cette contribution, soit par la valeur actualisée nette, soit par le TRI, en le comparant bien entendu avec ce que serait la situation sans le projet, ceci donnera une indication de la croissance des bénéfices générée par les

principales ressources du projet, comparé à ce que celles-ci auraient gagné en l'absence du projet

## 2) Options Réelles

Les premiers auteurs à intégrer la possibilité pour les dirigeants de modifier les projets sont Hertz (1964) et Magee (1964). Hertz propose d'intégrer les décisions contingentes des dirigeants à partir de simulations de Monte-carlo des variables d'état d'un projet. Dans le même esprit, Magee (1964) propose d'utiliser un arbre de décision où chaque état de la nature incorpore les différentes valeurs des variables stochastiques du projet et les possibilités offertes par les dirigeants des entreprises pour modifier ces flux financiers. Le problème majeur posé par les deux dernières méthodes est qu'elles n'apportent pas de réponse sur le niveau de risque associé aux décisions des dirigeants et donc sur l'estimation du taux d'actualisation approprié.

La notion d'option réelle est apparue à la fin des années 1970, suite en particulier aux travaux de Black et Scholes (1973) d'une part et de Merton (1973) d'autre part, qui apportèrent le premier modèle permettant de valoriser une option financière. Myers (1977) utilisa ces travaux pour établir une analogie entre une opportunité de croissance et une option sur action, et pour proposer une méthode de valorisation de cette option réelle. Il a été le premier auteur à avoir signalé que la valeur de marché d'une entreprise est égale à la valeur présente de ses cash-flows à laquelle vient s'ajouter la valeur des opportunités de croissance. Ces opportunités de croissance sont décrites par Myers (1977) comme une option réelle, elle est de nature stratégique puisqu'il s'agit de choix intervenant sur la structure concurrentielle de l'entreprise. Il a mis en lumière que la possibilité offerte à l'entreprise d'investir dans le futur a une valeur.

Plus tard, d'autres auteurs montrent que les opportunités de croissance peuvent avoir différents degrés de flexibilité associée. Ces flexibilités associées sont considérées par ces auteurs comme des options opérationnelles. Elles sont de nature opérationnelle puisqu'elles agissent au sein même d'un projet. Une option réelle est donc le choix qui décrit une flexibilité soit stratégique (la possibilité de croître) soit opérationnelle puisqu'elle agit au sein même d'une opportunité de croissance. Banz et Miller (1978) utilisent pour la première fois la théorie de l'arbitrage pour l'évaluation d'un projet d'investissement, lorsque les prix d'état sont contingents à un indice de marché, mais ils n'envisagent pas d'actions des dirigeants de la société pour contrôler les cash-flows.

Kester (1984) a repris l'idée de Myers (1977), il a cherché à déterminer la valeur de l'opportunité de croissance et l'évaluation d'un projet risqué contingent à un premier projet tout en faisant l'analogie avec une option d'achat européenne évaluée par le modèle de Black et Scholes (1973). L'option d'achat porte sur le projet futur et le coût d'exercice est le coût d'investissement. Le modèle de Kester est la première représentation sous forme d'option de l'opportunité d'initier un projet.

Majd et Pindyck (1987) ont proposé un modèle dans lequel la société continue à investir chaque dollar pour "acheter" l'option de dépenser le prochain dollar jusqu'à l'arrêt de l'investissement. Elle réinvesti de nouveau sans coût pour le redémarrage du projet.

McDonald et Siegel (1986), Brennan et Schwartz (1985), Majd et Pindyck (1987) et Goffin (1994) ont évalué l'option d'arrêt temporaire de production sans frais par analogie avec une option d'échange Margrabe (1978). Dans ces modèles, le retardement s'explique par l'attente de nouvelles informations. Ces modèles montrent que l'arrivée de nouvelles informations réduit l'incertitude alors que dans le modèle de Pyndick (1991), cette incertitude subsiste malgré les nouvelles informations. La décision d'investir un montant  $I$  et de recevoir la valeur d'un projet  $V$  est similaire à une option d'achat sur actions. Contrairement aux options financières, cette option est perpétuelle puisqu'elle ne présente pas une échéance finie. La valeur de cette option est donnée par Merton (1973, 1975).

D'autres flexibilités ont été évaluées, par exemple l'option de différer ou retarder un projet perpétuel McDonald et Siegel (1986), qui est analogue à une option américaine d'achat perpétuelle. Ils ont démontré que si l'investissement est irréversible et la firme dispose de la possibilité de prévoir les périodes d'investissement, elle doit attendre jusqu'à ce que la valeur de l'investissement dépasse son coût. Cette différence doit correspondre à l'option d'attente.

La plupart des modèles s'intéressent à l'évaluation de la flexibilité d'une façon séparée. Trigeorgis (1993) considère des interactions entre les différentes options réelles. Il montre que les valeurs des options implicites dans un projet ne sont pas toujours additives. La valeur combinée des options d'exploitation peut avoir un effet significatif

sur la valeur du projet. La valeur additionnelle de chaque option est d'autant plus faible que le nombre d'options dans le projet est élevé<sup>21</sup>.

Le modèle de Leland (1994) est le même que celui de Merton (1973, 1975), sauf que Leland (1994) prend en considération le bouclier fiscal et les coûts de faillite lorsque les dirigeants maximisent la valeur de la société et recherchent d'une façon endogène le ratio d'endettement ainsi que le niveau possible de la faillite<sup>22</sup>. Dans ce modèle, la structure du capital de la firme regroupe les actions et des obligations perpétuelles, versant un coupon constant d'une façon continue  $C$  par an. Ce modèle utilise une fonction de volatilité stochastique endogène qui dépend d'un ensemble de variables structurelles.

La valeur de la société évolue selon un processus d'Itô et elle est indépendante de sa structure du capital. Les clauses insérées dans le contrat de la dette stipulent la liquidation dès que sa valeur atteint un pourcentage  $d$  de la valeur de la société.

L'absence d'opportunités d'arbitrage permet à Leland (1994) de présenter la formule suivante pour l'évaluation des actions d'une société endettée :

$$V = D + E + TB - BC$$

Les actionnaires ordinaires d'une entreprise ont le droit à la valeur résiduelle de celle-ci, c'est-à-dire les biens dont elle demeure propriétaire après s'être acquittée de ses engagements envers toutes les autres catégories de bailleurs de fonds. Par ailleurs, leur responsabilité à son égard se limite à leur mise de fonds.

Ainsi lorsque l'entreprise compte des actions et des obligations dans sa structure financière, et si elle continue à être solvable, les actionnaires pourront en conserver la propriété une fois que la dette aura été remboursée à l'échéance. Ceci donne aux fonds propres leur caractère d'option d'achat. Les actionnaires disposent alors d'une option d'achat sur les éléments d'actifs de leur entreprise dont le prix de levée et l'échéance sont équivalents à ceux de la dette. Le remboursement de l'emprunt équivaut à la levée de l'option qu'ils détiennent. Il va de soi qu'ils le feront si la valeur marchande

---

<sup>21</sup> Bellalah M., (2005), « Le choix des investissements et les options réelles : une revue de la littérature », cahier de recherche, Université de Paris-Dauphine, pages (3-4)

<sup>22</sup> Bellalah M., (2000), « La structure du capital et les options : l'impact des coûts d'information, de l'impôt des sociétés et du risque de défaut », Universités Paris-Dauphine et du Maine, page 19

de l'actif est supérieure au montant des emprunts. Dans le cas contraire, ils auront avantage à ne pas le faire<sup>23</sup>.

Mauer et Ott (1995) ont analysé les déterminants de la décision de remplacement d'un équipement ou d'une technologie en présence d'une incertitude sur les coûts d'exploitation et de maintenance. Ils montrent que la période qui sépare deux décisions de remplacement est une fonction croissante du prix d'acquisition de l'actif, de la volatilité des coûts de production et du taux de l'impôt sur les bénéfices des sociétés. Cette période est une fonction décroissante du risque systématique des coûts et de la valeur de liquidation de l'actif.

Le modèle donne le cycle de remplacement qui minimise le coût actuel d'une série d'actifs équivalents. Il montre que l'absence d'incertitude sur les coûts permet d'obtenir une valeur minimale pour le cycle de remplacement optimal.

Ainsi, l'incertitude sur les coûts augmente la valeur de l'option d'attendre le remplacement et décourage par conséquent l'investissement. Le modèle montre également que le cycle optimal de remplacement des équipements est une fonction croissante du prix d'achat de l'équipement de remplacement et du taux de l'impôt sur les bénéfices des sociétés. Le cycle optimal de remplacement est une fonction décroissante du risque systématique des coûts, de la valeur de liquidation de l'actif et de l'impôt relatif au crédit d'investissement. Le cycle optimal de remplacement peut augmenter ou diminuer en fonction du taux d'amortissement du matériel.

Le modèle de Mauer et Ott (1995) est prolongé pour prendre en considération les effets de l'incertitude technologique sur les décisions d'investissement. Dans ce cas, les auteurs montrent que l'incertitude concernant l'arrivée de nouvelles technologies (qui peuvent réduire les coûts d'exploitation) augmente le cycle optimal de remplacement. Malgré cette hausse des coûts, la société conserve plus longtemps son équipement en attendant plus d'informations qui lui permettent d'acquérir de nouveaux équipements et de bénéficier d'une réduction des coûts d'exploitation. L'implication de ce résultat est que l'incertitude technologique réduit significativement les investissements de remplacement. Le modèle permet d'étudier les effets de l'incertitude relative à la législation fiscale concernant la décision de remplacement.

Toft et Prucyk (1997) utilisent le même contexte d'analyse que Leland (1994) et en particulier un processus endogène pour la description de la dynamique des actions. Ce

---

<sup>23</sup> Perrakis S. et ali., (2005), « L'évaluation des entreprises non-transigées : une méthode alternative », Chaire Desjardins en gestion des produits dérivés, Cahier de recherche, 23 pages



modèle montre que la valeur des actions correspondant au déclenchement de la faillite est en fonction de la valeur des options et de ses facteurs de sensibilité. Le mécanisme relatif à la faillite est important dans ce modèle. Si les coûts de faillite sont déterminés d'une façon endogène par les actionnaires, une augmentation de la volatilité des actifs augmente celle des titres<sup>24</sup>

Childs, Ott et Triantis (1998) proposent un modèle pour l'évaluation des options réelles en prenant en compte l'effet de l'interdépendance entre différents projets sur les décisions d'investissement. Les relations entre les différents projets apparaissent sous différentes formes. Les projets peuvent être mutuellement exclusifs dans le sens qu'ils permettent d'atteindre le même objectif. Dans ce cas, la décision consiste à retenir un seul et unique projet.

Pour Damodaran (2000), la valeur de la firme est un élément déterminé par la liquidation ou non de la firme. Les capitaux propres d'une société sont une réclamation résiduelle, les porteurs de capitaux réclament la configuration de tous les cash flows perdus, encore plus après que leurs exigences financières soient satisfaites<sup>25</sup>.

Si une société est liquidée, le même principe s'applique, les investisseurs de capitaux propres récupèrent le reste des capitaux après le paiement de toutes les dettes exceptionnelles et autres réclamations financières. Le principe de la responsabilité limitée protège les porteurs de capitaux qui investissent dans des sociétés commerciales publiques. Si la valeur de la société est inférieure à la valeur de la dette, ils ne peuvent pas perdre plus que leur investissement dans la société.

Le profit des investisseurs de capitaux propres, sur la liquidation, peut donc être écrit ainsi :

Profit aux capitaux propres sur la liquidation =  $V - D$

si  $V > D = 0$

et si  $V \leq D$  (cela entraîne une liquidation de la firme)

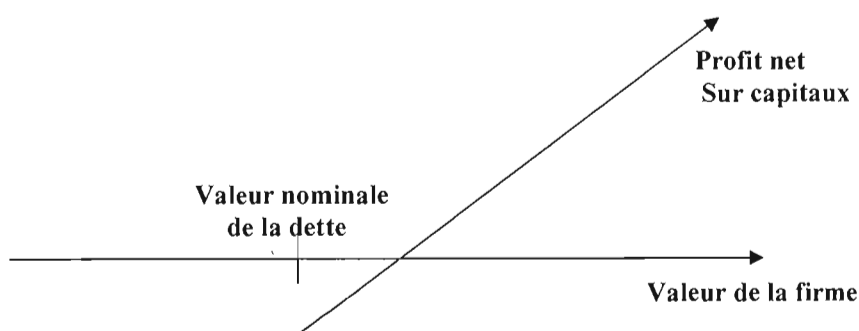
Où

$V$  : Valeur de la firme

$D$  : Valeur nominale de la dette exceptionnelle et d'autres réclamations externes.

<sup>24</sup> Bellalah M., Op. Cit., page 30, pages 20-24.

<sup>25</sup> Damodaran A., (2003), « Corporate Finance: Theory and Practice » - 2nd Edition, Wiley Edition,, pages 71-72



Triantis et Borison (2001) relèvent trois types d'usage aux options réelles : ils les considèrent comme un outil d'analyse, comme un mode de pensée et comme un processus organisationnel, d'où la notion d'approche optionnelle de l'évaluation des options réelles qui est apparue en étant un instrument financier universel pertinent pour évaluer la flexibilité d'un projet d'investissement au sein de l'entreprise<sup>26</sup>.

Le fait d'ignorer la flexibilité d'un projet d'investissement revient à négliger les capacités de raisonnement et de décision des dirigeants de l'entreprise. De plus, tout dirigeant compétent doit pouvoir modifier le déroulement de son projet à mesure que le temps passe, c'est-à-dire qu'il a la possibilité de le différer, de l'abandonner, de l'étendre, de l'arrêter. Ces différentes possibilités sont en fait des options dont dispose le dirigeant ; il décidera de lever ces options en fonction de ses attentes.

La méthode d'évaluation par les options réelles part d'un constat simple. Les méthodes traditionnellement utilisées, et notamment l'actualisation des flux financiers futurs, considèrent le risque comme réducteur de valeur. Comme le mentionne Levy et Sarnat (1984), toute augmentation de l'incertitude entraîne une exigence de rentabilité supérieure et conduit donc à augmenter le taux d'actualisation des flux, et par conséquent, l'actif perd de la valeur. La certitude « fait référence à des situations dans lesquelles l'investisseur connaît avec une probabilité quelle sera la rentabilité de ses investissements dans le futur ».

En revanche, la théorie des options réelles considère que l'incertitude génère de la valeur. Plus le spectre de résultats possibles est large, plus la valeur de l'actif augmentera. Cette nouvelle approche s'appuie sur la capacité du management à

<sup>26</sup> Henri P., (2004), « Que reste-t-il des options réelles? Du modèle financier au modèle de gestion », Close Brothers Fairness, pages 12-13

identifier et utiliser ses options pour répondre avec flexibilité à l'évolution des événements. Ainsi, le management cherchera à mettre en oeuvre des politiques stratégiques permettant d'augmenter l'exposition du projet aux résultats positifs et de réduire l'exposition aux résultats négatifs.

L'évaluation des projets d'investissement à l'aide de la VAN mène à de bonnes décisions lorsque le projet est simple ou lorsque le risque entourant ses flux monétaires est facile à estimer.

Ainsi, beaucoup d'entreprises ou d'organisations ont fait de la VAN leur principal outil d'évaluation des projets d'investissement, cette approche, si elle a le mérite de la simplicité, est malheureusement incomplète. En effet, elle ne tient pas compte de deux éléments essentiels à la bonne valorisation d'un projet d'investissement. D'une part, elle ignore la valeur associée au fait que l'organisation a souvent la possibilité de moduler le contenu du projet en fonction des premiers résultats obtenus en début de projet. D'autre part, elle n'apporte aucun éclairage sur la dimension stratégique, à savoir l'impact de la réaction des concurrents sur la valeur du projet.

