

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

APPLICATION D'UN MODÈLE DE SIMULATION ET  
D'ANALYSE DE SENSIBILITÉ À L'ÉVALUATION D'UN  
PROJET DE CRÉATION D'UN CENTRE DE LOGISTIQUE  
DANS UN CENTRE HOSPITALIER

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

PAR  
ARLETTE MICHELLE EDZANGO OKAP

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.»

## **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 mes sincères remerciements à mes collègues El Ayadi Mohammed Alaeddine pour son énorme contribution dans ce mémoire et Abdel Bahadi, qui a mis à ma disposition les résultats de son étude ayant permis d'effectuer en partie 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 ma mère ainsi que tous mes parents pour leur patience, leur soutien permanent et leurs conseils combien judicieux, qu'ils trouvent dans ce travail, l'expression de ma profonde gratitude.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	ii
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	vi
RÉSUMÉ .....	vii
INTRODUCTION.....	1
DESCRIPTION DU PROJET .....	4
PARTIE I: RECENSION DES ÉCRITS DANS LA LITTÉRATURE FINANCIÈRE	
1. Analyse Économique et Financière du projet .....	8
1.1 Définition de l'analyse coûts-bénéfices .....	8
1.2 Contexte Historique de l'Analyse Coûts-Bénéfices .....	9
1.3 Principes 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..	17
1.6 Comparaison des coûts et des bénéfices et choix des critères d'investissement .....	19
1.6.1 Valeur actuelle nette (VAN) .....	19
1.6.2 Taux de rendement interne (TRI).....	22
2. Options réelles .....	23
2.1 Options d'abandon .....	33
2.2 Options de report .....	34
2.3 Options d'échange .....	35
2.4 Options de croissance .....	36
2.5 Options d'attente .....	37
2.6 Options interactives .....	38
3. Méthodologie de simulation historique .....	40
3.1 Simulation Monte Carlo .....	40
3.2 Modèle opérationnel pour la simulation Monte Carlo .....	45

## PARTIE II : MÉTHODOLOGIE

1. Estimation de la distribution de probabilité de la VAN .....	47
1.1 Principes et règles d'estimation .....	47
1.1.1 Les flux financiers sont indépendants .....	48
1.1.2 Les flux financiers sont parfaitement corrélés .....	49
1.1.3 Les flux financiers sont imparfaitement corrélés .....	50
2. Options réelles .....	52
2.1 Modèle de Black et Scholes .....	53
2.1.1 Les hypothèses du modèle de Black et Scholes .....	53
2.2 Formule de Black et Scholes .....	54
2.2.1 Les options d'achat .....	54
2.2.2 Les options de vente .....	55
2.2.3 Calcul de $N(d)$ .....	55
2.2.4 Estimation de la volatilité .....	55
2.3 Types d'options réelles .....	56
2.3.1 Options de report ou de suivi .....	56
2.3.2 Options de croissance .....	57
2.3.2 Options d'abandon .....	59
3. Simulation de Monte Carlo .....	60
3.1 Étapes de la simulation Monte Carlo .....	60
3.1.1 Développement du lemne d'itô .....	62

## PARTIE III : ANALYSE DU PROJET

1.1 Projet d'implantation d'un entrepôt sur une période de 15 ans .....	65
1.1.1 Détermination des flux financiers .....	65
1.1.2 Calcul de la VAN .....	66
1.1.3 Analyse de sensibilité de la VAN .....	67
1.1.4 Détermination des scénarios probables .....	70

1.2	Évaluation des options réelles .....	72
1.2.1	Options de croissance .....	72
1.2.2	Options de contraction .....	75
1.3	Simulation de Monte Carlo .....	77
2	Projet d'implantation d'un entrepôt sur 20 ans .....	81
2.1.1	Détermination des flux financiers .....	82
2.1.2	Calcul de la VAN .....	82
2.1.3	Analyse de sensibilité de la VAN .....	83
2.1.4	Détermination des scénarios probables .....	87
2.2	Évaluation des options réelles .....	89
2.2.1	Options de croissance .....	89
2.2.2	Options de contraction .....	90
2.3	Simulation de Monte Carlo .....	91
	CONCLUSION .....	96
	BIBLIOGRAPHIE .....	98

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**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**

## RÉSUMÉ

Le présent mémoire traite de l'évaluation financière d'un projet d'investissement public mutuellement exclusif dans le domaine de la santé. Il s'agit du projet d'implantation d'un centre de logistique au 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 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.

La démarche proposée vise à déterminer un résultat probabiliste, ce qui offre aux gestionnaires la possibilité de prendre des décisions stratégiques optimales en matière d'investissement.

Notre mémoire est divisé en trois grandes parties dont, la première partie porte sur la recension des écrits dans la littérature financière. La seconde élabore la méthodologie utilisée et enfin la dernière partie aborde l'analyse du projet, laquelle est effectuée en deux temps. Premièrement, une évaluation du projet sur une durée de 15 ans et deuxièmement une évaluation sur 20 ans.

**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 quant 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.

Notre mémoire est composée de deux grandes parties réparties en cinq sections :

➤ La première partie est divisée en trois sections : la première section sera consacrée à une présentation bien détaillée du projet d'investissement qui fera 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.

➤ La deuxième partie sera consacrée à l'application des modèles ainsi que l'analyse des résultats obtenus dont la première section porte sur les résultats obtenus du projet et la deuxième sur l'analyse des résultats calculés précédemment.

## DESCRIPTION DU PROJET

Comme nous l'avions mentionné, le présent mémoire analyse un projet dit autofinancé mis en place par un centre hospitalier québécois. Il s'agit d'évaluer la faisabilité opérationnelle et financière du projet d'implantation d'un centre de logistique au centre hospitalier.

En ce qui concerne ce projet, il est important de rappeler que la région de l'Estrie compte environ onze établissements hospitaliers dont le centre hospitalier de l'université de Sherbrooke (CHUS). L'étude menée par Chabot Raymond et Grant Thornon<sup>1</sup> en juin 2005 sur l'initiative des gestionnaires du centre hospitalier de l'université de Sherbrooke avait permis de mettre en évidence le caractère empirique de la gestion des approvisionnements et des stocks de médicaments et de matériels. Les indicateurs mis en place à cette occasion avaient révélé plusieurs points critiques entre autres, un manque d'espace au centre hospitalier et dans les autres établissements annexes de la région, une augmentation des coûts d'opération, une lenteur au niveau du service offert, les retards dans les délais d'approvisionnement en matériels, équipements et médicaments nécessaires, une tendance au surstockage et une multiplication du nombre de commandes>. Parallèlement, la direction de ces centres hospitaliers a souhaité améliorer le service de distribution.

Face à cette problématique, dans un univers de contraintes très complexes qui incluent les contraintes humaines, physiques, géographiques et environnementales, il apparaissait urgent, pour les gestionnaires ainsi que les divers partenaires sociaux desdits établissements de se réunir pour examiner les différentes options possibles pour une gestion optimale des stocks et du service de distribution en vue de réduire les coûts d'exploitation, d'alléger les procédures et de rendre les établissements plus performants.

Suite à ces réflexions, la solution de la construction et l'exploitation d'un entrepôt centralisé furent envisagées. Il s'agit d'un centre de distribution offrant un

---

<sup>1</sup> Chabot R. et Grant T., (2005), « étude de faisabilité d'un entrepôt dans la région de l'Estrie », une étude de cas, 50 pages.

horaire de service étendu : jour et soir durant la semaine et le jour durant la fin de semaine avec un effectif minimal.

Le projet prévoit un horaire de réception le matin et de livraison l'après-midi avec un service de livraison le lendemain, ainsi qu'un service par courrier rapide pour les urgences, ce qui oblige l'implantation de nouveaux systèmes d'informations. Cet entrepôt devrait recevoir environ quarante cinq livraisons par jour (excluant l'alimentation et les fournitures mécaniques). Les camions à plein chargement seront acheminés directement au site requérant. Un seul système d'achats échangera avec les fournisseurs afin de créer des synergies dans le processus d'approvisionnement. Quant aux acheteurs, ils auront la tâche de gérer des catégories spécifiques (gestion par catégorie), ce qui devrait par la même occasion engendrer des économies pour les fournisseurs ayant un seul point de livraison (ou client), soit le centre hospitalier principal de la région. Outre ce qui précède, l'entrepôt recevra l'inventaire de la marchandise et placera les produits dans les tablettes, dans les carrousels ou sur les palettes. Les achats directs seront réduits étant donné l'existence d'une consolidation des besoins par produit et une meilleure planification de la demande. Ces achats feront l'objet d'une simple transition dans l'entrepôt afin d'être consolidés aux commandes des différents sites et ainsi optimiser les frais de livraison. La gestion de l'inventaire se fera par code à barres. Au niveau du fonctionnement des commandes par les différents établissements, une planification annuelle de la demande pour les principaux produits devra être faite. Les réquisitions seront complétées électroniquement par le requérant et les réquisitions inventaires seront préparées la veille de la livraison et seront consolidées avec les achats directs par site et livrées à l'établissement. Celles-ci pourront être également préparées par unités de soins afin de faciliter le processus de distribution à l'étage. Les produits seront livrés sur les chariots, dans les caissons ou des paniers empilables. Un système de gestion de retour des chariots et des paniers devra être élaboré conjointement avec le ou les transporteurs. Le transport sera effectué par une compagnie privée avec une négociation du prix et de service pour une période de trois ans. Celui-ci devra fournir les véhicules nécessaires selon la demande hebdomadaire sans aucune exclusivité du ou des transporteurs. La livraison se fera au quai de réception de l'établissement. Les circuits de transport permettent de livrer aux treize établissements selon le besoin et un horaire prédéterminé. Le personnel administratif de l'entrepôt effectuera les paiements aux fournisseurs puisqu'il y aura un

point central d'achat et un montant global devra être refacturé mensuellement à chaque établissement. Cet entrepôt devra posséder assez de portes pour permettre le chargement et déchargement de plusieurs camions simultanément.

Dans tous les cas, nous appliquerons les modèles de simulation de Monte Carlo, d'analyse de sensibilité et d'options réelles à l'évaluation de ces projets. Nous proposons ainsi dans notre 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. Nous analyserons 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 de deux projets mutuellement indépendants, 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. 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.

## **Partie 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>2</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. À 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.

---

<sup>2</sup> Squire L. et Van Der Tak H., (1975), « analyse économique des projets », Banque Mondiale, pages 10-19



Chevalier (1996)<sup>3</sup> identifie l'ACB comme une méthode de décision privilégiée par la théorie économique. Treich (2005)<sup>4</sup> l'a défini comme un outil d'évaluation 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>5</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

---

<sup>3</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>4</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

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

financières de l'État<sup>6</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 santé (lutte contre la périnatalité). Cependant ce mouvement de rationalisation s'est fortement ralenti dans les années 1970, comme le mentionne Greffe (1997)<sup>7</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>8</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),

---

<sup>6</sup> Dewhurst J. et ali., (1971), « Business cost-benefit analysis », school and Business Studies, University of Warwick, Pages 11-15.

<sup>7</sup> Greffe X, (2005), « Historique de l'analyse coûts-bénéfices, une Revue de littérature », Université de Toulouse, 5 pages.

<sup>8</sup> Adler M. et ali., (2001), « New Foundations Of Cost-Benefits Analysis », Harvard University Press, Pages 20-25.

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 souvent plus controversée que la mesure des coûts. Toujours selon Treich (2005), 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 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>9</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

---

<sup>9</sup> Van Der Tak H., (1975), « Analyse Économique de Projets », Une publication des Services de Recherche de la Banque Mondiale, Page 23.

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.

Les travaux entrepris par Brent (1996)<sup>10</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

---

<sup>10</sup> Brent Robert J., (1997), « Applied cost-benefit analysis », Fordam University USA, Pages 3-23

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>11</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 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

---

<sup>11</sup> Belli et ali., (1997), « Handbook On Economic Analysis Of Investment Operations », Operating Policy Department, Chapter 8, Pages 78-80.

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 bénéfiques, 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>12</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

---

<sup>12</sup> Ross et al., (1999), «Fundamentals and Corporate Finance », McGraw-Hill Higher Education, 356 Pages.

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 **24700 \$**. 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 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>13</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. L'analyse coûts-bénéfices économique et financière va donner des informations différentes du projet.

---

<sup>13</sup> Brent Robert J., (1996), Op. Cit., page 22, page 18



### 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>14</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 comprises 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

---

<sup>14</sup> Salverda M., « Analyse Financière et Analyse Economique », ([www.icra-edu.org](http://www.icra-edu.org)), 6 pages

l'analyse coûts-bénéfices financière. Ces coûts 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 du projet qui constitue 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>15</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

---

<sup>15</sup> Bergeron M., (2005), « Évaluation Financière dans le Domaine de la santé », Une Revue de la littérature, Pages 1-6.

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 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>16</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>17</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.

---

<sup>16</sup> Bergeron M., (2006), « Analyse de Faisabilité », Une Revue de la littérature, Pages 4-8.

<sup>17</sup> Anandarup R., (1984), « Cost benefit analysis Issues and Methodologies », Editions HOPKINS, World Bank publication, 176 pages

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), 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>18</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

---

<sup>18</sup> Ross et ali., (1999), Op. Cit., page 27, page 21

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.

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 Pindyck (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>19</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>20</sup>. Dans ce

---

<sup>19</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>20</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

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 de l'actif est supérieure au montant des emprunts. Dans le cas contraire, ils auront avantage à ne pas le faire<sup>21</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

---

<sup>21</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

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 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>22</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>23</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

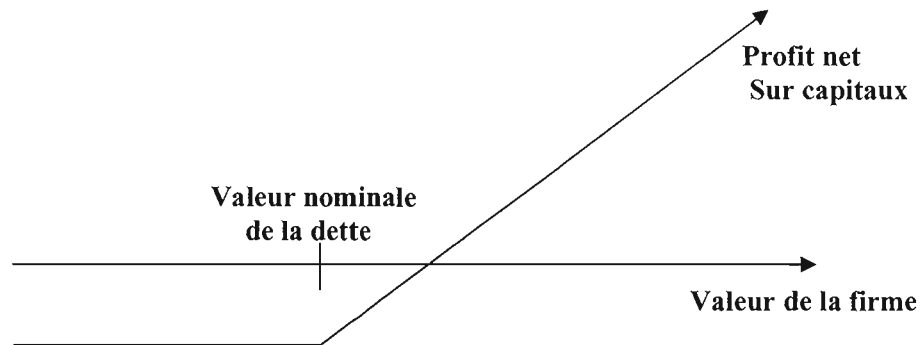
$V$  : Valeur de la firme

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

---

<sup>22</sup> Bellalah M., Op. Cit., page 30, pages 20-24.

<sup>23</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>24</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 ».

<sup>24</sup> Henri P., (2004), « Que reste-t-il des options réelles? Du modèle financier au modèle de gestion », Close Brothers Fairness, pages 12-13

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 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>25</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.

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>26</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.

---

<sup>25</sup> <http://www.vernimmen.net/html/resumes/>

<sup>26</sup> Bergeron Y M., (2006), « Cours MBA 8124 : Etudes spécialisés en FINANCE III », MBA recherche, Université du Québec à Montréal

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>27</sup>.

**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

---

<sup>27</sup> KHALED, (2001), « Contrôle de gestion », Mémoire DEA, Université Cergy Pontoise, 59 Pages



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 œuvre 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>28</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, 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 :

---

<sup>28</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

- *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>29</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 peut considérer le tout premier investissement comme la condition nécessaire à une chaîne de projets corrélés<sup>30</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>31</sup>.

<sup>29</sup> Lautier D., Op Cit. page 38, page 14

<sup>30</sup> Lautier D., Op Cit. page 38, page 14-15

<sup>31</sup> Khoury N. et ali., (1988), « Options et Contrats à terme », Presses de l'université Laval, page 5-44

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>32</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?

## **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

---

<sup>32</sup> Khaled, Op. Cit., page 36, page 28

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>33</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>34</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>33</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>34</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>35</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 questions importantes 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 à priori susceptible d'être appliquée dans bien des circonstances, ne risque-t-elle pas de perdre toute utilité ?

---

<sup>35</sup> Lautier D., Op Cit page 38, page 15.

### **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 l'explique 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>36</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.

---

<sup>36</sup> BEMOUSSA Siabdelkader Rachid, (2004), « Value At Risk Comme Mesure De Risque Financier », Université du Québec à Montréal, 152 pages



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 anti-rayonnement) pendant la deuxième guerre mondiale. Elle est coûteuse expérimentalement et difficile à résoudre analytiquement<sup>37</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>38</sup>.

---

<sup>37</sup> Gharbi A., (2005), « Cours Modélisation et simulation de systèmes de production », Ecole Technique Supérieure, pages 1-3

<sup>38</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

La simulation a été, pour la première fois, 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 implémenter ou un changement de procédé nécessite d'être évalué. Les études indiquent que la simulation se classe au premier rang devant les techniques de 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>39</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".

---

<sup>39</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

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.
- 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>40</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

---

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

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>41</sup>.

La séquence de Fauré<sup>42</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.

---

<sup>41</sup> Racicot F. et ali., (2006), « La Simulation Monte Carlo: Forces & Faiblesses », Cahier de recherche, 20 pages.

<sup>42</sup> On consultera le site de Mathworld pour la notion de base, <http://mathworld.wolfram.com>

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 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>43</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 :

---

<sup>43</sup> Plus de détail sur la décomposition de Choleski, voir annexe I 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.

➤ 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.

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.

## **Partie 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>44</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  $E(\text{VAN})$  et de la variance  $\text{var}(\text{VAN})$ .

---

<sup>44</sup> Mourgues N., (1995), « L'évaluation des investissements », *Economica*, pages 51-66.

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 :

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

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>45</sup>:

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

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.

### 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 :

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

avec :

---

<sup>45</sup> Mourgues N., Op Cit., page 52, pages 51-66

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

$$\sum_{t=0}^n \frac{Var(Ft)}{(1+i)^{2t}} \text{ des flux indépendants.}$$

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  $\text{cov}(\cdot)$  et  $\rho$  désignent respectivement la covariance et le coefficient de corrélation entre les flux :

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

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 :

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

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

➤ 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 corrélés :

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

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>46</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.

---

<sup>46</sup> Braouezec Y., (2003), « Les Options Réelles : Investissement, Structure du Capital et risqué de crédit », *Economica*, 174 pages.

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>47</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>48</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.).
- 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.

---

<sup>47</sup> Black F. et ali., (1973), « The Pricing of Options and Corporate Liabilities », Journal of Political Economy, vol. 81, p. 637-659.

<sup>48</sup> Khoury N. et ali., Op. Cit., page 40, pages 4-32

➤ 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

**Ž** : 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>49</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

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

**P<sub>e</sub>** : prix de levée de l'option

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

<sup>49</sup> Damodaran A., Op. Cit., page 33, pages 13-16

$\tau$  : 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>50</sup>. Malheureusement,

<sup>50</sup> Khoury N. et ali., Op. Cit., page 40, page 4-41

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

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

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>51</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

<sup>51</sup> Théoret R., (2006), « Les options réelles », Cours Finance IV MBA 8193, Université du Québec à Montréal, 43 pages.



possède les mêmes caractéristiques qu'une option d'achat américaine. Lorsqu'il exerce 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>52</sup>.

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

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

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.

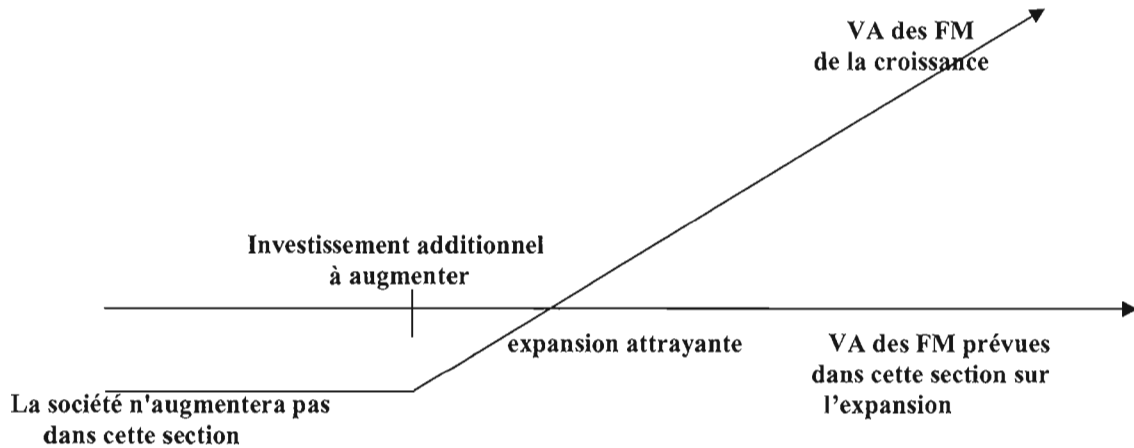
L'option de croissance d'un projet peut permettre à une firme de la considérer comme une valeur positive et donc de prendre d'autres projets qui font l'objet d'une valeur dans l'avenir.

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.

---

<sup>52</sup> Bellalah M., Op. Cit., page 30, pages 12-13.

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.



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

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

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 :

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

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.

### 2.3.2 Options d'abandon

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

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>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Théoret R., (2006), « Les options réelles », Cours Finance IV MBA 8193, Université du Québec à Montréal

### 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 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>54</sup> :

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dZ \quad \text{Où}$$

$S$  : 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>55</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,

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

<sup>54</sup> El ibrahimi H., (2006), « Acétates laboratoire cours Finance spécialisée II », MBA Recherche, Université du Québec à Montréal

<sup>55</sup> Théoret R. et ali., (2004), « Le Calcul Numérique en Finance Empirique et Quantitative », Presses de l'Université du Québec, 794 pages

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 :

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

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>56</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 :

<sup>56</sup> El Ibrahimi H., Op. Cit., page 63.