Très vite, les stratèges ont été conscients que l'approche purement économique des projets stratégiques était incomplète. Pour y remédier, ils ont eu tendance par exemple, à favoriser les projets permettant de maîtriser les facteurs clés de succès, ceux permettant de s'imposer sur le marché ou de développer ses compétences clés. Mais la prise en compte de ces dimensions stratégiques dans la valorisation économique est longtemps restée une énigme.

L'étude des investissements selon leur valeur actuelle nette peut être généralisée grâce au concept d'option réelle. On parle alors de valeur actuelle nette augmentée (ou VANA). Cette dernière est la somme de la valeur actuelle nette du projet et des options réelles qui lui sont attachées. L'incertitude inhérente au caractère flexible d'un projet industriel est donc créatrice de valeur, mais l'écoulement du temps réduit cette incertitude pour laisser la place à la valeur intrinsèque issue de l'actualisation des flux ajustés de l'information nouvellement acquise<sup>27</sup>.

Les options réelles permettent de sortir du cadre de la simple valeur actuelle nette, de penser autrement et donc d'avoir de nouvelles idées. Cependant l'application concrète du concept d'option réelle est souvent délicate.

---

<sup>27</sup> <http://www.vernimmen.net/html/resumes/>

La théorie des options réelles permet d'introduire une flexibilité plus grande et plus représentative du contexte réel des décisions d'investissement en permettant de tenir compte de la valeur des options inhérentes aux projets : Option de report et de suivi, option d'abandon, option de réinvestissement, option de flexibilité, option de croissance, etc<sup>28</sup>.

Dans le contexte de l'approche classique (l'évaluation du projet par la VAN), l'investisseur ne fait face qu'à un seul choix : *Investir ou ne pas investir*. Dans la réalité, ceci ignore l'existence d'options réelles pouvant avoir une grande valeur. Pour évaluer les options réelles, la plupart des travaux ont recours à la théorie de l'arbitrage. Celle-ci est à mettre en parallèle avec la notion d'équilibre sur les marchés : si le marché est à «l'équilibre» (avec des valeurs telles que prévues par les modèles), il n'y a pas d'opportunité d'arbitrage. Par l'arbitrage entre les différents actifs échangés, le marché peut maintenir la cohérence entre les prix. En se fondant sur les raisonnements par arbitrage, de nombreux modèles d'évaluation d'options ont été développés dans des cas de plus en plus sophistiqués : depuis les travaux fondateurs de Black et Scholes (1973), Cox, Ross et Rubinstein (1976), jusqu'aux travaux par exemple sur les dérivés climatiques ou les risques extrêmes.

Pour qu'une option réelle existe dans un projet, celui-ci doit être irréversible et risqué. De plus, les dirigeants doivent avoir une liberté d'action sur le projet et un certain laps de temps doit permettre à ceux-ci d'acquérir plus d'informations. Nous allons exposer ces quatre conditions à partir de l'exemple d'option de différer consistant, pour l'entreprise, à pouvoir investir immédiatement ou plus tard.

Les dirigeants peuvent investir (exercer l'option) ou ne pas investir (ne pas l'exercer), selon que la valeur prise par le projet (l'actif sous-jacent) est suffisamment élevée par rapport aux coûts d'investissement (prix d'exercice). Il s'agit d'une option réelle qui est analogue à une option d'achat américaine du projet contre les coûts d'investissement<sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> Bergeron Y M., (2006), « Cours MBA 8124 : Etudes spécialisés en FINANCE III », MBA recherche, Université du Québec à Montréal

<sup>29</sup> Khaled, (2001), « Contrôle de gestion », Mémoire DEA, Université Cergy Pontoise, 59 Pages

**La première condition** : les projets doivent être totalement ou partiellement irréversibles. Lorsque le projet est irréversible, la récupération des coûts d'investissement en cas d'évolution défavorable est impossible. Si le projet est partiellement irréversible, il est possible d'en récupérer une partie. Si la totalité des coûts peut être récupérée, l'option de reporter le projet n'a plus de valeur, son objectif se limite à la protection contre des événements défavorables.

**La seconde condition** : les projets sont risqués. Dans un contexte de certitude, les décisions peuvent être prises tout de suite, puisque tout est connu à l'avance. Par contre, l'incertitude valorise les flexibilités offertes aux décideurs. En effet, avec l'option de différer un projet, la possibilité d'attendre permet aux gestionnaires de voir l'évolution du prix du projet avant de prendre une décision irréversible qui consiste à investir. Ils bénéficient de la possibilité de collecter des nouvelles informations sur la rentabilité du projet. L'incertitude valorise les projets intégrant des options réelles, alors qu'elle dévalorise les projets statiques.

**La troisième condition** : est relative au degré de liberté de gestion des gestionnaires concernant la durée du projet. Plus la liberté de gestion est grande, plus la valeur du projet est grande. La liberté de gestion résulte de la flexibilité qui permet de réviser un investissement ou des décisions opérationnelles en réponse aux conditions de marché pour maximiser la richesse de l'entreprise. Dans cette situation, les options réelles représentent les flexibilités de décisions dont disposent les dirigeants. Si les conditions sont favorables, les possibilités d'accroître la capacité de production pour en profiter sont grandes, par contre, si les événements sont défavorables, les dirigeants peuvent se protéger, en abandonnant le projet ou en réduisant sa taille. En d'autres termes, la flexibilité permet d'améliorer les gains à la hausse et de limiter l'impact des pertes à la baisse.

**La dernière condition** : est le temps. Il y a une liaison directe entre le temps qui s'écoule et le niveau d'information dévoilé. L'information permet de prendre des décisions en toute connaissance de causes. la diffusion des informations n'est pas totale, mais elles doivent être suffisantes pour qu'une décision d'investissement puisse être prise. La possibilité offerte d'investir et la volonté de le faire dépendent du niveau d'information recueilli. la valeur de l'option de différer est évaluée par la possibilité d'attendre pour investir.

La théorie des options réelles dispose dans son cadre général de plusieurs types d'options qui diffèrent dans leurs utilisations en fonction du projet à évaluer et son niveau de rentabilité :

### **2.1 Options d'abandon**

Cette option est associée à la possibilité de renoncer définitivement à un investissement et, éventuellement, de le revendre sur le marché secondaire Brennan et Schwartz (1985), Myers et Majd (1990).

Si le projet se révèle un fiasco, l'agence ou la firme a le choix de cesser d'allouer des ressources au projet, c'est-à-dire d'abandonner le projet. L'option d'abandon a une valeur très importante, car il est parfois possible d'abandonner un projet si les flux financiers se révèlent moindres que ceux anticipés. Cette option permet d'éviter d'autres pertes et par la suite augmenter la valeur du projet. Cette option ressemble à une option de vente. Exercer le droit conféré par l'option d'abandon permet, soit de recueillir les revenus issus d'une revente du projet, soit d'annuler les coûts associés à son maintien. Il est donc particulièrement intéressant de prendre en considération cette option dans deux cas. Premièrement, lorsque la spécificité de l'actif considéré est faible, sa revente dans des conditions avantageuses est envisageable, et l'option d'abandon peut difficilement être ignorée. Deuxièmement, lorsque le projet exige de continuelles mises de fonds pour être maintenu en état de fonctionnement (c'est le cas par exemple des industries soumises à de stricts impératifs de sécurité, telles que les transports), les économies résultant de l'abandon peuvent être substantielles.

Myers et Majd (1990) ont évalué l'option d'abandon comme une option de vente américaine sur un actif versant des revenus, dont le sous-jacent est la valeur du projet et le prix d'exercice est sa valeur de revente. Les hypothèses spécifiques au modèle de Myers et Majd (1990) sont :

- Le projet peut être abandonné à tout moment durant sa vie économique,
- Il existe des actifs financiers négociables dont les valeurs sont de manière identique à la valeur du projet et sa valeur de revente.
- La valeur du projet et sa valeur d'abandon obtempèrent aux processus stochastiques suivants :

$$dV = \alpha vVdt + \sigma vVdZv$$

$$dA = \alpha aAdt + \sigma aAdZA$$

Myers et Majd (1990) ont répliqué le flux de l'option d'abandon avec un portefeuille sans risque constitué, de la valeur du projet et sa valeur d'abandon ainsi qu'un titre sans risque.

## **2.2 Options de report**

Par la théorie des options réelles, l'option de report « option to delay » est sans doute celle la plus fréquemment invoquée. Dans ce cas, la flexibilité est uniquement due à la possibilité, pour l'investisseur, d'attendre avant de s'engager. L'investissement est reporté dans l'espoir d'obtenir ultérieurement des informations pertinentes quant à la mise en oeuvre du projet, et concernant par exemple les coûts, les prix, ou les conditions du marché. Contrairement à la théorie traditionnelle de l'investissement, l'option de reporter prend en considération la capacité d'apprentissage des investisseurs<sup>30</sup>.

Lorsque l'information relative à la valeur d'un actif réel ne peut être obtenue simplement, la valeur de l'option de reporter est donc difficile à établir. De plus, l'étude de cette option ne permet pas d'aboutir à des recommandations limpides en termes de décisions d'investissement. Elle peut en effet conduire soit à reporter, soit au contraire à accélérer la réalisation d'un projet. L'investissement réalisé par un concurrent peut par exemple augmenter la valeur de l'option d'attendre, du fait des externalités informationnelles susceptibles d'être retirées d'une telle action. Malgré ces limites, l'option de reporter présente un avantage : elle conduit à souligner qu'une valeur temps est bien souvent associée aux projets d'investissement. De plus, elle met en évidence le fait qu'il est peu réaliste de négliger certaines opportunités, même si leur valeur n'est pas très clairement quantifiée. Enfin, d'un point de vue plus strictement financier, elle confirme l'idée selon laquelle la détention d'un actif réel, même s'il n'est pas exploité,

---

<sup>30</sup> Lautier D., (2001), « Les Options Réelles: Une idée séduisante, un concept utile et multiforme, un instrument facile à créer mais difficile à valoriser », CEREG, Université Paris IX, page 10

permet de bénéficier d'un revenu. Faute d'intégrer cet élément dans l'analyse, la démarche optionnelle peut fort bien aboutir à une impasse.

L'approche la plus adéquate consiste à assimiler la décision d'exercer l'option de report à celle de déterminer l'exercice optimal d'une option de vente américaine. À tout moment, on peut exercer l'option (c'est à dire abandonner le projet) et percevoir le prix d'exercice (la valeur de revente des actifs).

### **2.3 Options d'échange**

Les options d'échange « Option to switch use » résident dans la possibilité de modifier les produits finis ou les facteurs de production. La flexibilité est dans ce cas apportée par le processus de production. Elles analysent la flexibilité commutative et le choix optimal entre :

➤ *Différents produits finis (output)* : l'entreprise peut avoir le choix entre différents produits ou la possibilité de fabriquer concomitamment. Le choix entre différents produits peut être fixe selon l'ampleur des coûts variables engagés par chacun d'entre eux. La possibilité de fabriquer différents produits concerne les secteurs d'activités marqués par la saisonnalité de la demande (produits agricoles, vêtements), ou les industries dont la structure de production est par essence flexible (l'industrie automobile).

➤ *Des facteurs de production substituables* : l'entreprise peut faire un arbitrage entre différents facteurs de production et opter pour le moins onéreux, ou celui dont le prix est plus stable et son évaluation est facilement prévisible.

Puisque chaque changement représente une option, on peut conclure que le projet est un portefeuille d'options à échéances différentes et la valeur d'une option d'échange donnée est tributaire des options exercées ou abandonnées auparavant. Ceci rend donc leur valorisation complexe<sup>31</sup>. Margrabe (1978) a proposé un modèle d'évaluation sur la base d'une option d'échanger un actif ne payant pas de dividende pour un autre.

### **2.4 Options de croissance**

L'option de croissance est dérivée de l'option d'expansion mais à la différence de cette dernière, elle concerne les investissements dont la portée stratégique est considérable et elle permet surtout d'ouvrir la voie à des opportunités futures. En effet, on

---

<sup>31</sup> Lautier D., Op. Cit. page 38, page 14



peut considérer le tout premier investissement comme la condition nécessaire à une chaîne de projets corrélés<sup>32</sup>.

On parle d'options de croissance lorsque l'acceptation d'un projet ouvre la voie à d'autres opportunités (projets) dans le futur. Un investissement de départ (que ce soit de la recherche et développement, un projet d'acquisition d'une entreprise) est préalable à une série de projets reliés entre eux, et ouvre ainsi la porte à des occasions de croissance (nouveau produit, accès à un nouveau marché, etc.)<sup>33</sup>.

Basée sur l'idée initiale de Myers (1977) consistant à considérer les opportunités d'investissement comme des options de croissance, Kester (1977) s'intéresse aux aspects stratégiques et compétitifs des opportunités de croissance.

Kester (1977) définit alors l'option de croissance de la manière suivante: une opportunité d'investir dans des actifs productifs comme une usine, des équipements, des marques est équivalent à un call sur actifs réels que l'on appelle option de croissance.

Myers (1977) étudia l'option de croissance et l'assimila à une option d'achat que détient l'entreprise sur des opportunités d'investissements futures, qui trouvent en partie leurs origines dans des décisions d'investissements qu'a entrepris la firme.

Les domaines d'application des options de croissance sont les suivants<sup>34</sup> :

- Augmenter les capacités productives ou développer un nouveau produit ou des acquisitions stratégiques ;
- Accroître les budgets de publicité, dépenses de recherche, programmes de développement commercial ;
- Dépenses pour le maintien ou le remplacement de projets.

L'option de croissance permet de résoudre le dilemme qui peut se présenter lors du choix de l'envergure d'un investissement : faut-il démarrer immédiatement avec un investissement majeur qui génère des économies d'échelles mais qui risque de se révéler non rentable si les anticipations ne se réalisent pas, ou procéder avec une approche incrémentale en initiant un projet de moindre taille qui minimise le risque et qu'on peut au besoin agrandir quand l'incertitude s'estompe?

<sup>32</sup> Lautier D., Op. Cit. page 38, page 14-15

<sup>33</sup> Khoury N. et ali., (1988), « Options et Contrats à terme », Presses de l'université Laval, page 5-44

<sup>34</sup> Khaled, Op. Cit., page 36, page 28

## **2.5 Options d'attente**

L'option d'attente est la plus fréquemment attribuée aux projets d'investissement. Dans un contexte d'incertitude, elle représente la possibilité de reporter l'exécution du projet en perspective d'informations pertinentes et de n'investir qu'à la date qui maximise la valeur du projet. En effet, McDonald et Seigel (1986) ont conclu que la valeur de l'option d'attente peut être substantielle et justifie le report du projet jusqu'à la date où sa valeur représente le double de la dépense d'investissement à engager.

Moscarini et Smith (2001) considèrent une situation où un seul décideur fait face à un projet dont le cash-flow futur est incertain. Cependant le décideur reçoit un signal indiquant la qualité du projet. Ce signal est supposé suivre un mouvement brownien géométrique avec la dérive (d'inconnu). Le travail du décideur est donc de choisir la valeur pour le terme dérive. Il peut réduire la variance du signal par investir d'avantage dans R&D à un coût élevé. Le preneur de décision doit donc faire face à un problème d'arrêt optimal, c'est à dire quand à investir, aussi bien qu'un problème de contrôle optimal (combien à investir dans le R&D?)<sup>35</sup>.

Bellalah (2001) développe un modèle en temps continu d'investissement irréversible en présence des coûts de l'information et discute les implications de ces coûts sur la valeur d'options.