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

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

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

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:

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

## **Partie 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, il s'agit de faire une application du modèle de simulation et d'analyse de sensibilité à l'évaluation d'un projet de création d'un centre de logistique dans un centre hospitalier.

L'objectif de cette étude est de déterminer la 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, nous avons 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 sont le modèle d'analyse de sensibilité et la simulation MC pour voir comment la VAN varie en fonction de la modification de certaines variables mais surtout, notre démarche scientifique va plus loin en intégrant le modèle des options réelles à l'étude d'un projet 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.



## **1.1 Projet d'implantation d'un entrepôt sur une période de 15 ans**

Il s'agit comme nous l'avons souligné précédemment, d'implanter un entrepôt susceptible de recevoir un grand stock en matière du matériel médical et des médicaments, ce qui va permettre au centre hospitalier de posséder un stock assez important des besoins d'exploitation et de réduire le risque de pénurie avec une bonne gestion de stock.

Le projet sera évalué en deux parties : d'une part, une évaluation sur une durée de 15 ans et d'autre part une analyse du projet sur une durée de 20 ans. Le but de cette démarche est d'évaluer l'incidence du facteur temps sur la rentabilité du projet.

**Tableau I : Les coûts annuels**

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
Salaires	1.680.000	1.713.600	1.747.872	1.782.829	1.818.486	1.854.856	1.891.953	1.929.792	1.968.388	2.007.756	2.047.911	2.088.869	2.130.646	2.173.259	2.216.724
Entretien & répara	55.000	56.100	57.222	58.366	59.534	60.724	61.939	63.178	64.441	65.730	67.045	68.386	69.753	71.148	72.571
Entretien sys infor	100.000	102.000	104.040	106.121	108.243	110.408	112.616	114.869	117.166	119.509	121.899	124.337	126.824	129.361	131.948
Transport	120.000	122.400	124.848	127.345	129.892	132.490	135.139	137.842	140.599	143.411	146.279	149.205	152.189	155.233	158.337
Autres dépense	75.000	76.500	78.030	79.591	81.182	82.806	84.462	86.151	87.874	89.632	91.425	93.253	95.118	97.020	98.961

Le présent tableau constitue une vue générale des différentes charges qui accompagnent l'implantation du projet d'entrepôt sur une durée de vie de 15 ans, à partir de ces données on va évaluer la VAN classique de ce projet ainsi que sa sensibilité.

### **1.1.1 Détermination des flux financiers**

**Tableau II : Les économies nettes**

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
Coûts annuels	2.030.000	2.068.025	2.105.565	2.143.821	2.182.809	2.222.541	2.263.033	2.304.300	2.346.356	2.389.217	2.432.899	2.477.418	2.522.791	2.569.033	2.616.163
Total des économies	2.215.064	2.253.140	2.291.925	2.331.432	2.371.677	2.412.673	2.454.434	2.496.976	2.540.312	2.584.460	2.629.434	2.675.250	2.721.925	2.769.475	2.817.918
Économies nettes	185.064	185.115	186.360	187.611	188.868	190.131	191.401	192.676	193.957	195.243	196.535	197.832	199.135	200.442	201.755

Les économies nettes représentent la différence entre les charges totales imputées à l'ancien système d'approvisionnement et les frais d'implantation du nouveau projet d'entrepôt.

**Tableau III : Les flux financiers actualisés**

Économies nettes	185.064	185.115	186.360	187.611	188.868	190.131	191.40	192.676	193.957	195.24	196.535	197.83	199.135	200.442	201.755
Taux d'actualisation	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Économies actualisées	190.616	196.388	203.640	211.158	218.950	227.027	235.39	244.076	253.069	262.39	272.050	282.06	292.436	303.187	314.328

Les flux financiers du projet sont actualisés à un taux d'actualisation de 3%, ce qui va nous permettre de calculer la VAN classique du projet sur une durée de 15 ans.

### 1.1. 2 Calcul de la VAN

Coût de financement	<b>(2.658.695)</b>
Somme des économies	<b>3.706.775</b>
VAN à 3%	<b>1.048.080</b>

La VAN du projet est estimée à **1.048.080 \$**, ça représente la différence entre la somme des flux financiers (actualisés à un taux de 3%) qui s'élèvent à **3.706.775 \$** et l'investissement initial de ce projet évalué à **2.658.695 \$**.

On constate que la VAN classique est largement positive, cela explique que le projet d'implantation d'un entrepôt au sein du centre hospitalier est très rentable et ça va lui permettre de réaliser des économies considérables par rapport au système pratiqué

actuellement qui consiste à un approvisionnement périodique en terme de médicaments et matériels médicaux.

### 1.1.3 Analyse de sensibilité de la VAN

Pour analyser la sensibilité de la VAN du présent projet, on va utiliser les quatre variables suivantes (Salaires nécessaire à la gestion de l'entrepôt, frais d'entretien et réparation, frais d'entretien du système informatique et les frais de transport).

Chaque paramètre sera varié  $\pm 10\%$  et  $\pm 15\%$  à partir de sa valeur de base en gardant les autres variables constantes. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants (table pour chaque variable et un tableau récapitulatif de tous les résultats) ainsi que sur un graphe.

*Sensibilité de la VAN par variation d'une variable en gardant les autres constantes*

*Salaires*

% variation des salaires	VAN (\$)	
	salaires	1.048.080
-15,00%	1.428.000	6.674.372
-10,00%	1.512.000	4.798.941
0,00%	1.680.000	1.048.080
10,00%	1.848.000	-2.702.781
15,00%	1.932.000	-4.578.211

*Entretien et réparation*

% variation des entretien & réparation	VAN (\$)	
	entretien / réparation	1.048.080
-15,00%	46.750	1.212.227
-10,00%	49.500	1.157.511
0,00%	55.000	1.048.080
10,00%	60.500	938.649
15,00%	63.250	883.934

*Entretien système Informatique*

% variation des Entretien système informatique	VAN (\$)	
	Entretien système informatique	
		1.048.080
-15,00%	85.000	1.358.135
-10,00%	90.000	1.254.784
0,00%	100.000	1.048.080
10,00%	110.000	841.377
15,00%	115.000	738.025

*Transport*

% variation des	VAN (\$)	
	Transport	
		1.048.080
-15,00%	102,000	1.423.646
-10,00%	108,000	1.298.458
0,00%	120,000	1.048.080
10,00%	132,000	797.703
15,00%	138,000	672.514

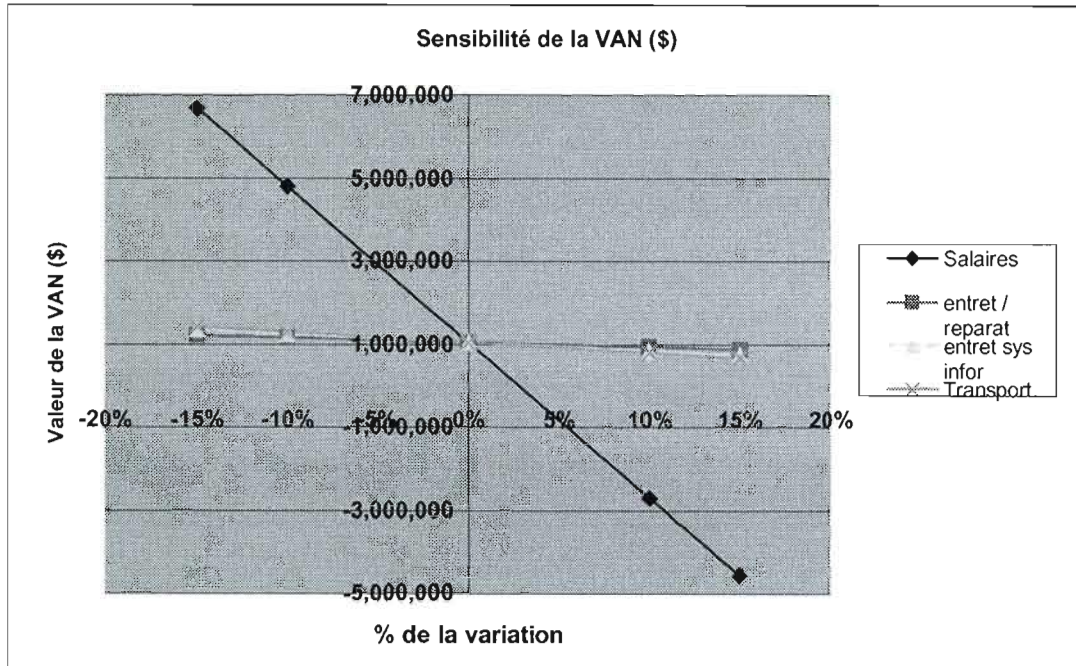
On constate à partir de différentes tables que la VAN montre un signe de sensibilité différent d'un paramètre à un autre en fonction du degré de variation.

Afin d'avoir une image claire et précise sur les résultats de cette analyse et une bonne comparaison entre les différents résultats, on va présenter le tableau récapitulatif des différents résultats de sensibilité et le graphe qui schématise ces résultats.

**Tableau IV : Récapitulatif de la variation de la sensibilité de la VAN**

% de variation	Salaires	entretien / réparation	entretien système informatique	Transport
-15,00%	6.674.372	1.212.227	1.358.135	1.423.646
-10,00%	4.798.941	1.157.511	1.254.784	1.298.458
0,00%	1.048.080	1.048.080	1.048.080	1.048.080
10,00%	-2.702.781	938.649	841.377	797.703
15,00%	-4.578.211	883.934	738.025	672.514

*Graphique de la variation de la sensibilité de la VAN*



On constate que la VAN est sensible aux différentes variables mais à des degrés différents. Dans un premier degré, on trouve les salaires qui influencent d'une manière considérable sur la sensibilité de la VAN car lorsque le montant des salaires baisse de 15%, la VAN fait un bond de plus de 635% (elle passe de **1.048.080 \$** à **6.674.372 \$**) que lorsque les salaires augmentent de 15 %, la VAN devient négative et chute de plus de 435% (VAN a baissé de **1.048.080 \$** à **- 4.578.211 \$**). Dans un second lieu, il y a les frais de transport qui influencent d'une manière moins forte la sensibilité de la VAN puisque lorsque ces frais baissent de 15%, la VAN augmente de plus de 35% (de **1.048.080 \$** à **1.423.646 \$**). Cette variation peut paraître moins influente par rapport à l'effet des salaires, mais son degré est aussi conséquent et d'une grande importance), alors que l'augmentation des frais de transport de 15% entraîne une baisse de la VAN de 36% (de **1.048.080 \$** à **672.514 \$**).

En troisième place, on trouve les frais d'entretien du système informatique et enfin les frais d'entretien et réparation qui varient faiblement la sensibilité de la VAN (voir tableau et le graphe de la sensibilité de la VAN).

### 1.1.4 Détermination des scénarios probables

**Tableau V: Récapitulatif des scénarios probables**

Synthèse de scénario	Projet 15 ans			
	Valeurs actuelles	Scénario de base	Scénario optimiste	Scénario pessimiste
<b>Éléments variables</b>				
<b>Salaire</b>	<b>1.680.000</b>	<b>1.680.000</b>	<b>1.428.000</b>	<b>1.932.000</b>
<b>Entretien / réparation</b>	<b>55.000</b>	<b>55.000</b>	<b>46.750</b>	<b>63.250</b>
<b>Entretien système Informatique</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>85.000</b>	<b>115.000</b>
<b>Frais Transport</b>	<b>120.000</b>	<b>120.000</b>	<b>102.000</b>	<b>138.000</b>
<b>Valeur actuelle nette</b>				
<b>VAN (\$)</b>	<b>1.048.080,25</b>	<b>1.048.080,25</b>	<b>7.524.139,53</b>	<b>-5.427.979,04</b>

Le présent tableau nous donne un résumé des scénarios probables qui peuvent se présenter dans l'évaluation du projet, en variant en même temps les quatre variables utilisées lors de l'analyse de sensibilité de la VAN du projet (salaire, Entretien et réparation, Entretien système informatique et Frais de transport).

La variation des différentes variables (0%, ±10% et ±15%) a donné lieu à trois scénarios probables :

➤ Le scénario de base consiste à une variation de 0% des valeurs des paramètres, d'une autre façon, c'est le scénario réel du projet, sa VAN s'élève à **1.048.080,25 \$**.

➤ Deuxièmement, un scénario optimiste combine une variation de -15% des variables (salaire, Entretien et réparation, Entretien système informatique et Frais de transport) et une variation de +15% des charges issues de l'ancien système, cette combinaison nous a donné une VAN **7.524.139,53 \$**.

➤ Finalement, une variation de +15% des charges réelles du projet ainsi qu'une -15% des charges de l'ancien système d'exploitation, nous donne la VAN du scénario pessimiste qui s'élève à **-5.427.979,04 \$**.

À partir des résultats obtenus dans les trois scénarios, on voit que la VAN est positive dans les deux premiers scénarios ; de base et optimiste. Ce qui veut dire que le projet est rentable dans les deux situations et très rentable dans le scénario optimiste d'où son implantation ne présente aucun obstacle vu les résultats obtenus. Mais la VAN donne un résultat largement négatif dans le scénario pessimiste, ce qui peut expliquer que dans cette situation le projet n'est pas rentable et il est préférable de l'abandonner. Comme on a déjà signalé, la non flexibilité de l'évaluation du projet par la VAN Classique 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 pousse à faire une évaluation des options réelles du projet afin d'avoir une idée sur les possibilités concrètes offertes par ces options.

## 1.2 Évaluation des Options réelles

Comme on l'a déjà signalé, l'évaluation du projet sur une durée de vie de 15 ans nous a donné une VAN positive qui s'élève à **1.048.080,25 \$**. Face à cela, le modèle des options réelles est susceptible de présenter des opportunités adéquates liées à la rentabilité du projet, ce qui pourra nous permettre de dégager une VAN augmentée. Les types d'options qui peuvent être évaluées sont les options de croissance et de contraction etc.; ces options évaluent comment le projet peut être beaucoup plus rentable qu'il est maintenant ?

Pour les options réelles du projet, on va utiliser un programme Visuel Basic chaque programme sera présenté dans le détail des calculs.

### 1.2.1 Option de croissance

Avant de commencer les calculs de l'option de croissance du projet, on va présenter le programme Visuel Basic utilisé pour le calcul de l'option<sup>57</sup>. Le programme se présente comme suite :

*Function optcroissance(ratioex, cex, T, S, Rf, N, sigma, Inv)*

*' ratioex est le ratio d'expansion du projet, 1,5 dans notre exemple, et cex sont les coûts encourus dû à cette expansion*

*'Déclaration des variables et des vecteurs*

*Dim i As Integer*

*Dim j As Integer*

*Dim Smat() As Variant*

*ReDim Smat(N)*

*Dim Cash() As Variant*

*ReDim Cash(N)*

*'Calcul du pas, des probabilités et du taux d'actualisation*

*dt = T / N*

---

<sup>57</sup> Théoret R., Op Cit. page 60, pages 24-26.



```

u = Exp(sigma * Sqr(dt))
d = Exp(-sigma * Sqr(dt))
p = (Exp(Rf * dt) - d) / (u - d)
disc = Exp(-Rf * dt)

'Calcul des flux monétaires de V à la fin de l'arbre
Smat(0) = S * (d ^ N)

For j = 1 To N
Smat(j) = Smat(j - 1) * (u / d)
Next j

'Calcul des flux monétaires de V augmentée à la fin de l'arbre
For j = 0 To N
Cash(j) = Application.Max(ratioex * Smat(j) - cex, Smat(j))
Next j

'Actualisation des flux de V augmentée
For i = N - 1 To 0 Step -1
For j = 0 To i
Cash(j) = disc * (p * Cash(j + 1) + (1 - p) * Cash(j))

'On applique la règle d'exercice de l'option de croissance
Smat(j) = Smat(j) / d
Cash(j) = Application.Max(Cash(j), ratioex * Smat(j) - cex)

Next j

Next i

'Valeur de la VAN augmentée avec option de croissance
optcroissance = Cash(0) - Inv

End Function

```

Détail du calcul et valeur de l'option

<b>T (Durée Projet)</b>	<b>15</b>
<b>V (VAN)</b>	<b>1.048.080</b>
<b>Rf (Taux Sans Risque)</b>	<b>3%</b>
<b>N (Nombre de pas)</b>	<b>100</b>
<b>sigma (Ecart type)</b>	<b>13,86%</b>
<b>Inv (Investissement Initial)</b>	<b>2.658.695</b>
<b>Ratioex (Ratio d'expansion)</b>	<b>1.50</b>
<b>Cex (coûts d'expansion)</b>	<b>1.329.347,50</b>

*Ratio d'expansion* : représente le multiplicateur de croissance du projet durant sa période d'implantation,

*Coûts d'expansion* : se sont les coûts supplémentaires générés par l'expansion du projet.

<b>VAN augmentée d'expansion</b>	<b>-1.575.617,64</b>
----------------------------------	----------------------

La valeur de l'option de croissance du projet s'élève à **-1.575.617,64 \$**, c'est-à-dire que la VAN augmentée du projet est devenue négative dû aux coûts supplémentaires afférents à l'expansion du projet et aussi peut être au faible ratio de croissance qui n'arrive pas à absorber les différents coûts du projet. L'option que le projet connaisse une expansion par rapport à sa valeur actuelle est nulle car on constate que la VAN Classique est plus grande que la VAN augmentée de croissance.

### 1.2.2 Option de contraction

Le programme utilisé pour calculer l'option de contraction de notre projet se présente comme suite :

*Function optcontract(ratioc, econ, T, S, Rf, N, sigma, Inv)*

*' ratioc est le ratio de contraction, 0,8 dans notre cas et econ sont les économies réalisées en raison de la contraction.*

*'Déclaration des variables et des vecteurs*

*Dim i As Integer*

*Dim j As Integer*

*Dim Smat() As Variant*

*ReDim Smat(N)*

*Dim Cash() As Variant*

*ReDim Cash(N)*

*'Calcul du pas, des probabilités et du taux d'actualisation*

*dt = T / N*

*u = Exp(sigma \* Sqr(dt))*

*d = Exp(-sigma \* Sqr(dt))*

*p = (Exp(Rf \* dt) - d) / (u - d)*

*disc = Exp(-Rf \* dt)*

*'Calcul des flux monétaires de V à la fin de l'arbre*

*Smat(0) = S \* (d ^ N)*

*For j = 1 To N*

*Smat(j) = Smat(j - 1) \* (u / d)*

*Next j*

*'Calcul des flux monétaires de la V augmentée à la fin de l'arbre*

*For j = 0 To N*

*Cash(j) = Application.Max(ratioc \* Smat(j) + econ, Smat(j))*

*Next j*

*'Actualisation des flux de V augmentée*

*For i = N - 1 To 0 Step -1*

*For j = 0 To i*

*Cash(j) = disc \* (p \* Cash(j + 1) + (1 - p) \* Cash(j))*

*'On applique la règle d'exercice de l'option de contraction*

$Smat(j) = Smat(j) / d$   
 $Cash(j) = Application.Max(Cash(j), ratioc * Smat(j) + econ)$

Next j

Next i

*Valeur de la VAN augmentée avec option de contraction*

$optcontract = Cash(0) - Inv$

End Function

**Détail du calcul et valeur de l'option**

<b>T (Durée Projet)</b>	<b>15</b>
<b>V (VAN)</b>	<b>1.048.080</b>
<b>Rf (Taux Sans Risque)</b>	<b>3%</b>
<b>N (Nombre de pas)</b>	<b>100</b>
<b>sigma (Ecart type)</b>	<b>13,86%</b>
<b>Inv (Investissement Initial)</b>	<b>2.658.695</b>
<b>ratio c (Ratio de contraction)</b>	<b>0,80</b>
<b>Econ (les économies réalisées)</b>	<b>886.231,67</b>

**Ratio d'expansion** : représente le multiplicateur de croissance du projet durant sa période d'implantation,

**Coûts d'expansion** : se sont les coûts supplémentaires générés par l'expansion du projet.

<b>VAN augmentée de contraction</b>	<b>-933.999,33</b>
-------------------------------------	--------------------

L'option de contraction permet d'évaluer la valeur du projet avec les économies qui peuvent être réalisées. Le projet donne une grande valeur lorsque ses coûts sont faibles, dans le cas de notre projet, le maximum des économies qui peuvent être

réalisées s'élèvent à **886.231,67 \$** (*on estime qu'on va économiser le tiers de l'Investissement initial*), le ratio de contraction utilisé est de **0,8**, c'est-à-dire que les charges du projet seront compressées de 20%. La VANA de contraction est de **-933.999,33\$**, c'est une VAN négative qui montre qu'une contraction des charges de 20% rend le projet non rentable. On constate que le VAN classique est très supérieure à la VANA de contraction, chose qui explique que l'option de contraction du projet n'a pas rapporté la valeur souhaitée.

### 1.3 Simulation Monte-Carlo

La VAN Classique du projet d'implantation du centre logistique sur 15 ans s'élève à **1.048.080 \$**, la simulation MC va nous permettre de vérifier ce résultat.