Thijssen, Huisman et Kort (2002) considèrent une nouvelle règle de décision. Une firme a une opportunité d'investissement dans un projet dont la rentabilité est incertaine et elle doit décider d'investir ou non. La firme reçoit avec le passage du temps des signaux d'information additionnelle indiquant la rentabilité du projet. Ces signaux permettent à la firme de réévaluer son projet<sup>36</sup>.

## **2.6 Options interactives**

Ces options sont qualifiées d'interactives car elles peuvent exercer une influence les unes sur les autres. L'utilisation des options interactives « *multiple interacting options* » suppose une généralisation de l'application des options réelles, en reconnaissant explicitement que la décision d'investissement recouvre la possibilité d'exercer, simultanément ou non, plusieurs options de différentes catégories. Soit ces

<sup>35</sup> <sup>38</sup> Hoang T., (2006), « Une revue de la littérature options réelles théorie des jeux dans les décisions d'investissement stratégiques », Centre de Recherche sur les Dynamiques et Politiques Economiques et l'Economie des Ressources, Université Aix- Marseille II, pages 34-35

<sup>39</sup> Lautier D., Op Cit page 38, page 15

options peuvent être insérées au sein d'un même projet, soit elles appartiennent à plusieurs projets<sup>37</sup>. De même, ces options peuvent être la propriété d'une seule ou être réparties entre plusieurs firmes ou plusieurs concurrents (c'est le cas pour les produits non protégés par une licence ou un brevet - les vêtements de mode et les innovations financières par exemple ou qui sont facilement substituables).

Dans ce contexte deux importantes questions se posent :

La première est relative à l'additivité de la valeur : la réunion de plusieurs options réelles constitue-t-elle un actif de valeur égale à la somme des valeurs individuelles? Childs, Ott et Triantis (1998) apportent des réponses à cette problématique en proposant un modèle qui intègre l'effet de l'interdépendance entre différents projets sur les décisions d'investissement. Les relations entre les projets se manifestent sous diverses formes : ils peuvent être mutuellement exclusifs ou complémentaires. Les auteurs montrent que les valeurs des options s'additionnent en général lorsque les options sont de nature différente (une option d'achat est plutôt exercée dans un contexte de hausse des prix, tandis qu'une option de vente est exercée plus souvent en cas de baisse), lorsque leurs dates d'exercice sont rapprochées, et lorsqu'elles sont profondément en dehors de la monnaie.

La seconde question porte sur la valeur additionnelle de chaque option. Trigeorgis (1993) montre que celle-ci est une fonction inverse du nombre d'options. La présentation des options réelles les plus fréquemment invoquées dans la littérature illustre aisément le caractère multiforme de ce concept. Comme l'a mentionné Goffin (2001), le principal attrait de cette théorie est de montrer qu'à la limite, chaque projet peut être considéré comme un « gisement d'options ». Cependant, la complexité de certaines options réelles est parfois telle que leur valorisation semble relever du défi. Et leur caractère polymorphe peut laisser rêveur : la théorie des options réelles, parce qu'elle semble a priori susceptible d'être appliquée dans bien des circonstances, ne risque-t-elle pas de perdre toute utilité ?

### 3) La méthode de simulation historique

Cette méthode consiste à fixer des intervalles et à déterminer la distribution des fréquences des observations historiques. Ceci nous amènera de tracer un histogramme de la distribution de fréquence qu'on peut lisser à travers un noyau.

Cependant, et comme ils expliquent Manganeli et Engle (2001), cette méthode possède plusieurs points négatifs. D'abord, la méthode historique présente des inconvénients, essentiellement relatifs aux caractéristiques des bases de données utilisées. En effet, nous pouvons rencontrer une certaine difficulté dans la collecte des données historiques. De plus cette méthode dépend totalement des données historiques spécifiques utilisées et ignore tout événement non représenté par cette base de données.

#### 3.1 La simulation Monte Carlo

Le calcul Monte-Carlo est nommé en l'honneur du célèbre quartier de Monaco reconnu pour son casino. Cette méthode utilise des nombres aléatoires afin d'échantillonner rapidement les différentes configurations possible d'un système. C'est un outil clé pour imaginer le futur, en posant certaines hypothèses ou facteurs de risque, les simulations montrent comment les cash-flows d'un projet changent et évoluent sous divers scénarios de fluctuation de prix des titres financiers qui sont stochastiques. Les effets de l'incertitude peuvent donc être modélisés par cette simulation de Monte-carlo<sup>38</sup>.

L'utilisation la plus célèbre de la simulation MC était par Enrico Fermi en 1930, quand il avait l'habitude d'utiliser une méthode aléatoire pour calculer les propriétés des nouvelles molécules. La méthode de MC était très importante pour les différentes simulations exigées pour le projet de Manhattan, à l'époque la simulation était fortement limitée par les outils informatiques. Cependant, ce n'est qu'après l'invention des ordinateurs électroniques (1945), que la simulation Monte Carlo a commencé à être bien étudiée.

Les méthodes modernes de simulation ont par ailleurs bénéficié du travail effectué par Van Neumann, Ulam et Fermi dans les années 40, lors de leurs travaux sur le développement de la bombe atomique (résoudre certains problèmes de design d'écrans

---

<sup>38</sup> Bemoussa Siabdelkader R., (2004), « Value At Risk Comme Mesure De Risque Financier », Université du Québec à Montréal, 152 pages

anti-rayonnement) pendant la deuxième guerre mondiale. Elle est coûteuse expérimentalement et difficile à résoudre analytiquement<sup>39</sup>.

Ces chercheurs ont en effet simulé le comportement d'un écran anti-rayonnements à l'aide de variables stochastiques et de la génération de nombres aléatoires pour donner une valeur à ces variables, et ceci pour pallier à la difficulté de résolution d'une expression mathématique décrivant un tel système. Cette technique est depuis connue sous le nom de MC.

Les méthodes de Monte Carlo tirent leur nom du fait qu'elles font appel à des nombres aléatoires pour résoudre un problème, et leur développement systématique date de 1944 (notons que des expériences antérieures à cette année avaient déjà fait appel aux nombres aléatoires pour la résolution de certaines problèmes).

Ce sont des méthodes de nature statistique, et elles constituent un outil mathématique très général, dont le champ d'application est très vaste; les problèmes résolus sont, entre autres : intégration d'équation différentielle, inversion de matrice, transport de particules (tels que neutrons, électrons, photons), mécanique des fluides, mathématiques financières...

Pour chaque application, ou suivant la nature du problème envisagé, la méthode de MC employée a ses propres caractéristiques ; le seul point commun entre elles est l'utilisation de nombres aléatoires pour décrire le caractère stochastique des phénomènes ou pour résoudre des problèmes plus complexes, ne pouvant être traités directement de manière efficace (par exemple, intégration d'équation différentielle avec des conditions aux limites non-homogènes).

Les résultats obtenus par une méthode MC sont exacts au sens statistique, c'est à dire qu'ils présentent une certaine incertitude qui diminue avec l'augmentation de la taille des échantillons considérés<sup>40</sup>.

Pour la première fois, La simulation a été utilisée en 1950 dans la planification stratégique au niveau militaire. Elle n'a gagné sa popularité dans les domaines manufacturiers et de services qu'au début des années quatre-vingt. Pour plusieurs compagnies, la simulation est devenue une pratique standard lorsqu'une nouvelle usine est à implantée ou un changement de procédé nécessite d'être évalué. Les études indiquent que la simulation se classe au premier rang devant les techniques de

---

<sup>39</sup> Gharbi A., (2005), « Cours Modélisation et simulation de systèmes de production ». Ecole Technique Supérieure, pages 1-3

<sup>40</sup> Banse F. et ali., (1999), « Parallélisation d'une méthode de Monte Carlo pour la simulation de composants semi-conducteurs », Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille (LIFL), pages 2-3

recherche opérationnelle et de sciences de gestion en termes de popularité et d'utilité (Shannon 1980).

En 1955, Metropolis, W. Rosenbluth, N. Rosenbluth et H. Teller du Laboratoire scientifique de Los Alamos, New Mexico et Edward TELLER du Département des sciences Physiques de l'Université de Chicago, Illinois ont développé une méthode générale, appropriée aux machines à calculer rapides, capable d'étudier des propriétés telles que des équations d'état pour des substances se composant de différentes molécules agissant l'un sur l'autre et dans le but du développement de la bombe nucléaire juste après la deuxième guerre mondiale. La méthode se compose de l'intégration modifiée de la simulation de MC au-dessus de l'espace de configuration. Le résultat pour le système bidimensionnel de sphère rigide ont été obtenus dans le laboratoire de Los Alamos et ont été présentés ici. Ces résultats sont comparés à l'équation d'état de volume libre et à une expansion du coefficient des quatre limites<sup>41</sup>.

A l'époque, seuls *Rand Corporation* et *l'Armée de l'Air des ETATS-UNIS* étaient les principaux organismes responsables de diffuser les informations sur des méthodes de MC.

La simulation utilise souvent les programmes informatiques pour imiter les événements causals et les actions conséquentes dans le système. Les statistiques sont accumulées durant la période de simulation pour évaluer les mesures d'intérêts qui sont résumées et rapportées à la fin de l'exécution du programme de simulation. Banks et Carson (1984) mentionnent que "la simulation implique la génération d'une histoire artificielle du système, et l'observation d'une histoire pareille pour connaître les caractéristiques opératoires du système réel".

Parmi les principaux avantages de la simulation, on note ceux mentionnés par Schmidt et Taylor (1970) et Shannon (1975) :

- Une fois le modèle construit, il peut être utilisé à plusieurs reprises pour analyser les designs et les politiques proposées.
- La simulation peut être utilisée même si les données considérées sont en quelque sorte superficielle et sommaire.

---

<sup>41</sup> Metropolis N. et ali., (1953), « Equation of state Calculations by Fast Computing Machines », *The Journal of Chemical physics*, Los Alamos Scientific Laboratory, 6 pages

- L'analyse par simulation est souvent moins coûteuse que celle du système réel puisque ce dernier n'est pas affecté par les différentes expérimentations entreprises en simulation.
- La simulation est souvent plus facile à appliquer que les modèles et les méthodes analytiques.
- Alors que les modèles analytiques requièrent souvent des hypothèses simplificatrices pour que le problème soit traitable, la simulation n'admet aucune restriction de ce genre.
- La simulation permet d'avoir un aperçu des variables les plus importantes sur la performance d'un système ainsi que les interactions entre elles.

L'application des simulations de Monte Carlo pour évaluer des options (et autres titres conditionnels) est attribuable à Boyle (1977). Il a comparé les valeurs (espérées) d'options obtenues par l'application de cette version «de base» de la méthode de MC; il a trouvé qu'elles ne sont pas très différentes de celles obtenues par d'autres modèles d'évaluation plus exacts<sup>42</sup>.

Depuis cette période, la simulation de MC n'a pas cessé de gagner en popularité comme méthode de calcul de prix d'options de plus en plus sophistiquées et comme instrument de gestion de risque. Elle se caractérise par sa très grande souplesse et par sa capacité de traiter un problème en plusieurs dimensions.

Le calcul du prix d'une option revient à la solution d'une équation différentielle. Mais comme la stipule le théorème de Feynman - Kac, une équation différentielle peut être représentée par une espérance mathématique. Or qui dit espérance mathématique dit intégrale. Et c'est justement l'un des objectifs de la simulation MC que d'estimer une intégrale. C'est pour ça qu'on trouve une relation directe et étroite entre les prix des produits dérivés et la simulation de MC.

L'introduction des nombres quasi-aléatoires dans la simulation MC vise à éviter que les nombres aléatoires générés ne se présentent en grappes, c'est-à-dire en séries de nombres rapprochés les uns des autres, ce qui nuit à l'efficacité de la simulation Monte Carlo<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> Nabil Khoury et ali., Op. Cit. page 40, pages 4-74 et 4-75

<sup>43</sup> Racicot F. et ali., (2006), « La Simulation Monte Carlo: Forces & Faiblesses », Cahier de recherche, 20 pages.

La séquence de Fauré<sup>44</sup> qui convertit des nombres à base 10 en nombres à base 2 et le programme de Visual Basic qui génère la séquence de Fauré de Jackson et Staunton (2001) ont été la base de ce modèle. Il faut noter que la séquence de nombres de Fauré, comme celle des autres catégories de séquences de nombres pseudo-aléatoires est complètement déterministe.

La simulation MC d'une option qui fait appel aux nombres de Fauré donnera toujours les mêmes résultats. C'est pourquoi on parle dans ce cas de « **Quasi Monte Carlo** » (QMC).

Les études faites par Hendricks (1996) et par Jordan et McKay (1997) ont montré que le choix entre les méthodes est tributaire de plusieurs éléments. Ils ont trouvé que pour évaluer un portefeuille linéaire et un horizon de temps court, la méthode de la matrice de variance covariance s'applique le mieux, vu qu'elle est facile à utiliser. Par contre, si le portefeuille à optimiser est non linéaire et si l'horizon de temps est relativement grand, les méthodes de simulations seraient plus appropriées, particulièrement la méthode de simulation de MC.

Pritsker (1997) a examiné le choix entre la rapidité de réalisation et la précision de l'estimation obtenue pour un portefeuille d'options. En comparant différentes méthodes paramétriques et de simulation de MC, l'auteur invoque la facilité associée aux méthodes analytiques, mais aussi le degré de précision atteint par la méthode de simulation de MC.

Selon Esch et al. (1997), la simulation MC, prônée entre autres groupes bancaires Bankers trust, est une méthode statistique utilisée lorsqu'il est difficile de déterminer une loi de probabilité uniquement par un raisonnement mathématique.

Coronado (2000) compare aussi la méthode analytique avec celle des simulations de MC pour un portefeuille d'options (non linéaire). Elle conclut quant à la supériorité empirique de la méthode de simulation de MC, expliquant qu'elle ne s'avère pas aussi lente que considérée. Cette notion est essentiellement un générateur de nombres aléatoires, c'est à dire qu'elle consiste à projeter un grand nombre de valeurs futures pour un actif à partir de leurs observations dans le passé. En tenant compte de l'estimation de la volatilité ainsi que de la structure de corrélation sous-jacente et en générant un minimum de 10000 scénarios pour le temps  $t+1$ . La simulation de MC permet d'établir la valeur d'un portefeuille et ainsi construire une distribution de probabilité dont celle-ci est

---

<sup>44</sup> On consultera le site de Mathworld pour la notion de base, <http://mathworld.wolfram.com>



connue. Afin d'obtenir une plus grande précision, les gestionnaires peuvent utiliser un nombre supérieur de scénarios, au moins 10000 scénarios selon Alexander.

Cette technique peut être utilisée aussi bien dans le cas d'un actif isolé avec un seul facteur de risque que d'un actif isolé avec plusieurs facteurs de risque. Dans le dernier cas, il faut respecter la matrice variances covariances associée aux facteurs de risque. Ceci est rendu possible grâce à la décomposition de Choleski<sup>45</sup>.

### **3.2 Modèle opérationnel pour la simulation de Monte Carlo**

Esch et al. (1997) et Hull (2000) présentent les étapes à suivre pour réaliser une simulation MC, celles-ci se résumant en cinq étapes fondamentales :

- Faire le choix d'une famille de modèles d'évaluation pour les différents facteurs de risque, pour l'évaluation des projets ou pour les actifs en portefeuille. Il peut s'agir tout simplement de la loi normale, lognormale ou de lois plu complexes surtout pour les produits dérivés. D'une manière générale, il peut s'agir de n'importe quelle distribution ajustée à partir des observations historiques.

- En basant sur les observations historiques des mouvements des actifs et des facteurs de risque qui nous concernent, nous pourrions estimer :

- La distribution des différents facteurs de risque, ainsi que les paramètres qui leurs sont associés (moyenne et matrice variances-covariances),

- Les paramètres des relations liant les prix à leurs facteurs de risque (généralement des processus stochastiques dont le cas est détaillé dans la prochaine section). Ce sont des estimations réalisées généralement par des techniques de régression.