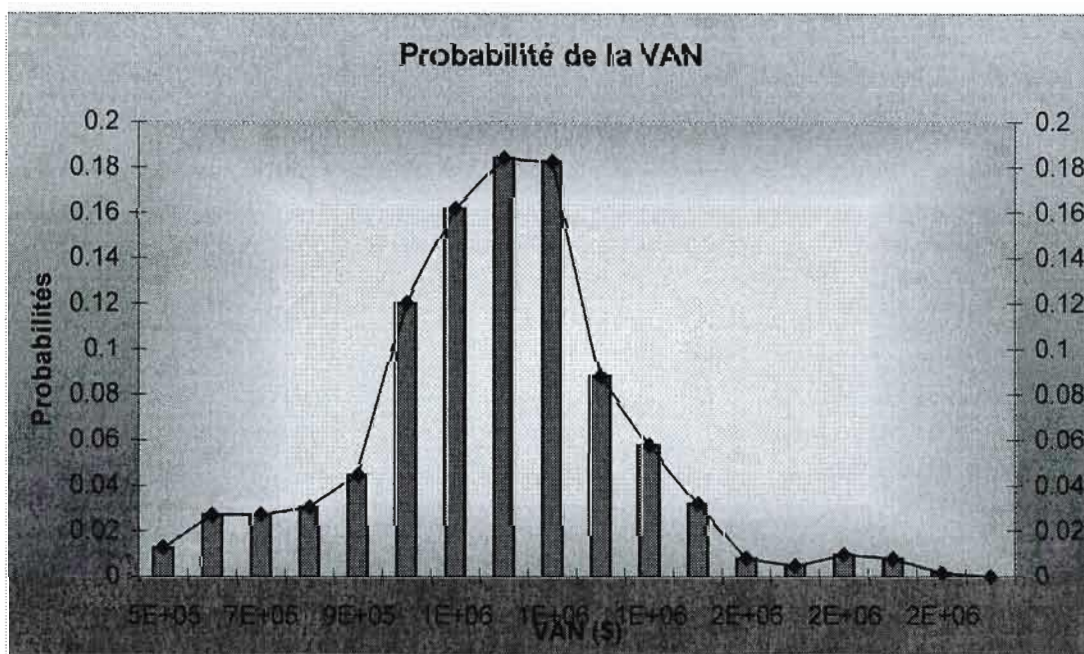
Les données utilisées pour l'exécution du modèle de simulation se présentent comme suite :

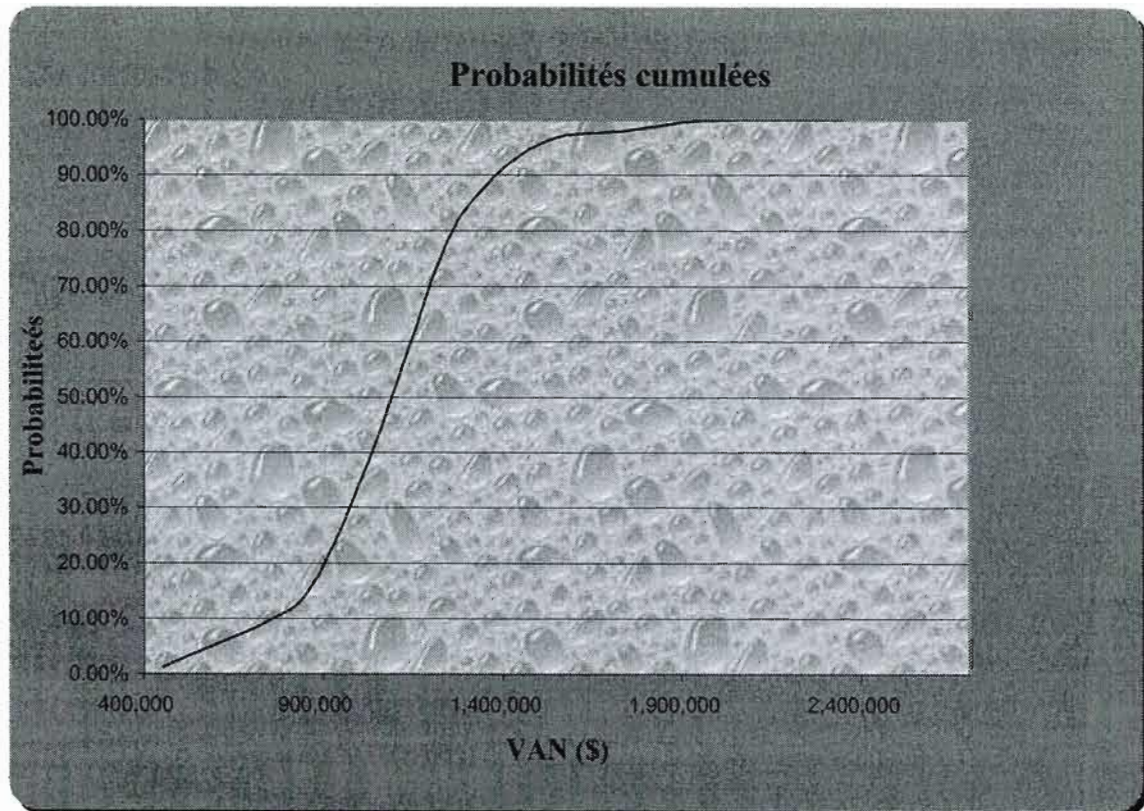
<i>Investissement Initial</i>	<b>2.658.695</b>
<i>La somme des flux financiers</i>	<b>3.706.775</b>
<i>Nombre des Simulations</i>	<b>10.000</b>
<i>Volatilité</i>	<b>0,35</b>
<i>Volatilité carrée</i>	<b>0,1225</b>
<i>Taux sans risque</i>	<b>0,1</b>
<i>T</i>	<b>25</b>
<i>N (nombre de pas)</i>	<b>0,004</b>
<i>Dt (T/N)</i>	

La simulation de la VAN du projet d'implantation de l'entrepôt sur 15 ans nous donnée les résultats présentés dans le tableau et les graphiques ci-dessous :

Tableau VI : Tableau de la distribution de la VAN

Borne inférieure	Nombre d'observations supérieures à la borne inférieure	Borne supérieure	Probabilité de la VAN	Probabilités cumulées
350.000	625	450.000	1,3%	1,28%
450.000	617	550.000	2,7%	4,00%
550.000	600	650.000	2,7%	6,72%
650.000	583	750.000	3,0%	9,76%
750.000	564	850.000	4,5%	14,24%
850.000	536	950.000	12,0%	26,24%
950.000	461	1.050.000	16,2%	42,40%
1.050.000	360	1.150.000	18,4%	60,80%
1.150.000	245	1.250.000	18,2%	79,04%
1.250.000	131	1.350.000	8,8%	87,84%
1.350.000	76	1.450.000	5,8%	93,60%
1.450.000	40	1.550.000	3,2%	96,80%
1.550.000	20	1.650.000	0,8%	97,60%
1.650.000	15	1.750.000	0,5%	98,08%
1.750.000	12	1.850.000	1,0%	99,04%
1.850.000	6	1.950.000	0,8%	99,84%
1.950.000	1	2.050.000	0,2%	100,00%
2.050.000	-	2.150.000	0,0%	100,00%

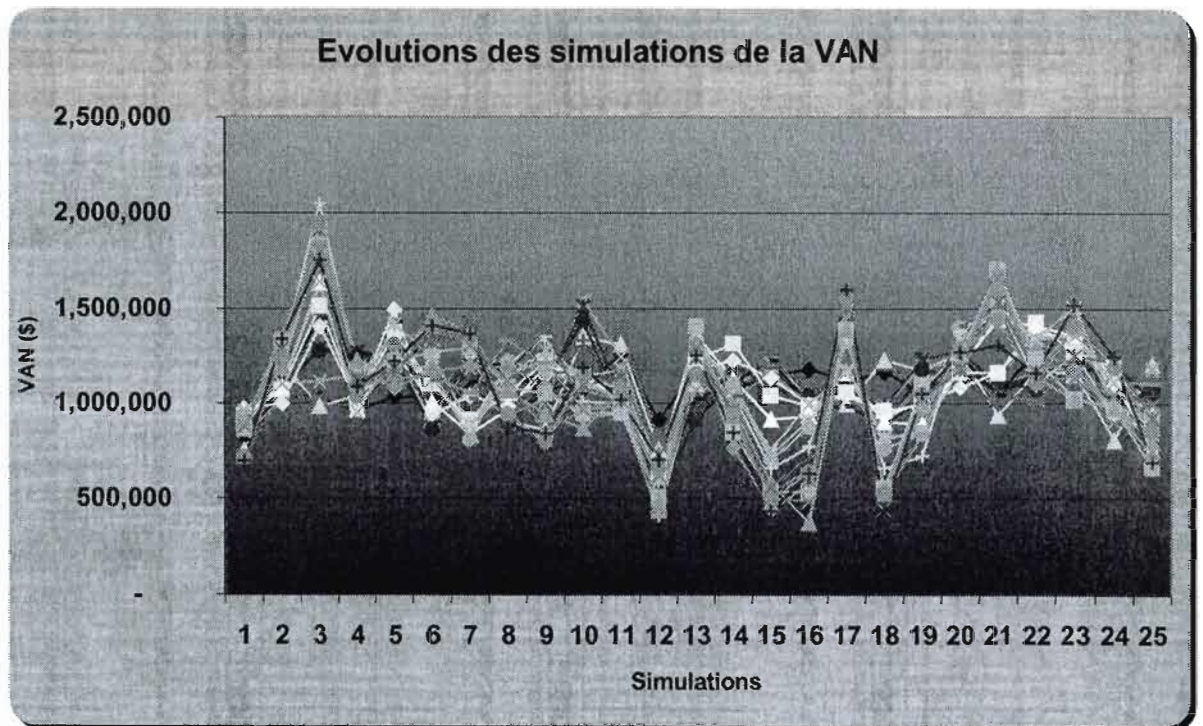




La série des VAN simulées obtenue montre que la VAN du projet (15 ans) se situe entre  $[377.720,0; 2.046.205,8]$ , la moyenne des VAN simulées s'élève à **1.084.667 \$**, alors que l'écart type est de **261.038,96**.

Les résultats obtenus lors des simulations indiquent que **60,80%** des VAN simulées sont inférieures à **1.150.000 \$**, alors que **93,60%** sont inférieures à **1.450.000 \$**. Ce résultat vient confirmer celui de la VAN classique à **1.048.080 \$**, donc très positive et montrant des signes réels de rentabilité du projet. On peut donc conclure que le projet sur 15 ans est rentable, mais une comparaison avec les résultats du projet sur 20 ans est nécessaire pour voir lequel des deux est le plus 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).



Le graphique des variations des VAN simulées confirme bien les résultats obtenus, on constate bien que les VAN varie dans un intervalle assez représentatif de la VAN Classique, car la grande variation des VAN se situe vers les **1.000.000 \$**.



## 2. Projet d'implantation d'un entrepôt (projet 20 ans)

### Tableau VII : Les coûts annuels

	<u>Année</u> <u>1</u>	<u>Année</u> <u>2</u>	<u>Année</u> <u>3</u>	<u>Année</u> <u>4</u>	<u>Année</u> <u>5</u>	<u>Année</u> <u>6</u>	<u>Année</u> <u>7</u>	<u>Année</u> <u>8</u>	<u>Année</u> <u>9</u>	<u>Année</u> <u>10</u>	<u>Année</u> <u>11</u>	<u>Année</u> <u>12</u>	<u>Année</u> <u>13</u>	<u>Année</u> <u>14</u>	<u>Année</u> <u>15</u>	<u>Année</u> <u>16</u>	<u>Année</u> <u>17</u>	<u>Année</u> <u>18</u>	<u>Année</u> <u>19</u>	<u>Année</u> <u>20</u>
Salaires	1680000	1713600	1747872	1782829	1818486	1854856	1891953	1929792	1968388	2007756	2047911	2088869	2130646	2173259	2216724	2261059	2306280	2352406	2399454	2447443
Entretien et réparations	55000	55275	55551	55829	56108	56389	56671	56954	57239	57525	57813	58102	58392	58684	58978	59273	59569	59867	60166	60467
Entretien système informat	100000	101000	102010	103030	104060	105101	106152	107214	108286	109369	110462	111567	11683	113809	114947	116097	117258	118430	119615	120811
Transport	120000	122400	124848	127345	129892	132490	135139	137842	140599	143411	146279	149205	152189	155233	158337	161504	164734	168029	171390	174817
Autres dépenses	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000

Le tableau ci-dessus donne un détail des différents frais engagés pour l'implantation du projet d'entrepôt sur une durée de vie de 20 ans. Les charges du projet vont nous permettre de déterminer les économies que le centre hospitalier peut réaliser avec l'implantation de ce projet et par la suite le calcul de sa VAN classique ainsi que sa sensibilité.

## 2.1.1 Détermination des flux financiers

### Tableau des économies nettes

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15	Année 16	Année 17	Année 18	Année 19	Année 20
Total des coûts annuels	2030000	2067275	2105281	2144034	2183547	2223835	2264915	2306802	2349511	2393060	2437465	2482742	2528910	2575986	2623987	2672932	2722841	2773732	2840335	2894146
Total des économies annuelles	2215064	2253140	2291925	2331432	2371677	2412673	2454434	2496976	2540312	2584460	2629434	2675250	2721925	2769475	2817918	2867269	2917548	2968771	3020958	3074127
Économies nettes annuelles	185.064	185.115	185.136	185.126	185.085	185.012	184.905	184.764	184.587	184.373	184.123	183.833	183.503	183.133	182.720	182.264	181.763	181.217	180.623	179.980

Comme on l'a déjà signalé, les économies nettes annuelles représentent la différence entre l'ensemble des charges liées à l'ancien système d'approvisionnement et d'achat et les frais d'implantation du nouveau projet d'entrepôt.

### Tableau des flux financiers actualisés

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15	Année 16	Année 17	Année 18	Année 19	Année 20
Total des coûts annuels	185.064	185.115	185.136	185.126	185.085	185.012	184.905	184.764	184.587	184.373	184.123	183.833	183.503	183.133	182.720	182.264	181.763	181.217	180.623	179,980
Taux d'actualisation	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Économies actualisées	190.616	196.388	202.303	208.361	214.564	220.914	227.410	234.053	240.844	247.783	254.869	262.102	269.481	277.005	284.672	292.481	300.427	308.509	316.723	325.065

Les flux financiers du projet sont actualisés à un taux d'actualisation de 3%, ce qui va nous permettre de calculer la VAN classique du projet sur une durée de 20 ans.

### 2.1.2 Calcul de la VAN

<b>Coût de financement</b>	<b>2.658.695 \$</b>
<b>Somme des économies</b>	<b>5.074.569 \$</b>
<b>VAN à 3%</b>	<b>2.415.874 \$</b>

Sur une durée de 20 ans, la VAN du projet est évaluée à **2.415.874 \$**, c'est la différence entre la somme des flux financiers actualisés à un taux de 3% **5.074.569 \$** et le montant des investissements initiaux du projet évalué à **2.658.695 \$**.

La première constatation de ce résultat, c'est que la VAN du projet a augmenté considérablement une fois que le projet a été évalué sur 20 ans, c'est-à-dire que le facteur temps a eu un effet positif sur la valeur de la VAN. Mathématiquement, la VAN a augmenté de plus de 230%. Elle est passée de **1.048.080 \$** à **2.415.874 \$**.

La deuxième constatation est que la VAN classique est largement positive, ce qui explique que l'implantation d'un entrepôt au sein du centre hospitalier sur une durée de 20 ans est très rentable. Avec cet investissement, le centre hospitalier peut générer des économies considérables par rapport aux financements du système actuel.

### 2.1.3 Analyse de sensibilité de la VAN

Pour analyser la sensibilité de la VAN du présent projet, on va utiliser les quatre variables suivantes (Salaires nécessaire à la gestion de l'entrepôt, frais d'entretien et réparation, frais d'entretien du système informatique et les frais de transport).

*Sensibilité de la VAN par variation d'une variable en gardant les autres constantes*

*Salaires*

% variation des salaires	VAN (\$)	
	Salaires	
		<b>2.415.874</b>
<b>-15,00%</b>	<b>1.428.000</b>	<b>11.053.099</b>
<b>-10,00%</b>	<b>1.512.000</b>	<b>8.174.024</b>
<b>0,00%</b>	<b>1.680.000</b>	<b>2.415.874</b>
<b>10,00%</b>	<b>1.848.000</b>	<b>-3.342.276</b>
<b>15,00%</b>	<b>1.932.000</b>	<b>-6.221.350</b>

*Entretien et Réparation*

% variation des Entretien & réparation	VAN (\$)	
	entretien & réparation	
		<b>2.415.874</b>
<b>-15,00%</b>	<b>46.750</b>	<b>2.656.552</b>
<b>-10,00%</b>	<b>49.500</b>	<b>2.576.326</b>
<b>0,00%</b>	<b>55.000</b>	<b>2.415.874</b>
<b>10,00%</b>	<b>60.500</b>	<b>2.255.423</b>
<b>15,00%</b>	<b>63.250</b>	<b>2.175.197</b>

*Entretien Système Informatique*

% variation des entretien système informatique	VAN (\$)	
	entretien système informatique	
		<b>2.415.874</b>
<b>-15,00%</b>	<b>85.000</b>	<b>2.877.380</b>
<b>-10,00%</b>	<b>90.000</b>	<b>2.723.545</b>
<b>0,00%</b>	<b>100.000</b>	<b>2.415.874</b>
<b>10,00%</b>	<b>110.000</b>	<b>2.108.204</b>
<b>15,00%</b>	<b>115.000</b>	<b>1.954.368</b>

*Transport*

% variation des	VAN (\$)	
	Transport	
		<b>2.415.874</b>
<b>-15,00%</b>	<b>102.000</b>	<b>3.032.819</b>
<b>-10,00%</b>	<b>108.000</b>	<b>2.827.171</b>
<b>0,00%</b>	<b>120.000</b>	<b>2.415.874</b>
<b>10,00%</b>	<b>132.000</b>	<b>2.004.578</b>
<b>15,00%</b>	<b>138.000</b>	<b>1.798.930</b>

Afin d'avoir une idée assez claire sur les charges qui influencent fortement la sensibilité de la VAN, on a procédé à une analyse de sensibilité par la variation d'un paramètre clé ( $\pm 10\%$  et  $\pm 15\%$ ) en gardant les autres paramètres constants.

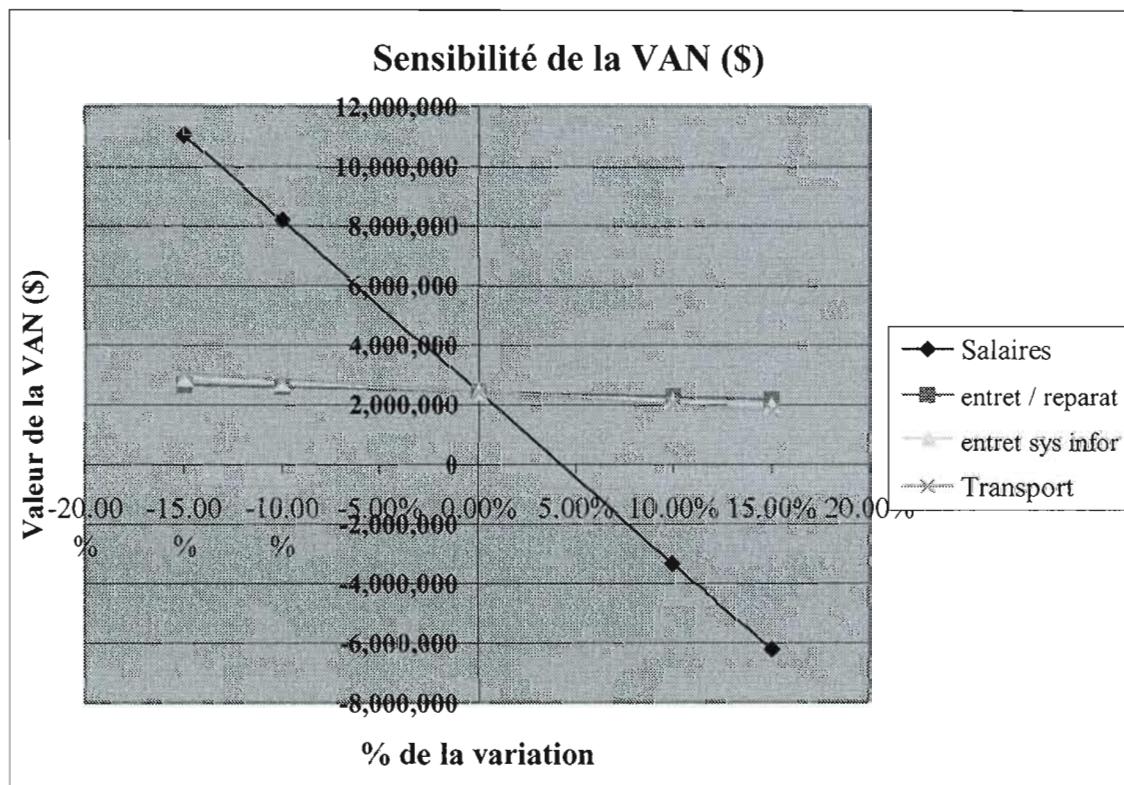
Les résultats obtenus de cette analyse sont exposés dans les tables affichées ci-dessus. D'une première vue, on observe que dans toutes les situations la VAN montre une sensibilité relativement différente en fonction du degré d'importance du paramètre dans le calcul de la VAN.

Le tableau récapitulatif et le graphe de la variation de la sensibilité de la VAN dressés ci-dessous viennent compléter l'analyse des résultats de la sensibilité, on va présenter les résultats dans un tableau récapitulatif et les présenter sous forme d'un graphe.