- Pour l'ensemble des facteurs de risque, l'utilisation conjointe des modèles probabilistes et les paramètres de distribution déterminés permettent de construire, à partir de la simulation de MC, un grand nombre M (10000) d'échantillon pseudo-aleatoires extraits de chacune des distributions des variations des facteurs de risque prises en considération. Il s'agit là d'autant de scénarios d'évaluation des prix. Il est à noter que ces simulations doivent être réalisées à partir des paramètres décrivant chaque facteur de risque individuellement, sans pour autant négliger les corrélations liant ces facteurs les uns aux autres.

---

<sup>45</sup> Plus de détail sur la décomposition de Choleski, voir annexe 1 p.244 de l'ouvrage d'Esch, L.Kieffer, R. et Lopez, T. (1997), Value at Risk : Vers un Risk Management Moderne, DeBoeck Université, Bruxelles.

1) Les résultats générés par ces simulations sont ensuite introduits dans les relations de comportement des actifs en fonction des facteurs communs de risque. Ces relations peuvent être très simples ou beaucoup plus complexes.

2) Cette dernière étape consiste en la confrontation entre la valeur simulée et la valeur actuelle d'un projet ou d'un portefeuille MC.

La simulation de MC est un outil simple et flexible mais exigeant sur le plan numérique. Car selon Geske et Shastri (1985), au moment où l'erreur de la simulation diminue de 70%, le coût du calcul passe au double. Cependant, elle permet d'une manière générale de générer des valeurs de variables aléatoires dont la loi de probabilité est connue.

Son processus peut être résumé ainsi :

- **Etape 1** : déterminer le processus stochastique qui décrit le comportement, dans le temps, de la valeur de l'actif à modéliser.
- **Etape 2** : fixer les paramètres du processus (le trend, la volatilité, l'incrément de temps (dt) et le nombre de pas) et générer des variables aléatoires qui suivent une distribution normale.
- **Etape 3** : simuler plusieurs fois la valeur de l'actif afin de générer une distribution et calculer les indicateurs essentiels pour l'analyse.

## Chapitre II : La méthodologie

### 1) Estimation de la distribution de probabilité de la VAN

Lorsqu'elle est possible, l'estimation d'une distribution de probabilité de la VAN est un apport fort utile dans l'évaluation des investissements. En effet, une distribution de probabilité donne des informations importantes : elle nous donne des informations centrales de la VAN, espérance mathématique et variance ; elle permet aussi d'apprécier la probabilité que la VAN soit positive.

L'élaboration d'une distribution de probabilité de la VAN suppose, un univers probabilisable et la définition des fonctions de distribution de probabilité des flux financiers d'un projet d'investissement donné.

#### 1.1 Principes et règles d'estimation

Selon Mourgues (1995)<sup>46</sup>, les valeurs centrales de la distribution de probabilité de la VAN d'un projet se déterminent à partir des valeurs centrales des distributions de flux de liquidités du projet.

Le mode d'estimation de la variance nécessite aussi que soit explicitée la relation entre les flux de liquidités relatifs aux différentes périodes.

Soit  $F_0, F_1, \dots, F_t, \dots, F_n$  l'ensemble des flux de liquidités au cours des périodes  $t = 0, 1, 2, \dots, n$  et soit  $i$  le taux d'actualisation. Chacune de ces variables est définie selon une loi normale ayant une espérance  $E(F_t)$  et une variance  $\text{var}(F_t)$ . Etant donné les différentes valeurs des flux de liquidités  $F_t$ , la VAN du projet peut prendre un ensemble de valeurs VAN ; l'ensemble de ces valeurs appartient à une distribution normale d'espérance  $E(VAN)$  et de la variance  $\text{var}(VAN)$ .

Connaissant les distributions des flux de liquidités, l'évaluation de l'espérance de la VAN est donnée, quelle que soit la relation entre les flux des différentes périodes, par l'expression suivante :

$$E(VAN) = \sum_{t=0}^n E \left[ \frac{F_t}{(1+i)^t} \right] = \sum_{t=0}^n \frac{E(F_t)}{(1+i)^t}$$

---

<sup>46</sup> Mourgues N., (1995), « L'évaluation des investissements », *Economica*, pages 51-66

L'espérance mathématique d'une variable aléatoire, qui correspond à la somme d'un ensemble de variables aléatoires, est toujours égale à la somme des espérances mathématiques de chacune des variables qui la compose ; cette relation est valable que les variables aléatoires indépendantes ou non entre elles. Ainsi, l'espérance de la VAN d'un projet est égale à la somme des espérances mathématiques des différents flux financiers.

L'évaluation de la variance de la VAN est plus complexe. En pratique, elle peut se révéler difficile à réaliser si les éléments d'informations nécessaires ne peuvent être réunis avec une fiabilité suffisante. La variance d'une variable, la somme d'un ensemble de variables aléatoires normales, dépend de la relation existante entre les flux les différentes périodes. On distingue trois relations types entre les variables qui déterminent la VAN :

Le cas où les flux sont indépendants (coefficient de corrélation entre les variables égal à 0), celui où les flux sont parfaitement corrélés (coefficient de corrélation égal à 1) et le cas intermédiaire pour lequel les flux sont imparfaitement corrélés (coefficient de corrélation compris entre 0 et 1).

### *1.1.1 Les flux financiers sont indépendants*

Lorsque les coefficients de corrélation entre les variables sont nuls, la valeur que prennent les flux financiers à la période t est indépendante de celle prise par les flux à la période (t-1) et cela quelque soit t. Dans ce cas, la variance de la VAN est donnée par l'expression suivante<sup>47</sup> :

$$Var (VAN ) = \sum_{t=0}^n \frac{Var (F_t )}{(1 + i)^{2t}}$$

Ainsi, il suffit de connaître la variance de chacun des flux qui caractérisent le projet d'investissement pour déterminer la variance de distribution de la VAN. En conséquence, en connaissant la nature des distributions de probabilité des flux financiers d'un projet, il est possible de faire une évaluation directe des valeurs centrales de la VAN, espérance mathématique et variance, et de déterminer ainsi la fonction de distribution de probabilité de la VAN recherchée.

<sup>47</sup> Mourgues N., Op Cit., page 52, pages 51-66

### 1.1.2 Les flux financiers sont parfaitement corrélés

Si les flux de liquidités sont parfaitement corrélés, la valeur des flux à la période 1 détermine celle des périodes suivantes en supposant que le montant du capital investi en  $t=0$  soit connu avec certitude.

Dans ce deuxième cas de figure, il est également possible d'utiliser une formule donnant directement la variance de la distribution de probabilité de la VAN, connaissant celles des flux de liquidités. La formule d'estimation utilisable est la suivante<sup>48</sup> :

$$\sigma_{VAN} = \sum_{t=0}^n \frac{\sigma Ft}{(1+i)^t} \iff Var(VAN) = \frac{\left[ \sum_{t=0}^n \sigma Ft \right]^2}{(1+i)^t}$$

avec :

$$\frac{\left[ \sum_{t=0}^n \sigma Ft \right]^2}{(1+i)^t} \quad \text{Les flux parfaitement corrélés} > \sum_{t=0}^n \frac{Var(Ft)}{(1+i)^{2t}}$$

des flux indépendants.

La corrélation entre les flux de financiers a pour but d'accroître la variabilité de la distribution de la VAN. Comme dans le cas précédent, la connaissance des valeurs des distributions de probabilité permet de déterminer directement la fonction de probabilité de la VAN.

### 1.1.3 Les flux financiers sont imparfaitement corrélés

Lorsque les flux ne sont pas parfaitement corrélés entre eux, la formule générale d'évaluation de la variance de la VAN est donnée par l'expression suivante où  $cov(.)$  et  $\rho$  désignent respectivement la covariance et le coefficient de corrélation entre les flux :

<sup>48</sup> Mourgues N., Op Cit., page 52, pages 51-66

$$\begin{aligned} \text{Var} (VAN) &= \sum_{t=0}^n \frac{\text{Var} (Ft)}{(1+i)^{2t}} + 2 \sum_{t' \geq t}^n \text{cov} \frac{[Ft, Ft']}{(1+i)^t (1+i)^{t'}} \\ &= \sum_{t=0}^n \frac{\text{Var} (Ft)}{(1+i)^{2t}} + 2 \sum_{t' \geq t}^n \rho_{t,t'} \frac{[\sigma Ft, \sigma Ft']}{(1+i)^{t+t'}} \end{aligned}$$

Dans ce troisième cas de figure, la variance de la VAN prend une valeur qui est supérieure à celle obtenue dans l'hypothèse d'une indépendance des flux, mais inférieure à celle correspondant à la situation d'une corrélation parfaite. Une corrélation imparfaite entre les flux de liquidités rend, en pratique, l'estimation de la distribution de probabilité de la VAN délicate dans la mesure où il n'est pas aisé de prévoir l'intensité de la relation de dépendance entre les valeurs des flux d'une période à l'autre.

Le cas de dépendance partielle des flux est cependant celui le plus souvent observé. Afin de sauver l'intérêt de la démarche, un aménagement dans les variables permet de surmonter l'éventuelle impossibilité d'avoir une estimation pertinente des coefficients de corrélation entre les variables. Cet arrangement consiste à décomposer chacun des flux de liquidités en deux variables, ces dernières se décrivant comme des variables aléatoires distribuées de façon normale.

Soit  $X_t$  et  $Y_t$  ces deux composantes du flux  $F_t$  avec  $X_t + Y_t = F_t$ . La décomposition doit être effectuée de telle manière que les variables  $X_t$  puissent être considérées comme parfaitement indépendantes, et les variables  $Y_t$  parfaitement corrélées entre elles. Dans ces conditions, l'espérance mathématique et la variance de la VAN de l'investissement sont les suivantes<sup>49</sup> :

➤ l'espérance mathématique devient égale à la somme des espérances de flux mutuellement indépendants et des espérances de flux parfaitement corrélés :

<sup>49</sup> Mourgues N., Op. Cit., page 52, pages 51-66

$$E(VAN) = \sum_{t=0}^n \frac{E(X_t)}{(1+i)^t} + \frac{\left[ \sum_{t=0}^n E(Y_t) \right]}{(1+i)^t}$$

➤ la variance est, quant à elle, égale à la somme des variances associées aux flux indépendants et des variances correspondant aux distributions des flux parfaitement corrélées :

$$Var(VAN) = \sum_{t=0}^n \frac{Var(X_t)}{(1+i)^{2t}} + \frac{\left[ \sum_{t=0}^n (\sigma Y_t) \right]^2}{(1+i)^t}$$

Après avoir explicité les différentes relations pouvant exister entre les flux, l'étape suivante consiste à faire ressortir les variables clés qui influent sur les flux et son corollaire sur la VAN. Nous avons choisi l'étude de sensibilité comme méthode d'analyse.

## 2) Les options réelles

Dans un premier essai réalisé par Bahadi (2006), les résultats ont révélé que l'évaluation des projets d'investissement en situation d'incertitude oblige le recours à des techniques plus ou moins sophistiquées telles que l'analyse de sensibilité et des scénarios, la simulation probabiliste et les arbres de décision. Dans le même ordre d'idée, nous soulignons l'importance dans plusieurs situations d'appliquer la théorie des options réelles pour prendre des décisions d'investissements.

Dans la mesure où la dépense d'investissement est irrécupérable, par exemple parce que les actifs acquis sont spécifiques à l'entreprise acquéreuse, il s'agit bien de payer irrévocablement une somme donnée (analogue au prix d'exercice d'une option) en échange d'un actif dont la valeur peut fluctuer. Dans le cas où les flux financiers sont certains et qu'aucune option n'est incorporée dans le projet d'investissement, le calcul de la valeur actuelle ne pose pas de problème. En revanche, lorsque les flux financiers sont aléatoires et qu'une ou plusieurs options sont incorporées dans le projet, le calcul de cette

valeur actuelle présente des difficultés car il faut savoir comment valoriser ces options incorporées dans un projet déterminé<sup>50</sup>?

La théorie des options, fournit alors le fondement d'une série de modélisations, spécifiques et complexes, permettant de réaliser avec beaucoup de rigueur l'analyse du risque des décisions d'investissement.

Après une recension des écrits assez intéressante sur les options réelles, une approche méthodologique est importante afin de bien comprendre leurs origines. Avant de traiter les options réelles séparément, il est nécessaire de présenter le modèle de Black et Scholes.

Le modèle de Black et Scholes publié en 1973, constitue un prolongement des travaux réalisés par Paul Samuelson et Robert Merton. Il est de loin le modèle d'évaluation d'options le plus connu<sup>51</sup>. Nous présenterons d'abord les hypothèses du modèle de Black et Scholes, puis la dérivation de celui-ci. Nous poursuivons avec quelques exemples d'utilisation et terminerons avec la démonstration de la formule.

## **2.1 Le modèle de Black et Scholes**

### *2.1.1 Les Hypothèses du modèle de Black et Scholes*

La validité de la formule de Black et Scholes peut être démontrée rigoureusement si un certain nombre de conditions sont établies. Les conditions prévalant sur les marchés financiers correspondent assez bien à ce modèle, en particulier, en ce qui a trait à l'hypothèse centrale du modèle : le temps n'y est pas continu. Il y a donc un certain écart entre ce modèle et la réalité, qui peut devenir important quand les marchés sont agités avec de fréquentes discontinuités de cours.

Les hypothèses du modèle de Black et Scholes peuvent être résumées comme suit<sup>52</sup> :

➤ le marché des capitaux est parfait (atomicité des participants, libre circulation de l'information, homogénéité de la capacité de traitement de l'information chez les participants, pas de frais de transaction et pas de pénalité sur les ventes à découvert, etc.).

<sup>50</sup> Braouezec Y., (2003), « Les Options Réelles : Investissement, Structure du Capital et risqué de crédit », *Economica*, 174 pages.

<sup>51</sup> Black F. et ali., (1973), « The Pricing of Options and Corporate Liabilities », *Journal of Political Economy*, vol. 81, p. 637-659.

<sup>52</sup> Khoury N. et ali., *Op. Cit.*, page 40, pages 4-32



- le taux d'intérêt sans risque est unique pour les prêteurs et les emprunteurs, il est connu et il est constant dans le temps.
- il est possible de prêter et d'emprunter des sommes illimitées au taux sûr (c'est-à-dire que le marché de l'emprunt est sans frictions).
- le titre sous-jacent ne verse aucun revenu.
- le prix du titre sous-jacent est une variable aléatoire obéissant au processus de diffusion géométrique suivant :

$$\frac{dP_s}{P_s} = \mu dt + \sigma d\tilde{Z}$$

Où **P<sub>s</sub>** : prix du titre sous-jacent  
**μ** : taux de rendement espéré instantané de l'action  
**σ** : écart type instantané du rendement de l'action  
**Z̃** : variable aléatoire brownienne (ou « processus de Wiener ») dont l'espérance est nulle et la variance, unitaire.

- les options sont du type européen.
- les occasions d'arbitrage disparaissent instantanément.

## 2.2 La formule de Black et Scholes

La version du modèle présenté par Black et Scholes repose sur des hypothèses voulant que les options calculées soient de type européen et que le titre sous-jacent ne verse pas de dividende.

La formule de Black et Scholes s'exprime comme suit<sup>53</sup> :

### 2.2.1 Les options d'achat

$$P_c = [P_s * N(d_1)] - [P_e * e^{-r\tau} * N(d_2)]$$

Où

**P<sub>s</sub>** : prix actuel de l'action sous-jacente

---

<sup>53</sup> Damodaran A., Op. Cit., page 33, pages 13-16

$N(d)$  : probabilité pour qu'une variable distribuée normalement soit inférieure ou égal à la valeur  $d$ .