Tableau X : Récapitulatif de la variation de la sensibilité de la VAN

% de variation	Salaires	Entretien & réparation	Entretien système informatique	Transport
-15,00%	11.053.099	2.656.552	2.877.380	3.032.819
-10,00%	8.174.024	2.576.326	2.723.545	2.827.171
0,00%	2.415.874	2.415.874	2.415.874	2.415.874
10,00%	-3.342.276	2.255.423	2.108.204	2.004.578
15,00%	-6.221.350	2.175.197	1.954.368	1.798.930

Graphes de la variation de la sensibilité de la VAN



D'après les différents tableaux, il apparaît que la VAN est réellement sensible aux différentes variables à des niveaux différents en fonction de l'importance du paramètre sur la valeur de la VAN. Les frais de salaires se montrent les plus influents sur la sensibilité de la VAN, une baisse de la VAN de 15% entraîne une augmentation de la VAN de plus de 457% (de **2.415.874 \$** à **11.053.099 \$**), alors qu'une augmentation du salaire de 15% génère une baisse considérable de la VAN de plus de 257% c'est-à-dire une chute de **2.415.874 \$** à **-6.221.350 \$**.

Les frais de transport arrivent en seconde place en terme d'influence sur la sensibilité de la VAN, une diminution de -15% des charges de transports provoque une augmentation de + 125% alors que la hausse de ces frais de +15% fait baisser la VAN de 35%. Les autres variables (entretien du système informatique et entretien et réparation) arrivent successivement en troisième et quatrième par ordre d'influence sur la sensibilité de la VAN (voir le tableau et le graphique de la sensibilité de la VAN pour les valeurs de variation).

#### 2.1.4 Détermination des scénarios probables

**Tableau XI: Résumé des scénarios probables**

Synthèse de scénario		Projet 20 ans		
	Valeurs actuelles	Scénario de base	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
<b>Éléments variables</b>				
<b>Salaire</b>	<b>1.680.000</b>	<b>1.680.000</b>	<b>1.428.000</b>	<b>1.932.000</b>
<b>Entretien système Informatique</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>85.000</b>	<b>115.000</b>
<b>Entretien / Réparation</b>	<b>55.000</b>	<b>55.000</b>	<b>46.750</b>	<b>63.250</b>
<b>Transport</b>	<b>120.000</b>	<b>120.000</b>	<b>102.000</b>	<b>138.000</b>
<b>Valeur actuelle nette</b>				
<b>VAN (\$)</b>	<b>2.415.874,21</b>	<b>2.415.874,21</b>	<b>-5.970.589,00</b>	<b>13.942.116,00</b>

À partir du tableau de résumé des scénarios probables qui peuvent se présenter dans l'évaluation du projet, on peut dire qu'on relève les mêmes conclusions que ceux du projet sur 15 ans.

La variation des quatre variables (salaire, entretien et réparation, entretien du système informatique et frais de transport) à (0%,  $\pm 10\%$  et  $\pm 15\%$ ) a donné lieu à trois scénarios probables similaires à ceux vus précédemment :

Le scénario de base constitue la variation de 0% des paramètres, il s'agit de la VAN classique du projet : **2.415.874 \$**.

La combinaison entre la variation de -15% des paramètres (salaire, entretien et réparation, entretien du système informatique et frais de transport) et la variation de +15% des charges actuelles du système d'exploitation et d'approvisionnement nous donne la VAN du scénario optimiste **13.942.116 \$**.

Enfin, le scénario pessimiste consiste à une variation de +15% des charges réelles du projet ainsi qu'une baisse de -15% des charges de l'ancien système, la VAN calculée de ce scénario s'élève à **-5.970.589 \$**.

On déduit de ces conclusions que la VAN est positive dans les deux premiers scénarios (de base et optimiste), c'est à dire que le projet est rentable dans les deux cas (extrêmement rentable dans le scénario optimiste) et sa mise en œuvre peut s'avérer un réel succès et ne représente aucun obstacle vu les résultats obtenus. Par contre la VAN obtenue dans le scénario pessimiste est largement négative.

Dans cette situation le projet n'est pas rentable et il est souhaitable de l'abandonner. Comme on a déjà signalé la non flexibilité de l'évaluation du projet par la VAN Classique 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.



## 2.2. Évaluation des options réelles

La VAN du projet sur une durée de 20 ans s'élève à **2.415.874 \$**. L'évaluation des options réelles peut montrer des opportunités adéquates à la rentabilité du projet, et donc de dégager une VAN augmentée assez importante. L'option de croissance, l'option de contraction, etc), sont les types d'options qui peuvent être évaluées dans ce cas. Ces options permettent de voir si le projet peut être beaucoup plus rentable qu'il est maintenant ?

Pour calculer les options réelles du projet (20 ans), on va utiliser les même programmes présentés dans le précédent projet (15 ans).

### 2.2.1 Option de croissance

#### Détail du calcul et valeur de l'option

<b>T (Durée Projet)</b>	<b>20</b>
<b>V (VAN)</b>	<b>2.415.874</b>
<b>Rf (Taux Sans Risque)</b>	<b>3%</b>
<b>N (Nombre de pas)</b>	<b>100</b>
<b>sigma (Ecart type)</b>	<b>15,55%</b>
<b>Inv (Investissement Initial)</b>	<b>2.658.695</b>
<b>Ratioex (Ratio d'expansion)</b>	<b>1,50</b>
<b>Cex (coûts d'expansion)</b>	<b>4.519.781,50</b>

**Ratio d'expansion** : représente le multiplicateur de croissance du projet durant sa période d'implantation,

**Coûts d'expansion** : se sont les coûts supplémentaires générés par l'expansion du projet.

<b>VAN augmentée d'expansion</b>	<b>-153.927,03</b>
----------------------------------	--------------------

La valeur de l'option de croissance du projet s'élève à **-153.927,03 \$**, c'est-à-dire que la VAN augmentée du projet a plutôt baissé dû aux coûts supplémentaires liés à l'expansion du projet et au faible ratio d'expansion (**1,5**), car son augmentation entraîne une hausse de la VANA. Dans ce cas, les possibilités que présentent l'option de croissance s'avère nulles tant que le ratio de croissance est faible et les coûts d'expansion sont élevés. Aussi, on constate que la VAN classique est plus grande que la VANA, cela signifie que cette dernière est égale à la VAN classique : **1.048.080 \$**.

### 2.2.2 Option de contraction

#### Détail du calcul et valeur de l'option

<b>T (Durée Projet)</b>	<b>20</b>
<b>V (VAN)</b>	<b>2.415.874</b>
<b>Rf (Taux Sans Risque)</b>	<b>3%</b>
<b>N (Nombre de pas)</b>	<b>100</b>
<b>sigma (Ecart type)</b>	<b>15,55%</b>
<b>Inv (Investissement Initial)</b>	<b>2.658.695</b>
<b>ratio c (Ratio de contraction)</b>	<b>0,80</b>
<b>Econ (les économies réalisées)</b>	<b>886.231,67</b>

**Ratio de contraction** : le ratio de contraction des coûts du projet.

**Economies** : les économies qu'on peut réaliser en raison de la contraction des coûts.

<b>VAN augmentée de contraction</b>	<b>160.235,87</b>
-------------------------------------	-------------------

L'option de contraction permet d'évaluer la valeur du projet avec les économies qui peuvent être réalisées. Le projet donne une grande valeur lorsque ses coûts sont faibles, dans le cas de notre projet, le maximum des économies qui peuvent être réalisées s'élèvent à **886.231,67 \$** (*on estime qu'on va économisé le tiers d'Investissement initial*), le ratio de contraction utilisé est de **0,8**, c'est-à-dire que les charges du projet seront compressés de **20%**. La VANA de contraction est de **160.235,87 \$**, c'est une VAN positive qui montre qu'avec une contraction des charges des charges de 20%, le projet s'avère rentable mais en comparaison avec la VAN classique du projet, on constate que le VAN classique est très supérieure à la VANA de contraction, chose qui explique que l'option de contraction du projet n'a pas rapportée la valeur souhaitée.

### **2.3 Simulation Monte-Carlo**

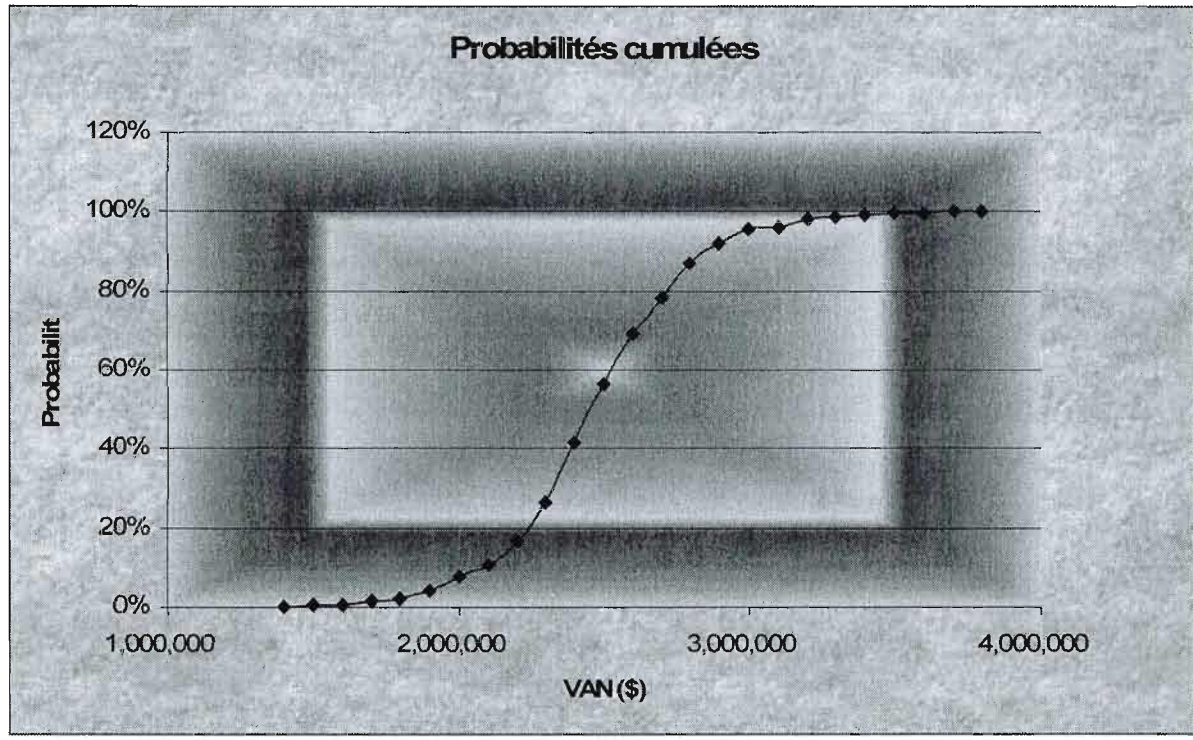
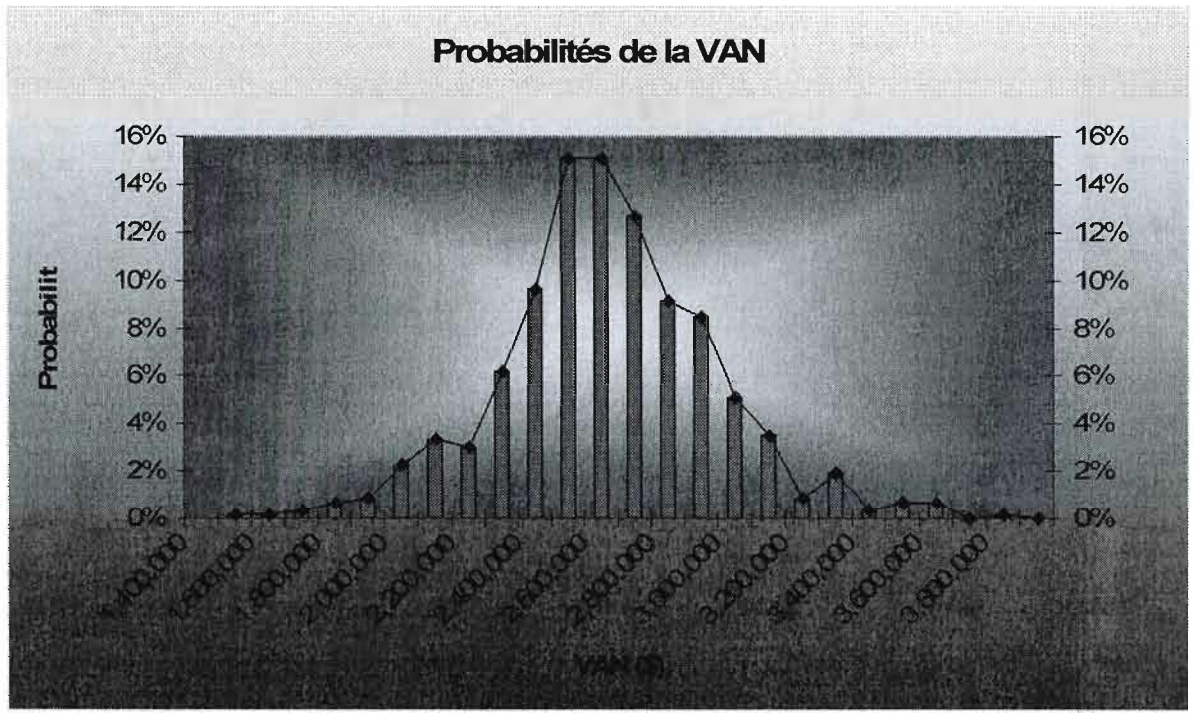
La VAN Classique du projet d'implantation du centre logistique sur 20 ans s'élève à **2.415.874 \$**, la simulation Monte-Carlo va nous permettre de vérifier ce résultat.