$P_e$  : prix de levée de l'option

$r$  : taux d'intérêt annuel sans risque (dans un contexte de capitalisation continue)

$\tau$  : temps à courir avant l'échéance de l'option (exprimé en fraction d'année)

### 2.2.2 Les options de vente

$$Pp = [Pe * e^{-r\tau} * N(-d_2)] - [Ps * N(-d_1)]$$

### 2.2.3 Calcul de $N(d)$

$N(d)$  symbolise la probabilité qu'une variable aléatoire qui suit une distribution normale prenne une valeur inférieure ou égale à  $d$ . Le calcul de  $N(d)$  demande la solution de l'intégrale de la fonction de densité normale. La solution utilisée par Black et Scholes pour résoudre cette intégrale est les approximations polynomiales de  $N(d)$ .

$$d_1 = \frac{\text{Log} \left( \frac{P_s}{P_e} \right) + \left( r + \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \tau}{\sigma \sqrt{\tau}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{\tau}$$

### 2.2.4 Estimation de la volatilité

La valeur d'une option est très sensible à la valeur du paramètre  $\sigma$ . Cela oblige d'estimer correctement ce dernier. Puisque  $\sigma$  est la volatilité instantanée du rendement du titre, il faudrait utiliser cette valeur dans la formule de Black et Scholes<sup>54</sup>.

<sup>54</sup> Khoury N. et ali., Op. Cit., page 40, page 4-41

Malheureusement, cette valeur n'est pas observable, de sorte qu'on doit s'en remettre à la volatilité historique (annualisée) pour l'estimer :

$$\underline{\sigma^2 A = \sigma^2 Q * N, \text{ d'où } \sigma A = \sigma Q * \sqrt{N}}$$

où

$\sigma^2_A$  : variance quotidienne annualisée

$\sigma^2_Q$  : variance quotidienne

$N$  : nombre d'observations quotidiennes (nombre de jours dans une année (environ 251)).

C'est la volatilité  $\sigma A$  qu'il faut utiliser dans la formule de Black et Scholes.

## **2.3 Les types d'options réelles**

### *2.3.1 Options de report ou de suivi*

L'option de reporter un projet a une valeur seulement si les conditions suivantes sont réunies :

➤ La société a des droits exclusifs sur le projet pendant une période fixe. Si elle n'a pas de droits exclusifs dans un secteur concurrentiel, le projet sera pris par un concurrent dès que ce dernier créera de la valeur. En d'autres termes, l'option sera exercée par quelqu'un d'autre dès que sa valeur actuelle devient supérieure à sa valeur de levée.

➤ Il doit y avoir des facteurs qui sont susceptibles de faire varier les flux financiers d'un projet et le varier à travers le temps. S'il n'y a aucune variance dans la valeur actuelle des flux financiers du projet, l'option n'aura aucune valeur<sup>55</sup>.

L'option de suivi s'apparente à l'option d'expansion mais elle est différente dans le sens où les investissements subséquents ou de suivi pourront être plus complexes et différents d'une simple expansion d'un projet existant. L'option de report ou de suivi possède les mêmes caractéristiques qu'une option d'achat américaine. Lorsqu'il exerce

<sup>55</sup> Théoret R., (2006), « Les options réelles », Cours Finance IV MBA 8193, Université du Québec à Montréal, 43 pages

son droit, le détenteur de cette option s'approprie la valeur actuelle nette du projet d'investissement servant de support à l'actif dérivé<sup>56</sup>.

L'option de report peut être écrite de la manière suivante :

$$Pc = [Ps * e^{-D\tau} * N(d_1)] - [Pe * e^{-r\tau} * N(d_2)]$$

Où

$P_s$  : prix actuel de l'action sous-jacente

$N(d)$  : probabilité pour qu'une variable distribuée normalement soit inférieure ou égale à la valeur  $d$

$P_e$  : prix de levée de l'option

$r$  : taux d'intérêt annuel sans risque (dans un contexte de capitalisation continue)

$\tau$  : temps à courir avant l'échéance de l'option (exprimé en fraction d'année)

$D$  : dividendes

### 2.3.2 Options de croissance

Kemna (1987) a évalué l'option de croissance comme une option d'achat européenne dont le sous-jacent est l'ensemble des flux futurs additionnels et le prix d'exercice est la dépense d'investissement supplémentaire requise pour accroître l'envergure du projet.

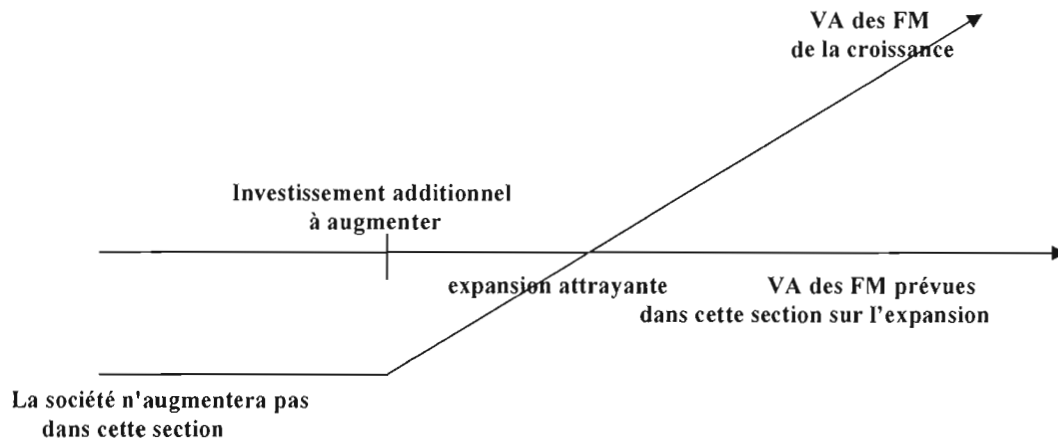
L'option de croissance d'un projet peut permettre à une firme de la considérer comme une valeur positive et donc de prendre d'autres projets qui font l'objet d'une valeur dans l'avenir.

Quoique le projet puisse avoir une VAN négative, le projet peut être intéressant à prendre si l'option fournit à la firme (pour prendre d'autres projets à l'avenir) une valeur plus que compensatrice.

Ces options sont souvent appelées "des options stratégiques" et employées comme raisonnement pour prendre les projets à VAN négative ou même les projets à retour négatif.

---

<sup>56</sup> Bellalah M., Op. Cit., page 30, pages 12-13



L'option de croissance peut être écrite de la manière suivante :

$$Pc = [Ps * N(d_1)] - [Pe * e^{-r\tau} * N(d_2)]$$

Où

$P_s$  : prix actuel de l'action sous-jacente

$N(d)$  : probabilité pour qu'une variable distribuée normalement soit inférieure ou égale à la valeur  $d$ .

$P_e$  : prix de levée de l'option

$r$  : taux d'intérêt annuel sans risque (dans un contexte de capitalisation continue)

$\tau$  : temps à courir avant l'échéance de l'option (exprimé en fraction d'année)

A l'échéance de l'option, la relation peut être écrite de la manière suivante :

$$\text{MAX}(V, \alpha V - c_{ex}) - I = \text{MAX}(V - I, \alpha V - c_{ex} - I)$$

$$\text{VAN augmentée} = (V - I) + \text{MAX}[0, (\alpha - 1)V - c_{ex}]$$

Où

$\alpha$  : ratio d'expansion ou coefficient de croissance du projet qui doit être supérieur à 1,

$C_{ex}$  : coûts d'expansion, se sont les coûts supplémentaires générés par le situation favorable.

### 2.3.3 Options d'abandon

$$Pp = \left[ P_e * e^{-r\tau} * N(-d_2) \right] - \left[ P_s * e^{-D\tau} * N(-d_1) \right]$$

L'exercice du droit conféré par l'option d'abandon permet, soit de recueillir les revenus issus d'une revente du projet, soit d'annuler les coûts associés à son maintien.

À l'échéance de l'option, on peut écrire la relation suivante :

$$\text{VAN augmentée} = \text{MAX} (V, AB) - I$$

AB : valeur d'abandon du projet.

On peut réécrire cette expression comme suit :

$$\text{VAN augmentée} = (V - I) + \text{MAX}(0, AB - V)$$

L'option d'abandon est une option de vente qui se confond avec l'option d'attente si  $AB = I$ . L'option d'abandon couvre l'investissement initial prévu pour le projet<sup>57</sup>.

### 3) Simulation de Monte Carlo

La simulation de MC vise à générer la distribution d'une variable économique ou financière. L'input de la simulation est généralement une équation différentielle stochastique discrétisée.

Dans la partie recension des écrits, on a essayé de donner une présentation littéraire à la simulation, alors qu'ici on va procéder à une étude plutôt financière de la

<sup>57</sup> Théoret R., Op Cit. page 60, pages 8-9

simulation. La version de base de ce modèle consiste à estimer la valeur actuelle d'une option en générant aléatoirement un grand nombre de valeurs finales possibles de cette option, dont on actualise ensuite la moyenne au taux sûr.

### **3.1 Étapes de la simulation Monte-Carlo**

1. Spécifier le modèle à utiliser pour évaluer l'actif sous-jacent (Soit le modèle log-normal dans le cas de l'évaluation d'une option).

2. Définir un nombre de périodes à courir avant l'échéance, et cela en divisant la période en pas :  $dt = T/N$

3. Générer des trajectoires aléatoires sur toute la période. À l'aide d'un générateur aléatoire de valeurs normales centrées réduites, on va générer des valeurs successives du cours du titre sous-jacent jusqu'à ce que soit atteinte l'échéance de l'option.

4. Dans le cas d'une option européenne, on retient le prix simulé au bout de la période qu'on utilise pour le calcul des flux financiers de l'option.

5. On calcule ensuite la moyenne (arithmétique) des flux financiers actualisés au taux sans risque de toutes les simulations effectuées  $e^{-r\tau * t} \sum \frac{CF_i}{N}$  ce qui représente la valeur de l'option estimée par la simulation.

**CF<sub>i</sub>** : Flux financiers

**N** : le nombre de simulations.

Afin de bien comprendre l'équation différentielle stochastique du prix d'une action, on va procéder à une courte digression de cette équation.

L'équation stochastique utilisée pour les besoins de la simulation MC est la suivante (appelée **Mouvement brownien géométrique**)<sup>58</sup> :

$$dSt = \mu St dt + \sigma St dZ$$

<sup>58</sup> El Ibrahim H., (2006), « Acétates laboratoire cours Finance spécialisée II », MBA Recherche, Université du Québec à Montréal

Où

$S$  : le prix de l'action;

$\mu$  : son rendement;

$dt$  : période;

$\sigma$  : écart-type du rendement de l'action

$dZ$  est un processus de Wiener d'espérance nulle et de variance  $dt$  ( $dZ = \varepsilon \sqrt{dt}$ )

avec  $\varepsilon \sim N(0,1)$  )

Pour en déduire l'équation du prix de l'action, soit  $S$ , on va diviser l'équation par  $S$  et après on va l'intégrer de  $0$  à  $t$ <sup>59</sup> :

$$\int_0^t = \frac{dSu}{Su} + \int_0^t r du + \int_0^t \sigma dZ$$

La première intégrale est une intégrale de Riemann standard égale à  $rt$  et la seconde intégrale contient un terme aléatoire  $dZ$  mais son coefficient est constant dans le temps. Cette intégrale peut donc se calculer de la façon suivante :  $\sigma(Z_t - Z_0) =$

$\sigma Z_t$  puisque  $Z_0 = 0$ . Par conséquent,

$$\int_0^t = \frac{dSu}{Su} + \int_0^t rt + \int_0^t \sigma dZ$$

Toute solution de cette intégrale stochastique en termes de  $S_t$  doit évidemment satisfaire cette intégrale. En particulier, l'une des solutions est la suivante :

$$S_t = S_0 e^{((r - \frac{1}{2}\sigma^2)t + \sigma Z_t)}$$

<sup>59</sup> Théoret R. et ali., (2004), « Le Calcul Numérique en Finance Empirique et Quantitative », Presses de l'Université du Québec, 794 pages



Cette solution est fonction des paramètres  $\sigma$ ,  $r$  et  $Z_t$ . On peut vérifier l'exactitude de cette solution en différenciant cette dernière équation par le biais du lemme d'Ito. L'introduction de ce lemme est très importante en calcul stochastique.

### 3.1.1 Développement du lemme d'Ito<sup>60</sup>

En fait, les termes  $a$  et  $b$  ne sont pas constants.

Soit  $X$  une variable aléatoire qui suit un processus d'Ito :

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)dz$$

$a$  est stochastique puisqu'il dépend de la variable aléatoire  $X$ . Supposons maintenant que

$X$  soit une variable aléatoire suivant un processus d'Ito

En temps continu :  $dx = a(x, t)dt + b(x, t)dz$  avec  $dz = \varepsilon \sqrt{dt}$

Soit  $G$  une fonction de  $X$  et de  $t$

L'approximation de Taylor correspondante est :

$$\Delta G = \left( \frac{\partial G}{\partial X} \right) \Delta X + \left( \frac{\partial G}{\partial t} \right) \Delta t + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial^2 G}{\partial X^2} \right) \Delta X^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 G}{\partial X \partial t} \right) \Delta X \Delta t + \left( \frac{\partial^2 G}{\partial t^2} \right) \Delta t^2 \right]$$

Les deux derniers termes (**Puissances supérieures de  $\Delta t$** ) peuvent être négligés :

$$\Delta G \approx \left( \frac{\partial G}{\partial X} \right) \Delta X + \left( \frac{\partial G}{\partial t} \right) \Delta t + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 G}{\partial X^2} \right) \Delta X^2$$

**Le lemme d'Ito exprimé en discret:**

$$\Delta X = a \Delta t + b \Delta Z \quad (a \text{ et } b \text{ fonctions de } x \text{ et de } t)$$

<sup>60</sup> El Ibrahimi H., Op. Cit., page 63.

En élevant cette expression au carré, on obtient:

$$\begin{aligned}\Delta X^2 &= a^2 \Delta t^2 + b^2 \Delta Z^2 + 2a\Delta t b \Delta Z \\ &= b^2 \varepsilon^2 \Delta t + a^2 \Delta t^2 + 2b \varepsilon \Delta t^{3/2}\end{aligned}$$

$$\varepsilon^2 \Delta t = \Delta Z^2$$

Les termes déterministes en  $\Delta t$  d'ordre  $> 1$  vont disparaître mais le terme d'ordre 1 ne peut être ignoré car il comprend une composante stochastique.

$$\text{Quand } \Delta t \rightarrow 0, \Delta Z^2 \rightarrow \Delta t \quad \text{et } \Delta X^2 \rightarrow b^2 \Delta t$$

La série de Taylor devient :

$$\Delta G = \left( \frac{\partial G}{\partial X} \right) \Delta X + \left( \frac{\partial G}{\partial t} \right) \Delta t + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 G}{\partial X^2} \right) b^2 \Delta t$$

Soit en continu:

$$dG = \left( \frac{\partial G}{\partial X} \right) dX + \left( \frac{\partial G}{\partial t} \right) dt + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 G}{\partial X^2} \right) b^2 dt$$

### *Chapitre III : Analyse du Projet*

Avant de rentrer dans les détails de cette partie du travail portant sur l'analyse et la présentation des résultats de recherche, nous avons jugé nécessaire de rappeler le cadre opératoire de notre étude. Comme nous l'avions mentionné dans les précédents chapitres en ce qui concerne le projet de numérisation des dossiers patients, il s'agit d'une extension des travaux de recherche débutés par Bahadi (2006)<sup>61</sup>.