Les données utilisées pour l'exécution du modèle de simulation se présentent comme suit:

<i>Investissement Initial</i>	<b>2.658.695</b>
<i>La somme des flux financiers</i>	<b>5.074.569</b>
<i>Nombre des Simulations</i>	<b>10.000</b>
<i>Volatilité</i>	<b>0,35</b>
<i>Volatilité carrée</i>	<b>0,1225</b>
<i>Taux sans risque</i>	<b>0,03</b>
<i>T</i>	<b>0,1</b>
<i>N</i>	<b>25</b>
<i>Dt</i>	<b>0,004</b>

Tableau XII: Distribution de la VAN

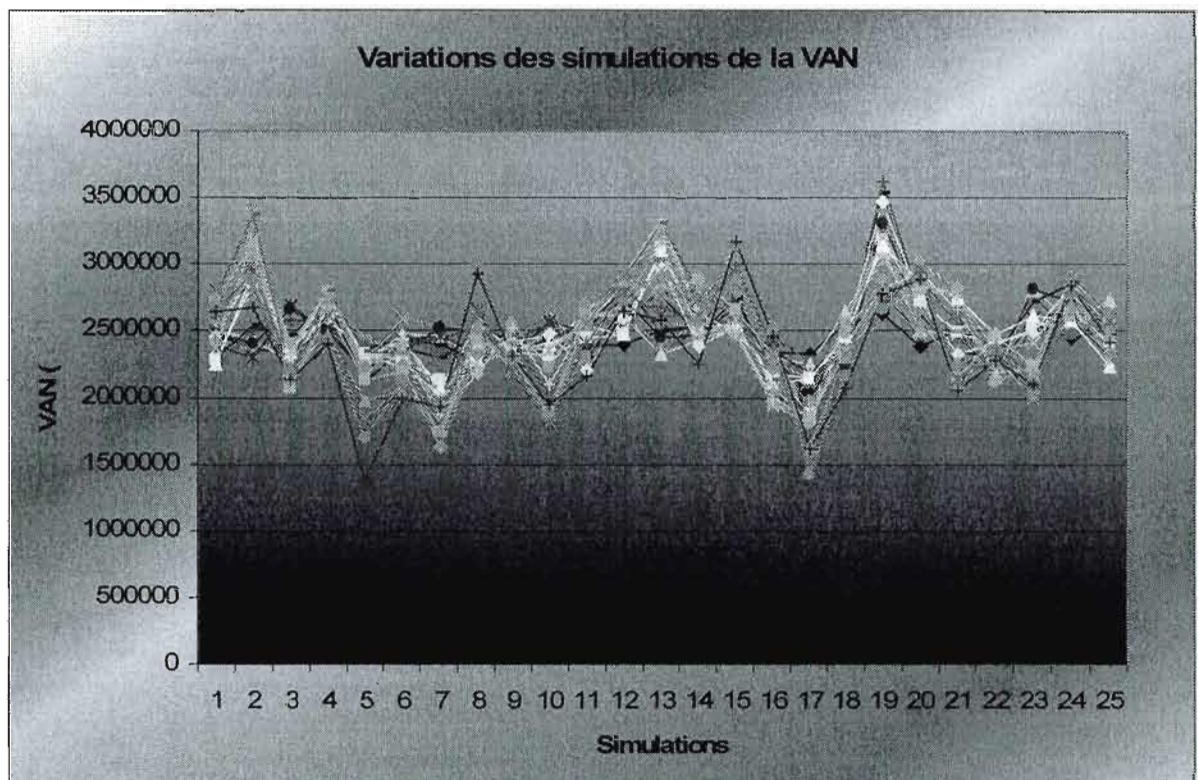
Borne inférieure	Nombre d'observations supérieures à la borne inférieure	Borne supérieure	Probabilité de la VAN	Probabilités cumulées
1.300.000	625	1.400.000	0,16%	0%
1.400.000	624	1.500.000	0,16%	0%
1.500.000	623	1.600.000	0,32%	1%
1.600.000	621	1.700.000	0,64%	1%
1.700.000	617	1.800.000	0,80%	2%
1.800.000	612	1.900.000	2,24%	4%
1.900.000	598	2.000.000	3,36%	8%
2.000.000	577	2.100.000	3,04%	11%
2.100.000	558	2.200.000	6,24%	17%
2.200.000	519	2.300.000	9,60%	27%
2.300.000	459	2.400.000	15,04%	42%
2.400.000	365	2.500.000	15,04%	57%
2.500.000	271	2.600.000	12,64%	69%
2.600.000	192	2.700.000	9,12%	78%
2.700.000	135	2.800.000	8,48%	87%
2.800.000	82	2.900.000	5,12%	92%
2.900.000	50	3.000.000	3,52%	96%
3.000.000	28	3.100.000	0,80%	96%
3.100.000	23	3.200.000	1,92%	98%
3.200.000	11	3.300.000	0,32%	99%
3.300.000	9	3.400.000	0,64%	99%
3.400.000	5	3.500.000	0,64%	100%
3.500.000	1	3.600.000	0,00%	100%
3.600.000	1	3.700.000	0,16%	100%
3.700.000	-	3.800.000	0,00%	100%



La série des VAN simulées obtenus montre que la VAN du projet (15 ans) se situe entre  $[377.720,04, 2.046.205,8]$ , la moyenne des VAN simulées s'élève à **1.084.667 \$**, alors que l'écart type est de **261.038,96**.

Les résultats obtenus des simulations indiquent que **60,80%** des VAN simulées sont inférieures à **1.150.000 \$**, alors que plus de **93,60%** sont inférieures à **1.450.000 \$**. Ceci confirme en grande partie le résultat trouvé dans la VAN Classique, soit **1.048.080 \$**, c'est-à-dire une VAN très positive montrant des signes réels de rentabilité du projet. On peut donc conclure que la simulation de la VAN du projet sur 15 ans montre que le projet est rentable. Cependant, une comparaison avec les résultats du projet sur 20 ans est nécessaire pour voir lequel des deux projets est le plus 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).



## CONCLUSION

En somme, L'objectif de notre étude était de déterminer la rentabilité financière du projet d'implantation d'un centre de logistique au centre hospitalier de Sherbrooke afin d'amener les gestionnaires de cette institution à prendre une décision éclairée. Les modèles utilisés pour cette fin sont la simulation Monte Carlo, l'analyse de sensibilité et les options réelles.

Nous avons évalué le projet en deux temps, soit sur une durée de vie de 15 ans et de 20 ans. Dans cette optique, nous avons analysé différents scénarios possibles 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. Les différentes études et analyses effectuées nous ont alors permis de retenir plusieurs conclusions et de permettre à l'agence qui souhaite implanter le projet de soumettre quelques hypothèses concernant la réalisation ou non du projet évalué.

Sur une durée de vie de 15 ans, le projet présente une VAN classique positive de **1 048 080 \$**. Les trois scénarios dégagés lors de l'analyse de sensibilité de la VAN sont rentables et confirment bel et bien la rentabilité du projet. Cependant, le projet n'offre aucune option d'expansion ni de contraction.

En outre, l'évaluation du projet sur une durée de vie de 20 ans offre une VAN classique de **2 415 874 \$**, une augmentation considérable par rapport à la VAN du même projet sur une durée de vie de 15 ans. Le prolongement du projet dans le temps a eu un effet positif sur la VAN du projet. L'analyse de sensibilité et la simulation Monte Carlo confirment largement la rentabilité du projet avec une moyenne des VAN simulées qui s'élève à **1 084 667 \$**.

Ces résultats démontrent que le projet d'implantation d'un centre de logistique au centre hospitalier de l'université de Sherbrooke est très rentable dans les deux cas soit, sur une durée de vie de 15 ans et 20 ans.

L'évaluation financière du projet a permis à l'agence qui souhaite l'implanter d'avoir une idée claire sur la rentabilité ou non du projet et de voir s'il faut procéder à des ajustements pour rendre celui-ci rentable.



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 à la décision d'investir. Comme dans le cas de plusieurs autres études, un projet peut-être jugé rentable mais son exécution peut ne pas avoir 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., Thomon, (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 », *Icra, 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/>