Ces travaux avaient pour objectif de faire une étude de rentabilité financière du projet, du point de vue du centre hospitalier de l'université de Sherbrooke afin d'amener les gestionnaires de cette institution à prendre une décision éclairée. Dans cette optique, le chercheur avait procédé par une analyse de différents scénarios possibles et les évaluations par simulation comme c'est le cas dans toute démarche scientifique de base en ce qui a trait à l'analyse de projet et au choix des investissements. Le but étant d'évaluer le degré de risque prévisionnel et de déterminer les composantes les plus importantes de réussite ou d'échec au projet. Les modèles utilisés par ce dernier furent le modèle d'analyse de sensibilité et la simulation MC en comparant par la suite les résultats réalisés pour les deux tests afin d'arriver à un choix justifié.

Voici les tableaux comportant les différentes valeurs et variables qui ont été utilisées dans Bahadi (2006) pour l'évaluation de chaque scénario :

Synthèse de scénarios	Scénario 1			
	Valeur actuelle	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
Nombre d'heures	27.019	27.019	31.072	22.966
Taux horaire	16,12	16,12	18,54	13,70
Nombre heure actuel	75.090	75.090	63.827	86.354
<b>Valeur actuelle nette</b>				
VAN (\$)	3.010.081	3.010.081	2.271.955	3.723.851

<sup>61</sup> Bahadi A... Op. Cit., page 9, page 27

<b>Synthèse de scénario</b>		<b>Scénario 2</b>		
	Valeur actuelle	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
Nombre d'heures	97.519	97.519	112.147	82.891
Taux horaire	16,12	16,12	18,54	13,70
Nombre heure actuel	75.090	75.090	63.827	86.354
<b>Valeur actuelle nette</b>				
VAN (\$)	-343.839	-343.841	-1 788 301	1 012 875

<b>Synthèse de scénario</b>		<b>Scénario 3</b>		
	Valeur actuelle	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
Nombre d'heures	56 102	56 102	64 517	47 687
Taux horaire	16,12	16,12	18,54	13,70
Coût unitaire	0,10	0,100	0,115	0,085
Nombre heure actuel	75 090	75 090	63 827	86 354
<b>Valeur actuelle nette</b>				
VAN (\$)	-134 444	-134 444	-1 429 827	1 110 471

<b>Synthèse de scénario</b>		<b>Scénario 4</b>		
	Valeur actuelle	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
Nb d'heures	41 694	41 694	47 948	35 440
Taux horaire	16,12	16,12	18,54	13,70
Coût unitaire	0,10	0,100	0,115	0,085
Nombre heure actuel	75 090	75 090	63 827	86 354
<b>Valeur actuelle nette</b>				
VAN (\$)	88 369	88 369	-1 075 016	1 214 253

<b>Synthèse de scénario</b>		<b>Scénario 5</b>		
	Valeur actuelle	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
Nombre d'heures	43 495	43 495	50 019	36 971
Taux horaire	16,12	16,12	18,54	13,70
Coût unitaire	0,10	0,100	0,115	0,085
Nombre heure actuel	75 090	75 090	63 827	86 354
VAN (\$)	-8 361 656	-8 361 656	-11 750 788	-5 011 568

Comme nous pouvons le voir, les variables utilisées sont sensiblement les mêmes pour chaque scénario. Seules, les valeurs ayant servi au calcul de la VAN diffèrent d'un scénario à un autre. Trois hypothèses ont été dégagées selon chaque scénario: une hypothèse de base, une hypothèse pessimiste et une hypothèse optimiste. Tous ces résultats ont été représentés sous forme de tableau synthétique et graphique afin de faciliter la comparaison des différentes VAN et l'interprétation des résultats comme suit :

*Synthèse des VAN des différents scénarios*

	<b>Scénario 1</b>	<b>Scénario 2</b>	<b>Scénario 3</b>	<b>Scénario 4</b>	<b>Scénario 5</b>
<b>Scénario de base</b>	<b>3 010 081</b>	<b>-343 841</b>	<b>-134 444</b>	<b>88 369</b>	<b>-8 361 656</b>
<b>Scénario pessimiste</b>	<b>2 271 955</b>	<b>-1 788 301</b>	<b>-1 429 827</b>	<b>-1 075 016</b>	<b>-11 750 788</b>
<b>Scénario optimiste</b>	<b>3 723 851</b>	<b>1 012 875</b>	<b>1 110 471</b>	<b>1 214 253</b>	<b>-5 011 568</b>

Après analyse des résultats du tableau et du graphique, il est évident que le scénario 1 semblait le plus plausible et le plus rentable car il dégagait une VAN avoisinant **3 005 473 \$** avec un investissement initial de **1 080 000 \$**. Ce scénario n'impliquait ni prénormatisation (numérisation des dossiers archivés), ni numérisation des dossiers antérieurs réadmis<sup>62</sup>, seule la numérisation des dossiers actifs (ou nouveaux) étant considérée. Le deuxième scénario qui engendre aussi une VAN positive est le scénario 4, la VAN du scénario 4 est de **88 369 \$**. Suite à ces résultats, même si le scénario 1 est le plus rentable, les gestionnaires du CHUS avaient préféré opter pour le scénario 4. Dans le but de rendre ce scénario plus proche de la réalité, les gestionnaires du centre hospitalier ont procédé à une modification et une amélioration des données financières. Suite à ce choix, de nouvelles données avaient été produites et soumises à notre étude.

Le travail consiste à faire une analyse financière post-mortem du scénario 4 pour le projet de numérisation des dossiers patients, un projet qui rentre dans le cadre d'évaluation des projets d'investissements dans le domaine de la santé.

Notre démarche pour arriver à notre fin est non seulement basée sur l'évaluation par simulation et l'analyse de sensibilité, pour voir comment la VAN varie en fonction de la modification de certaines variables mais surtout, notre démarche

<sup>62</sup> Bahadi A., Op. Cit., page 9, page 61.

scientifique va plus loin en intégrant le modèle des options réelles à l'étude de ces deux projets relevant du secteur de la santé. L'objectif de cette démarche est d'intégrer dans notre analyse, la possibilité que les dirigeants puissent prendre de nouvelles mesures dans l'avenir en ce qui a trait au projet d'investissement. En réalité, selon ce qui peut se passer dans l'avenir, les investisseurs peuvent parfois faire face à un éventail de choix de gestion et ont toujours la possibilité de modifier le projet. La partie qui suit présente et analyse les résultats de notre recherche.

## 1) Analyse des résultats

### 1.1 Projet de numérisation des dossiers patients (Analyse post-motem du Scénario 4)

Le scénario 4 à la différence des autres scénarios est basé sur la Prénumérisation des dossiers archivés des deux dernières années et la numérisation des dossiers actifs et les nouveaux dossiers admis au centre hospitalier.

Le tableau qui suit donne une idée sur du nombre de dossiers à pré numériser et à numériser.

*Tableau du nombre des dossiers à prénumériser et à numériser*

	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Documents à prénumériser	14.149.877	0,00	0,00	0,00	0,00
Documents à numériser	4.457.457	4.600.242	4.655.475	4.711.392	4.767.993

#### Distinction entre les deux approches :

**Les coûts de numérisation et prénumérisation des dossiers** représentent les frais nécessaires à l'implantation du scénario 4 dudit projet (les frais de la main d'œuvre nécessaires à la numérisation et la prénumérisation des dossiers patients, les frais d'entretien du système, etc).

	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Nombre d'heures pour la numérisation	75.399	63.561,96	63.071,90	63.297,88	63.529,96
Taux horaire 15,640\$ avec progression de 2%	15,95	16,27	16,60	16,93	17,27
Coût des heures nécessaire pour la numérisation	1.202.825,17	1.034.271,06	1.046.822,80	1.071.584,91	1.097.024,10
Taux du bénéfice marginal	0,00	27,68%	27,68%	27,68%	27,68%
Bénéfices marginaux	0,00	286.286,23	289.760,55	296.614,70	303.656,27
Coût total en ressource humaines pour la numérisation	1.202.825,17	1.320.557,29	1.336.583,36	1.368.199,61	1.400.680,37
Nombre de documents à prénumériser	14.149.877	0,00	0,00	0,00	0,00
Coût de prénumérisation par document	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Coût total de prénumérisation	707.493,85	0,00	0,00	0,00	0,00
Entretien du système	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000
Coût total de prénumérisation et de numérisation	2.003.319,02	1.413.557,29	1.429.583,36	1.461.199,61	1.493.680,37

**Les coûts d'archivage** englobent les différents frais pris en charge par le centre hospitalier pour gérer ses dossiers patients via le système d'archivage (le salaire actuel, coûts d'archivage, les coûts d'entreposage, etc). Ces coûts nous permettent de déterminer les économies que le centre hospitalier peut dégager suite à l'abandon du présent système d'archivage et son remplacement avec le projet de numérisation des dossiers patients.

	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Nombre d'heures de travail actuelles	71.345	71.345	71.345	71.345	71.345
Taux horaire 16,12\$ avec progression de 2%	15,95	16,52	16,85	17,19	17,53
Coût des heures travail actuelles	1.178.833,44	1.202.410,10	1.226.458,31	1.250.987,47	1.276.007,22
Taux du bénéfice marginal	27,68%	27,68%	27,68%	27,68%	27,68%
Bénéfices marginaux	326.301,09	332.827,12	339.483,66	346.273,33	353.198,80
Coût d'archivage en ressources humaines	1.202.825,17	1.505.134,53	1.535.237,22	1.565.941,96	1.597.260,80
Fournitures archives	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Coût d'entreposage	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000
Coût global d'archivage	1.540.134,53	1.570.237,22	1.600.941,96	1.632.260,80	1.664.206,02



Détermination des flux financiers :

Tableau des économies potentielles Scénario #4

	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Coût global d'archivage	1.540.135	1.570.237	1.600.942	1.632.261	1.664.206
Coût global de numériser et prénumériser	2.003.319	1.413.557	1.429.583	1.461.200	1.493.680
Économies potentielles	-463.184	156.680	171.359	171.061	170.526

	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Economies potentielles	-463.184	156.680	171.359	171.061	170.526
Taux d'actualisation	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Economies actualisées à 3%	-449.694	147.686	156.817	151.986	147.097

Les flux financiers représentent les économies nettes c'est à dire la différence entre les coûts relatifs à l'archivage des dossiers patients et les frais de la numérisation et de prénumérisation des dossiers patients. Ces différentes économies sont engendrées par la désinstallation du système existant et l'implantation du nouveau projet.

Calcul de la VAN

Coûts de Financement	2.468.221,00 \$
Somme des économies à 3%	153.892,16 \$
<b>VAN à 3%</b>	<b>-2.314.329 \$</b>

La somme des flux financiers actualisés à un taux de 3% s'élèvent à **153.892,16 \$** alors que l'investissement initial est à la hauteur de **2.468.221 \$**, ce qui donne une VAN de **-2.314.329 \$**. La valeur de la VAN classique ne nous indique pas seulement que le projet génère une valeur négative mais aussi que le scénario 4 est devenu moins rentable voir pas rentable du tout. La nouvelle VAN ne s'est pas améliorée par rapport au scénario initial évalué dans Bahadi (2006) qui s'élevait à

88.369 \$, ce qui explique que les nouvelles conditions financières sont défavorables à l'implantation du scénario 4 du projet de numérisation des dossiers patients.

### Analyse de sensibilité de la VAN

L'analyse de la sensibilité consiste à procéder à une analyse bien détaillée de la VAN par rapport aux différentes variables constituant les coûts et les charges de l'investissement. On va construire un modèle qui permet d'établir les relations entre les objectifs tracés pour le projet et les différentes variables. Afin de bien mener cette évaluation, différentes étapes interviennent dans ce processus :

- Sélection des variables à fort impact;
- L'évaluation des variations possibles de variables détectées;
- Calcul des effets de ces variations par rapport aux objectifs établis.

Pour analyser la sensibilité de la VAN du scénario 4, on va utiliser les quatre variables suivantes (nombre d'heures nécessaires à la numérisation, taux horaire, frais d'entretien du système informatique et nombre d'heures de travail actuel).

*La sensibilité de la VAN par la variation d'une seule variable en gardant les autres constantes*

*Nombre d'heures*

% variation du		VAN (\$)
coût unitaire	Nombre d'heures	-2.314.329
-15,00%	64.089	-2.139.160
-10,00%	67.859	-2.197.550
0,00%	75.399	-2.314.329
10,00%	82.939	-2.431.108
15,00%	86.709	-2.489.498

*Taux horaire*

% variation du		VAN (\$)
coût unitaire	Taux horaire	-2.314.329
-15,00%	13,56	-1.967.180
-10,00%	14,36	-2.082.896
0,00%	15,95	-2.314.329
10,00%	17,55	-2.545.762
15,00%	18,35	-2.661.478

*Entretien système*

% variation du		VAN (\$)
coût unitaire	Entretien système	-2.314.329
-15,00%	79.050	-2.250.442
-10,00%	83.700	-2.271.738
0,00%	93.000	-2.314.329
10,00%	102.300	-2.356.920
15,00%	106.950	-2.378.216

*Nombre d'heures actuelles*

% variation du		VAN (\$)
coût unitaire	Nombre d'heures actuelles	-2.314.329
-15,00%	60.643	-3.389.250
-10,00%	64.211	-3.030.876
0,00%	71.345	-2.314.329
10,00%	78.480	-1.597.681
15,00%	82.047	-1.239.407

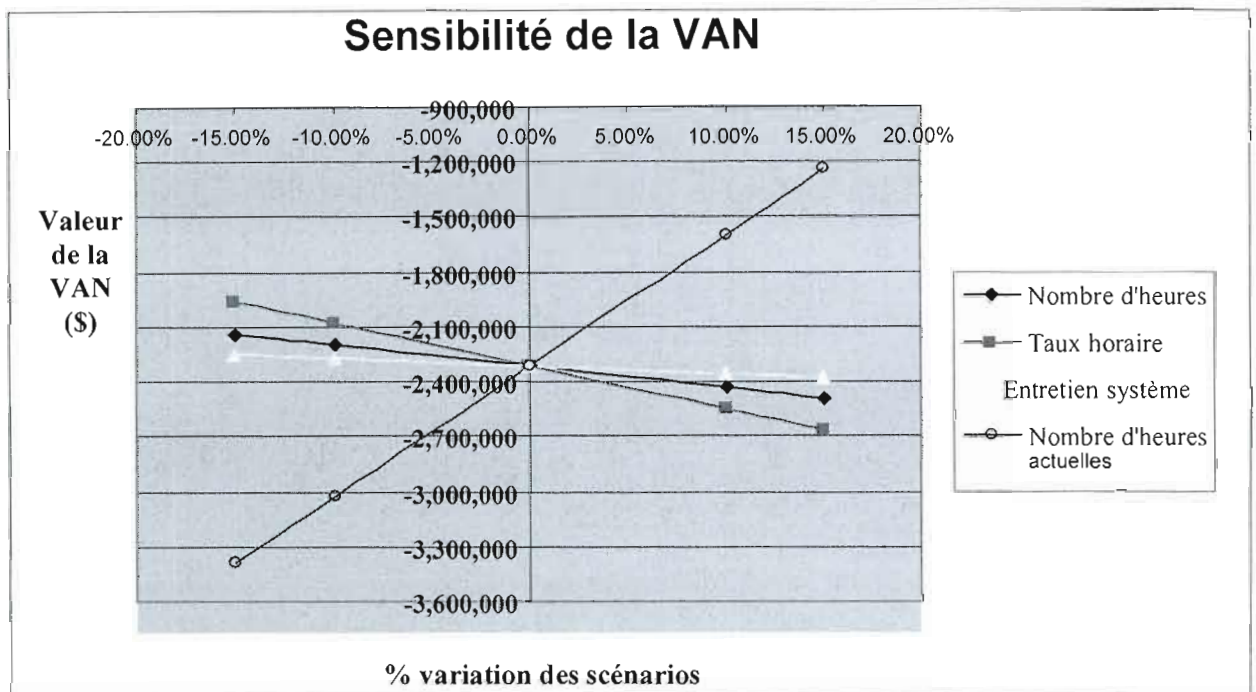
À partir du scénario de base, les différentes variables ont variés selon deux scénarios : un scénario pessimiste (+10% et +15%) et un scénario optimiste (-10% et -15%). Les tableaux ci-dessus nous donnent une idée sur les résultats d'analyse de sensibilité trouvés à partir de la variation d'une variable tout en gardant les autres constantes.

Afin d'avoir une image claire et précise sur les résultats de cette analyse, on va présenter les résultats dans un tableau récapitulatif et ensuite sous forme d'un graphe.

*Tableau récapitulatif de la variation de la sensibilité de la VAN*

% variation du	La VAN selon les variations			
	Nombre d'heures	Taux horaire	Entretien système	Nombre heures actuelles
cas de base				
-15,00%	-2.139.160	-1.967.180	-2.250.442	-3.389.250
-10,00%	-2.197.550	-2.082.896	-2.271.738	-3.030.876
0,00%	-2.314.329	-2.314.329	-2.314.329	-2.314.329
10,00%	-2.431.108	-2.545.762	-2.356.920	-1.597.681
15,00%	-2.489.498	-2.661.478	-2.378.216	-1.239.407

Graphe de la variation de la sensibilité de la VAN



À partir du tableau récapitulatif de la variation de la sensibilité de la VAN, on constate que le taux horaire et le nombre d'heures actuelles représentent les deux variables qui influencent le plus la VAN du scénario 4. Pour le taux horaire, lorsqu'il diminue de 10%, la VAN augmente de 12% car elle passe de **-2.314.329 \$** à **-2.082.896 \$**, et lorsque le taux horaire baisse de 15%, la VAN augmente de 18% en passant de **-2.314.329 \$** à **-1.967.180 \$**.

La courbe du taux horaire, (voir le graphe de la sensibilité de la VAN), confirme les constatations signalées, car il montre une bonne variation de la VAN lorsqu'on fait varier le taux horaire. La même chose se produit pour le nombre d'heures actuelles avec un degré de sensibilité assez forte. Celle-ci va dans le sens inverse que la sensibilité du taux horaire, car les heures actuelles représentent les anciens frais de main d'œuvre que le centre hospitalier cherche à réduire avec le nouveau projet de

numérisation. Lorsque ces heures de travail actuelles baissent de 15%, la VAN diminue de 47 % (soit une variation de **-2.314.329 \$** à **-3.389.250 \$**) alors que l'augmentation des heures actuelles de travail de 15% entraîne une hausse de la VAN de 87 % (en passant de **-2.314.329 \$** à **-1.239.407 \$**).

Cette sensibilité ne peut se limiter juste à ces deux variables, mais on trouve aussi que les autres (Nombre d'heures nécessaire pour le scénario 4, Entretien du système) influencent la valeur de la VAN mais avec un degré faible, ce qui nous amène à mettre beaucoup plus l'accent sur les deux premières variables à savoir le taux horaire et le nombre d'heures actuelles.

### Détermination des scénarios probables

#### *Résumé des scénarios probables*

Synthèse de scénarios				
	Valeurs actuelles	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
<b>Nombre d'heures</b>	<b>75.399</b>	<b>75.399</b>	<b>86.709</b>	<b>64.089</b>
<b>Taux horaire</b>	<b>15,95</b>	<b>15,95</b>	<b>18,35</b>	<b>13,56</b>
<b>Entretien système</b>	<b>93.000</b>	<b>93.000</b>	<b>106.950</b>	<b>79.050</b>
<b>Nombre heures actuelles</b>	<b>75.090</b>	<b>75.090</b>	<b>63.827</b>	<b>86.354</b>
<b>Valeur actuelle nette</b>				
<b>VAN (\$)</b>	<b>-2.314.329</b>	<b>-2.314.329</b>	<b>-2.729.610</b>	<b>-1.899.047</b>

Après l'analyse des résultats de la sensibilité de la VAN, on va essayer de donner un dernier résumé des scénarios probables, en combinant la variation des quatre variables utilisées lors de l'analyse de sensibilité (Nombre d'heures pour la numérisation et la prénumérisation, Taux horaire, Entretien système, Nombre d'heures actuelles nécessaires pour l'archivage) de la VAN du scénario 4.

Trois scénarios probables ont été détectés à travers la variation des différentes variables (0%, ±10% et ±15%) :

Premièrement, un scénario de base est synonyme au résultat réel du scénario, c'est à dire une variation de 0%, donc la VAN du scénario de base est égale à celle trouvée dans nos calculs soit **-2.314.329 \$**.

Deuxièmement, le scénario pessimiste représente une variation de +15% des charges réelles du projet (nombre d'heures pour la numérisation et la prénumérisation, taux horaire, entretien système) et une variation de -15% des charges de l'ancien système d'archivage (nombre d'heures actuelles nécessaires pour l'archivage). La VAN de ce scénario s'élève à **-2.729.610 \$**.

Et enfin, un scénario optimiste conciliant entre une variation de -15% des variables (nombre d'heures pour la numérisation et la prénumérisation, taux horaire, entretien système) et une variation de +15% de la variable (nombre heures actuelles nécessaires pour l'archivage), cette combinaison nous a donné une VAN avoisinant **-1.899.047 \$**.

On constate que dans les trois scénarios, la VAN Classique reste négative mais cela ne veut pas dire que le projet n'est pas rentable et qu'il doit être abandonné car, la non flexibilité de l'évaluation du projet par la VAN ne nous permet pas d'évaluer les options que présentent le projet dans le futur. Le manque et l'absence de cette dimension flexible nous oblige à faire une évaluation des options réelles du projet afin d'avoir une idée sur les possibilités concrètes offertes par ces options.

### **Évaluation des options réelles**

L'évaluation du projet par la VAN classique nous a montré que le projet n'est pas rentable et le plus souhaitable à partir de cette analyse est d'abandonner le projet.

Comme on l'a déjà signalé, l'absence de flexibilité dans l'analyse classique, nous pousse à chercher cette dimension afin d'avoir une étude réelle du projet et de détecter les opportunités concrètes que le projet peut apporter à son titulaire.

Comme la VAN trouvée est négative, donc on va essayer de voir si vraiment l'abandon est la seule solution de ce projet ou il y a d'autres alternatives comme le fait de retarder le projet ou même procéder à une contraction des frais du projet (une diminution des charges totales du projet).

Afin de procéder aux calculs des différentes options pour tous les projets, on a utilisé un programme vu dans le cours de Finance IV<sup>63</sup>, qui permet de calculer les options réelles suivantes : abandon, contraction, expansion et option de choisir, ainsi qu'un autre programme de Damodaran<sup>64</sup> d'évaluation des options réelles (abandon et report).

Option d'abandon

La valeur actuelle des flux financiers				<b>153.892,16</b>
L'écart type annuel $\ln(\text{Valeur actuelle des flux financiers})$				<b>22,00%</b>
Durée de vie du projet				<b>6</b>
Valeur d'abandon				<b>986.134,03</b>
Durée qui reste à courir pour abandonner le projet				<b>6</b>
Taux sans risque qui correspond à toute la durée du projet				<b>3,00%</b>
Stock Price	<b>153.892,16</b>	Taux sans risque		<b>3,00%</b>
Strike Price	<b>986.134,03</b>	Variance		<b>0,0484</b>
Durée (ans)	<b>6</b>			
d1	<b>-2,843523906</b>	d2		<b>-3,382411649</b>
N(d1)	<b>0,002230947</b>	N(d2)		<b>0,000359315</b>

**Valeur de l'option d'abandon** **\$767.074,63**

La valeur de l'option d'abandon s'élève à **767.074,63 \$**, cela veut dire que la possibilité d'abandonner le projet procure à l'agence qui veut l'implanter une valeur égale à la valeur de l'option d'abandon. Cette valeur peut être représentée par la valeur d'abandon qui, selon les modalités de notre projet, peut être constituée des valeurs des

<sup>63</sup> Théoret R., Op. Cit., page 61

<sup>64</sup> Damodaran A., Op. Cit., page 33

équipements que le centre hospitalier peut récupérer après l'abandon du projet. Cette constatation peut paraître plausible surtout que les charges de la première année du projet sont tellement élevées (frais dus à la prénormatization des dossiers archivés) que l'agence aura du mal à absorber ce montant. Mais si on approfondie notre analyse, on peut déduire que si le projet était étalé sur une durée assez longue, la variable du temps va permettre à l'agence de réaliser des économies conséquentes par rapport aux frais dépensés pour l'exploitation du système actuelle d'archivage surtout qu'après la première année, seuls les dossiers actuels resteront à numériser.

### Option de report

La valeur actuelle des flux financiers				<b>\$153.892,16</b>
L'écart type annuel $\ln(\text{Valeur actuelle des flux financiers})$				<b>11,94%</b>
Valeur d'investissement initial				<b>\$2.894.456,37</b>
Durée de vie du projet				<b>6</b>
Taux sans risque qui correspond à toute la durée du projet				<b>3,00%</b>
Stock Price	<b>153.892,16</b>	Taux sans risque		<b>3,00%</b>
Strike Price	<b>2.894.456,37</b>	Variance		<b>0,014266</b>
Délais d'expiration	<b>6</b>			
d1	<b>-9,2679643</b>	d2		<b>-9,5605315</b>
N(d1)	<b>0</b>	N(d2)		<b>0</b>

**Valeur de l'option de report**

**\$0,00**

On voit que la valeur de l'option de report est nulle, cela veut dire que le fait de reporter le projet ne produira aucune valeur à celui-ci. Dans cette perspective, l'agence qui souhaite implanter le projet aura le choix soit d'abandonner le projet ou de prendre le risque de continuer et d'implanter celui-ci. Cette possibilité est réelle, surtout qu'on constate que sur le long terme, le projet peut procurer une VAN positive, car la



première année, les frais de prénumérisation augmentent beaucoup les charges du projet et annulent sur le court terme, la valeur réelle que le projet peut procurer à l'agence qui va l'implanter.

On constate que la valeur des flux financiers actualisés est trop petite en comparaison avec le montant de l'investissement initial, ce qui fait que la valeur du prix de levé (Strike Price) qui représente la somme des flux financiers est trop élevée par rapport à la valeur du sous-jacent (Stock price) qui représente l'investissement initial. Cette grande différence entre les deux valeurs génère une valeur  $d_1$  et  $d_2$  négative et donc selon la loi normale centrée réduite, leurs valeurs  $N(d_1)$  et  $N(d_2)$  tendent vers 0.

### **Simulation Monte-Carlo**

La simulation Monte-Carlo de la VAN du scénario 4 du projet de numérisation des dossiers patients va nous permettre d'évaluer avec précision l'intervalle de confiance dans lequel la VAN peut varier, et de cette façon on peut confirmer ou non les résultats obtenus avec la VAN Classique.

Il faut noter que le programme de simulation utilisé suit une loi normale (0,1), les données utilisées pour réaliser la simulation se présentent comme suit:

Nombre moyen d'heures de travail actuelles : **65772,14**

Ecart type des heures : **4817**

Taux horaire moyen : **16,6**

Ecart type taux horaire : **0,47**

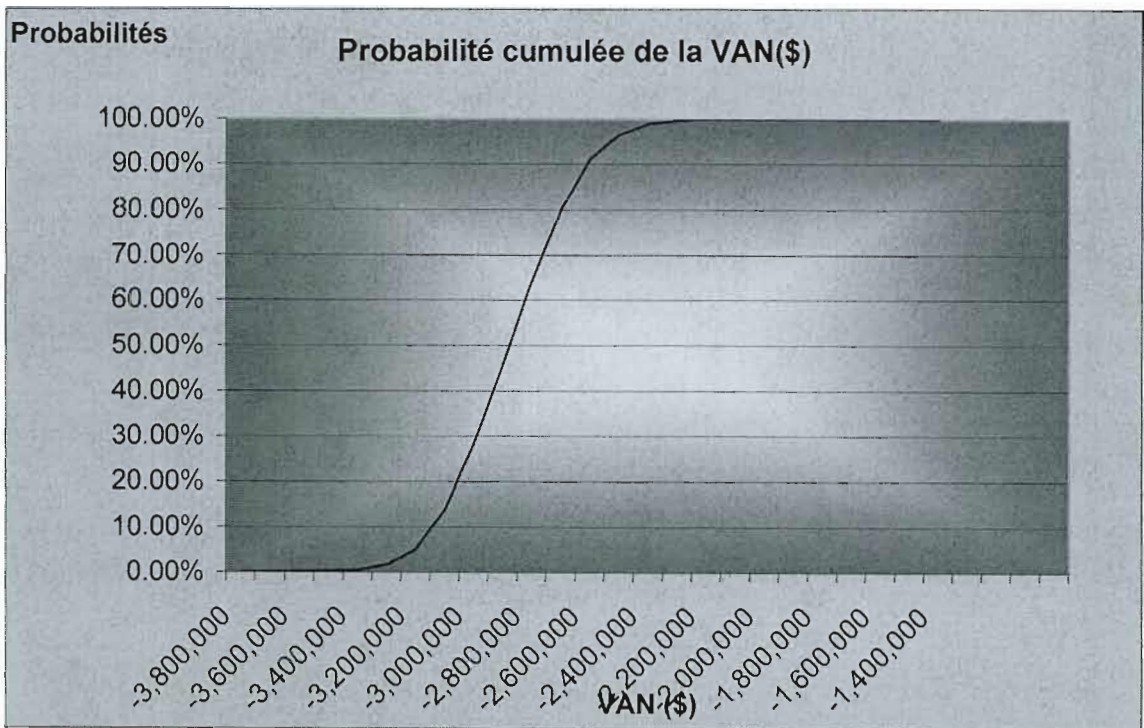
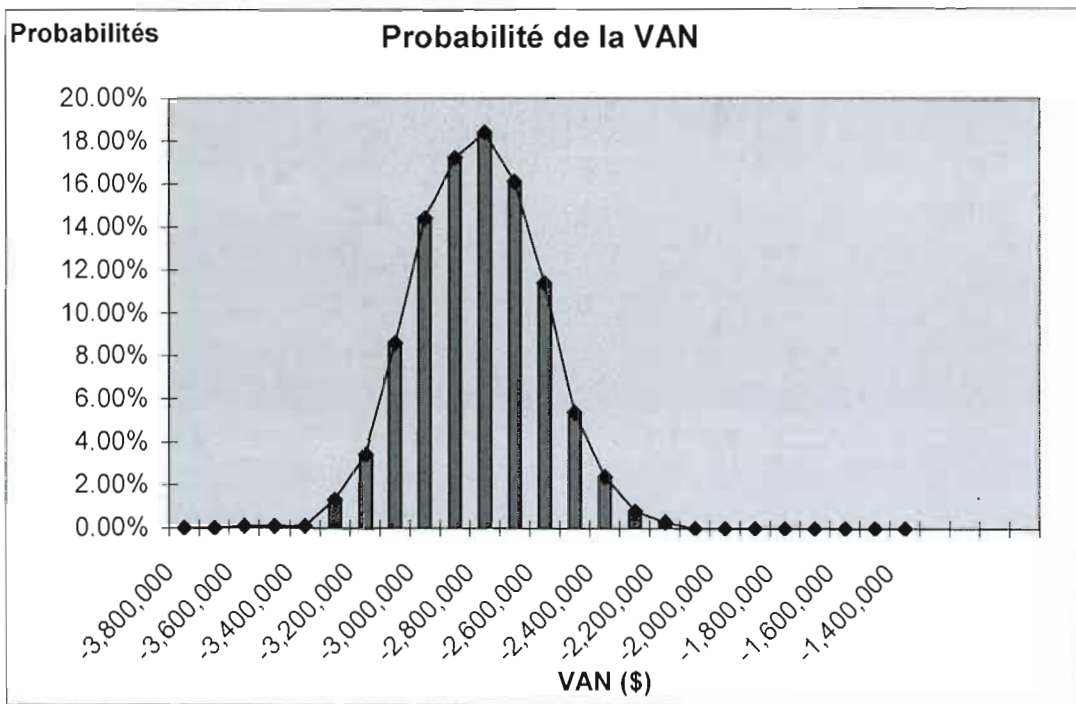
Taux d'actualisation : **3%**

Investissement Initial : **-2.468.221,17 \$**

La simulation des flux financiers du projet, nous a donné les résultats présentés dans le tableau suivant ainsi que dans les deux figures ci-dessous:

*Distribution de la VAN*

<b>Borne inférieure</b>	<b>Nombre des observations supérieures à la borne inférieure</b>	<b>Borne supérieure</b>	<b>Probabilité de la VAN</b>	<b>Probabilités cumulées</b>
-3.900.000	1.000	-3.800.000	0,00%	0,00%
-3.800.000	1.000	-3.700.000	0,00%	0,00%
-3.700.000	1.000	-3.600.000	0,10%	0,10%
-3.600.000	999	-3.500.000	0,10%	0,20%
-3.500.000	998	-3.400.000	0,10%	0,30%
-3.400.000	997	-3.300.000	1,30%	1,60%
-3.300.000	984	-3.200.000	3,40%	5,00%
-3.200.000	950	-3.100.000	8,60%	13,60%
-3.100.000	864	-3.000.000	14,40%	28,00%
-3.000.000	720	-2.900.000	17,20%	45,20%
-2.900.000	548	-2.800.000	18,40%	63,60%
-2.800.000	364	-2.700.000	16,10%	79,70%
-2.700.000	203	-2.600.000	11,40%	91,10%
-2.600.000	89	-2.500.000	5,40%	96,50%
-2.500.000	35	-2.400.000	2,40%	98,90%
-2.400.000	11	-2.300.000	0,80%	99,70%
-2.300.000	3	-2.200.000	0,30%	100,00%
-2.200.000	-	-2.100.000	0,00%	100,00%

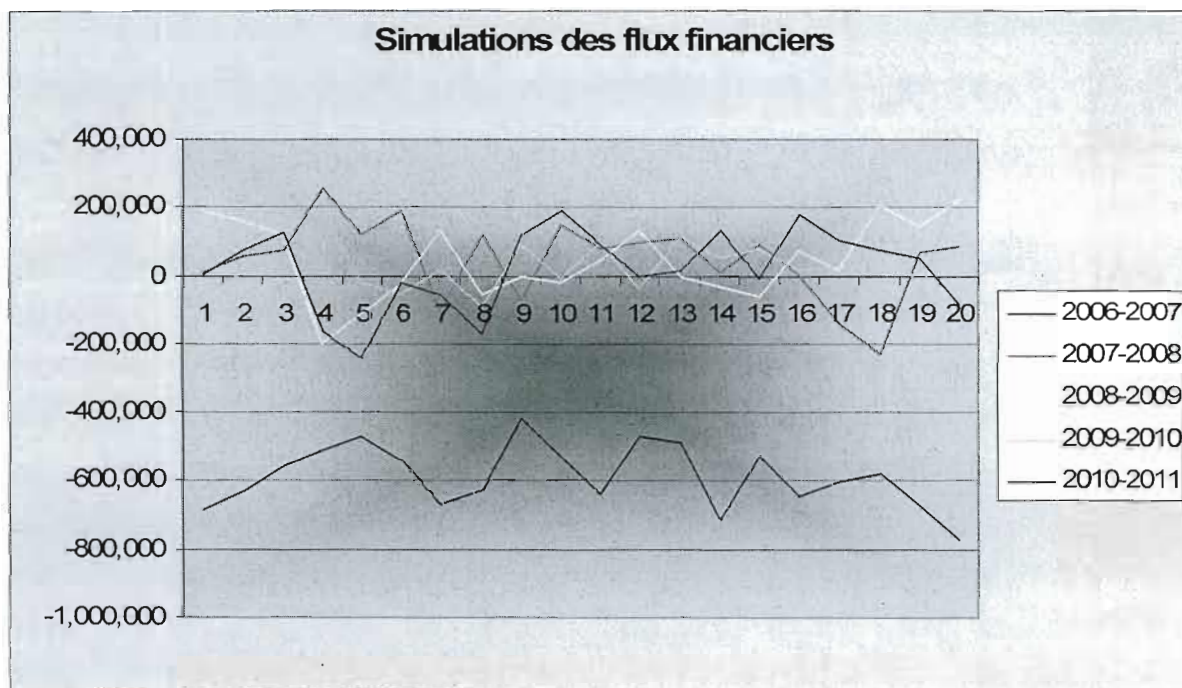


Selon la série des VAN simulées obtenus par la simulation Monte-Carlo, la VAN du scénario se situe dans l'intervalle suivant :  $[-3.610.058,56 , -2.200.936,88]$ . La moyenne des VAN simulées s'élève à  $-2.873.613,30 \$$ , alors que son écart type est de  $204.945,10$ .

Les résultats obtenus nous indiquent que **63,60%** des VAN simulées sont inférieures à  $-2.800.000 \$$ , et plus que **91%** des VAN simulées sont inférieures à  $-2.600.000 \$$ , ce qui confirme en grande partie le résultat obtenu dans la VAN Classique  $-2.314.329 \$$ , c'est-à-dire que la VAN est négative et le projet n'est pas rentable.

La courbe des probabilités de la VAN prend la forme d'une cloche, ce qui confirme que la distribution suit une loi normale (0,1).

La simulation post-mortem du scénario 4, a montré que le scénario 4 n'est pas rentable comme scénario à considérer car en comparaison aux résultats trouvés dans (Bahadi 2006)<sup>65</sup>, la VAN du scénario est passé de  $88.369 \$$  à  $-2.314.329 \$$ .



<sup>65</sup> Bahadi A., Op. Cit., page 9.

Le graphique de variation des 20 premières simulations des flux financiers de la VAN montre que la première année (2006-2007), la VAN varie dans un intervalle totalement négatif, cela est dû aux frais supplémentaires de pré numérisation des dossiers des années postérieures, par contre on constate que durant les années suivantes, il y a une augmentation de la valeur des flux financiers vers des valeurs positifs, ce qui peut prévoir la rentabilité du projet sur le long terme, une fois les charges du début sont absorbées dans le temps.

## CONCLUSION

Les différentes études et analyses effectuées dans le présent mémoire nous ont permis de retenir plusieurs conclusions et de permettre à l'agence qui souhaite implanter les projets de soumettre quelques hypothèses concernant la réalisation ou non des projets évalués.

L'analyse « post-mortem » du scénario 4 a donné une VAN classique de **-2.314.329 \$** contrairement à la VAN du même scénario dans Bahadi (2006) soit, **88.369 \$**. Ce résultat démontre que le scénario 4 dans son état initial, était rentable. Cependant, avec la nouvelle analyse, il est devenu non rentable. Cela s'explique par une revalorisation des coûts par le centre hospitalier. L'analyse de sensibilité de la VAN par rapport aux différentes variables (le nombre d'heures nécessaires à la numérisation, le taux horaire, les frais d'entretien du système informatique et le nombre d'heures actuelles de travail) a permis de dégager trois scénarios probables de la VAN. Un scénario de base, synonyme du résultat réel avec une VAN de **-2.314.329 \$**, un scénario pessimiste avec une VAN de **-2.729.610 \$** et un scénario optimiste dont la VAN est de **-1.899.047 \$**, ces trois scénarios confirment la non rentabilité du projet

L'évaluation des options réelles (option d'abandon et de report) nous a démontré que l'abandon du projet est souhaitable car, il procure de la valeur au centre hospitalier du fait qu'il va limiter les pertes. Ainsi, les gestionnaires pourraient récupérer une valeur de **767 047,63 \$**. Cependant, un raisonnement financier et stratégique peut démontrer que le scénario 4 du projet peut devenir rentable dans le futur si la durée du projet est plus longue car, la numérisation des dossiers patients va générer des économies considérables sur le long terme. Malheureusement, cela ne peut-être prise en considération dans l'évaluation financière.

L'évaluation financière des projets a permis à l'agence qui souhaite les implanter d'avoir une idée claire sur la rentabilité ou non des projets et de voir s'il faut procéder à des ajustements pour rendre ceux-ci rentables. Si l'implantation ou non du projet dépend en partie des résultats trouvés dans nos recherches, il reste à la discrétion

des gestionnaires du centre hospitalier de prendre la décision stratégique quant au choix des investissements. Comme dans l'étude de Bahadi (2006), quoi que le projet fût jugé rentable, son exécution n'a pas pour autant eu l'aval des décideurs.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADLER, M., et E. POSNER, (2001), « New Foundations Of Cost-Benefits Analysis », *Harvard University Press*, Pages 20-25.
- ANANDARUP, R. (1984), « Cost benefit analysis Issues and Methodologies », *Editions HOPKINS, World Bank publication*, 176 pages.
- BAHADI, A., (2006), « Evaluation d'un projet de numérisation des dossiers patients dans un centre hospitalier ». *Essai de maîtrise en Finance Appliquée. Université du Québec à Montréal*, 85 pages.
- BANSE, F., J.-L., DEKEYSER et R., FAUQUEMBERGUE, (1999), « Parallélisation d'une méthode de Monte Carlo pour la simulation de composants semi-conducteurs », *Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille (LIFL)*, pages 2-3.
- BELLALAH, M., (2005), « Le choix des investissements et les options réelles : une revue de la littérature », *cahier de recherche, Université de Paris-Dauphine*, 40 pages
- BELLALAH, M., (2000), « La structure du capital et les options : l'impact des coûts d'information, de l'impôt des sociétés et du risque de défaut », *Universités de Paris-Dauphine et du Maine*. 24 pages.
- BELLI, P., A., Jock. B., Howard, D., John et T., Jee-Peng, (1997), « Handbook On Economic Analysis Of Investment Operations ». *Operating Policy Department*, Pages 78-80.
- BEMOUSSA, S.R., (2004), « Value At Risk Comme Mesure De Risque Financier », *Université du Québec à Montréal*, 152 pages.
- BERGERON, Y. M.. (2005), « Évaluation Financière dans le Domaine de la santé ». *Une Revue de la littérature*, Pages 1-6.
- BERGERON, Y. M., (2006), « Analyse de Faisabilité », *Une Revue de la littérature*, Pages 4-8.
- BERGERON, Y. M., (2006), « Cours MBA 8124 : Etudes spécialisés en FINANCE III », *MBA recherche, Université du Québec à Montréal*.
- BLACK, F. et M., SCHOLES, (1973), « The Pricing of Options and Corporate Liabilities », *Journal of Political Economy*, vol. 81, p. 637-659.



- BRAOUEZEC, Y., (2003), « Les Options Réelles : Investissement, Structure du Capital et risqué de crédit », *Economica*, 174 pages.
- BRENT, R. J., (1997), « Applied cost-benefit analysis », Fordam University USA, 336 pages.
- CHABOT, R., et G., Thornon, (2005), « Étude de faisabilité d'un entrepôt dans la région de l'Estrie », 50 pages.
- CHEVALIER, M., (1996), « Analyse Coûts-bénéfices et Environnement: Le Projet d'Aménagement du bassin versant de la rivière San Juan en République Dominicaine », *mémoire de maîtrise à l'université d'Ottawa*, Page 58.
- DAMODARAN, A., (2003), « Corporate Finance: Theory and Practice » - 2nd Edition, *Wiley Edition*, 1008 pages.
- DEWHURST, J., et F., Roland, (1971), « Business cost-benefit analysis », *school and Business Studies*, University of Warwick, Pages 11-15.
- DRUMAUX, A., (1971), « Analyse des coûts et avantages des décisions publiques », Ecole de commerce – *SOLVAY-ULB*, 72 pages.
- EL IBRAHIMI, H., (2006), « Acétates laboratoire cours Finance spécialisée II », MBA Recherche, *Université du Québec à Montréal*.
- ESCH, L., R., KIEFFER, T., LOPEZ et J.-L., DUPLAT, (2003), « Value at Risk: Vers un Risk Management Moderne », *De Boeck Université*, Bruxelles, 504 Pages.
- GHARBI, A. (2005), « Cours Modélisation et simulation de systèmes de production », *Ecole Technique Supérieure*, pages 1-3.
- GREFFE, X., (2005), « Historique de l'analyse coûts-bénéfices, une Revue de littérature », *Université de Toulouse*, 5 pages.
- HENRI, P., (2004), « Que reste-t-il des options réelles? Du modèle financier au modèle de gestion », *Close Brothers Fairness*, 19 pages.
- HOANG, T. H, (2006), « Une revue de la littérature options réelles théorie des jeux dans les décisions d'investissement stratégiques », *Centre de Recherche sur les Dynamiques et Politiques Economiques et l'Economie des Ressources*, Université Aix-Marseille II, 57 pages.
- KHALED, (2001), « Contrôle de gestion », Mémoire DEA, *Université Cergy Pontoise*, 59 Pages.

- KHOURY, N., et P., LAROCHE, (1988), « Options et Contrats à terme », *Presses de l'université Laval*.
- LAUTIER D., (2001), « Les Options Réelles: Une idée séduisante, un concept utile et multiforme, un instrument facile à créer mais difficile à valoriser », *CEREG, Université Paris IX*, 25 pages.
- METROPOLIS, N., A., ROSENBLUTH, M., ROSENBLUTH, A. H., TELLER. et E., TELLER, (1953), « Equation of state Calculations by Fast Computing Machines », *The Journal of Chemical physics, Los Alamos Scientific Laboratory*, 6 pages.
- MOURGUES, N., (1995), « L'évaluation des investissements », *Economica*, pages 51-66.
- PERRAKIS, S., N., KHOURY et H., EL IBRAHIMI, (2005), « L'évaluation des entreprises non-transigées : une méthode alternative », Chaire Desjardins en gestion des produits dérivés, *Cahier de recherche*, 23 pages.
- RACICOT, F.-E., et R., THÉORET, (2006), « La Simulation Monte Carlo: Forces & Faiblesses », *Cahier de recherche*, 20 pages.
- ROSS, S., R., WESTERFIELD et J., Bradford, (1999), « Fundamentals and Corporate Finance », *McGraw-Hill Higher Education*, 256 Pages.
- SALVERDA, M., « Analyse coûts-bénéfices », Icria, *document de travail*, 6 pages.
- SQUIRE, L. et H., VAN DER TAK, (1975), « Analyse économique des projets », *La Banque Mondiale*, pages 10-19 et 23.
- THÉORET, R., (2006), « Les options réelles », *Cours Finance IV MBA 8193, Université du Québec à Montréal*.
- THÉORET, R., et F.-E., RACICOT, (2004), « Le Calcul Numérique en Finance Empirique et Quantitative », *Presses de l'Université du Québec*, 794 pages.
- TREICH N., (2005), « Cost-Benefit Analysis of Risks Prevention », *dans le cadre d'une collaboration scientifique et pédagogique avec l'Institut pour une Culture de la Sécurité Industrielle (ICSI), Université de Toulouse*, pages 5-9.

*Sites Internet*

[www.icra-edu.org/objects/francolearn/Anacoutbenecon](http://www.icra-edu.org/objects/francolearn/Anacoutbenecon)

[www.evolution-mag.com/article.php3.](http://www.evolution-mag.com/article.php3)

<http://mathworld.wolfram.com>

<http://www.vernimmen.net/html/resumes/>